



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la vie
Département des sciences agronomiques

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences de la nature et de la vie
Sciences agronomiques
Hydropédologie

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
Sagara Ramata

Le : Mercredi 12 Juin 2024

**Effets des amendements de biochar, de fumier et d'engrais
sur les propriétés physico-chimiques du sol et sur le
rendement d'une culture : cas d'orge (*Hordeum vulgare*
L.) Dans la vallée d'Oued-Righ, périmètre de Barkadjia,
wilaya d'El Meghaier.**

Jury :

Dr.	Khechai Salim	Université de Biskra	Président
Dr.	Boukehil Khaled	Université de Biskra	Encadreur
Dr.	Atek.Y. Y	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2023/2024

Dédicaces

Je dédie ce travail du plus profond de mon cœur à mes êtres chers :

À mes défunts parents partis un peu trop tôt qui auraient aimé voir où j'en suis aujourd'hui.

J'espère répondre aux espoirs que vous avez fondés sur moi dans le monde qui est votre maintenant.

À toute ma famille, pour l'immense amour que vous me portez, vous avez su m'inculquer les bonnes valeurs, l'optimisme et la confiance en soi.

À mon grand frère Korka Sagara qui a su jouer le rôle de père sans jamais se plaindre, ainsi qu'à mes sœurs Fatoumata et Salimata Sagara. Vos encouragements, vos sacrifices et votre soutien indispensable que vous m'avez toujours apporté ont guidé mes pas vers la réussite.

À ma très chère Nana Hadiza Souleymane Mayana, aucun hommage ne pourra être à la hauteur du soutien et de l'amour que tu as su m'apporter.

À ma sœur de cœur Bintou Ba pour son soutien incommensurable, son aide précieuse et sa bienveillance en témoignage de ma gratitude et de tous ces merveilleux moments que nous avons passés ensemble.

À la famille Boukehil, ma deuxième famille, pour leur soutien moral et leur amour inconditionnel.

À Mme Chadli Nesrine pour sa bienveillance et sa gentillesse incroyable à mon égard.

À mon acolyte et sœur Nesrine Bessaker ainsi qu'à toute sa famille pour leur extrême bienveillance.

Puisse ALLAH le Tout-Puissant vous accorder une longue vie et vous récompenser.

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier ALLAH le Tout-Puissant de m'avoir donné la santé, la force et la patience nécessaires pour mener à terme cette étude.

À l'issue de ce travail, je voudrais dans un premier temps remercier mon encadreur, monsieur Khaled Boukehil, pour avoir accepté de m'encadrer et de m'avoir proposé ce thème d'étude. Je tiens à lui exprimer ma gratitude et ma sincère reconnaissance pour ses efforts, sa patience, sa bienveillance, ses conseils, son temps et son implication durant cette recherche.

Je remercie Monsieur Khechai Salim, professeur au département des sciences agronomiques de Biskra, pour sa disponibilité, sa bienveillance, ses suggestions et son aide incommensurable apporté à cette étude

Je tiens également à remercier mon maître de stage, monsieur Otmane Tarek du CRSTRA, pour ses conseils, ses suggestions et sa disponibilité.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance à tous les professeurs du département des sciences agronomiques pour leur enseignement de qualité pendant ces années d'étude qui ont su nourrir mes réflexions ainsi que toute l'équipe pédagogique du département.

Des remerciements vont pareillement à l'encontre des agriculteurs de la commune d'El Meghaier (Barkadjia) qui ont été d'une gentillesse incroyable et nous ont orientés pour mener à bien notre étude.

À Monsieur Kamal, Madame Nadia, Madame Zeineb, et Madame Moufida, administrateurs au laboratoire du département des sciences agronomiques de Biskra, qui m'ont accompagné pendant toute la période de mes analyses.

À Mr. Elben Zarough étudiant en master réseau et télécommunication, qui m'a été d'une grande aide.

Et pour finir, j'adresse mes sincères remerciements à toutes ces personnes que j'ai rencontrées durant ces cinq dernières années qui ont contribué un jour à mon épanouissement et à tous les intervenants qui par leurs conseils, encouragements et critiques ont guidé mes réflexions.

Sommaires

Dédicaces	I
Remerciements	II
Sommaires	III
Liste des figures	VIII
Liste des tableaux	X
Liste des abréviations	XI
Introduction	1
Partie I : Synthèse bibliographique	3
Chapitre 1. Présentation de la zone d'étude	4
I.1.1. Situation géographique.....	4
I.1.2. La Population et les différents secteurs d'activités	5
I.1.3. Situation De L'agriculture dans la zone d'étude	7
I.1.4. Description hydrographique et hydrogéologique de la zone de Barkadjia	8
I.1.5. Caractéristiques Pédologiques de la région	10
I.1.6. Le Relief.....	10
I.1.7. Le Climat.....	11
I.1.7.1. La Température.....	12
I.1.7.2. Les Précipitations	12
I.1.7.3. L'Humidité de l'air	13
I.1.7.4. Les Vents	13
I.1.7.5. Synthèse Climatique	13
I.1.8. Le Profil pédologique du périmètre de Barkadjia	15
I.1.8.1. Description morphologique du profil	15
I.1.8.2. Description d'un type de profil (P1) : Informations générales	16
Chapitre 2 : Généralités sur le fumier	17
I.2.1. Quantité de fumier et les dates optimales d'épandage.....	17
I.2.2. Type de fumier.....	17
I.2.2.1. Le Fumier traditionnel.....	17
I.2.2.2. Le Fumier amélioré.....	18
I.2.3. Comment optimiser la qualité agronomique du fumier?	18
I.2.4. Quelle est l'utilité du fumier ?	19

Chapitre 3 : Généralités sur le Biochar	20
I.3.1. Historique du biochar	20
I.3.2. Définition du biochar	22
I.3.3. Les applications du biochar	22
I.3.4. Production du biochar par la pyrolyse	23
I.3.4.1. Les différents types de pyrolyses : (Ludovic).....	24
I.3.5. Rôle de biochar.....	25
I.3.6. Les propriétés du biochar	25
I.3.6.1. Les caractéristiques physiques.....	25
I.3.6.2. Les caractéristiques chimiques	27
I.3.7. Les effets du biochar.....	28
I.3.7.1. Effets biologiques et agronomiques :	28
I.3.7.2. Effets physico-chimiques (amendement)	28
I.3.7.3. Effet du biochar sur la texture du sol	29
I.3.7.4. Effet du biochar sur la CR du sol.....	29
I.3.7.5. Effet du biochar sur la CE du sol	29
I.3.7.6. Effet du biochar sur la CEC du sol	29
I.3.8. Effet du biochar sur les propriétés biologiques du sol	30
I.3.9. Effets du biochar sur le végétal	30
I.3.10. Prétraitement du biochar (Activation).....	31
I.3.11. Vers une fertilisation intégrée et durable :	31
I.3.12. Les étapes de la production du Biochar: (exemple sur la production du biochar issus des déchets du palmier dattier)	32
Chapitre 4 : Généralités sur l'orge.....	33
I.4.1. Importance et production de l'orge	33
I.4.1.1. Dans le monde	34
I.4.1.2. En Algérie.....	34
I.4.2. Utilisation de l'orge	34
I.4.2.1. Alimentation animale	34
I.4.2.2. Alimentation humaine	35
I.4.3. Différences entre les cultures d'orges	36
I.4.4. Utilisation des grains.....	36
I.4.4.1. Orge fourragère.....	36

I.4.4.2.	Orge de brasserie	36
I.4.5.	Caractères botaniques et généraux de la plante	38
I.4.5.1.	Classification botanique de l'orge.....	38
Partie II :	Matériels et méthodes	42
II.1.	Localisation de l'essai.....	43
II.2.	Dispositif expérimental.....	46
II.3.	Calcul des doses d'amendements.....	48
II.3.1.	Surface d'unité parcellaire.....	48
II.4.	Description de l'expérimentation	50
II.5.	Echantillonnage des eaux et des sols	52
II.5.1.	Prélèvements du sol :	52
II.5.2.	Prélèvement de l'eau d'irrigation.....	53
II.6.	Les analyses des sols et des eaux au laboratoire	53
II.6.1.	Les méthodes d'analyse du sol : (Aubert G, 1978).....	53
II.6.2.	Les paramètres physiques.....	54
II.6.2.1.	La densité apparente : Méthode du cylindre	54
II.6.2.2.	L'humidité du sol (Baize et Jabiol, 1995).....	55
II.7.	Les paramètres chimiques du sol.....	56
II.7.1.	Le pH est obtenu à partir de la solution du sol 1/2,5. (CRSTRA)	56
II.7.2.	La conductivité électrique : CE 1/5	56
II.7.3.	Détermination de la CEC	58
II.7.4.	Le calcaire total :	59
II.7.5.	La granulométrie : Méthode du tamis	60
II.7.6.	Le Dosage du gypse : (Méthode trouvée au niveau du laboratoire du département des sciences agronomiques de Biskra)	62
II.8.	Les analyses de l'eau : (Rejsek, 2002).....	63
II.8.1.	Le taux de Chlorure : (Méthode argentimétrique).	64
II.8.2.	Dosage des Bicarbonate : Méthode visuelle.....	65
II.8.2.1.	Détermination de l'alcalinité composite.....	65
II.8.2.2.	Détermination de l'alcalinité totale	66
II.8.3.	Dosage du calcium Ca ++ par le spectrophotomètre d'absorption atomique (au début de l'expérimentation).....	66
II.8.4.	Dosage du magnésium (Mg++) par le spectrophotomètre d'absorption atomique	68
II.8.5.	Dosage du sodium (Na) par le spectrophotomètre de flamme.....	71

II.8.6.	Dosage du potassium (K ⁺) par le spectrophotomètre de flamme	71
II.8.7.	Dosage du phosphore assimilable (méthode de Joret -Hebert).....	71
II.8.8.	Dosage de l'azote Total (Méthode Kjeldahl)	73
II.8.9.	Dosage du carbone organique et détermination de la Matière organique (Méthode Walkley et Black) 75	
II.8.10.	Dosage des sulfates par le spectrophotomètre UV visible	77
II.9.	Matériel végétal.....	79
II.9.1.	Les Paramètres étudiés : Les stades végétatifs	79
II.9.2.	Les Composantes du rendement	80
II.9.2.1.	Nombre d'épis par mètre carré (NE).....	80
II.9.2.2.	Nombre de grains par épi (NGE)	80
II.9.2.3.	Poids de 1000 grains	80
II.9.2.4.	Rendement	80
Partie III :	Résultats et discussions	82
III.1.	Les Résultats et discussions de la composition de l'eau d'irrigation.....	83
III.1.1.	Résultats	83
III.1.2.	Discussions.....	84
III.2.	Les Résultats et discussions des paramètres physiques et chimiques des sols de la zone d'étude : Au début (1) et à la fin de l'expérimentation (2)	85
III.2.1.	Les paramètres physiques :.....	85
III.2.1.1.	La granulométrie :.....	85
III.2.1.2.	La densité apparente « da »	85
III.2.2.	Le potentiel d'hydrogène pH :.....	86
III.2.3.	La conductivité électrique en ds/m	89
III.3.	Les paramètres chimiques des sols :	91
III.3.1.	Le calcaire total	91
III.3.2.	Le gypse	93
III.3.3.	La capacité d'échange cationique (CEC).....	94
III.3.4.	La matière organique au début et à la fin de l'expérimentation	96
III.3.5.	Les ions de la solution du sol :	97
III.3.5.1.	NLe calcium Ca ⁺⁺ et le magnésium Mg ⁺⁺	98
III.3.5.2.	Le sodium Na ⁺ et le potassium K ⁺	102
III.3.5.3.	Les bicarbonates HCO ₃ ⁻	104
III.3.6.	Le phosphore assimilable P ₂ O ₅	107

III.3.7. L'azote Total N%	109
III.3.8. Le rapport C/N.....	111
III.4. Les paramètres de la culture.....	112
III.4.1. Les Composantes de rendement	113
III.4.2. Rendement.....	115
III.4.2.1. Longueur et Poids des épis	115
III.4.2.2. Rendement en grains	116
III.5. Etude statistique des paramètres de la culture (les composantes du rendement).....	117
III.5.1. Le poids totale (épi + paille + mauvaises herbes) en g	117
III.5.2. Le poids net en g.....	118
III.5.3. Le nombre d'épi/m ²	119
III.5.4. La longueur d'épi en cm.....	120
III.5.5. Le nombre de grains /épi.....	121
III.5.6. Le poids d'épi (g).....	122
III.5.7. Le poids de 1000 grains	122
Conclusion.....	123
Bibliographie.....	126
Résumé.....	132
Abstract.....	133
ملخص	134

Liste des figures

Figure I. 1 : Carte.1–Vallée d’Oued Righ (Dubost., 1991)	4
Figure I. 2 : Carte.2-Situation géographique de la région d'El-Meghaïer (E.N.S.,2000; ENCARTA,2006) (modifiée).....	5
Figure I. 3 : Répartition de la surface agricole totale au niveau de la commune	8
Figure I. 4 : Carte.3-Pentes Du Périmètre De BARKADJIA	11
Figure I. 5 : Diagramme ombrothermique de Gaussen d’El-Meghaïer (2011–2020).....	14
Figure I. 6 : Carte 04 : profil pédologique du périmètre de Barkadjia	16
Figure I. 7 : Profils transversaux de 1 mètre de profondeur comparant Terra Preta à gauche, avec Oxisol à proximité, à droite, du type que l'on trouve normalement dans le bassin amazonien. [Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G. et Zech, W. (2001).	21
Figure I. 8 : Image Microscopique de biochar (Lehmann et Joseph, 2009)	27
Figure I. 9 : Quelques étapes de production du Biochar	33
Figure I. 10 : Coupe longitudinale d'une graine d'orge	39
Figure I. 11 : Cycle de l'orge.....	40
Figure II. 1 : Carte 05 : Situation du périmètre de Barkadjia	45
Figure II. 2 : Site expérimental (photo originale).....	46
Figure II. 3 : Dimensions des cases du tableau II.2.....	48
Figure II. 4 : Semis de l’orge et applications des différents traitements (Image réelle).....	52
Figure II. 5 : Échantillonnage de sol à l’aide d’une tarière (photo originale).....	53
Figure II. 6 : Séchage des différents échantillons de sols prélevés (photo originale)	54
Figure II. 7 : Mesure du pH (photo originale).....	56
Figure II. 8 : Mesure de la CE (Photo originale).....	57
Figure II. 9 : Détermination de la CEC	59
Figure II. 10 : le calcimètre de Bernard (photo originale)	60
Figure II. 11 : Tamisage et pesée de l’échantillon de sol	61
Figure II. 12 : Forage de l’eau d’irrigation (photo originale)	63
Figure II. 13 : Dosage du taux de chlorure dans l’eau d’irrigation (photo originale)	65
Figure II. 14 : Pic de calcium Ca ²⁺ (photo originale).....	67
Figure II. 15 : Spectrophotomètre d’absorption atomique.....	68
Figure II. 16 : Pic du magnésium Mg ²⁺ (photo original)	69
Figure II. 17 : Dosage du Ca ⁺⁺ et du Mg ⁺⁺ par titration (photo originale).....	70
Figure II. 18 : Le photomètre à flamme (photo originale).....	71
Figure II. 19 : Dosage du phosphore assimilable par le spectrophotomètre UV visible	73
Figure II. 20 : Dosage de l’azote total (photo originale)	75
Figure II. 21 : Dosage du carbone organique (photo originale).....	76
Figure II. 22 : Spectrophotomètre UV visible (photo originale).....	78

Figure III. 1 : Diagramme de piper de l'eau d'irrigation (CT)	84
Figure III. 2 : Diagramme du potentiel d'hydrogène	86
Figure III. 3 : Diagramme de la conductivité électrique des différents traitements.....	89
Figure III. 4 : Diagramme du calcaire total	91
Figure III. 5 : Diagramme de la capacité d'échange cationique	94
Figure III. 6 : Histogramme de l'évolution de la matière organique.....	96
Figure III. 7 : Histogramme du calcium Ca ⁺⁺	98
Figure III. 8 : Histogramme du magnésium Mg ⁺⁺ (mg/l) au début (Mg ⁺⁺¹) et à la fin de l'expérimentation (Mg ⁺⁺²)	100
Figure III. 9 : Histogramme sodium Na ⁺ en (mg/l)	102
Figure III. 10 : Histogramme du potassium K ⁺ (mg/l)	103
Figure III. 11 : Histogramme des bicarbonates.....	104
Figure III. 12 : Histogramme des sulfates SO ₄ ⁻	105
Figure III. 13 : Histogramme de la teneur en phosphore assimilable.....	107
Figure III. 14 : Histogramme de la teneur en azote.....	109
Figure III. 15 : Histogramme du rapport C/N des différents traitements	111
Figure III. 16 : Récolte et grains de l'orge cultivée (photo originale).....	112
Figure III. 17 : Diagramme exprimant le nombre d'épis et de grain par épi par m ²	113
Figure III. 18 : Diagramme du poids de 1000 grains des différents traitements.....	114
Figure III. 19 : Diagramme du poids et longueur des épis	115
Figure III. 20 : Rendements en grains des différents traitements	116

Liste des tableaux

Tableau I. 1 : Répartition de la population par branche d'activité . Error! Bookmark not defined.	
Tableau I. 2 : Données climatiques de la région d'Oued Righ (2011-2020).....	12
Tableau I. 3 : les types de pyrolyse et ces propriétés	24
Tableau I. 4 : Rendements moyens de l'orge dans les communes (2023/2024) (source DSA El Meghaier).....	41
Tableau II. 1 : Localisation et coordonnées du périmètre « Barkadjia ».....	44
Tableau II. 2 : Dispositif en bloc aléatoire avec quatre (4) blocs et quatre (4) traitements + un témoin	47
Tableau III. 1 : Evaluation de la qualité de l'eau d'irrigation de la zone d'étude	83
Tableau III. 2 : Granulométrie de la zone d'étude	85
Tableau III. 3 : Classification du pH. (Référentiel pédologique Français) in (Baize, 1988).....	88
Tableau III. 4 : Classe de la qualité des sols selon l'échelle de Durand J.H. (1983)	90
Tableau III. 5 : Interprétations selon (Baize, 1988)	92
Tableau III. 6 : Taux de gypse du périmètre de Barkadjia et normes d'interprétations	93
Tableau III. 7 : Classes d'appréciation des sols d'après la qualité des bases échangeables en méq pour 1000g du sol (référentiel pédologique 1992)	95
Tableau III. 8 : Interprétation de la matière organique (source I.T.A. 1977)	97
Tableau III. 9 : Normes d'interprétations du magnésium : (référentiel pédologique 1992 et ENITA de bordeaux 2000).....	101
Tableau III. 10 : Interprétations selon les normes d'interprétations pour le phosphore assimilable Olsen.....	109
Tableau III. 11 : Tableau de rendement moyen de la culture des différents traitements (voir annexe).....	112
Tableau III. 12 : Poids total.....	117
Tableau III. 13 : Poids net.....	118
Tableau III. 14 : Nombre d'épi par m ² des différents traitements.....	119
Tableau III. 15 : Longueur d'épi (cm).....	120
Tableau III. 16 : Nombre de grains par épi.....	121
Tableau III. 17: Poids d'épi	122
Tableau III. 18 : Poids de 1000grains (g)	122

Liste des abréviations

AgNO₃ : Nitrate d'argent ; NaCl : chlorure de sodium ; NaOH: Hydroxyde de sodium

APFA : Accession à la Propriété Foncière Agricole

BTP : Secteur économique du Bâtiment et des Travaux Publics

CaCO₃ T : calcaire total ; HC0₃⁻: bicarbonates; SO₄⁻ : sulfates

CE : Conductivité Électrique; pH: Potentiel d'hydrogène; CEC : capacité d'échange cationique

CO: carbone organique; MO : Matière organique

da: densité apparente ; ds/m: decisiemens par mètre

DACM: Direction de l'Aviation Civile et Météorologie

DSA : Direction des Services Agricoles

FAO: Food and Agriculture Organization

FNRDA : Fond National de Régulation et de Développement Agricole

INRAA : Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie

MADRP : Ministère de l'Agriculture du Développement Rural et de la Pêche

mg/l: milligramme par litre ; Ppm: partie par million

Mg²⁺: Magnésium ; Ca²⁺: calcium; Na⁺: Sodium échangeable ; K⁺: Potassium échangeable

N: Azote; P: Phosphore; K: Potassium; P₂O₅: Phosphore assimilable

NE : Nombre d'épi; NGE : Nombre de grains par épi; PMG : Poids de milles grains

RDT : Rendement Théorique

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitation

SAT: Superficie Agricole Totale; SAU: Superficie Agricole Utilisée

Introduction

En Algérie, les régions arides et semi-arides se caractérisent par un sol pratiquement squelettique. La sévérité du climat dans ces régions, caractérisée par les rares précipitations et les fortes températures, associées aux surpâturages, a eu un impact très visible qui a conduit à une diminution de la productivité agricole. Il en résulte, à cet effet, une perte dans le stock des matières minérales et organiques dans le sol qui devient infertile.

Devant cette situation, la restauration des sols par d'autres fertilisants devient une initiative primordiale. De nombreuses études effectuées au cours de la dernière décennie sur l'utilisation des bio chars comme amendement démontrent qu'il possède plusieurs avantages physicochimiques et biologiques et qui s'avère une avenue prometteuse pour une agriculture durable (Lehmann et al., 2011).

Les biochars sont des composés organiques, leurs amendements au sol permettent d'accroître la santé, la croissance des plantes et la productivité du sol, mais aussi ils permettent la séquestration du carbone dans les sols durant de nombreuses années (Revell et al., 2012. Liu et al., 2016).

Le Sahara, en tant qu'entité géographique, climatique et écologique, présente des conditions naturelles particulières qui lui confèrent une spécificité de l'agriculture qui y est pratiquée et que l'on dénomme l'agriculture saharienne (Bouammar, 2000).

La région dite « Oued-Righ » dans le Sahara algérien septentrional, est connue par le développement considérable des oasis qui produisent des dattes de bonne qualité. Le palmier dattier revêt une importance capitale dans la stabilité socio-économique du Sahara algérien qui représente les (4/5) du territoire national (Dubost,1991).

La culture des palmiers dattiers (*Phoenix Dactylifera* L.) est considérée parmi les cultures les plus importantes dans les zones arides et semi-arides. Elle joue un rôle important dans la vie économique et sociale des populations de ces régions. La production dattier en Algérie a évolué de 5 528 (2007/08) à 9.903 milliers de quintaux (2014/2015) selon MADRP (2015). De ce fait, elle occupe une place importante parmi les productions arboricoles avec une proportion de 20%

Aujourd'hui, Un nouveau système inédit, fondé essentiellement sur l'émergence de nouvelles plantations agricoles, et ce, grâce à la loi 83/18 portant A.P.F.A, regroupant des périmètres de mise en valeur. Il met en évidence une nouvelle agriculture qui vise principalement la généralisation de la polyculture telle que le maraîchage, la céréaliculture à grande échelle sous centre pivot, l'arboriculture fruitière et les fourrages.

Bien que l'ajout de biochar puisse générer des effets bénéfiques, il peut également entraîner des effets neutres, voire néfastes sur la croissance des plantes. La manifestation de ces effets dépend de la composition du biochar, du type de sol utilisé et des besoins spécifiques des plantes cultivées. Dans ce contexte, dans l'objectif de bien comprendre comment le biochar agit sur la fertilité du sol de la région d'El Meghaier, que cette étude est conduite. Elle vise à mettre en relief l'effet des biochar sur les paramètres, et les propriétés physicochimiques du sol et sur la production de l'orge et à comprendre comment le biochar affecte la productivité du sol et aussi la croissance des plantes.

Ce modeste mémoire est structuré en trois parties :

- Une première partie consacrée à l'étude bibliographique relative à la présentation de la zone d'étude sur les différents apports organiques : biochar, fumier et sur la culture d'orge ;
- Une deuxième partie porte sur la méthodologie adoptée et les matériaux utilisés pour la réalisation de cette recherche.
- Une troisième partie porte sur les résultats et les discussions des analyses effectuées au laboratoire ; une étude statistique des composantes du rendement et de l'expérimentation sur le terrain.
- Et enfin, une conclusion et les références bibliographiques.

Partie I : Synthèse bibliographique

Chapitre 1. Présentation de la zone d'étude

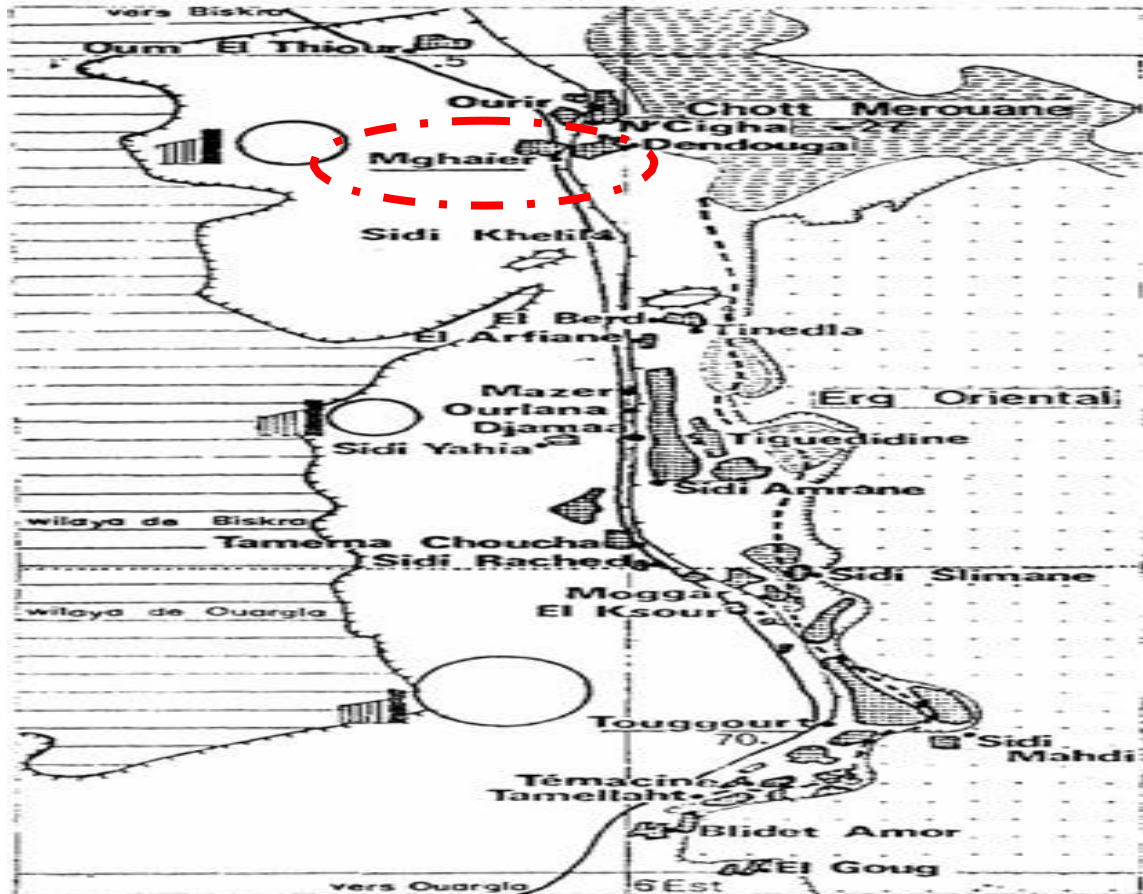


Figure I. 1 : Carte.1–Vallée d'Oued Righ (Dubost., 1991)

I.1.1. Situation géographique

La vallée d'Oued Righ est la plus vaste palmeraie de la partie septentrionale du Sahara algérien. Elle est située géographiquement entre la latitude $23^{\circ} 54'$ Nord et $34^{\circ} 9'$ Sud avec une longitude moyenne de 6° Est (I.N.R.A.A., 2001). Elle s'étale sur une surface totale de 26934,32 ha (Chemala, 2006). D'après Dubost (1991), la vallée est située entre le grand erg oriental à l'Est et le plateau du M'Zab à l'Ouest (Carte. 1). La région d'étude concerne le Nord de l'Oued Righ, précisément EL- Meghaier (Carte. 2). La région d'EL Meghaier est une zone de dépression,

l'abaissement de cette région est environ de 1,50 m au niveau de la mer. La région d'El-Meghaïer limitée au Nord par les palmeraies de Ziban, à l'Ouest par les palmeraies de OuledHarkat, au Sud par les oasis de Djamaâ, à l'Est par le chott Melghir, les dunes et les palmeraies en Ghotte d'Oued Souf(DACM 2008).

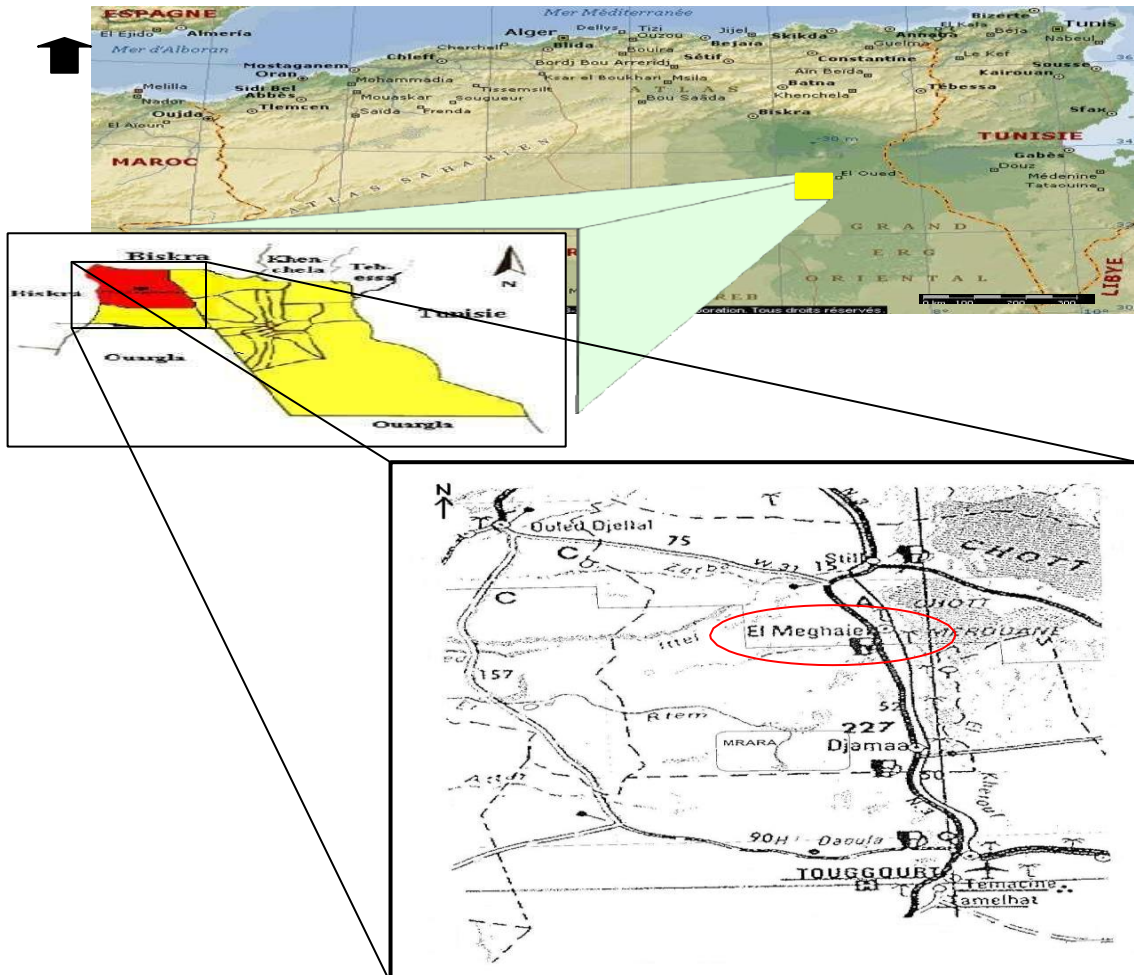


Figure I. 2 : Carte.2-Situation géographique de la région d'El-Meghaier (E.N.S., 2000; ENCARTA,2006) (modifiée)

I.1.2. La Population et les différents secteurs d'activités

La population de la commune d'El Meghaier est passée de 30 395 habitants en 1987 à 49 793 habitants en 2008 soit un accroissement annuel de 2,38%,avec cependant un léger fléchissement au cours de la dernière décennie où le taux de croissance a été de 2,2% .Cependant,

on note un accroissement de la population entre 2008 et 2010 soit 3022 habitants essentiellement au niveau du chef-lieu cause l'attractivité de la zone. La densité de la population s'élève à 32,50 habitants au km² selon le RGPH 2008. Cette densité a augmenté très légèrement en 2010 soit 34,47 hab/km² pour une superficie égale à 1532 Km². L'agriculture constitue l'activité Principale. Elle emploie plus de 90% de la population active.

Le système d'irrigation pratiquée au niveau de cette zone est la méthode de l'irrigation traditionnelle et le goutte à goutte.

La commercialisation des produits de l'agriculture se fait au niveau des marchés dromadaires (El Meghaier, Biskra, Still).- on note une insuffisance concernant la capacité de stockage. Cela implique la vente sur pied qui a un impact négatif sur le revenu.

- Le financement des activités agricoles provient surtout de l'État grâce aux divers programmes réalisés.

- En matière d'élevage la commune concernée par l'étude totalise un effectif total, estimé à 22358 équivalents ovins et il est composé de :

- ovins 14000 équivalents ovins soit 63% de l'effectif total,
- Caprins 8000 équivalents ovins soit 34% de l'effectif total,
- Camelins 330 équivalents ovins soit 2% de l'effectif total.

La Répartition du cheptel montre la dominance de l'élevage ovin (63%) suivie par caprin (34%), ceci est lié à l'existence des ressources pastorales, à la vocation et aux traditions de la région.

Il est à noter que l'espèce cameline n'est pas très représentée.

- La conduite pratiquée est de type extensif toutes espèces confondues.
- En période de disette, les éleveurs se déplacent avec leurs troupeaux vers le Nord où les zones pâturages offrent de meilleures potentialités fourragères.

- Les éleveurs écoulent leurs productions au niveau des marchés hebdomadaires. Source: DSA EL Meghaier 2020

I.1.3. Situation De L'agriculture dans la zone d'étude

La Région d'El Meghaier est à vocation phoenicicole mais on trouve quelques arbres fruitiers, du maraîchage, et des fourrages.

L'occupation actuelle des sols et la sole agricole en particulier a été réalisée sur la base des données statistiques recueillies auprès de la Direction des Services Agricoles d'El Meghaier Pour La Campagne 2019/2020.

* L'occupation Actuelle Des Sols Répartit Comme suit :

- Les terres à production permanente sont les plus dominants au niveau de la commune, composées de parcours et de pacages occupent presque la totalité de la superficie agricole totale soit 94% (141930 ha),
- La Superficie agricole Utile (SAU) représente 5% de la SAT (7 112 ha) dont 6042 menée en irrigué,
- Les terres improductives caractérisent la plus faible superficie avec 1602 ha soit 1% de la SAT dont la surface totale est 141930 ha.
- La sole Agricole Utile(SAU) est de type saharien dominée par le palmier dattier avec 6264 ha soit 85% de la SAU. Les principales variétés les plus pratiquées sont la dattes fine (Deglet Nour) ayant une haute valeur commerciale, la dattes molle (Ghars) de qualité moyenne la dattes sèche (Degla Beida).
- Les céréales d'hiver (blé dur et tendre et orge) avec 560 ha viennent en deuxième position après la palmeraie. La culture Blé dur représente la spéculation importante sur le plan superficie (410,5 ha) en raison de son adaptation, sa production est de 12915 QX. Ces céréales servent pour l'alimentation humaine et animale.
- Les arbres fruitiers sont également pratiqués notamment la plantation en olivier qui occupe 49.15ha.
- Les cultures maraîchères occupent une superficie restreinte de 114 ha. Les Cultures Pratiquées Sont: la tomate, l'oignon, l'ail, le melon-pastèque, la carotte, le piment et à degré moindre le poivron, la courgette, le navet, la fève verte.

- L'oignon et la carotte constituent les spéculations dominantes des cultures maraîchères.
- Les cultures maraîchères sous serre sont également pratiquées (tomate, piment, concombre, courgette), sur très faible superficie. On présente quelques cultures fourragères comme la luzerne et l'orge vert, mais.
- *Occupation du sol :
- La commune d'El Meghaier est à vocation agro-pastorale avec 94% de pacages et parcours de la SAT (141930 ha) et 5% de surface agricole utile. Les terres improductives n'occupent que 1% de la surface agricole totale.

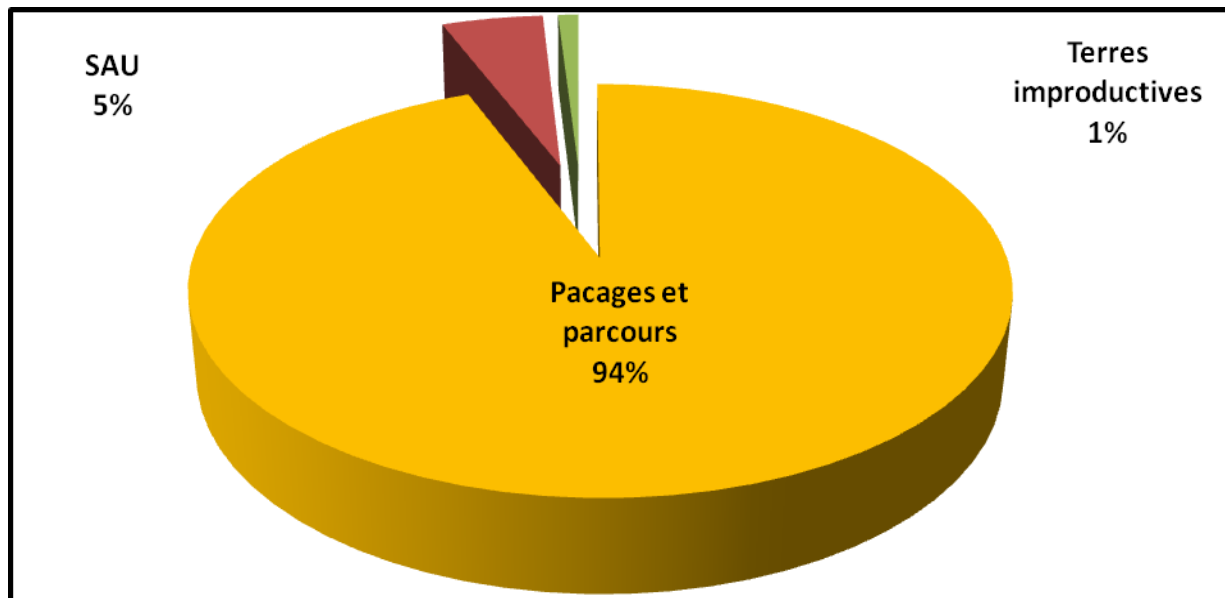


Figure I. 3 : Répartition de la surface agricole totale au niveau de la commune

I.1.4. Description hydrographique et hydrogéologique de la zone de Barkadjia

Dans la zone d'étude, les eaux superficielles sont intimement liées à une pluviométrie très limitée d'où, d'une manière générale, les eaux destinées à l'irrigation proviennent surtout des eaux souterraines. Dans cette optique, la recherche sur le terrain et l'analyse des données provenant de la documentation existante et collectées auprès des services locaux concernés

mettent en évidence l'existence de deux systèmes aquifères majeurs, à savoir la nappe du complexe terminal et celle du continental intercalaire (albien).

a) **Le complexe terminal (CT)** : Regroupe les formations les plus récentes déposées au Bas-Sahara depuis le crétacé supérieur et limité géographiquement à l'ouest par la dorsale du M'Zab, au nord par l'accident majeur de l'Atlas Saharien, à l'est par le Dahra tunisien et au sud par une ligne passant au nord de l'axe In Salah - In Amenas. (R P C FAO/Banquemoniale 1994). Il regroupe trois nappes phréatiques :

- **La première nappe dite** des sables est en réalité un réseau de petites nappes communicantes, elle se situe dans les sables plus ou moins argileux du Pliocène (Drouiche, 2011). Cette nappe est partout présente au Sahara dans les dépressions ou les vallées avec une profondeur n'excédant pas 50 m et dont les eaux sont généralement exploitées par des puits. Elle est alimentée par les pluies, les crues, les écoulements diffus, les eaux de drainage et aussi très souvent par les remontées naturelles en provenance des aquifères plus profonds (Abdelaziz, 2015).
- **La deuxième nappe** : Elle est constituée dans les sables Pontien du Miocène supérieur, beaucoup plus continus et perméables que les précédents (Drouiche A, 2011). Cette nappe se rencontre à une profondeur de 80 à 200 m, ses eaux sont relativement froides (20 à 25°C) mais elles sont aussi salées (5 à 7g/l), son épaisseur moyenne est de 30 m (Etude Tesco, 1992) in (Abdelaziz, 2015)
- **La troisième nappe** : C'est l'aquifère le plus profond, il se trouve dans le calcaire de l'Éocène supérieur et l'Eocène inférieur et moyen. Cette nappe est dite la nappe des calcaires. Cette nappe se situe à une profondeur allant de 200 à 500 m (Etude TSCO, 1992) in (Abdelaziz, 2015).

b) **Le continental intercalaire CI**: Appelée souvent « nappe albienne », (Drouiche A, 2011). Cet immense réservoir progressivement reconnu a été délimité entre 1940 et 1960. Il regroupe l'ensemble des formations continentales (argilo-sableuses) qui se sont déposées avant la transgression marine du crétacé supérieur caractérisée par d'épais sédiments marno-argileux et couvrant tout le Sahara du Maroc à la Libye. Ce réservoir s'étend sur près de 1 million de km² en Algérie, Tunisie et Libye et présente une épaisseur utile (sables et grès propres)

pouvant dépasser plusieurs centaines de mètres. La profondeur de cette nappe passe progressivement de 800 m à Ouargla et de 1300m à Touggourt et 2600m à Biskra (R P C FAO/Banque Mondiale 1994). Cet aquifère couvre dans le Sahara algérien une superficie de 600 000 km² et renfermant 50 000 milliards de km³ d'eau souterraine évidemment d'origine fossile (Corne in Dubost, 1991) in (Abdelaziz, 2015)

I.1.5. Caractéristiques Pédologiques de la région

L'analyse du sol repose principalement sur des prospections pédologiques sur le terrain, ainsi que sur des descriptions morphologiques des profils, afin de déterminer et d'évaluer certaines caractéristiques du sol (profondeur, texture, structure, porosité, etc.). Des analyses physico-chimiques ont également été effectuées au laboratoire du département des sciences agronomiques, telles que la granulométrie, le pH, la conductivité électrique, le calcaire total et actif, la matière organique et la fertilité chimique. * D'après l'analyse, il s'agit d'un sol à texture sablo- limoneuse, avec un pH moyennement élevé (variant entre 7,2 et 8,84), et une concentration en eau (CE) indique une salinité moyenne, variant. En observant ces caractéristiques, on peut déduire que ce périmètre est caractérisé par des potentialités pour la mise en valeur.

I.1.6. Le Relief

La topographie est caractérisée par un relief plat avec de faibles pentes inférieures à 3% (classe1)

Et des altitudes basses (<25 mètre) .Le relief constitue donc un facteur favorable à l'agriculture.

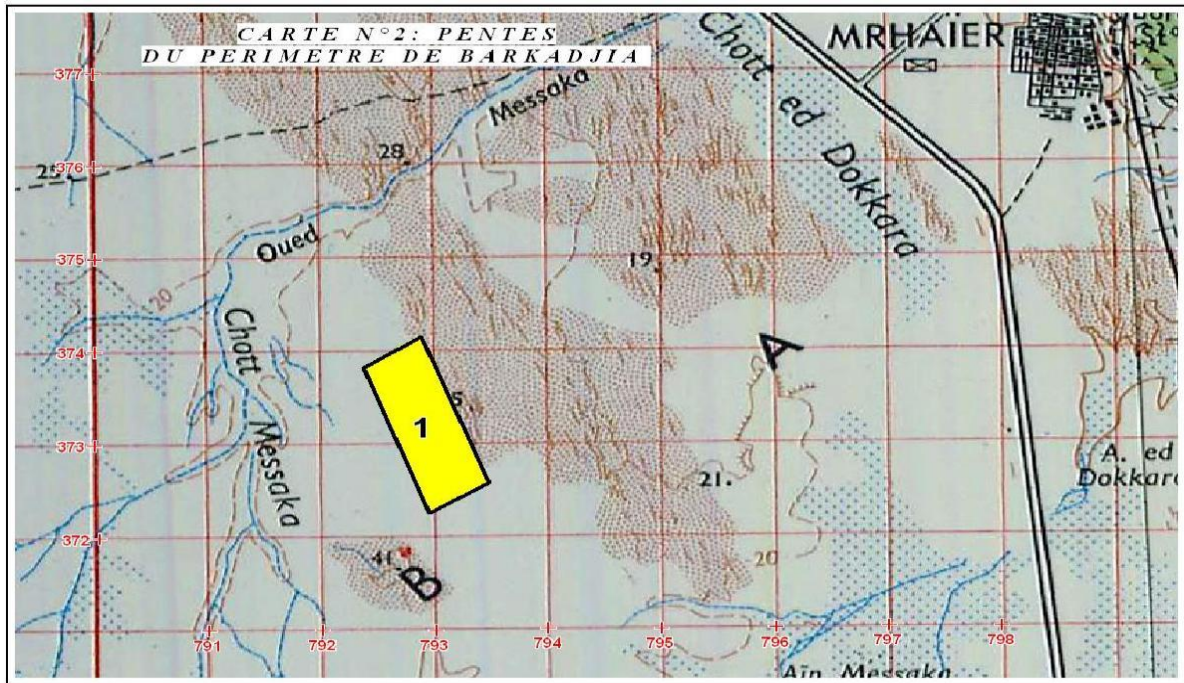


Figure I. 4 : Carte.3-Pentes Du Périmètre De BARKADJIA

I.1.7. Le Climat

Les facteurs climatiques sont étudiés à travers les températures, les précipitations, l'humidité et les vents. Le climat de la vallée d'oued Righ est un climat désertique, chaud, de type saharien caractérisé par des précipitations très irrégulières, par des températures élevées, accusant des amplitudes journalières et annuelles importantes, et par une faible humidité de l'air.

Tableau I. 1 : Données climatiques de la région d'Oued Righ (2011-2020)

facteurs Mois	Température (T°C)			Précipitation (mm)moyennemensuel	Humidité H%	Vitesse moyenne du vent (km/h)	Evaporation (mm)	Insolation en(heure)
	moyennemensuel	minimalemoyen	maximalemoyen					
janvier	11.02	4.4	18.1	0.99	56	9.5	99.1	252.55
février	12.7	06	19.7	04.5	51	11.2	127.56	238.76
mars	17.2	10.2	23.9	06	45	13.6	158.7	268.9
avril	22.28	15	29.2	05.3	39	14	204.76	288.53
mai	26.94	19.3	33.8	02.7	36	13.8	240.45	328.45
juin	31.74	24	38.7	0.2	31	12.6	283.39	318.55
juillet	34.98	27	42.2	00	27	11	336.85	363.27
août	33.86	26.5	40.8	01.3	32	10.4	296.73	341.30
septembre	29.88	23	36.6	07	40	10.5	217.43	274.19
octobre	23.6	17	30.5	01.7	45	09	174.26	278,17
novembre	16.6	10	21	06.2	54	09.6	134.48	254.88
décembre	11.7	06	18.6	03	61	08.2	90.62	301.30
	22.70*	15.70*	29.42*	38.89**	42.08*	11.11*	-	-

NB : * Moyenne ; ** Cumul SOURCE : (Tutiempo.net)

I.1.7.1. La Température

La région de oued Righ est caractérisée par des températures très élevées, la température moyenne annuelle est de 22,70 °C, la température moyenne minimum du mois le plus froid (janvier) est de 4.4 C°, la température moyenne maximum du mois le plus chaud (juillet) est de 42,20 C°). Voir le (tableau des données climatiques)

I.1.7.2. Les Précipitations

Dans notre région d'étude, les précipitations sont très rares et irrégulières à travers les saisons et les années. Le minimum est enregistré au mois d'août, avec 00mm et le maximum en novembre, avec 06.2 mm (Tableau des données climatiques).

I.1.7.3. L'Humidité de l'air

Les valeurs de l'humidité relative de la région d'étude sont relativement homogènes. D'après Le tableau des données climatiques, nous remarquons que la valeur minimale est enregistrée au mois de juillet (27%) où les températures sont élevées, et la valeur la plus élevée au mois de Décembre (61%), avec des températures basses. Selon Faurie et al (1980), l'humidité de l'air dépend de plusieurs facteurs, de la qualité d'eau tombée, du nombre de jours de pluies, de la forme de précipitation, la température, et des vents.

I.1.7.4. Les Vents

Dreux (1980) signale que le vent exerce une action indirecte sur les êtres vivants. Il active l'évaporation et augmente la sécheresse.

D'autre part, il constitue en certains biotopes un facteur écologique limitant (Ramade, 1984).A la région d'étude les vents dominants sont surtout enregistrés durant la période printanière, provenant d'Ouest au Sud-ouest. D'après le tableau(04) les vents les plus forts soufflent en fin d'hiver début printemps exactement enregistré au mois d'Avril avec 14 m/s et le minimum en mois Décembre avec 8,2 m/les vents de sable arrivent à la fin de la période printanière notamment pendant les mois de juin et juillet. Pour ce qui est du sirocco, il intervient assez fréquemment dans cette région, et agit positivement sur l'évolution des populations aviennes. D'après Beniston (1984) c'est un vent extrêmement sec. Il entraîne le sable en tourbillonnant et joue le rôle de facteur de mortalité vis à vis des oiseaux et des insectes proies potentielles.

I.1.7.5. Synthèse Climatique

La synthèse des données climatiques pour la région d'étude est représentée par le diagramme ombrothermique de Gaussen et par le climagramme pluviométrique d'Emberger.

I.1.7.5.1. Le diagramme ombrothermique : il est construit en portant en abscisses les mois de l'année et les températures sur l'axe de gauche et les précipitations sur l'axe de droite en prenant soin de doubler l'échelle des températures par rapport à celle des précipitations. La saison aride apparaît quand la courbe des précipitations passe en dessous de celle des températures (Dajoz, 1970 et Faurie et al. 1980) (Figure I.5).

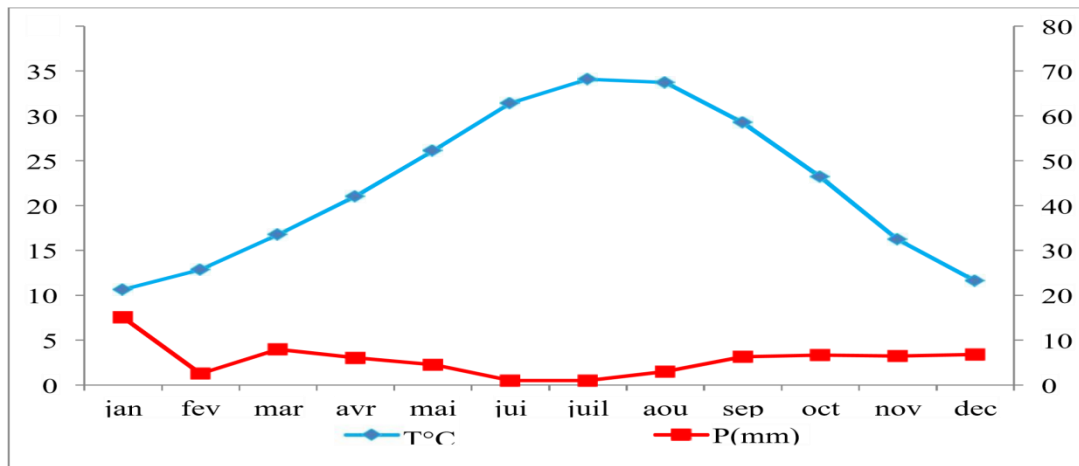


Figure I. 5 : Diagramme ombrothermique de Gaussen d'El-Meghaier (2011–2020)

I.1.7.5.2. Le Climagramme pluviothermique d'Emberger

Le climagramme d'Emberger est adapté aux régions du pourtour de la méditerranée. Il permet la classification d'une région parmi les étages bioclimatiques. Selon Stewart (1969). Le Quotient pluviothermique est calculé par la formule suivante:

$$Q3 = 3,43 \times P / (M - m)$$

- Q3 : est Le quotient pluviothermique d'Emberger
- P : est la somme des précipitations annuelles exprimées en mm
- M : C'est la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en °C.
- m : est la moyenne des températures minimale du mois le plus froid en °C.

Après avoir calculé de quotient pluviométrique, on peut conclure que la région d'oued Righ se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux.

I.1.8. Le Profil pédologique du périmètre de Barkadjia

Le périmètre de Barkadjia est constitué de différentes unités géologiques homogènes, qui représentent un sol calcimagnésique sous-classe de sol gypseuse. On peut observer cette catégorie de sols à travers toute la surface du périmètre, et elle se distingue par :

- Un aspect de surface quasiment identique et une charge caillouteuse très faible à nulle, avec des affleurements gypseux cristallisés en lamelles,
- La présence d'un horizon gypseux bien identifié et structuré,
- Une profondeur adéquate (plus de 80 cm),
- Une texture moyennement fine.

I.1.8.1. Description morphologique du profil

- H1 :0-40 cm : texture sableuse, structure meuble avec présence de paillettes de gypse brillante, nombreuses racines, activité biologique non marquée, matière organique non décelable.
- H2 : 40 - 60cm : texture sablo limoneuse, structure polyédrique fine à moyenne, peu friable, présence de gypse, quelque racines, activité biologique non marquée, matière organique nulle, porosité moyenne,
- H3 :60-80cm : texture limono sableuse, structure polyédrique moyenne, peu compact, activité biologique nulle, pas de matière organique, porosité faible

I.1.8.2. Description d'un type de profil (P1) : Informations générales

Géomorphologie : La pente varie de 0 à 3%.

Aspect de surface : très faible charge de cailloutis avec présence de gypse par endroit.

Exposition : Nord–Est

Occupation du sol : Parcours sahariens Végétation : *Salsola* sp *Traganum nudatum*,
Retama retam, *Limonia strumguyonianum* Coordonnées: Y=33°55'33''N et
X=005°52'02''E Altitude.

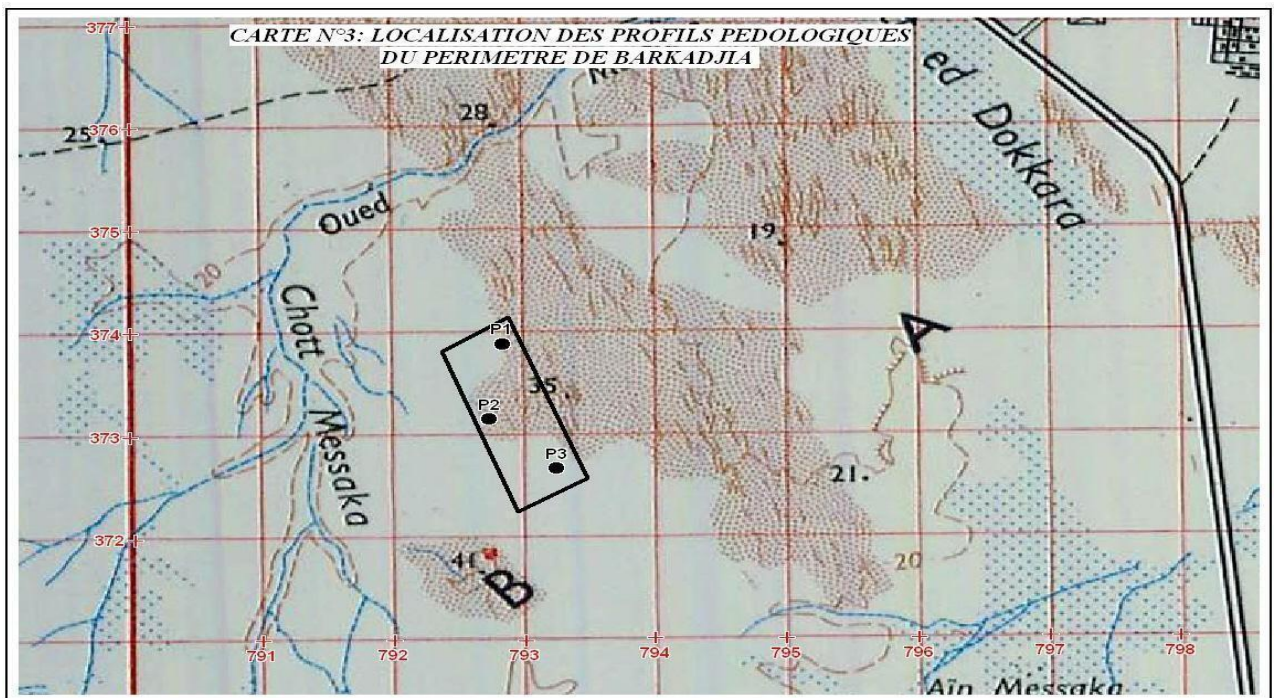


Figure I. 6 : Carte 04 : profil pédologique du périmètre de Barkadjia

Chapitre 2 : Généralités sur le fumier

Les fumiers produits sont des fertilisants organiques à utiliser en priorité pour couvrir les besoins des plantes en azote, phosphore et potasse. Actuellement, il n'existe pas de méthode permettant un dosage rapide de la valeur azotée du fumier. L'analyse en laboratoire est le seul possible pour déterminer la valeur des fumiers, (Ramdani, 2015). L'analyse doit porter sur les critères suivants : % de matière sèche, N total, P₂O₅ et K₂O.

I.2.1. Quantité de fumier et les dates optimales d'épandage

Les quantités à épandre peuvent varier de 20 à 50 t/ha pour les fumiers de bovins, de 20 à 50 tonnes par hectare pour les fumiers de bovins, et de 3 à 10 tonnes par hectare pour les fumiers de volailles. Les propriétés physiques des fumiers: (quantité de matière sèche, densité, cohésion et frottement interne) diffèrent considérablement d'un produit à l'autre.

Selon Leclerc (2001), cela entraîne des comportements variés dans l'épandeur, tels que lors de l'éjection du produit. Il est essentiel de bien ajuster la période d'épandage en fonction des besoins des cultures. Dans la ferme, le fumier amélioré est également produit dans un élevage semi-sédentarisé dans un système de production en voie d'intensification. En résumé, il est essentiel de mettre en place les méthodes de fertilisation des cultures, de stabulation des animaux et d'apport d'eau pour le compostage dans le système de production afin d'améliorer le fumier, le compostage étant la phase cruciale de l'amélioration.

I.2.2. Type de fumier

I.2.2.1. Le Fumier traditionnel

Le fumier traditionnel est produit dans la ferme. Chargé en sable, non composté, appelé poudrette, il est de mauvaise qualité fertilisante, sanitaire et organique (Ganry, 1998).

I.2.2.2. Le Fumier amélioré

Le fumier amélioré est produit également dans la ferme, dans un élevage partiellement sédentarisé au sein d'un système de production en voie d'intensification. Schématiquement, on peut dire que les techniques de fertilisation des cultures, de stabulation des animaux et d'apports d'eau pour le compostage doivent être mises en œuvre dans le système de production pour que le fumier soit amélioré, le compostage étant la phase essentielle de l'amélioration. A titre d'exemple, nous distinguerons trois types de fumier de bovins produits en stabulation, selon les matières végétales apportées. Les teneurs sont exprimées par rapport à la matière sèche organique ; les apports de terre, fréquents dans la pratique, réduisent ces teneurs.

Le fumier de foin de jachère contient davantage de phosphate, de potassium et de calcium, mais moins d'azote ; tandis que le fumier de paille de mil et de sorgho contient davantage d'azote, mais moins de phosphore et de potassium. La richesse initiale en phosphore, potassium et calcium du foin explique parfaitement ces résultats : elle est plus élevée que celle des pailles de mil et de sorgho, qui, produites en milieu paysan, sont plus pauvres en ces éléments que les pailles produites en culture fertilisée (Ganry, 1998).

I.2.3. Comment optimiser la qualité agronomique du fumier ?

- Éliminer les pathogènes : L'apparition de la phase exothermique due à la fermentation des pailles est primordiale, car elle entraîne, à l'instar du brûlis, la disparition des germes pathogènes et des graines d'adventices (Ganry et Sarr, 1983) et la destruction des zoospores et oospores de *Sclerospora* (Mbaye, 1994). Cette phase exothermique, inexistante dans le cas de la poudrette, caractérise le fumier amélioré.
- Enrichir le fumier en azote et phosphore On sait que la fixation biologique de N₂, expérimentalement mise en évidence, permet au moins de maintenir, en présence de matière cellulosique, le stock d'azote de départ malgré les pertes. Le compost permet une solubilisation du phosphore et du calcium des phosphates naturels incorporés au début du compostage, d'où la possibilité de constituer une fumure organique N-P au niveau de la ferme, celle-ci apportant généralement assez de potassium pour atteindre un objectif de

production d'une tonne par hectare, le potassium étant fourni par le sol et recyclé via les pailles (Gueye et al., 1986). Bertrand (1998) donne une explication à la richesse potentielle en potassium des sols de la zone soudanienne. Si possible inoculer le fumier et l'enrichir en matières végétales riches en fibres, cela fait partie de l'optimisation des conditions de production de fumier (Ganry, 1998).

1.2.4. Quelle est l'utilité du fumier ?

Constitué de matières fécales et de matière fibreuses (la paille), le fumier présente plusieurs avantages tant pour la terre que pour les végétaux:

- Il amende le sol, c'est-à-dire qu'il en améliore la structure et la texture. Ainsi, suivant le type et la qualité du fumier, une terre argileuse peut être allégée et une terre légère sera densifiée. Et logiquement, le sol augmente sa porosité à l'air et sa rétention à l'eau et aux substances fertilisantes.
- Il améliore l'activité biologique du sol car la microfaune trouve de quoi se nourrir. Tous les micro-organismes et les vers de terre transforment cette matière en humus
- Il a un rôle fertilisant de par sa haute teneur en azote, potassium et phosphore, mais aussi en minéraux. Il favorise ainsi le développement des végétaux.

Chapitre 3 : Généralités sur le Biochar

1.3.1. Historique du biochar

« Terra preta », couvre une surface de plus de 50'000 ha. La datation par radiocarbone indique que ces sols ont été formés entre 7000 et 500 années. Et sont d'origine précolombienne (Glaser, 2007). Les sols terra preta ont été redécouverts par le scientifique de sol Néerlandais, Wim Sombroek, en 1966.

Ces sols ont maintenu des quantités élevées de carbone organique plus de 70 fois la charge en nutriments des sols voisins, les sols noirs d'Amazonie ou Terra Preta sont les plus prisés des sols agricoles pour leur excellente fertilité, leur fort contenu en éléments nutritifs (C, N, P, K et Ca), leur bonne capacité d'échange cationique (CEC) et leur capacité à retenir et recycler les éléments nutritifs sur de longues périodes de culture Ailleurs. Le sol amazonien est plutôt pauvre en carbone et en nutriments, et il ne peut être utilisé pour la production agricole, même plusieurs milliers d'années après leur abandon, Une Terra Preta d'un hectare de profondeur peut contenir 250 tonnes de carbone par rapport à 100 tonnes dans un sol non amélioré (Lima et al, 2002;Factura, 2010)

Les analyses des sols noirs ont révélé des concentrations élevées de charbon et de matières organiques, tels que les restes végétaux et animaux.

La productivité de Terra preta est due à une bonne conservation des nutriments et à un pH neutre, dans les zones où les sols sont généralement acides.

L'équivalent actuel du charbon utilisé dans les sols noirs d'Amazonie est un biochar produit par le procédé de pyrolyse (Lehman, 2007)



Figure I. 7 : Profils transversaux de 1 mètre de profondeur comparant Terra Preta à gauche, avec Oxisol à proximité, à droite, du type que l'on trouve normalement dans le bassin amazonien. [Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G. et Zech, W. (2001).

En 2003, il a été rapporté que le plus grand producteur de biochar était le Japon avec 15000 t.an-1 (Sohi et al., 2010). En Suisse, la compostière « La Coulette » est le premier producteur de charbon végétal. Leur biochar est issu majoritairement de déchets forestiers. Leur production permet d'acheter du biochar en petite quantité à partir de 30 L à 35. Ils vendent également un mélange compost/biochar, nommé Terra preta, en référence à la terra preta d'Amazonie, très fertile mais n'étant pas identique puisque que c'est un amendement fabriqué. Depuis le 1er janvier 2012, une certification européenne sur le biochar est mise en place avec des lignes directrices pour introduire un contrôle dans la fabrication, l'usage et pour définir des qualités standards (Schmidt et al., 2012). Il est important de noter la possibilité durant le processus de fabrication du biochar de former des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), substances très toxiques (Hilber et al., 2012).

1.3.2. Définition du biochar

Le terme 'biochar' est l'abréviation de 'bio-charcoal'. du préfixe « bio » qui veut dire origine biologique et du mot anglais « charcoal » qui signifie charbon de bois. Bien que le terme biochar soit relativement nouveau, du charbon du bois a été ajouté aux sols pendant des millénaires par des procédés naturels (feux de forêt et de gazon) et par la main humaine.

- Le biochar a reçu beaucoup d'intérêt à l'échelle internationale au cours des dernières années. Produit carboné microporeux résultant de la thermo-dégradation de la biomasse (matières organiques) en l'absence d'oxygène (pyrolyse).
- Il est distingué du charbon de bois (obtenu par carbonisation) à usage énergétique par son orientation à être utilisé comme amendement du sol (Lehman, 2009).
- Le biochar est un matériau à base de charbon à grain fin, produit par pyrolyse. Grâce à ce dernier, la matière première change chimiquement pour former des structures plus résistantes à la dégradation microbienne que le matériau d'origine qui est de nombreuses sources différentes.

Les matériaux de type Biochar produits par des incendies de forêt sont déjà une partie importante de cycle global du carbone du sol. (Lehmann et al., 2009). Le biochar est très stable chimiquement et biologiquement et peut persister dans la nature pendant de longues périodes. Très peu connu sur la demi-vie du biochar parce que la récurrence de biochar dépend grandement d'une multitude de facteurs, tel que le type de Biomasse utilisée pour la pyrolyse, la production Les conditions, les propriétés du sol et le climat (Lehmann et al., 2006).

1.3.3. Les applications du biochar

Les applications du biocharont des intérêts divers (Lehmann & Joseph, 2009) :

- Environnemental : séquestration du carbone, réduction des gaz à effets de serre tels que le CO₂ (sujet de recherche porteur par l'engouement actuel sur l'environnement mais à approfondir)

- Gestion des déchets : le processus de pyrolyse réduit le volume de déchets et permet la génération de sous-produits intéressants, actuellement les déchets verts, forestiers, les déchets issus de papeterie sont valorisés.
- Le biochar montre globalement 3 fractions de carbone suivant la biodégradation (récalcitrant, labile et lessivable) et des cendres minérales. La grosse différence entre le biochar et la matière organique du sol est la plus grande proportion de C aromatique structural dans le biochar.
- Amélioration de la qualité des sols.
- Production d'énergie par l'utilisation de la chaleur produite pendant la pyrolyse ;
- De plus, des études sont en cours sur les éventuelles propriétés du biochar à adsorber des métaux lourds et/ou des substances chimiques nocifs pour l'environnement. (Mustin,2013)

Le processus de fabrication du biochar, la pyrolyse, est un procédé où les molécules organiques de la biomasse végétale sont cassées dans des conditions de température située entre 350°C et 1000°C, avec un niveau faible d'oxygène (< 2%). Environ 50% du carbone contenu dans les matériaux de base est retenu par le processus de pyrolyse ; néanmoins, ce taux peut varier en fonction des conditions de pyrolyse. Selon les températures de pyrolyse, les composés organiques sont plus ou moins dégradés. L'hémicellulose se dégrade entre 200 à 260°C, la cellulose entre 240-350°C, et la lignine entre 280-500°C. Les proportions de ces composés influencent le degré de réactivité ainsi que la structure physique des biochars (Downie et al., 2009).

1.3.4. Production du biochar par la pyrolyse

Le biochar est produit par un processus appelé pyrolyse, (pyro) feu, Décomposition (lyse) ou la biomasse et chauffée en absence d'oxygène partielle ou total à des températures élevées comprises entre 300-700°C ce procédé laisse un résidu solide élevé en carbone (environ 70 à 80 %) (Glaser et al., 2001)

La pyrolyse est une technologie thermo chimique relativement simple, peu coûteuse et robuste pour transformer la biomasse en bio-huile, biochar et gaz (David, 2009).

La pyrolyse se produit à des températures inférieures à 700 °, Mais certains paramètres peuvent être modifiés, tels que le taux de pyrolyse ou la quantité d'oxygène. En général, une pyrolyse plus rapide entraîne plus d'huiles et de liquides, une pyrolyse plus lente produit plus de gaz de synthèse. Minimiser l'oxygène présent pendant la pyrolyse optimise la production de biochar.

1.3.4.1. Les différents types de pyrolyses : (Ludovic)

Pour le processus de pyrolyse, il existe en différents modes de fonctionnement :

- Pyrolyse rapide, intermédiaire,
- Pyrolyse lente
- Et la gazéification.

Le matériau de départ pour tous les modes de pyrolyse doit être sèche (moins de 10% d'humidité) avant d'entrer dans le pyrolyseur.

Tableau I. 2 : les types de pyrolyse et ces propriétés

Type de procédé	Température (°C)	Durée (%)	Bio-oil	Biochar (%)
Torréfaction	290°C	10-60 min.	0-5	80
Pyrolyse Lente traditionnelle	400°C	Minute jour	30	35
Pyrolyse rapide	500°C	1 sec.	75	12
Gazéification	750-900°C	10-20 sec.	5	10
Pyrolyse lente moderne	>400°C	30-90 min.	0	30

Source : (ADEME, 2004)

1.3.5. Rôle de biochar

- Rôle énergétique : Gaz pauvre de la pyrolyse (H₂ et CO) et charbon de bois et de goudrons ou huiles combustibles.
- Rôle environnemental de "puits de carbone" : Dans la combustion, 98 % du carbone de la biomasse est brûlé et rejeté dans l'air sous forme de CO₂, Dans la pyrolyse, 50 % environ du C est conservé et stocké par le biochar amendement du sol Le carbone renouvelable du biochar est stable dans le sol, stockant ainsi à long terme du carbone non atmosphérique.
- Rôle agronomique : Le biochar comme amendement accroît la fertilité des sols :

Créant des interactions positives avec la matière organique du sol et les argiles stimulant l'activité biologique améliorant la rétention des ions nutritifs et de l'eau (Mustin, 2013)

Quel genre de biochar est le meilleur ?

Les mesures les plus importantes de la qualité de biochar comprennent l'adsorption, la capacité d'échange cationique, la matière mobile et le type des matières premières organiques utilisées.

Au fil du temps, la capacité d'adsorption du biochar diminue, alors que sa capacité d'échange cationique augmente (Mebarki, 2017).

1.3.6. Les propriétés du biochar

Les propriétés physiques et chimiques du biochar varient en fonction des sources de matières premières et des conditions de production (température, oxygène, pression, durée...), ce qui permet d'engendrer des biochars avec des fonctions spécifiques (la capacité d'échange de cations (CEC), la surface spécifique, le carbone organique et le pourcentage d'humidité, le pH, la distribution granulométrique) (Mackenzie et al., 2013)

1.3.6.1. Les caractéristiques physiques

1.3.6.1.1. La température : c'est le facteur le plus important pour les changements physiques du biochar, suivi du taux de chauffage et de pressions (Lehmann et Joseph, 2009).

I.3.6.1.2. La structure de biochar : La structure de biochar est amorphe, contenant des structures cristallines locales de joints aromatiques composés (Graber et al., 2011). Le squelette de carbone formé pendant la pyrolyse de matières organiques qui, elle se traduit par une porosité élevée de biochar, en raison de sa structure semblable à une éponge (Kumari, 2015).

La distribution granulométrique du biochar dépend fortement de la matière première utilisée. Dans les biochars généraux basés sur le bois sont plus grossiers et de structure du xylème, alors le biochar obtenu des résidus de récolte plus fins et de structure récalcitrante.

I.3.6.1.3. La Surface spécifique : Le biochar présente une grande surface spécifique, selon le matériau de base et le traitement. Obtenu à partir de la pyrolyse, les surfaces atteignent $20 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ jusqu'à $3000 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$

La quantité d'eau absorbée dépend directement de la surface, donc le biochar peut absorber de grandes quantités d'eau. Le processus d'adsorption d'eau sur la surface du biochar est régi par les groupes fonctionnels (Antal et Grønli., 2003).

I.3.6.1.4. La masse volumique du biochar est très faible et ce dernier possède une structure poreuse principalement constituée de macro et micropores (Downie et al., 2009).

I.3.6.1.5. La porosité : Les vides sont formés en tant que pores présents sous forme de macro- ($> 50 \text{ nm}$), méso ($2-50 \mu\text{m}$) et micropores ($< 2 \text{ nm}$) comme on le voit sur la figure... ci-dessous. Les (< 10 grandes proportions de micropores de diamètre) est responsable de la zone de surface croissante, ce qui permet de réduire la mobilité de l'eau.

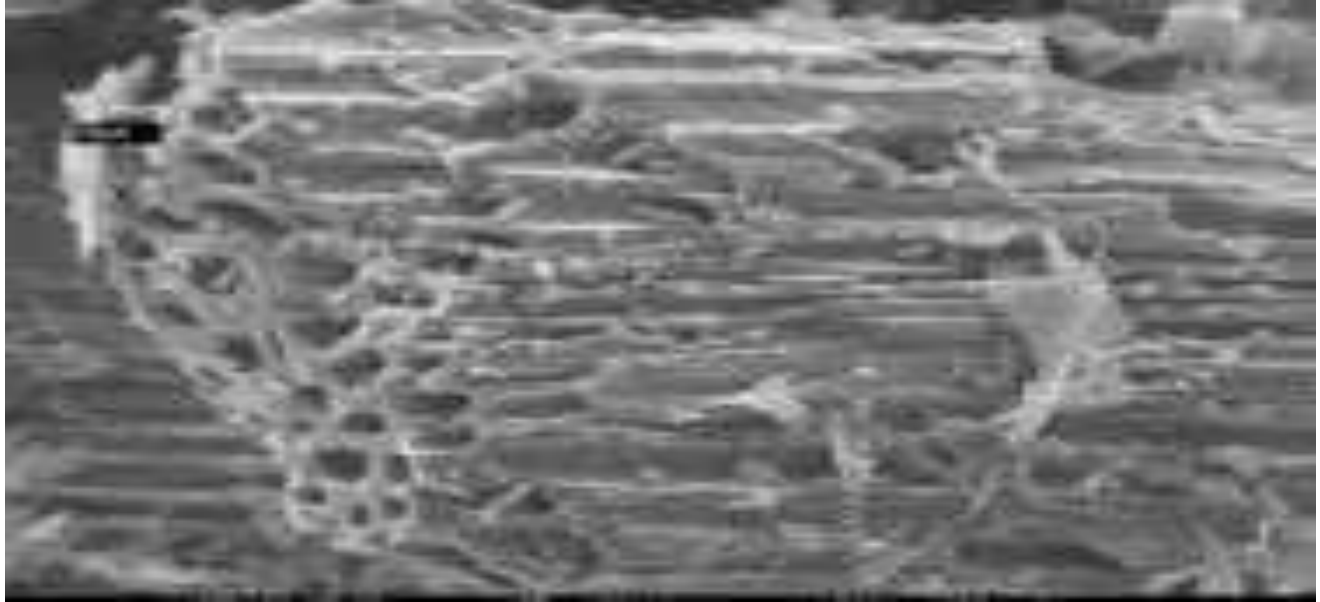


Figure I. 8 : Image Microscopique de biochar (Lehmann et Joseph, 2009)

La structure microporeuse du biochar est avantageuse pour la rétention d'eau dans le sol. La structure microporeuse fournit un habitat pour la prolifération des organismes bénéfiques du sol.

I.3.6.1.6. La densité : La densité apparente est liée directement à la porosité. En effet, plus il y a de vides dans un biochar, plus la densité apparente sera faible. Les relevés maximaux de densité réelle pour des biochars sont entre 2 et 2,1 g.cm⁻³. La densité réelle augmenterait en fonction de la température de pyrolyse. Mais les valeurs moyennes de densité réelle se situeraient entre 1,5 et 1,7 g.cm⁻³.

Les densités apparentes sont en moyenne de 0,30 à 0,43 g.cm⁻³ (Downie et al., 2009). Ce qui signifie que le biochar est un matériau très poreux avec 79 à 85 % de porosité.

I.3.6.2. Les caractéristiques chimiques

I.3.6.2.1. Le PH

Le pH du biochar est généralement alcalin (pH > 7) (Lehmann et Joseph, 2009). Il existe une faible variabilité pour le pH entre les biochars, avec des valeurs typiques supérieures à 7.

Le pH du biochar dépend du type de matière première. Par exemple le pH pour le biochar de paille provenant de différentes matières premières, En vertu de la comptabilité du maïs, de l'arachide, du canola et du soja pour pH 9.4, 8,6, 6.5 et 7.7 Respectivement, sous la même température de pyrolyse (300 ° C). Ont conclu qu'Un pH plus élevé avec des températures de pyrolyse plus élevées pourrait se produire en raison de l'accumulation d'oxydes des métaux alcalins. Le pH élevé du biochar aura une capacité de calage, lorsqu'il sera incorporé dans Le sol (Chintala et al., 2014).

I.3.6.2.2. La Conductivité électrique

Le pH et la CE sont plus élevés dans les biochars produits à haute température (700 ° C) Par rapport aux biochars produits à basse température (550 ° C).

I.3.6.2.3. La CEC

La grande surface du biochar augmentera la capacité d'échange d'ions et l'absorption des nutriments (Lehmann et Joseph, 2009). La CEC du biochar est dépendante à la fois de précurseur et de la taille de ces derniers. Les auteurs donnent des valeurs comprises entre 29,2 et 51,1 cmole.kg⁻¹ (mesures faibles à l'acétate d'ammonium). Les valeurs de CEC tendent à diminuer en fonction des températures de pyrolyse (Song et Guo, 2012). Ces valeurs de CEC sont variables de par le matériau d'origine et de la méthode de mesure utilisée.

I.3.7. Les effets du biochar

I.3.7.1. Effets biologiques et agronomiques :

- L'augmentation du taux de matière organique dans le sol (minéralisation régulée et freinée)
- La stimulation de la vie du sol (augmentation de la biomasse de la microflore totale du sol, + 40% de champignons mycorhiziens)

I.3.7.2. Effets physico-chimiques (amendement)

- L'augmentation de la capacité de rétention d'eau dans le sol (jusqu'à +18%)

- L'amélioration de la rétention des nutriments (+50% d'échanges cationiques)
- L'accroissement du pH du sol (+ 1 unité pH) utile contre l'acidification

I.3.7.3. Effet du biochar sur la texture du sol

Le biochar peut améliorer la texture du sol et sa maniabilité, en particulier les sols argileux lourds, quoiqu'il ait montré de grandes promesses dans tous les types de sols

I.3.7.4. Effet du biochar sur la CR du sol

Le biochar augmente la superficie totale du sol, qui est censé être responsable de surmonter le problème d'une trop grande quantité d'eau dans les sols argileux, en raison de l'aération accrue du sol et de l'augmentation de la teneur en eau, Capacité de rétention d'eau dans les sols sablonneux (Lehmann et Joseph, 2009).

I.3.7.5. Effet du biochar sur la CE du sol

Kumari et al (2014) ont trouvé une diminution de la CE dans les colonnes de sols modifiées par le biochar. Le biochar possède également un fort potentiel d'absorption de sel et diminue la salinité globale du sol (Thomas et al., 2013). L'addition de biochar peut atténuer considérablement le stress de la salinité en raison de sa forte capacité d'absorption de sel et en augmentant K⁺ disponible qui améliore finalement la croissance, et le rendement de végétal. (Akhtar, 2015).

I.3.7.6. Effet du biochar sur la CEC du sol

Les recherches ont montré que l'application de biochar au sol peut améliorer la capacité d'échange cationique (CEC) des sols de laquelle découle une réduction du lessivage des nutriments (Lehmann et Joseph, 2009).

I.3.8. Effet du biochar sur les propriétés biologiques du sol

Le biochar peut servir de source d'énergie pour les microorganismes hétérotrophes

Le biochar est une source de protection pour les microorganismes; en absorbant le carbone labile et les nutriments, le biochar augmente la croissance et l'efficacité métabolique des microorganismes (Lehmann et Joseph, 2009). D'autre part, l'ajout de biochar au sol affecte le pH et influence ainsi l'abondance microbienne. Généralement, sous des conditions environnementales similaires, la biomasse microbienne augmente avec une hausse du pH de 3,7 à 8,3. Il a été démontré que la surface du biochar grand dont la plupart se trouve à l'intérieur fournit une grande place pour l'habitat microbien.

I.3.9. Effets du biochar sur le végétal

L'amendement en biochar améliore la production végétale. De haute qualité, il agit comme une éponge, retenant de l'eau et des nutriments dans le sol auquel les racines d'une plante peuvent accéder. Des auteurs ont rapporté lors d'une expérimentation sous serre une augmentation significative (jusqu'à 96 %) des rendements de radis au cours de l'application de biochar issu de la litière de volaille et ont suggéré que cette augmentation du rendement est en grande partie en raison de la capacité du biochar à augmenter la disponibilité de N (Chanetet al., 2008). Le biochar peut augmenter la nutrition azotée du végétal lorsqu'il est appliqué avec un engrais azoté ce qui augmenterait les rendements de cultures. Ceci est dû soit à la diminution de la perte d'azote en raison de l'augmentation de la CEC du sol, ou à la capacité du biochar à inhiber la transformation du N-NO₃ et N-NH₄ libéré par les engrais (Steiner et al., 2007)

I.3.10. Prétraitement du biochar (Activation)

Pour que le biochar soit bénéfique, il doit être activé ou chargé de microorganismes, matière organique (compost, fumier etc.....) ou de nutriments (engrais minéraux) cela dépend de l'emplacement. Les besoins de culture, le type de sol et le climat. Le processus d'activation a pour effet immédiat d'absorber et de fixer les nutriments disponibles et l'eau du sol au moins temporairement. L'activation du biochar à partir des microorganismes du sol peut durer de 3 mois à un an (ou plus) en fonction de la présence et les concentrations des microorganismes indigènes. Pendant cette période d'activation, les sols seront déficients en microorganismes bénéfiques du sol et les rendements des cultures seront réduits (Lim et al., 2015).

Il est important de comprendre les mécanismes d'activation et la façon par laquelle les produits de départ améliorent le potentiel d'adsorption du biochar ainsi que le choix du produit par lequel il doit être activé (Custum, 2012).

Il existe de nombreuses méthodes pour l'activation de biochar, soit l'activation par une incorporation avec des fertilisants organiques comme les composts, les fumiers et les boues ou par une incorporation avec des fertilisants minéraux (liquides ou solides) surtout fertilisants azotés.

La longévité du biochar dans le sol peut atteindre plusieurs milliers d'années, ce qui permet de les considérer comme de véritables puits de carbone (Lehmann ,2010).

I.3.11. Vers une fertilisation intégrée et durable :

Le Biochar : particules fines (<2 mm) pour une très forte surface de contacts et d'échanges. Combiné avec des amendements (M.O. humifiée) et des engrais organiques (NPKS +O.E), le biochar peut être introduit dans une grande variété de sols et d'environnements.

L'introduction de 5 à 20 t/ha de biochar peut doubler la productivité et maintenir une fertilité de longue durée. L'effet du biochar est plus important dans les sols dégradés, appauvris que dans des sols déjà riches en M.O., mais le biochar ne remplace pas la M.O. et vice versa

(Synergies). Le biochar en mélange à des intrants naturels renouvelables est très approprié aux sols tropicaux pour restaurer des sols dégradés, améliorer la sécurité alimentaire des populations, accroître la fertilité des sols et leur durabilité, gérer le changement climatique, y compris dans les zones désertiques. (Mustin, 2013)

I.3.12. Les étapes de la production du Biochar: (exemple sur la production du biochar issus des déchets du palmier dattier)

- Remplir le baril par des palmes et laisser un espace vide aux centres de forme cyclique qui joue le rôle d'une cheminé pour faciliter la sortie de la vapeur d'eau et des huiles lors de la combustion,
- Une fois l'allumage entamé, on observe la couleur de la fumée qui varie vers le transparent
Après (3 - 4 min),
- Puis couvrir complètement le baril pour empêcher l'entrée d'O₂, Laissez-le pendant 15-20 minutes pour la carbonisation. Enfin mettre le biochar dans un autre récipient, pour être broyé.

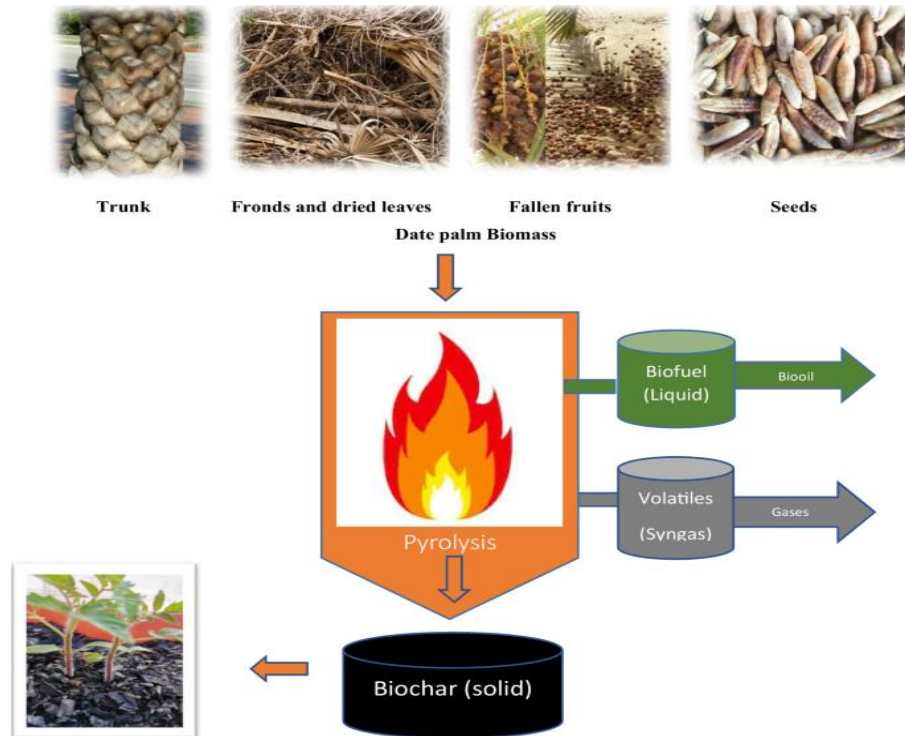


Figure I. 9 : Quelques étapes de production du Biochar

source:(Ahmad M, Usman A, Al-Faraj A, Abduljabbar A, Ok Y and Al-Wabel M 2017)

Chapitre 4 : Généralités sur l'orge

I.4.1. Importance et production de l'orge

I.4.1.1. Dans le monde

La production mondiale de l'orge a évolué au cours de la période 1970 à 2010 de 119 à 178 millions de tonnes (FAOSTAT, 2011).

Entre 2000 et 2010, les plus grands pays producteurs ont été l'Allemagne (104 millions de tonnes), la France (10,1 millions de tonnes), l'Ukraine (8,5 millions de tonnes), l'Espagne (8.2 millions de tonnes), le Canada (7,6 millions de tonnes), l'Angleterre (5,3 millions de tonnes), les USA (3,9 millions de tonnes), la Pologne (3,5 millions de tonnes), l'Iran (3,2 millions de tonnes) et le Maroc (2,6 millions de tonnes).

Selon la F.A.O. (2004), la production mondiale de l'orge a atteint 155 millions de tonnes pour une surface emblavée de 57 millions d'hectares, soit un rendement moyen de 27,2 q/ha. Seize (16) pays ont réalisé 80% de cette production.

I.4.1.2. En Algérie

En Algérie, l'orge occupe la deuxième place après le blé, sa superficie varie annuellement de 300.000 à 1.600.000 ha, c'est-à-dire 35 à 40% de la superficie réservée aux grandes cultures (Benmahammed, 2004).

L'orge est cultivée essentiellement sur les hautes plaines, plus à l'Est que les autres régions de l'Algérie. Cette zone emblave plus de 50% de la superficie totale d'orge (Malki et al., 2002). Les superficies qui lui sont consacrées varient d'une année à l'autre avec une moyenne, sur plus d'un siècle (1901-2005), de 1 million d'hectares, l'Algérie veut atteindre un rendement de 30 à 35 quintaux par hectare (Algérie Eco 2022). Les régions agro-pastorales telles que Batna, Khenchela, Tébessa et M'sila, représentent actuellement les principales zones de production d'orge en Algérie.

I.4.2. Utilisation de l'orge

I.4.2.1. Alimentation animale

L'orge est prise comme base pour le calcul de ration animale ; 1 kg d'orge équivaut une unité fourragère (Gonde et al., 1968). Le grain d'orge a une grande valeur nutritive, il contient (Gonde et al., 1968):

- 8 à 10% de matières azotées brutes.
- 2 à 3% de matières grasses.
- 60 à 65% d'extractif non azotés.
- 5 à 6% de matières cellulosiques.
- 2 à 3% de matières minérales.

Les caractéristiques de l'orge font de lui une spéculatation très versatile, qui est à destination fourragère. Elle peut être pâturée en début de cycle puis laissée pour faire du grain ou bien pâturée entièrement (Benmahammed et al., 2001). L'importance de l'orge est prouvée dans son utilisation dans l'alimentation des ovins avec un taux de 90%. Aussi, l'orge constitue une source de fourrage vert précoce puisqu'elle lie entre la paille et les concentrés fourragers (Benmahammed, 2004).

D'après Mantouche et Boussadi (1993), l'orge apparaît la plus adaptée aux doubles exploitations en fournissant pour la moyenne des variétés près de 17 à 20 q/ha de matière sèche (coupe au début-montaison) et environ 40 à 45 q/ha de grains, cependant la coupe réduit de près 20 q/ha le rendement en paille pour ces orges.

I.4.2.2. Alimentation humaine

Selon Benmahammed (2004), 10% de la production d'orge en Algérie est destinée à l'alimentation humaine. L'orge est de plus en plus demandée au cours de ces dernières années, avec le retour à la fabrication traditionnelle des produits tels que : le couscous, le pain et le Mermez, Ainsi l'orge occupe la deuxième place après le blé dur dans la consommation alimentaire chez les agriculteurs.

Les grains d'orge utilisés pour l'alimentation peuvent être aplatis, moulus, flocons ou granulés. Il est possible d'utiliser le produit issu du processus de maltage dans le domaine de l'alimentation (on parle souvent de drêches de brasserie). Il est également possible de l'utiliser en pâturage ou de la couper et de la consommer comme une culture fourragère. Elle est produite

sous forme d'orge perlée ou de farine lorsqu'elle est utilisée pour l'alimentation humaine. Jusqu'aux années 1500, le pain était principalement composé de farine d'orge.

I.4.3. Différences entre les cultures d'orges

Les cultures d'orge sont très diversifiées et peuvent par conséquent être classées de plusieurs façons. Le plus souvent, les classifications se basent sur le type d'épi, l'utilisation des grains et les caractéristiques

de la barbe.

Type d'épi

C'est le nombre de rangées de grains sur l'épi. La diversité génétique de l'orge s'exprime notamment par le nombre de rangs de grains qui se développent sur l'épi/l'épillet. L'orge sauvage est à deux rangs, tandis que l'orge la plus couramment cultivée est à six rangs.

I.4.4. Utilisation des grains

I.4.4.1. Orge fourragère

La majorité de l'orge est cultivé pour l'alimentation animale ou humaine. Le grain destiné au bétail ou à l'alimentation humaine a tendance à avoir une teneur en protéines plus élevée. Ces types d'orges peuvent également être décortiquées ou nues. Certains nouveaux cultivars à grains nus offrent désormais une alimentation plus digeste et plus riche en protéines, un véritable atout pour les secteurs de la volaille et autres.

Les grains d'orge destinés à l'alimentation sont soit aplatis, moulus, transformés. La plupart de l'orge est cultivée pour la nourriture des animaux ou de l'homme. Ces sortes d'orges peuvent aussi être détaillées ou exposées.

I.4.4.2. Orge de brasserie

L'orge de brasserie est destinée à la fabrication du malt (l'orge qui a subi un début de germination), principale matière pour la fabrication de boissons alcooliques. La qualité recherchée en orge de brasserie étant (Le Clech, 1999) :

- Le taux de protéine inférieur à 11,5%
- Un calibre élevé (diamètre >2,5 mm)
- La germination homogène et rapide.

La deuxième destination de l'orge est le malt. Le malt se compose de 60-65% d'amidon non dégradé et sert à produire de la bière, de l'alcool distillé, du sirop de malt, du lait malté, des arômes et des aliments de petit déjeuner. Les variétés adaptées à ce type d'utilisation sont souvent moins productives, mais peuvent être vendues à des prix supérieurs à ceux des variétés destinées à l'alimentation animale.

Le maltage est le processus visant à encourager les grains à germer de façon contrôlée et puis à arrêter leur développement. IL y a trois étapes clés:

- Trempage : Il s'agit de la première étape du processus de maltage, qui dure généralement trois jours maximum. La teneur en humidité de l'orge est portée de 2 % à 45 %. Le grain commence alors à germer, ce qui produit de la chaleur et du dioxyde de carbone (respiration). À la fin de cette première phase, l'ensemble des grains doit avoir commencé à germer.
- Germination : Il s'agit de la deuxième étape du processus. La germination dure cinq jours, les grains en germination sont refroidis, le dioxyde retiré et les grains sont sans cesse déplacés pour éviter que les racines ne forment un tapis.
- Séchage : il s'agit de la troisième phase du maltage, où le grain est séché avec un taux d'humidité de 3 à 6% pour arrêter la germination. En ajustant le débit et la température de l'air chaud projeté sur le grain, différents malts en termes de couleurs et de saveur sont produits.

A la fin de cette étape, le malt est froid et dépourvu de racines.

I.4.5. Caractères botaniques et généraux de la plante

I.4.5.1. Classification botanique de l'orge

- Selon Rasmusson (1987), le genre *Hordeum* comprend des espèces diploïdes ($2n=14$) dont les biotypes cultivés comme *HordeumVulgare*, *HordeumDistichum*, *Hordeumintermedium*, et sauvage comme *Hordeumspontaneum*, *Hordeumagriocrithon* et *HordeumPusillum*. L'espèce tétraploïde ($2n=28$) est constituée uniquement de biotypes sauvages comme *Hordeummurinum*, *Hordeumbulbosum*, *Hordeumjubatum* et *Hordeumnodosum*.

D'après Feillet (2000), l'orge cultivée (*HordeumVulgare* L.) peut être classée comme suit: Orge à six rangs à gauche et orge à deux rangs à droite (GNIS, SD a).Erroux (1956) distingue au niveau de l'espèce *Hordeumvulgare* L. les types *Pallidum*, dont l'épi est de faible densité à section rectangulaire, ce sont les orges à quatre rangs et les types *Parallelum* et *Pyramidatum*, dont les épis sont plus denses à section hexagonale. La coupe longitudinale de grain d'orge révèle de l'extérieur vers l'intérieur les parties suivantes (www.fao.org) :

- Le péricarpe ou l'enveloppe, constitué de l'extérieur vers l'intérieur par le péricarpe (parois de l'ovaire), le tégument, et l'assise protéique. L'endosperme ou l'amande constitue presque tout l'intérieur du grain et se compose principalement de minuscules grains d'amidon.
- Le germe ou l'embryon comprend 2 parties : la plantule (future plante) et le cotylédon (réserve de nourriture très facilement assimilable, destinée à la plantule) qui contient l'essentiel des matières grasses du grain.

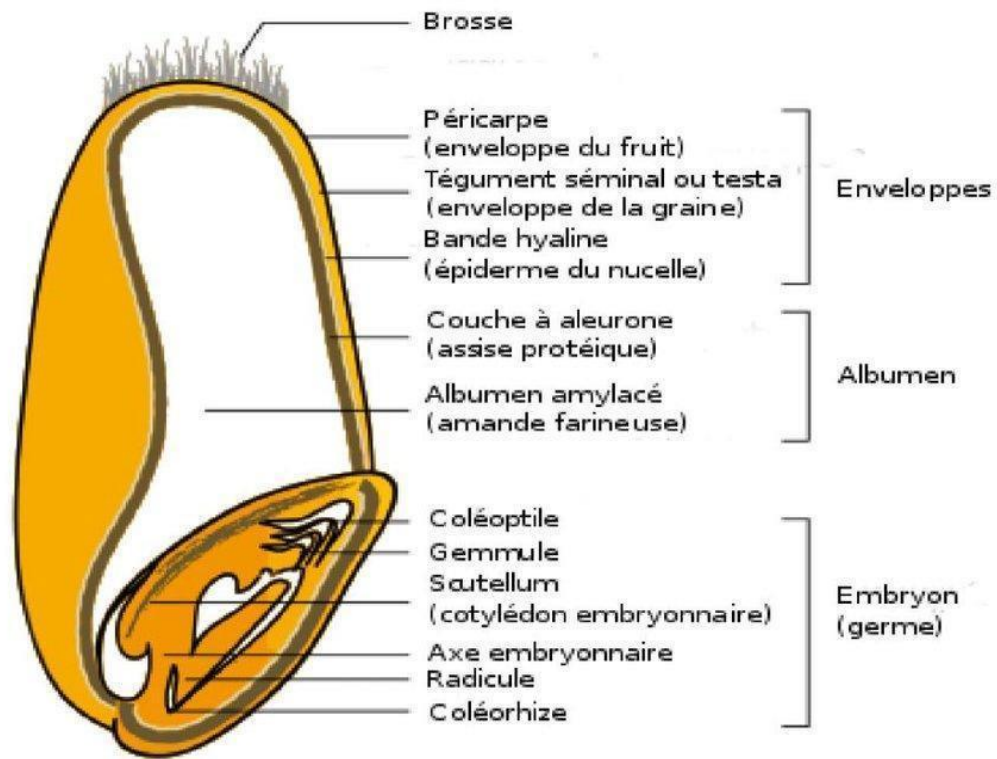


Figure I. 10 : Coupe longitudinale d'une graine d'orge

Source : (Wikipédia, 2017)

La partie aérienne de l'orge est formée d'un certain nombre d'unités biologiques ou de ramifications appelées talles. Ces ramifications partent toutes d'une zone, appelée court-nouée située à la base de la tige : le plateau de tallage (Soltner, 2005).

Les tiges sont généralement creuses et minces chez les orges à deux rangs tandis que chez les tiges des orges à six rangs sont généralement creuses et minces, ce qui les rend plus susceptibles de verser que les orges à six rangs. Elles sont composées d'entre-nœuds et de nœuds, avec cinq à sept nœuds par tige. Chaque nœud est le point d'attache d'une feuille, et la hauteur de la tige varie selon les espèces, les variétés et les conditions de culture.

Chaque nœud est le point d'attache d'une feuille, il y a généralement cinq à sept nœuds par tige (Petrequin et Baudais, 1997). La hauteur de la tige varie selon les espèces, les variétés, et les conditions de culture. Elle varie de 60 à 150cm (Soltner, 1990).

Les feuilles sont alternes, longues, étroites et à nervures parallèles d'un vert clair au stade herbacé. Chaque feuille comprend deux parties : une portion inférieure enveloppant l'entre-nœud correspondant à la gaine, et une portion supérieure, le limbe. À la base du limbe se trouvent deux stipulations appelées oreillettes plus au moins embrassantes et glabres (Soltner, 1990). Semée en hiver ou au printemps, l'orge est moissonnée au début de l'été. Son cycle de croissance est proche de celui du blé.

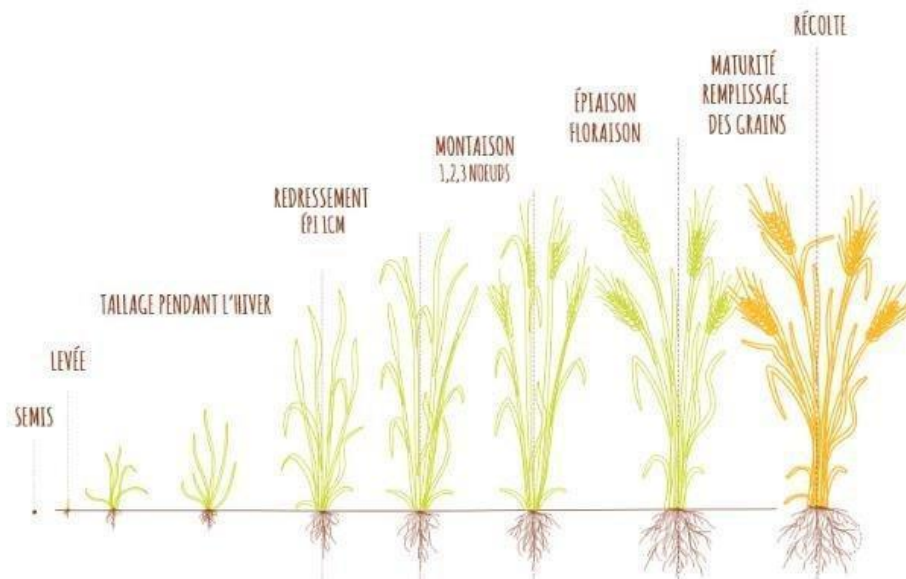


Figure I. 11 : Cycle de l'orge

Source (Vivescia, 2022)

Tableau I. 3 : Rendements moyens de l'orge dans les communes (2023/2024) (source DSA El Meghaier)

Les communes	orge (ha)	Production (qx)	Rendement (qx/ha)	Triticale (ha)	Production (qx)	Rendement (qx /ha)
El m'ghaier	240	4800	20	00	00	60
Oum toyor	121	2420	20	01	60	60
Still	118	2360	20	25	300	60
Sidi khelil	00	00	20	00	00	60
Total	820	9580		06	360	

Partie II : Matériels et méthodes

Dans l'objectif d'étudier l'effet du biochar sur le développement de l'orge et sur les composantes de la fertilité du sol. Nous avons effectué une expérimentation sur terrain dans la vallée de Oued-Righ dans la région d'El Meghaier périmètre de Barkadjia durant l'année 2023-2024 avec d'autres traitements en parallèle pour comparer l'effet des amendement de biochar combinés avec d'autres fertilisants à savoir le fumier et l'engrais sur les propriétés physicochimiques du sol et sur le rendement de la culture de l'orge.

Nous avons effectué des échantillonnages au niveau du site d'étude pour des analyses physicochimiques au laboratoire :

Un premier échantillonnage effectué au début de l'expérimentation le 02/02/2024

Et un deuxième échantillonnage est effectué le 11/05/2024 à la fin de l'expérimentation.

Un troisième pour le rendement à la récolte effectué le 11/05/2024

Nous avons par la suite effectué une étude statistique avec le logiciel Excel STAT pour réaliser une analyse de variance (ANOVA).

Dans cette partie, nous allons présenter les protocoles expérimentaux et méthodes utilisées au laboratoire pour les analyses physico-chimiques et sur terrain.

2.1. Localisation de l'essai

Nos études ont été réalisées au niveau du périmètre de Barkadjia dans la wilaya d'El Meghaier.

Les coordonnées géographiques de Localisation de wilaya d'El Meghaier en Algérie

Coordonnées géographiques : 33° 56' 50" nord, 5° 55' 20" est

Superficie : 883 500 ha = 8 835 km².

Tableau II. 1 : Localisation et coordonnées du périmètre « Barkadjia »

Lieu-dit	Commune	Carte Topo à 1/25 000éme agrandissement à partir 1/100000ème	Wilay a	Coordonnées(Km)			
				X1	X2	Y1	Y2
Barkadjia	El Meghaier	Feuille O- 10(Meghaier)	El Oued	792,36 0	793,456	372,219	374,11 0

- La région d'EL Meghaier est une zone de dépression, l'abaissement de cette région est environ de 1,50 m au niveau de la mer. La région d'EL- Meghaier limitée au Nord par les palmeraies de Ziban, à l'Ouest par les palmeraies de OuledHarkat, au Sud par les oasis de Djamaâ, à l'Est par le chott Melghir, les dunes et les palmeraies en Ghotte d'Oued Souf (DACM 2008).

Il est limité :

Au Nord par les terrains de parcours,

- Au Sud par les terrains de parcours,

- A l'Ouest par les parcours halophiles (environ 2 Km Du Chott Messaka),

➤ A l'Est par les terrains de parcours et situé à un 1km de la ligne électrique

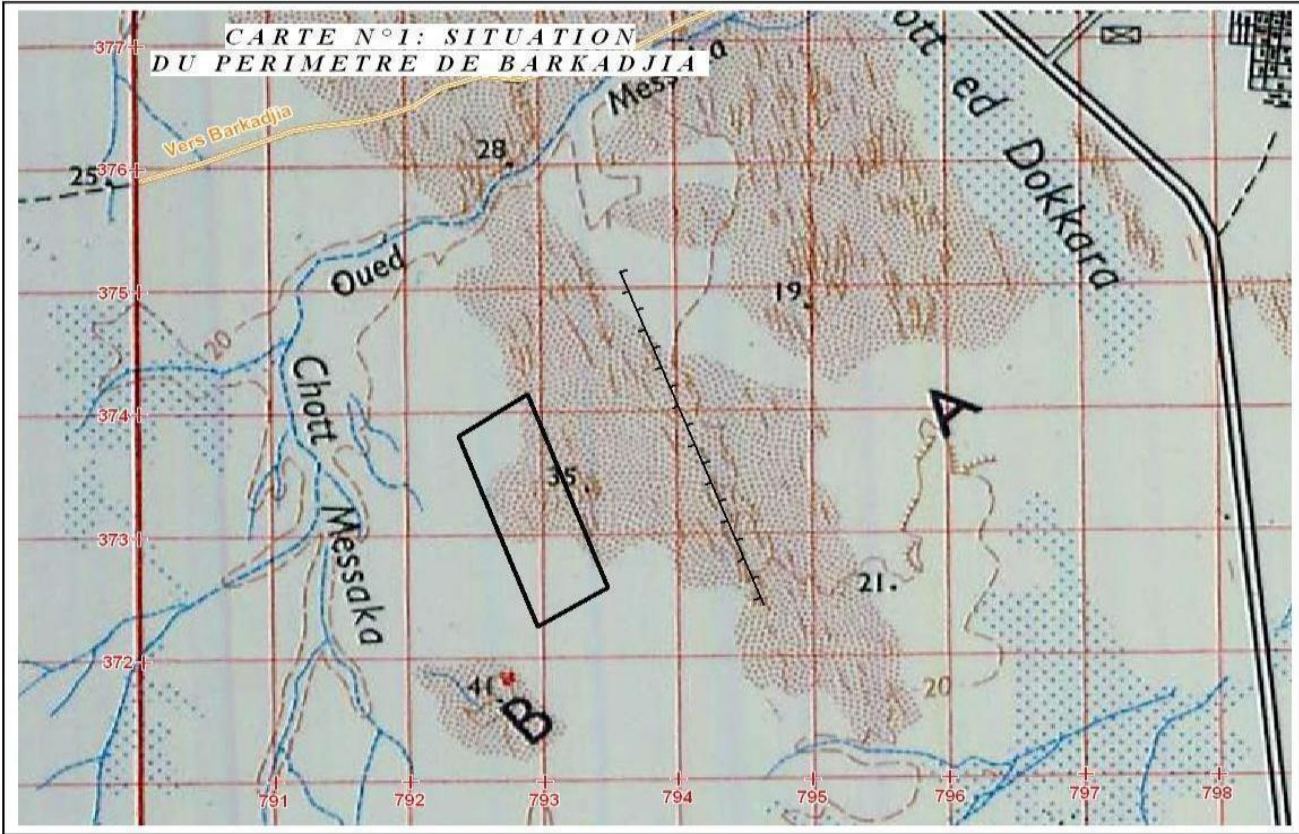


Figure II. 1 : Carte 05 : Situation du périmètre de Barkadjia

2.2. Dispositif expérimental



Figure II. 2 : Site expérimental (photo originale)

Le dispositif expérimental est constitué de blocs aléatoires complets avec des parcelles expérimentales de 1.2m x 4m, soit 4,8 m² comprenant 4 (répétitions) blocs + Témoins et 5 traitements, soit 20 parcelles unitaires.

Dispositif expérimental au champ

Tableau II. 2 : Dispositif en bloc aléatoire avec quatre (4) blocs et quatre (4) traitements + un témoin

Bloc 1	Bloc2	Bloc 3	Bloc 4
T3	T2	T1	T4
T2	T1	T4	T5
T4	T3	T5	T1
T1	T5	T2	T3
T5	T4	T3	T2

Légende :

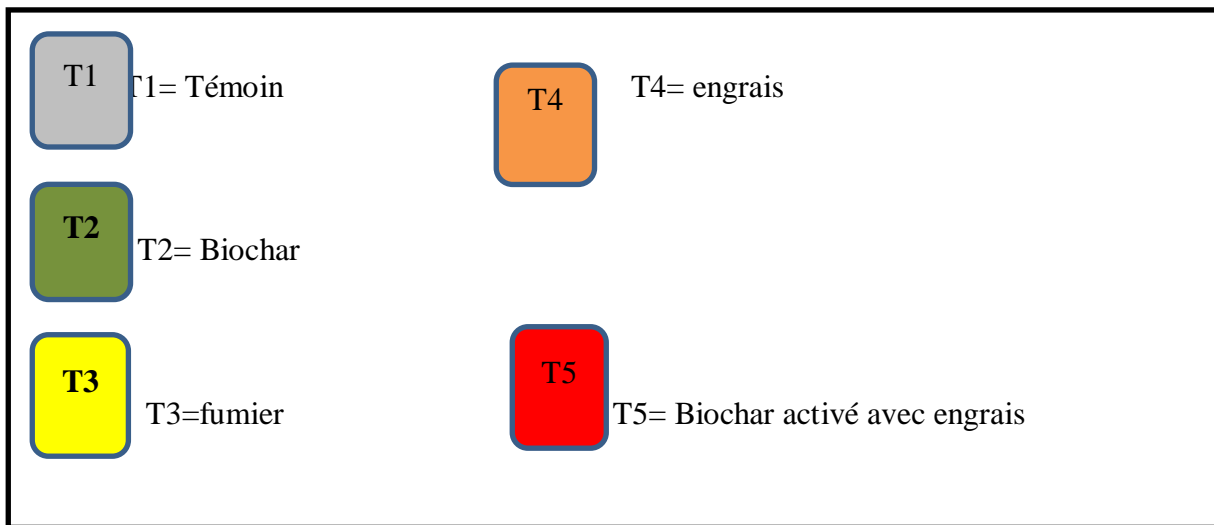
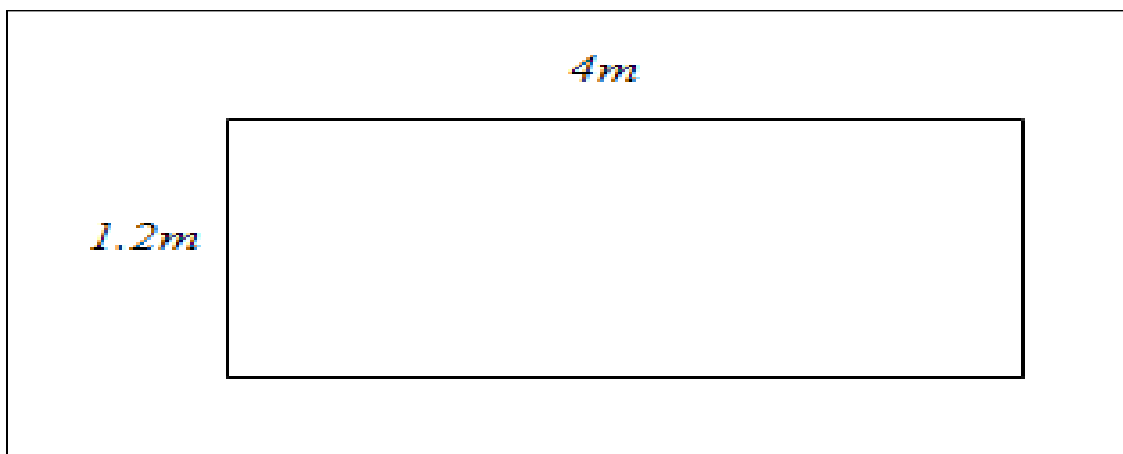


Figure II. 3 : Dimensions des cases du tableau II.2

2.3. Calcul des doses d'amendements

2.3.1. Surface d'unité parcellaire



Surface d'unité parcellaire : $4 \times 1.2 = 4.8m^2$

$4 \times 1.2 = 4.8m^2 * 1 \text{ répétitions/1 bloc} * 4 \text{ blocs (répétition)} + \text{témoin}$

20 parcelles unitaires

Dose de fumier

$$27\ 000\text{-----}1\text{ha} = 10^4\text{m}^2$$

$$X\ \text{kg}\ \text{-----}4.8\text{m}^2$$

$$X = 12.96\ \text{kg} \approx 13\text{kg /unité parcellaire}$$

$$13 * 1 * 4 = 52\ \text{kg} \approx 2\ \text{sac de 25kg (fumier)}$$

Dose de biochar

$$10\ 000\ \text{kg}\ \text{-----}1\text{ha} = 10^4\text{m}^2$$

$$Y\ \text{kg}\ \text{-----}4.8\text{m}^2$$

$$X = 0.0048\ \text{tonnes} = 4.8\ \text{kg} \approx 5\ \text{kg/unité parcellaire}$$

$$5 * 2 * 4 = 40\ \text{kg} \approx 2\ \text{sacs de 25kg}$$

Dose se semis

$$160\text{qt}/\text{ha} = 16000/10000 = 1.6\ \text{kg}/\text{m}^2\ \text{----- quantité expérimentale} = 215\ \text{kg}$$

$$180\text{qt}/\text{ha} = 18000/10000 = 1.8\ \text{kg}/\text{m}^2\ \text{----- quantité expérimentale} = 242\ \text{kg}$$

$$\text{Dose CCLS} = 1.2\text{qt}/\text{ha} = 12\text{g}/\text{m}^2$$

$$12 * 4.8 * 20 = 1152\ \text{g}$$

Quantité d'orge= 1 kg

Dose d'engrais

Urée: 1kg (apport par fraction)

$$125\text{g}/\text{parcelle de } 4.8\text{m}^2$$

$$125\text{g} * 8 = 1000\text{g} = 1\text{kg Urée}$$

Triple Superphosphate TSP 46%

$$36\text{gTSP} \times 8 = 290\text{g TSP}$$

Sulfate de Potassium K₂SO₄

$$78.58\text{g} \times 8 = 628.64\text{g K}_2\text{SO}_4$$

Calcul des doses de l'engrais composé N,P,K.

On a : 1/3 de l'Urée+qté totale de TSP+ qté totale de K₂SO₄

$$\text{A.N} : 0.33 + 290 + 628.64 = 918.97\text{g se l'engrais composé NPK}$$

$$918.97/8 = 114.87 \text{ g / parcelle de l'engrais composé NPK}$$

Quantité totale de l'engrais composé= 0,91 kg NPK.

2.4. Description de l'expérimentation

Notre étude a été menée du 24 Décembre 2023 au 11 Mai 2024, La préparation du terrain a commencé au préalable par un terrassement du sol, suivi du travail du sol par labour. Le labour contrôle plusieurs mauvaises herbes vivaces et repousse la croissance des autres mauvaises herbes au printemps en même temps que la culture. Il brise également le cycle des maladies et contrôle plusieurs ennemis des cultures (limaces, tipules, mouches des semis,...) Par la suite l'incorporation de nos différents traitements de manière aléatoire (matière organique T3 Fumier, T2 Biochar, T4 Engrais composé NPK, T5 Biochar activé avec engrais).

L'orge utilisé est de la variété Saïda et a été semée à la volée. Le semis a été effectué le 24/12/2023 et la récolte le 11/05/2024

➤ **Les apports organiques :**

Le Fumier : On a utilisés du fumier d'ovins de ferme qui provient d'une ferme situé à Chetma Biskra avec les doses mentionnées dans le calcul des doses d'amendements.

Le Biochar : Dans notre étude, nous avons choisi l'utilisation du Biochar d'origine palmier dattier d'après la disponibilité et pour la mise en valeur de la région d'étude et des déchets palmiers dattiers, ce qui peut être très intéressant pour la restauration et l'amélioration des sols de la région.

- **Les engrais minéraux** utilisés sont : l'Urée qui a été fractionnée en 3, dont les 1/3 ont été mélangés avec le TST et le K pour constituer l'engrais composé NPK. La quantité restante de l'urée (2/3) doit ensuite être appliquée au cours du développement végétatif de la culture.
- **Ressources en eau :**

Pour les besoins en eau d'irrigation des terres du périmètre: les eaux souterraines constituent la seule ressource. A cet effet, une possibilité existe ; elle consiste à l'exploitation de la nappe du complexe terminal sur une profondeur de 110 à 350 m pour des débits estimatifs comprise entre 2l/s et 40 l/s,

Les seules potentialités hydriques destinées pour le périmètre de Barkadjia sont les eaux souterraines issues essentiellement de l'exploitation de la formation aquifère située à une profondeur moyenne de 150 mètres.

Il est à noter que, l'eau de la nappe phréatique dont la profondeur est faible se trouve la plus salée, son utilisation est possible mais est subordonnée aux choix de cultures tolérantes aux eaux salées.

La méthode d'irrigation utilisée est l'irrigation par aspersion compte tenu des besoins en eau de la culture de l'orge et de la disponibilité des ressources d'eau d'irrigation dans la région d'étude.



Figure II. 4 : Semis de l'orge et applications des différents traitements (Image réelle)

2.5. Echantillonnage des eaux et des sols

2.5.1. Prélèvements du sol :

Matériels :

Tarière

Cylindre

Sachets plastiques

Méthodes :

Premièrement, la surface du sol à échantillonner (les 5 premiers centimètres) est enlevée pour éviter tout type de débris (fumier et autres).

Après la tarière est enfoncée dans le sol tout en la vissant pour l'échantillonnage de la première profondeur. La tarière est retirée et le contenu est versé dans un sac plastique puis étiqueté, la même procédure est appliquée pour les autres profondeurs. Le second échantillonnage est fait à partir des cylindres pour les calculs de la densité apparente et l'humidité du sol.



Echantillonnage à l'aide d'une tarière

Figure II. 5 : Échantillonnage de sol à l'aide d'une tarière (photo originale)

2.5.2. Prélèvement de l'eau d'irrigation

La palmeraie est irriguée par les eaux du complexe terminal CT situé à une profondeur (profondeur 1 :23 m) à une température de 23°C et une pompe placée à 16m de profondeur;et une (profondeur 2 de 400m) avec une pompe placée à 100m de profondeur et une température de 28°C (source: les agriculteurs sur place). L'eau est directement collectée dans une bouteille après sa sortie du forage

2.6. Les analyses des sols et des eaux au laboratoire

2.6.1. Les méthodes d'analyse du sol : (Aubert G, 1978)

Traitement des échantillons de sol à l'arrivée au laboratoire. Avant d'effectuer tout traitement, les échantillons sont enregistrés dans un bloc note. Les différents échantillons de terre auront à subir un premier traitement qui peut être résumé de la manière suivante :

Séchage

Les échantillons sont étalés dans des sachets en plastique à l'air libre pendant quelques jours (3-4 jours).



**Séchage des échantillons de sol après
prélèvements**

Figure II. 6 : Séchage des différents échantillons de sols prélevés (photo originale)

Broyage

Les échantillons sont broyés dans une cuvette en porcelaine à l'aide d'un petit mortier et tamisés à l'aide d'un tamis de 2mm.

Avant le début des analyses, les échantillons de sols ont été séchés (4 jours) puis broyés et tamisés à l'aide d'un tamis de 2mm.

2.6.2. Les paramètres physiques

2.6.2.1. La densité apparente : Méthode du cylindre

Matériels

Cylindre

Balance

Etuve

Mode opératoire

On enfonce horizontalement le cylindre dans le sol

A l'aide d'un couteau, enlever le cylindre remplie de terre

Mettre la totalité de l'échantillon de terre dans l'étuve à 105° pendant 24h

Peser le poids sec de l'échantillon

Mesurer le volume du cylindre (V1) à l'aide d'un pied à colis

$$V1 = \pi r^2 \cdot h$$

Calcul :

$$D_a = \frac{P_{sec}}{V_t} \text{ g/cm}^3$$

2.6.2.2. L'humidité du sol (Baize et Jabiol, 1995)

Un échantillon de terre (x g) est mis dans l'étuve pour séchage jusqu'à avoir un poids constant. La différence de poids avant et après séchage correspond à la quantité d'eau contenue dans le sol. L'humidité est déduite à partir de la formule suivante :

Humidité (%) = Poids du sol avant séchage – poids du sol après séchage X100/poids sec du sol

2.7. Les paramètres chimiques du sol

2.7.1. Le pH est obtenu à partir de la solution du sol 1/2,5. (CRSTRA)

Mode opératoire :

Peser 20 g de sol et l'ajout de 50 ml dans un erlenmeyer de 250 ml.

Agitation pendant 1 heure

Attendre quelques minutes après agitation avant de mesurer le pH à l'aide du pH-mètre.



Figure II. 7 : Mesure du pH (photo originale)

2.7.2. La conductivité électrique : CE 1/5

Matériels :

Eau distillée

Sol

Entonnoirs

La burette

Eprouvettes

Erlenmeyers

Mode Opérateur :

Une dilution de 1/5 est faite, 20g de sol sont mis dans une éprouvette de 250 ml ;

Avec 100 ml d'eau distillé

Une agitation de 2 heures

Puis la filtration

Une fois la préparation finie, la CE est mesurée à l'aide d'un conductimètre.



Figure II. 8 : Mesure de la CE (Photo originale)

2.7.3. Détermination de la CEC

Réactifs

Ethanol

Acétate de sodium

Acétate d'ammonium

Mode opératoire

Peser 5g de sol, ajouter 20 ml d'éthanol et centrifuger pendant 5 min à 3000 t/min, jeter la solution et répéter l'opération 3 fois.

Ajouter par la suite 50 ml d'acétate de sodium (1N) et centrifugé pendant 5 min à 3000 t/min, répéter 3 fois et récupérer la solution dans une fiole se 150ml pour le dosage des bases échangeables K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺

Laver à l'éthanol 3fois et jeter la solution, ajouter ensuite au culot 50 ml d'acétate d'ammonium à 3 reprises, doser la CEC dans cette solution par dosage du sodium échangeable Na

Calcul :

$$CEC = \frac{R*V}{S!} * \frac{100}{1000} ; \text{avec}$$

S : poids du sol

R : résultat en méq selon le graphique de Na

V : le volume de l'extrait (150ml)



Figure II. 9 : Détermination de la CEC

2.7.4. Le calcaire total :

Réactifs :

HCl 50%

CaCO₃ pur

Matériels :

Calcimètre de Bernard

L'erenmeyer

Mode opératoire :

Peser 1g de sol

Introduire dans l'erenmeyer de calcimètre

Préparer une solution de HCl 50%

Remplir le tube avec de HCl et l'introduire avec précaution dans l'erlenmeyer

Fermer l'erlenmeyer et verser le tube de HCl puis abaisser l'ampoule de calcimètre jusqu'à ce que le niveau de l'eau dans cette dernière soit dans un même plan horizontal que celui de l'eau située dans la colonne. Lire le volume V de gaz carbonique dégagé.

Faire les mêmes étapes, mais avec le CaCO₃ pur (0.3g) à la place du sol et lire le volume V' de gaz carbonique dégagé (essai témoin).

$$\text{Calculs: CaCO}_3 \text{ total (\%)} = \frac{V \cdot 0.3}{V' \cdot P} * 100$$



Figure II. 10 : le calcimètre de Bernard (photo originale)

2.7.5. La granulométrie : Méthode du tamis

- **Matériel**

Balance

Tamis (2000 μ , 500 μ , 250 μ , 50 μ)

- **Mode opératoire**

On pèse 100 g de sol tamisé avec un tamis de 2mm, puis on superpose trois (3) tamis de diamètre différents respectivement : 500 μ , 250 μ et 50 μ .

On tamise l'échantillon de sol puis on récupère les refus sur chaque tamis ; par la suite on pèse les différents refus :

- 2000 μ -500 μ correspond à la fraction de sable grossier
- 500 μ -250 μ : fraction de sable fin
- 250 μ -50 μ : fraction de limon grossier
- Inférieur à 50 μ correspond à la fraction limon fin + argile



Figure II. 11 : Tamisage et pesée de l'échantillon de sol

2.7.6. Le Dosage du gypse : (Méthode trouvée au niveau du laboratoire du département des sciences agronomiques de Biskra)

Réactif :

Acétone

Mode opératoire :

Peser 1 g de sol, mettre dans un bécher de 1 L, ajouter 500 mL d'eau distillée, agiter pendant une heure, puis filtrer.

Prélever 20 mL, mettre dans un godet de la centrifugeuse, ajouter 20 mL d'acétone concentré, puis centrifuger à 3000 tours pendant 5 minutes.

Jeter la solution et ajouter encore dans le godet 10 mL d'acétone puis centrifuger à 3000 tours pendant 5 minutes puis jeter la solution.

Ajouter 40 mL d'eau distillée dans le godet, mélanger avec une spatule et laisser en contact pendant 10 minutes.

Mesurer la conductivité électrique de la solution

Calcul :

Le taux de gypse est calculé par l'utilisation de la courbe standard qui relie la concentration de sulfate de calcium avec la CE. $y=0.0705A+0.118$ donc : $A = \frac{y-0.118}{0.0705}$

L'expression utilisée pour calculer le taux de gypse dans l'échantillon est la suivante :

$$\text{Gypse \% dans le sol} = \frac{A_{\text{meq CaSO}_4}}{1000\text{ml}} * \frac{B_{\text{ml}}}{C_{\text{ml}}} * \frac{1}{D_{\text{g/ml}}} * \frac{0.086\text{g}}{1 \text{ meq gypse}} * 100$$

A : Méq CaSO₄ calculer à partir de l'équation : $A = \frac{y-0.118}{0.0705}$

B : Volume de H₂O pour apporter tout le précipité dans la solution ; 40 mL.

C : Volume de l'aliquote ; 20 mL.

D : Rapport sol/eau ; 1/500

Y : La conductivité électrique (CE)

2.8. Les analyses de l'eau : (Rejsek, 2002)

Le pH et la CE sont mesurés in-situ.

Les analyses du chlorure, des bicarbonates, sont dosées par titration.

Les analyses du calcium Ca^{++} et du magnésium mg^{++} sont dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA)



Figure II. 12 : Forage de l'eau d'irrigation (photo originale)

2.8.1. Le taux de Chlorure : (Méthode argentimétrique).

Réactifs :

Le nitrate d'argent (0.1N)

Chromate de potassium

Matériels :

L'erenmeyer

Burette

Agitateur

Principe :

Les ions chlorures sont précipités à l'état de chlorure d'argent par une solution titrée de nitrate d'argent (AgNO_3). L'indicateur de fin de réaction est le chromate de potassium qui en présence d'un excès d'ions argent.

Essai à blanc :

Le volume de nitrate d'argent nécessaire pour produire la teinte des virages est déterminé au préalable par un essai à blanc, en mettant dans un erlenmeyer :

100 mL d'eau distillée ;

1 mL de chromate de potassium

Doser avec le nitrate d'argent à 4,791 g/L jusqu'au virage de la coloration jaune à une teinte brunâtre.

Noter le volume mL (doit être de l'ordre de 0,2 à 0,3 ml)

Dosage de l'eau :

Prise D'essai E = 50 mL

Ajouter 1 mL de chromate de potassium et doser par l' AgNO_3 jusqu'au virage à la teinte brunâtre

Noter le volume en ml



Figure II. 13 : Dosage du taux de chlorure dans l'eau d'irrigation (photo originale)

2.8.2. Dosage des Bicarbonate : Méthode visuelle

2.8.2.1. Détermination de l'alcalinité composite

Introduire dans un erlenmeyer 50 mL d'échantillon et ajouter 0,1 de phénolphtaléine.

Si aucune coloration rose n'est contenue, considérer l'alcalinité composite comme nulle.

Si une coloration rose est obtenue, titrer avec l'acide chlorhydrique jusqu'à disparition de la coloration. Noter le volume mL d'acide versé.

2.8.2.2. Détermination de l'alcalinité totale

Ajouter 0,1 mL de solution d'indicateur de vert de bromocrésol-rouge de méthyl à la prise d'essai précédente.

Continuer à titrer avec la solution d'acide jusqu'à disparition de toute coloration verte. Noter le volume mL d'acide versé

Calculs :

Réactifs :

Acide chlorhydrique 0,1 mol/L

Poudre de méthyl orange

Mode opératoire :

50 ml de l'échantillon dans l'erlenmeyer

Ajouter de la poudre de Méthyl orange (très petite quantité)

L'échantillon est mis sous agitation

La burette doit être remplie de la solution d'acide sulfurique

La titration commence jusqu'au virage (coloration rouge rose)

2.8.3. Dosage du calcium Ca ++ par le spectrophotomètre d'absorption atomique (au début de l'expérimentation)

Mode opératoire :

Une dilution de 1/5 est faite, 20g de sol sont mis dans une éprouvette de 250 ml ;

Avec 100 ml d'eau distillé

Une agitation de 2 heures

Puis la filtration.

On passe ensuite au réglage et à la vérification de l'appareil : réglage de la pression, de la cathode qui doit être constitué de l'élément qu'on veut doser ; vérification de la fenêtre en verre et le remplissage du gaz (Argon ou Néon), et la connexion du spectrophotomètre avec l'appareil de lecture ; Par la suite, nous procédons au dosage de la gamme de calcium à différents niveaux de concentration.

Une fois La gamme finit, on passe au dosage du calcium pour les échantillons de sols et pour l'eau d'irrigation.

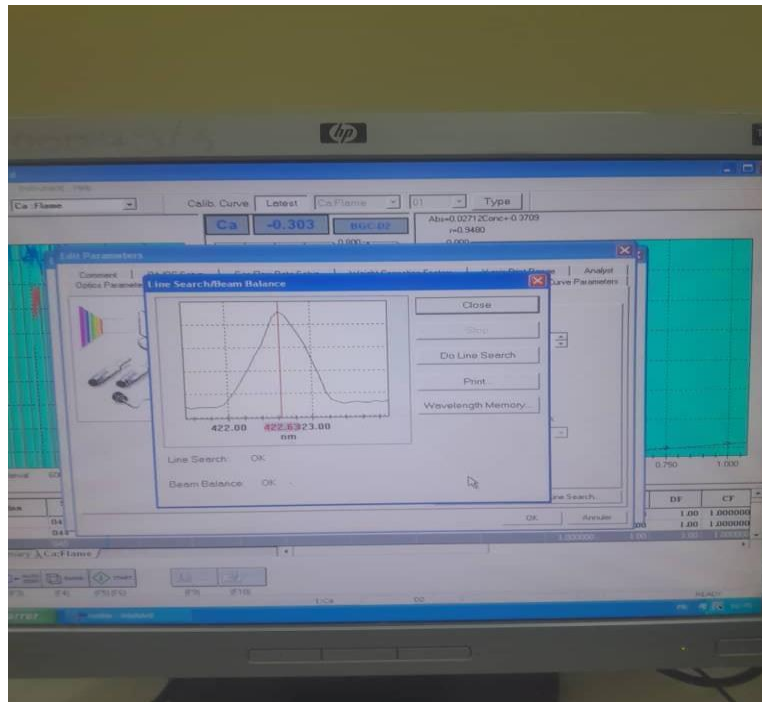


Figure II. 14 : Pic de calcium Ca²⁺ (photo originale)



Figure II. 15 : Spectrophotomètre d'absorption atomique

2.8.4. Dosage du magnésium (Mg^{++}) par le spectrophotomètre d'absorption atomique

Avant l'expérimentation

Par le même principe, que le calcium, le magnésium est dosée avec le spectrophotomètre d'absorption atomique après une dilution de 1/5 on remplace la cathode du Ca par celui du Mg puis on passe au dosage de la gamme à différents niveaux de concentration puis par la suite aux échantillons de sols et a l'échantillon de l'eau d'irrigation

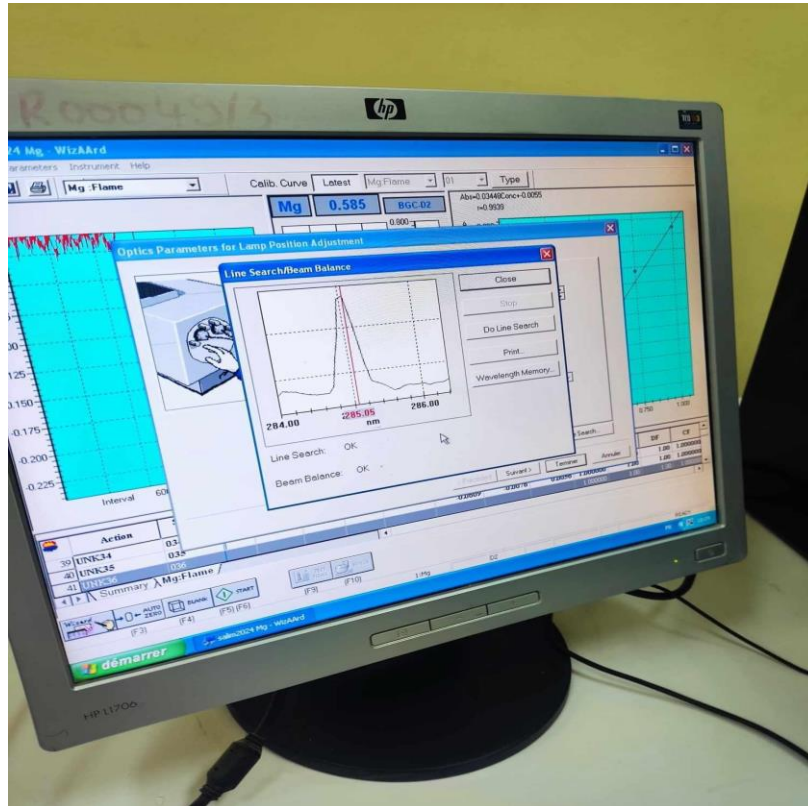


Figure II. 16 : Pic du magnésium Mg^{2+} (photo original)

Après l'expérimentation (dosage par titration)

Réactifs

EDTA

Hydroxyde de sodium

Hydroxyde d'ammonium

Noir eriochrometriéthanolamine (NET)

HSN : mélanger 0.2g d'acide calcone carboxylique ou miroxide avec 100g de NaCl

Mode opératoire

- Pour le calcium : prendre 50 ml d'eau à analyser, ajouter 2 ml de NaOH à 2N, ajouter 0.2g de HSN et titrer avec l'EDTA jusqu'au virage violet.

- Pour TH ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$) : prendre 50 ml d'eau à analyser, ajouter 4 ml d'hydroxyde d'ammonium, ajouter 2 gouttes de NET et titrer avec l'EDTA jusqu'au virage violet bleu.
- **Calculs :**

$$(\text{Ca}^{++}) \text{ en mg/l} = \frac{V1 * C(\text{EDTA}) * F * M(\text{Ca}^{++}) * 1000}{PE} \text{ avec :}$$

V1 : volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée

C (EDTA) : concentration molaire d'EDTA (0.01M)

M (Ca) : masse molaire de calcium en g

F : facteur de dilution

PE : prise d'essai (50ml)

$$(\text{Mg}^{++}) \text{ en mg/l} = \frac{(V2-V1) * C(\text{EDTA}) * F * M(\text{Mg}^{++}) * 1000}{PE}$$

V1 : volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée

V2 : volume total d'EDTA

C (EDTA) : concentration molaire d'EDTA (0.01M)

M (Mg^{++}) : masse molaire de magnésium en g

F : facteur de dilution

PE : prise d'essai (50ml)

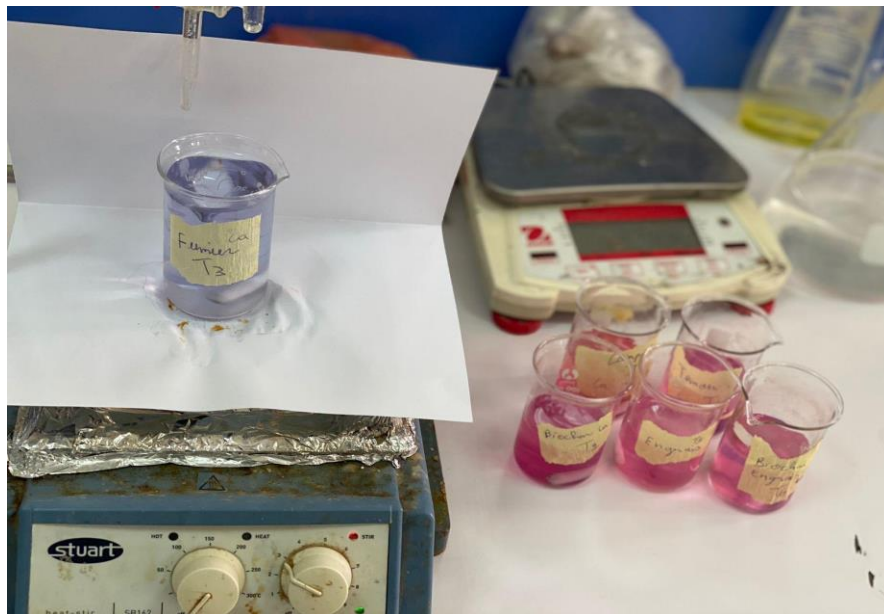


Figure II. 17 : Dosage du Ca^{++} et du Mg^{++} par titration (photo originale)

2.8.5. Dosage du sodium (Na) par le spectrophotomètre de flamme

2.8.6. Dosage du potassium (K⁺) par le spectrophotomètre de flamme



Figure II. 18 : Le photomètre à flamme (photo originale)

2.8.7. Dosage du phosphore assimilable (méthode de Joret-Hebert)

Réactifs

Oxalate d'ammonium

Réactif sulfomolybdique

Acide ascorbique

Mode opératoire

Peser 4g de terre broyée et passée au tamis de 2 mm et introduire dans un flacon de 150/200ml

Ajouter 100ml d'une solution d'oxalate d'ammonium 0.2 N et de pH : 6.5 à 7

Agiter pendant 2h, puis filtrer et recueillir la solution dans un flacon de 100ml

Prélever 1.5ml de la solution dans un tube à essai

Ajouter 2 ml de réactif sulfomolybdique et 6.5ml d'acide ascorbique

Passer les tubes au bain marie bouillant pendant 10 à 12 min

Laisser refroidir et passer au colorimètre à 650 nm

Calculs :

$$\text{P2O5 (ppm)} = X \cdot U / V \cdot P$$

$$= X \cdot 10 / 15 \cdot 100 / 4$$

$$= X \cdot 1000 / 6$$

X= concentration lue sur le graphique de P2O5 en mg/l

U= volume colorimètre (10ml)

V= volume de la prise d'essai (100 ml)

P= poids de terre prise (100g)

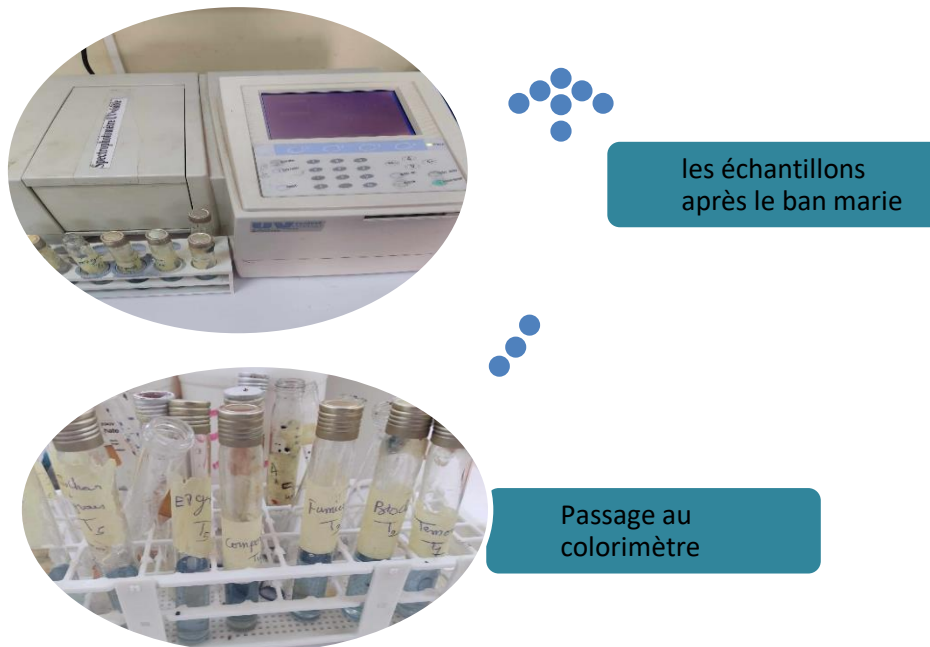


Figure II. 19 : Dosage du phosphore assimilable par le spectrophotomètre UV visible

2.8.8. Dosage de l'azote Total (Méthode Kjeldahl)

Réactifs

Acide sulfurique

Catalyseur : 0.25g de sélénium, 1g de sulfate de cuivre, 1g de sulfate de potassium

Hydroxyde de sodium

Indicateur de Tashiro

Mode opératoire

Minéralisation

Peser 1g de terre fine, passée au tamis à maille de 2mm

L'introduire dans un matras de Kjeldahl de 500ml

Ajouter 1g de catalyseur

Ajouter 20ml d'H₂SO₄ concentré et homogénéiser

Porter à la rampe d'attaque sous hôte bien ventilé, chauffer d'abord à feu doux puis à feu vif jusqu'à l'obtention d'un liquide incolore (l'opération prend plusieurs heures)

Chauffer encore 15 à 30 min après décoloration

Laisser refroidir le matras

Ajouter avec précaution l'eau distillée jusqu'à 100ml

Distillation

Prélever 20 ml pour la distillation

Ajouter 30 ml de NaOH (6N) et distiller en recueillant dans un bécher qui contient 10 ml d'acide borique (2%) et un indicateur coloré mixte jusqu'à 80ml

Titre avec l'acide sulfurique (0.05N)

Faire un témoin avec la même méthode Mais sans sol

Calcul

$$N\% = (n - n') * \frac{V}{V'} * 0.05 * \frac{1.4}{P}$$

n : volume de l'échantillon lue sur la burette

n' : volume de témoin lue sur la burette

V : volume de la solution d'extraction (100ml)

V' : volume prélevé pour la distillation (25ml)

P : poids du sol (1g)



Figure II. 20 : Dosage de l'azote total (photo originale)

2.8.9. Dosage du carbone organique et détermination de la Matière organique (Méthode Walkley et Black)

Réactifs

Bichromate de potassium

Acide sulfurique concentré

Acide phosphorique concentré

Sulfate de fer d'ammonium

Diphénylamine

Mode opératoire

Peser 1g de sol dans un bécher de 500ml

Ajouter 10 ml de bichromate de potassium

Ajouter 20 ml de l'acide sulfurique concentré

Laisser reposer 30 min puis ajouter 200 ml d'eau distillée

Ajouter 10 ml de l'acide phosphorique concentré

Ajouter 10 à 15 gouttes de l'indicateur coloré diphénylamine

Titrer avec le sulfate de fer d'ammonium jusqu'à l'apparition d'une couleur verte

Préparer un témoin avec la même méthode mais sans sol

$$\text{Calcul : } C\% = \frac{(n' - n)}{p} * 1 * \frac{0.3}{0.77} \text{ Avec :}$$

n' : volume de témoin

n : volume de l'échantillon

p : poids du sol

La matière organique MO% = C% * 1.72

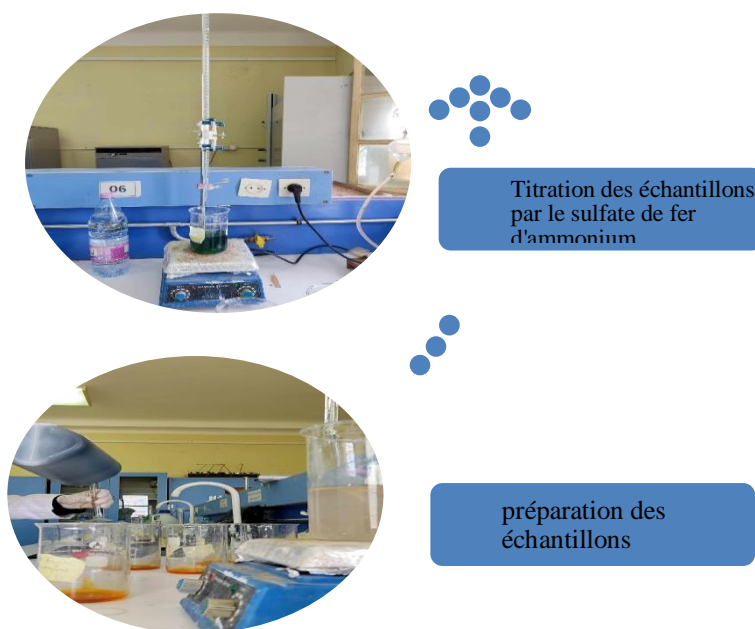


Figure II. 21 : Dosage du carbone organique (photo originale)

2.8.10. Dosage des sulfates par le spectrophotomètre UV visible

Réactifs et méthode de préparation :

Eau déminéralisée

Solution NaCl, HCl

Dans une fiole jaugée de 2000 ml ajouter 40 ml d'HCl concentré (36%, $d=1,18$) à 480 g de chlorure de sodium. Ajuster au volume avec de l'eau distillée. Homogénéiser.

Gomme d'acacia 0,25% :

Dans une fiole jaugée de 100 ml, dissoudre dans de l'eau déminéralisée 0,25 g de gomme d'acacia. Ajuster au volume. Homogénéiser.

Chlorure de baryum en poudre

Solution mère de sulfate de sodium 200 méq/l

Dans une fiole jaugée de 500ml contenant environ 400 ml d'eau déminéralisée dissoudre 7,1025 g de sulfate de sodium anhydre, ajuster au volume. Homogénéiser.

Solution fille de sulfate de sodium

Dans une fiole jaugée de 1000 ml diluer respectivement 5, 10, 15, 20, et 25 ml de la solution mère avec de l'eau déminéralisée. Ces solutions contiennent respectivement 1, 2, 3, 4 et 5 méq/l. Ajuster au volume avec de l'eau déminéralisée. Homogénéiser.

Préparation de la gamme :

Transférer 25 ml de l'extrait dilué dans une fiole jaugée de 100ml et ajouter 10 ml de la solution de NaCl, HCl), 2 ml de gomme d'acacia et 1g de poudre de chlorure de baryum.

Agiter à la main et ajuster au volume avec de l'eau déminéralisée. Homogénéiser.

Préparer un témoin et les solutions filles selon le même protocole.

En prenant le témoin comme référence, ajusté à 0,00 l'absorbance du spectrophotomètre, régler à 600nm.

Mesurer l'absorbance au spectrophotomètre à 600 nm pour les solutions filles et les échantillons.

Calculs :

Après lecture au spectrophotomètre, préparer un graphique dont l'axe des X étant l'absorbance et l'axe des Y la concentration en sulfates en meq/l des solutions filles.

Tracer la droite d'étalonnage et déterminer à l'aide de cette droite les concentrations en sulfates (meq/l) des échantillons de la façon suivante :

$$S_{O4} \text{ (méq/l)} = C * D \text{ ou mmol/l}$$

C : concentration calculée à partir de la droite d'étalonnage.

D : Niveau de dilution (10 ou 100).



Figure II. 22 : Spectrophotomètre UV visible (photo originale)

2.9. Matériel végétal

La variété de l'orge utilisée est la variété Saïda, c'est une variété issue d'une sélection de la population locale d'orge du pays développée dans les années soixante. Elle est de type 6 rangs, à épi lâche à barbe pigmentées et longues. C'est une variété très cultivée à l'ouest comme à l'est du pays surtout en zone de plaines intérieures. Elle présente un cycle végétatif semi-précoce, un tallage moyen ainsi qu'une bonne productivité. Cette variété présente des rendements assez intéressants et aussi appréciée par les agriculteurs pour son potentiel fourrager.

- Date de semis : le 24/12/2023
- Date de la récolte : le 11/05/2024

2.9.1. Les Paramètres étudiés : Les stades végétatifs

- Le Pourcentage de Germination

Le pourcentage de germination est une estimation de la viabilité d'une population de graines.

L'équation pour calculer le pourcentage de germination est :

$$PG = \text{graines germées} / \text{graines totales} \times 100 \dots$$

Le taux de germination fournit une mesure de l'évolution dans le temps de la germination des graines. (Stephen, 2009).

- La levée ou germination : Noter les jours où la plupart des plantules de semis sont visibles (28/12/2024)
- Le début de tallage Noter le jour où la première talle est visible sur la plupart des plantes (01/02/2024)
- La montaison (stade épi 1 cm) Pour la déterminer, il faut mesurer en mm, la distance qui sépare la basse du plateau de tallage du sommet de l'épi, une fois qu'elle atteints 1 cm, le stade début montaison est atteint (28/02/2024)
- L'épiaison : Elle est atteinte quand 50 % des tiges ont leur épi dégagé (23/03/2024)

- La maturation : elle est caractérisée par le jaunissement total de la végétation (11/05/2024)

2.9.2. Les Composantes du rendement

Nous avons récolté les épis dans un sachet, puis un fauchage de la parcelle (1m²) sur une hauteur de 15 cm sol, dans ce stade nous avons mesuré aussi les paramètres suivants :

2.9.2.1. Nombre d'épis par mètre carré (NE)

Comptage du nombre d'épis de chaque planche de 1m² de la parcelle.

2.9.2.2. Nombre de grains par épi (NGE)

Nombre de grains fertiles par épi (Rahal Bouziane et Abdelguerfi, 2012) Déterminé par le calcul de la moyenne des résultats prélevée sur 10 épis de chaque planche de 1m² pour chaque accession.

2.9.2.3. Poids de 1000 grains

Le comptage est effectué manuellement après la récolte. Le poids de 1000 grains est déterminé sur la base du comptage pesage d'un échantillon de 250 grains par parcelle élémentaire (Bouzerzour, et al, 2000).

2.9.2.4. Rendement

- **Poids des épis**

Obtenu par pesage des épis sans paille.

- **Rendement en paille (RP)**

C'est le poids de la biomasse aérienne moins le poids des grains d'1m², puis exprimé en qx/ha.

- **Rendement en grains**

a) Rendement théorique

Déterminé par ses composantes, par la formule :

$$\text{RDT} = \text{NE} \times \text{NGE} \times \text{PMG}$$

Où

NE : nombre d'épis/m²

NGE : nombre des grains/épis

PMG : poids moyen d'un grain.

b) Rendement machine

Il est déterminé pour chaque planche de 1 m² en g/m², puis exprimé en qx/ha, c'est le poids des grains produit.

Partie III : Résultats et discussions

Cette partie est consacrée aux résultats et discussions des différents traitements obtenus sur terrain et des analyses réalisées au niveau du laboratoire du département des sciences Agronomiques de Biskra au début de la saison cultural et à la fin de l'expérimentation ainsi que sur l'eau d'irrigation provenant du complexe terminal. Et également des résultats et des discussions de l'analyse de la variance effectuée pour les composantes du rendement des différents traitements.

III.1. Les Résultats et discussions de la composition de l'eau d'irrigation

III.1.1. Résultats

Tableau III. 1 : Evaluation de la qualité de l'eau d'irrigation de la zone d'étude

Eau d'irrigation	pH	CE en ds/m	Mg ⁺⁺ en méq/l	Ca ⁺⁺ en méq/l	Na ⁺ en méq/l	K ⁺ en méq/l	SO ₄ ⁻ en méq/l	HCO ₃ ⁻ en méq/l	Cl ⁻ en méq/l
Valeurs et concentrations	7.24	9.6	8.19	8.56	52.08	0.59	39.58	1	25

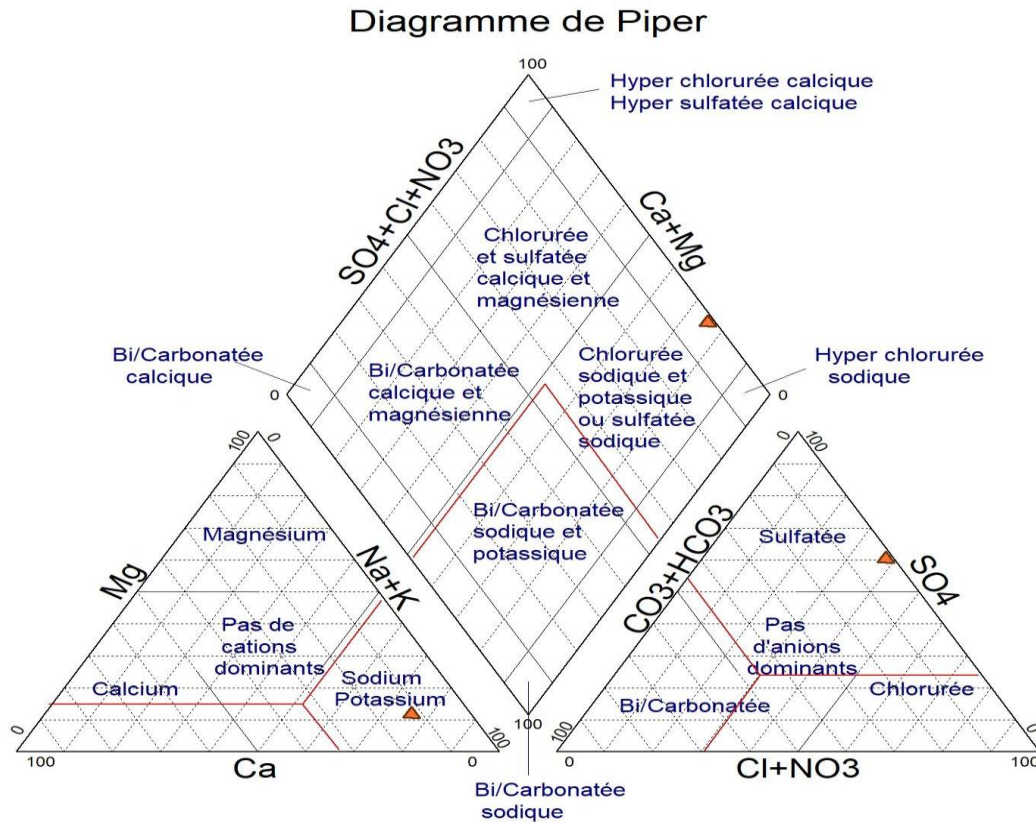


Figure III. 1 : Diagramme de piper de l'eau d'irrigation (CT)

III.1.2. Discussions

L'examen de la composition chimique des eaux étudiées montrent que les eaux sont fortement salées selon la classification des eaux (CSS 1954), la CE de l'eau d'irrigation est de 9 ds/m et un pH basique : la composition ionique montre la dominance du Na^+ pour les cations et les sulfates pour les anions. Ce qui lui confère un faciès hydrochimique de type sulfaté sodique. Nous avons une classification de la teneur en ions (en pourcentage %) de manière décroissante (du taux des plus élevés au taux les plus bas) :

- Pour les cations : Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+
- Pour les anions : SO_4^- , Cl^- , HCO_3^-

.2. Les Résultats et discussions des paramètres physiques et chimiques des sols de la zone d'étude : Au début (1) et à la fin de l'expérimentation (2)

.2.1. Les paramètres physiques :

.2.1.1. La granulométrie :

A- Résultats

Tableau III. 2 : Granulométrie de la zone d'étude

Propriétés du sol	Diamètre du tamis	Poids du refus en g	En %
Sable grossier	2000-500 μ	8.2	8.2%
Sable fin	500-250 μ	15.7	15.7%
Limon grossier	250-50 μ	73.6	73.6%
Limon fin + argile	Inférieur à 50 μ	3.3	3.3%

B- Discussions :

L'analyse granulométrique montre un grand pourcentage de limon (70%). Cela représente une texture limoneuse-sableuse qui est en faveur d'un état de compactage exprimé par une densité apparente de 1.52g/cm³.

.2.1.2. La densité apparente « da »

A- Résultats

Les calculs de la densité apparente (da) par la méthode du cylindre ont donné une densité : da = 1.53g/cm³.

B- Discussions

Les résultats de la densité apparente obtenus montrent en effet une structure de sol sableux.

.2.2. Le potentiel d'hydrogène pH :

A- Résultats

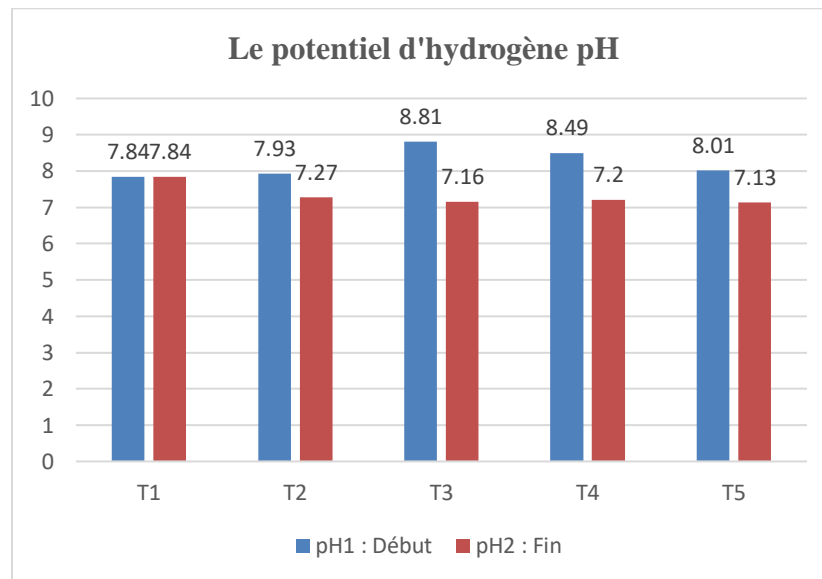


Figure III. 2 : Diagramme du potentiel d'hydrogène

(Légende : Témoin T1 ; Biochar T2 ; Fumier T3 ; Engrais T4 ; Biochar activé avec engrais T5)

B- Discussion

Au début et à la fin de l'expérimentation

Le graphique montre les valeurs du potentiel d'hydrogène (pH) de différents traitements du sol au début et à la fin de l'expérimentation.

On remarque que les valeurs du pH au début de l'expérimentation (pH1) sont comprises entre 7.9 et 8.8. Cela indique que le sol est devenu fortement alcalin. Tandis que ceux à la fin de l'expérimentation (pH 2) varient entre 7.1 et 7.27, montrant un état basique du sol.

- Pour le témoin **T1** les valeurs du pH tendent vers un état alcalin du début à la fin de l'expérimentation. (pH 1 et pH 2 =7.84)
- Pour le **traitement du biochar T2 et biochar activé avec engrais T5** :

pH1 On peut observer que le pH du sol a augmenté progressivement au début. Cela peut s'expliquer par la disponibilité de matière organique contenue dans les différentes parcelles et aussi par l'apport de cations basiques par le biochar (Frimpong Manso *et al.*, 2019).

pH2 à la fin de l'expérimentation, on note une légère diminution, le sol devient légèrement alcalin, ce qui peut s'expliquer par la capacité du biochar à réguler le pH pour offrir une meilleure condition aux cultures. Le pH optimal des cultures pour une meilleure absorption des nutriments étant compris entre 6 et 7,5, un sol trop alcalin peut rendre certains nutriments indisponibles et perturber la flore microbienne.

- Pour le fumier **T3 et engrais NPK T4** :

pH1 : on peut observer que le pH du sol a augmenté progressivement au début de l'expérience. Le sol devient fortement alcalin, Cela peut s'expliquer par la disponibilité de matière organique contenue dans les différentes parcelles qui contribue à augmenter le pH du sol ou par l'activité microbologique qui peut également influencer le pH du sol.

pH2 à la fin de l'expérimentation, on note pareillement une diminution dans les deux traitements (T3 et T4), ce qui peut être expliqué par l'utilisation d'engrais azotés (Exemple : l'urée) ou organiques (Exemple : fumier) qui peut acidifier le sol suite à la nitrification de l'ammonium provoquée par les bactéries.

Selon Baize (1988), le pH du sol est un indicateur important de sa fertilité. Un pH compris entre 6,5 et 7 est considéré comme optimal pour la plupart des cultures. Un pH inférieur à 6 indique un sol acide, tandis qu'un pH supérieur à 7 indique un sol alcalin.

Tableau III. 3 : Classification du pH. (Référentiel pédologique Français) in (Baize, 1988)

Les valeurs du pH	Interprétations
Inférieur à 3.5	Hyper-acide
Entre 3.5 et 5	Très acide
Entre 5 et 6.5	Acide
Entre 6.5 et 7.5	Neutre
Entre 7.5 et 8.7	Basique / alcalin
Supérieur à 8.7	Très basique / alcalin

.2.3.La conductivité électrique en ds/m

A- Résultats

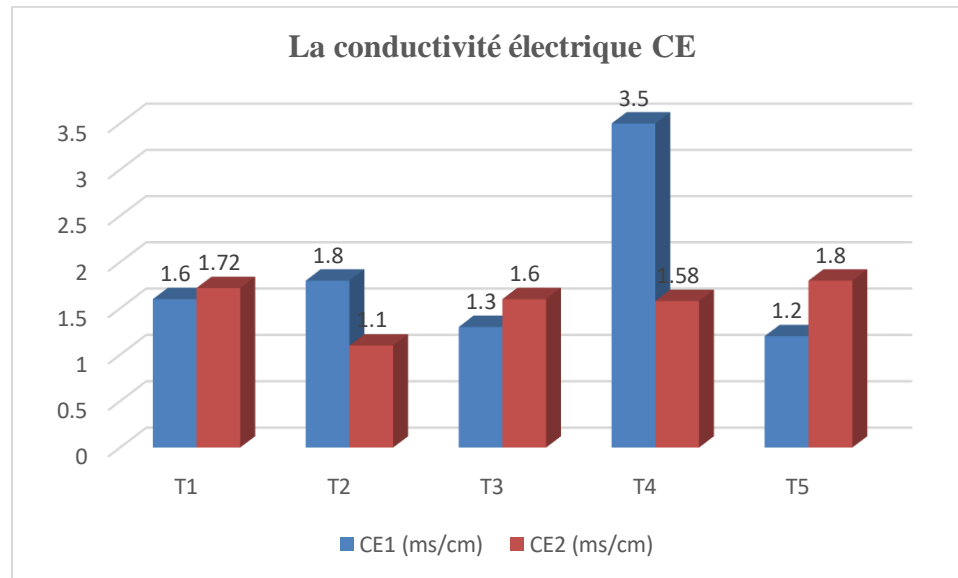


Figure III. 3 : Diagramme de la conductivité électrique des différents traitements.

(Légende : Témoin T1 ; Biochar T2 ; Fumier T3 ; Engrais T4 ; Biochar activé avec engrais T5)

B- Discussions

Le diagramme ci-dessus représente la conductivité électrique (CE) du sol de différents traitements : **Témoin T1 ; Biochar T2 ; Fumier T3 ; Engrais T4 ; Biochar activé avec engrais T5** au début de l'expérimentation CE1 et à la fin de l'expérimentation CE2 en (ds/m).

Il ressort du diagramme de l'évolution de la salinité que la CE a diminué à la fin de l'expérience pour avoir une teneur inférieure à 2.2 ds/m pour les échantillons (T1, T2, T3 et T5).

Cependant, les mesures de la salinité effectuées en début de l'expérimentation montrent que le traitement T4 (engrais) présente la salinisation la plus importante de 3,5 ds/m par rapport aux différents traitements. Ceci peut être expliqué par l'utilisation d'engrais qui peut augmenter la salinité (CE) du sol.

La diminution de la CE pour le sol traité avec le biochar (T2) peut être due à l'absorption des sels par le biochar, car le biochar possède également un fort potentiel d'absorption de sel et donc diminue la salinité globale du sol (Thomas et al. (2013).

D'après la classification de la qualité du sol selon l'échelle de Durand J.H, (1983), les traitements T1, T2, T3, T5 sont salés (Classe III) tandis que celui du T3 est très salé (Classe IV).

Tableau III. 4 : Classe de la qualité des sols selon l'échelle de Durand J.H. (1983)

Classe	CE en $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 25 °C	Qualité des sols
Classe I	0 à 500	Non salé
Classe II	500 à 1000	Légèrement salé
Classe III	1000 à 2000	Salé
Classe IV	2000 à 4000	Très salé
Classe V	Plus de 4000	Extrêmement salé

.3. Les paramètres chimiques des sols :

.3.1. Le calcaire total

A- Résultats

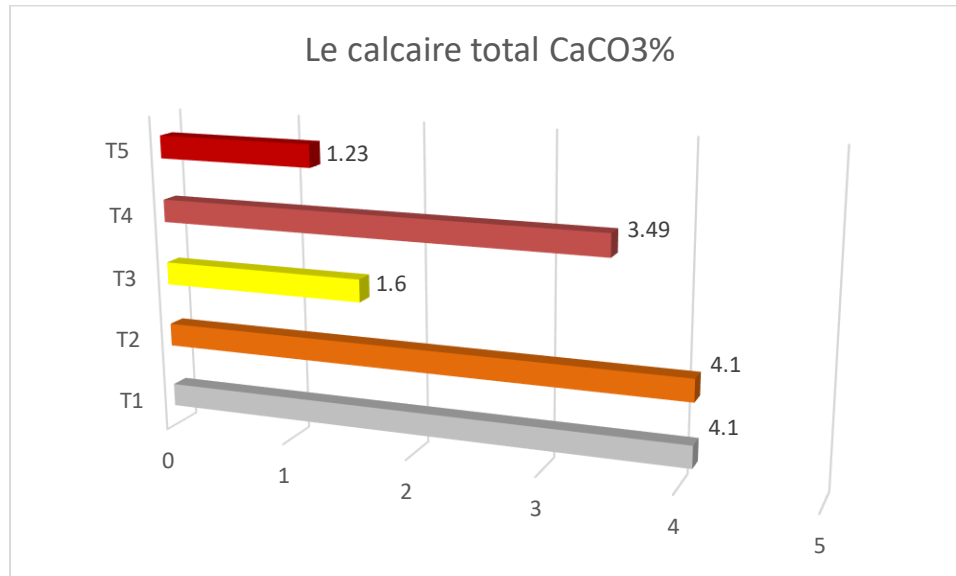


Figure III. 4 : Diagramme du calcaire total

(Légende : Témoin T1 ; Biochar T2 ; Fumier T3 ; Engrais T4 ; Biochar activé avec engrais T5)

B- Discussions

- Les résultats de CaCO_3 total figurés ci-dessus montrent que le sol est dépourvu en CaCO_3 total avec un taux inférieur à 5%, cela explique les faibles quantités de CaCO_3 total trouvées dans les différents traitements.

Pour un taux de CaCO_3 total inférieur à 5%, on signale l'absence totale du calcaire actif.

- **Pour les traitements T1 et T2 : représentent** la teneur en calcaire total du sol sans traitement T1 et avec traitement au biochar T2. On peut observer que la teneur en calcaire totale est de 4,1 %. Cela indique que le sol est légèrement calcaire. Ces valeurs représentent

les plus grands taux de calcaire total observés dans le sol. Cela suggère que le traitement au biochar T2 n'ait pas eu d'impact sur la teneur en calcaire total du sol.

- **Pour T4** : représente la teneur en calcaire total du sol après un traitement à l'engrais. Cela indique que le sol est légèrement calcaire. On peut observer une légère diminution de la teneur en calcaire total due à l'application de l'engrais composé NPK par rapport aux deux autres traitements.
- **Pour T3 et T5** : représentant les teneurs en calcaire total les plus faibles du sol après un traitement au fumier T3 et au biochar activé avec engrais T5. On peut observer que la teneur en calcaire totale a considérablement diminué. Cela suggère que l'effet des apports organiques (fumier et biochar activé avec engrais) sur la teneur en calcaire total est moins important que celui des apports minéraux (NPK).

Tableau III. 5 : Interprétations selon (Baize, 1988)

CaCO ₃ %	Interprétation
1%	non calcaire
1 à 5%	peu calcaire
5 à 25%	modérément calcaire
25 à 50%	fortement calcaire
50 à 80%	très fortement calcaire
Supérieur à 80%	excessivement calcaire

.3.2. Le gypse

A- Résultats :

Tableau III. 6 : Taux de gypse du périmètre de Barkadjia et normes d'interprétations

Traitements	Gypse%	Interprétations
Témoin T1	0.0001	Sol non gypseux
Biochar T2	0.0001	Sol non gypseux
Fumier T3	0.0001	Sol non gypseux
Engrais T4	0.0001	Sol non gypseux
Biochar activé avec engraisT5	0.0001	Sol non gypseux

B- Discussions

Les résultats du tableau ci-dessus présentent le pourcentage de gypse dans les différents traitements. Ce pourcentage étant nul, on peut déduire que le sol est non gypseux, ce qui peut être expliqué par la faible teneur en calcaire total du sol.

.3.3.La capacité d'échange cationique (CEC)

A- Résultats

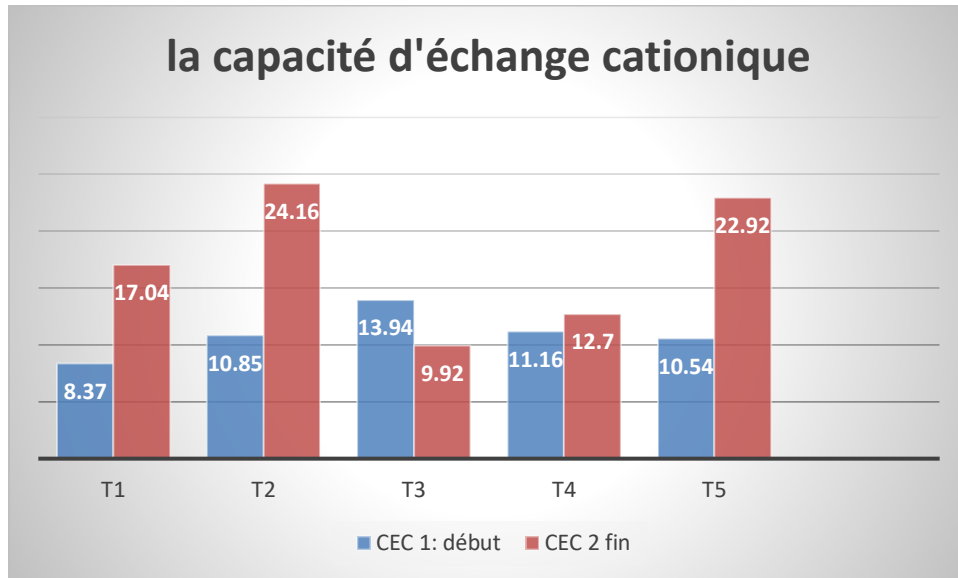


Figure III. 5 : Diagramme de la capacité d'échange cationique

(Légende : Témoin T1 ; Biochar T2 ; Fumier T3 ; Engrais T4 ; Biochar activé avec engrais T5)

B-discussions

Le graphique ci-dessus illustre les valeurs de la capacité d'échange cationique (CEC) dans le sol suite à l'application de différents traitements : témoin (T1), biochar (T2), fumier (T3), engrais (T4) et biochar activé avec engrais (T5) au début CEC1 et à la fin de l'expérimentation CEC2.

- Pour T2 et T5 : Les traitements avec du biochar activé avec engrais (T5) et du biochar T2, présentent les valeurs de CEC les plus élevées. On note une notable augmentation de la CEC, cela suggère que ces traitements ont eu un impact positif sur la capacité de rétention du sol. Ceci peut être expliqué par la capacité du biochar à augmenter la capacité de rétention du sol grâce à sa grande surface spécifique et à sa structure microporeuse.

- Pour T3, le traitement avec du fumier (T3) se classe en deuxième position en termes de valeur de CEC. Cela indique que l'apport de matière organique sous forme de fumier a également contribué à améliorer la CEC du sol.
- Pour T4, le traitement avec des engrais uniquement (T4) présente des valeurs de CEC intermédiaires. Cela suggère que ces traitements aient eu un effet modéré sur la CEC du sol.
- Pour T1 Enfin, le traitement témoin (T1) présente la valeur de CEC la plus faible au début de l'expérimentation, puis par une augmentation considérable à la fin de l'expérimentation CEC2 Cela indique que l'absence de traitement a un impact sur la CEC du sol à long terme ceci peut s'expliquer par la densité du système racinaire.
- L'analyse des valeurs de la CEC dans le sol pour différents traitements met en évidence l'impact positif sur l'augmentation de la CEC du sol. Ces traitements ont permis d'améliorer la capacité du sol à retenir les cations essentielles pour les plantes, contribuant ainsi à une meilleure fertilité du sol et à une croissance optimale des cultures. Cela pourrait s'expliquer par l'augmentation de la teneur en matière organique issue de l'abondance du système racinaire et du pH du sol. En effet, Mbonigaba (2007) et Mze (2008) ont montré qu'une augmentation de la matière organique et du pH du sol entraîne une augmentation de la CEC du sol.

Tableau III. 7 : Classes d'appréciation des sols d'après la qualité des bases échangeables en méq pour 1000g du sol (référentiel pédologique 1992)

Valeurs de la CEC (Cmol/1kg)	Interprétations
Inférieur à 5	Très faible
Entre 5 et 10	Faible
Entre 10 et 25	Moyenne
Entre 25 et 40	Elevée
Supérieur à 40	Très élevée

.3.4. La matière organique au début et à la fin de l'expérimentation

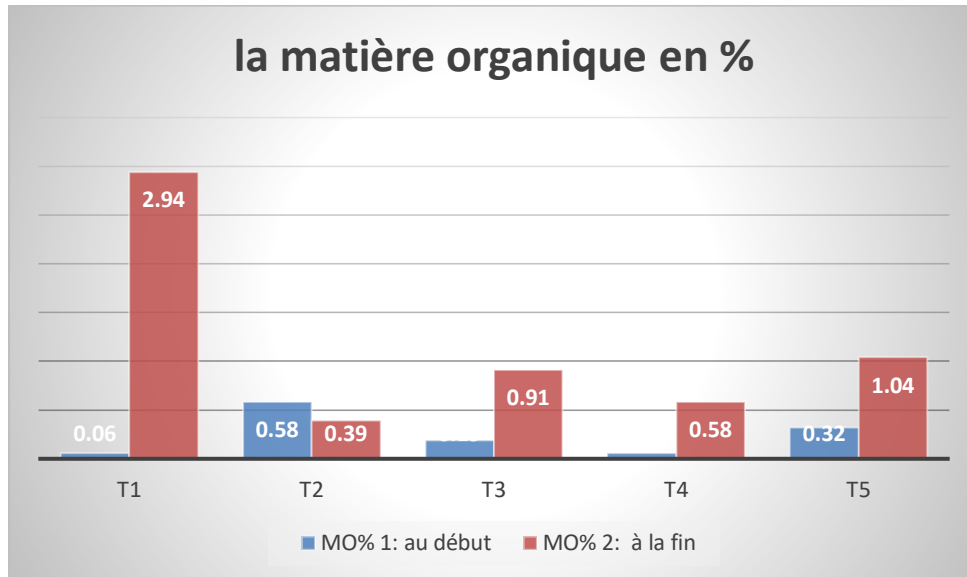


Figure III. 6 : Histogramme de l'évolution de la matière organique (Légende : Témoin T1 ; Biochar T2 ; Fumier T3 ; Engrais T4 ; Biochar activé avec engrais T5)

A- Discussions

La figure ci-dessus présente un graphique illustrant les teneurs en matière organique (MO) dans le sol suite à l'application de différents traitements : témoin (T1), biochar (T2), fumier (T3), engrais (T4) et biochar activé avec engrais (T5).

- Le traitement avec du biochar activé avec l'engrais (T5) présente les valeurs les plus élevées en MO. Cela indique que l'utilisation conjointe de biochar activé avec engrais a contribué à augmenter la quantité de matière organique dans le sol. Cela est fonction de la richesse en carbone du biochar (Gomez *et al.*, 2014).
- Le traitement avec du fumier (T3) se classe en deuxième position en termes de teneurs en MO. Cela suggère que l'ajout de fumier ait eu un impact positif sur l'enrichissement du sol en matière organique.
- Pour le traitement avec du biochar (T2), on remarque que les valeurs de MO sont un peu moins que celles des deux traitements précédents. Cela suggère que ces traitements aient eu

un effet modéré sur l'augmentation de la matière organique dans le sol. Ce qui peut probablement s'expliquer par une perte de biochar par lessivage à cause d'irrigation.

- Pour le traitement à l'engrais (T4), on note également une augmentation de la teneur en matière organique à la fin de l'expérimentation avec des teneurs un peu plus faibles que les traitements précédents. Ce qui peut s'expliquer par l'application d'engrais chimiques qui peut accélérer la décomposition de la matière organique et entraîner une perte de carbone organique du sol.
- Enfin, le traitement témoin (T1), on note une augmentation considérable de la teneur en matière organique à la fin de l'expérimentation (MO2), Cela peut s'expliquer par la formation d'humus, un composant stable de la matière organique suite à la décomposition de la matière organique par les micro-organismes qui libère du CO₂ dans l'atmosphère.
- Ces résultats montrent tous en effet une augmentation de la matière organique du sol ; cela peut s'expliquer par la prolifération du système racinaire de la culture étudiée ainsi que des mauvaises herbes (culture d'orge).

Tableau III. 8 : Interprétation de la matière organique (source I.T.A. 1977)

Valeurs de MO%	Interprétations
Inférieur à 1	Très pauvre
Entre 1 et 2	Pauvre
Entre 2 et 4	Moyenne
Supérieur à 4	Riche

.3.5.Les ions de la solution du sol :

.3.5.1. Le calcium Ca^{++} et le magnésium Mg^{++}

Le calcium Ca^{++}

A- Résultats

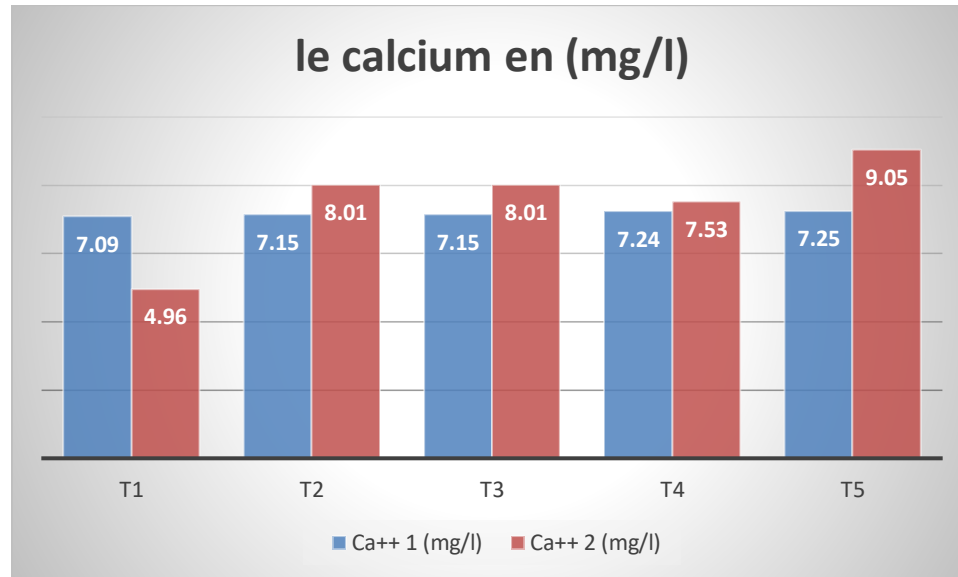


Figure III. 7 : Histogramme du calcium Ca^{++}

(Légende : Témoin T1 ; Biochar T2 ; Fumier T3 ; Engrais T4 ; Biochar activé avec engrais T5)

B- Discussions

La figure ci-dessus représente un graphique illustrant les teneurs en calcium (Ca^{2+}) dans le sol suite à l'application de différents traitements : témoin (T1), biochar (T2), fumier (T3), engrais (T4) et biochar activé avec engrais (T5) au début (Ca^{++} 1) et à la fin de l'expérimentation (Ca^{++} 2).

En observant le graphique, on remarque des variations des teneurs en Ca^{++} entre les différents traitements.

- Pour T5 : le traitement avec du biochar activé avec l'engrais (T5) présente la teneur en Ca^{++} la plus élevée. Cela suggère que ce traitement ait eu un impact positif sur la disponibilité du calcium dans le sol.
- Pour T3 et T2 : le traitement avec du fumier (T3) et biochar (T2) se classe en deuxième position en termes de teneur en Ca^{++} . Cela indique que l'apport de matière organique sous forme de fumier et biochar a contribué à augmenter la teneur en calcium du sol.
- Pour T4 : le traitement avec des engrais uniquement (T4) présente des teneurs en Ca^{2+} plus faibles comparé aux traitements précédents. Cela suggère que ces traitements aient eu un effet modéré sur la teneur en calcium du sol.
- Enfin, le traitement témoin (T1) présente la teneur en Ca^{++} la plus faible, on note également une diminution de cette teneur. Cela indique que l'absence de traitement a induit une diminution de la teneur en calcium du sol.
- En tenant compte des faibles taux de calcaire total et de la présence quasi nulle du gypse dans le sol étudié, on peut prédire que les chlorures de calcium (CaCl_2) constituent la source de calcium soluble dans le sol. La teneur en calcium des différents traitements peut s'expliquer par la dissolution des chlorures de calcium du sol et aussi par un enrichissement en calcium de la solution du sol à partir de l'eau d'irrigation.

Magnésium (Mg⁺⁺)

A-Résultats

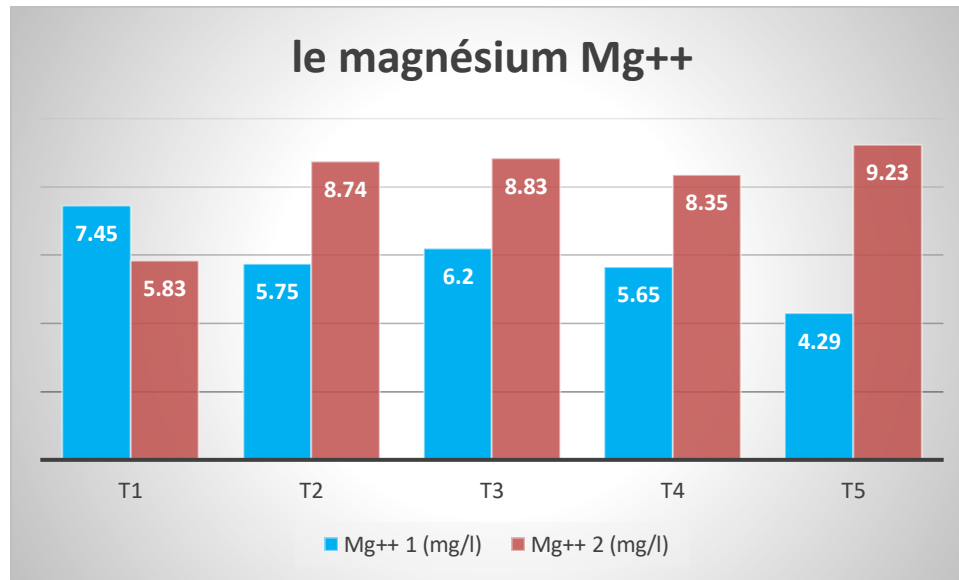


Figure III. 8 : Histogramme du magnésium Mg⁺⁺ (mg/l) au début (Mg⁺⁺1) et à la fin de l'expérimentation (Mg⁺⁺2)

(Légende : Témoin T1 ; Biochar T2 ; Fumier T3 ; Engrais T4 ; Biochar activé avec engrais T5)

B-Discussions

- Pour T5: le traitement avec du biochar activé et de l'engrais (T5) présente également la teneur en Mg⁺⁺ la plus élevée, avec environ 9,23 mg/l. Cela suggère que ce traitement a eu un impact positif sur la disponibilité du magnésium dans le sol.
- Pour T3 et T2 : Le traitement avec du fumier (T3) et du biochar (T2) se classe en deuxième position en termes de teneur en Mg⁺⁺, respectivement T3:8,83 mg/l et T2:8.74 Cela indique que l'apport de matière organique sous forme de fumier et de biochar a induit une augmentation de la teneur en magnésium du sol.

- Pour T4, le traitement engrais uniquement (T4) présente des teneurs en Mg^{2+} un peu plus faibles par rapport aux traitements précédents, environ 8,35 mg/l. Cela suggère que ce traitement ait eu un effet modéré sur la teneur en magnésium du sol.
- Enfin, le traitement témoin (T1) montre que la teneur en Mg^{++} a diminué. Cela indique que l'absence de traitement a induit une diminution de la teneur en magnésium du sol.
- Ces taux moyens de magnésium dans le sol sont dus à l'enrichissement du sol en Mg^{++} à travers les eaux d'irrigation.

Tableau III. 9 : Normes d'interprétations du magnésium : (référentiel pédologique 1992 et ENITA de bordeaux 2000)

Valeurs de Mg^{++} en mg/l	Interprétations
Inférieure à 5	Très faible
Entre 5.1 et 7	Faible
Entre 7.1 et 9	Moyen
Entre 9.1 et 12	Elevé
Supérieur à 12	Très élevé

.3.5.2. Le sodium Na^+ et le potassium K^+

Le sodium échangeable Na^+

A- Résultats

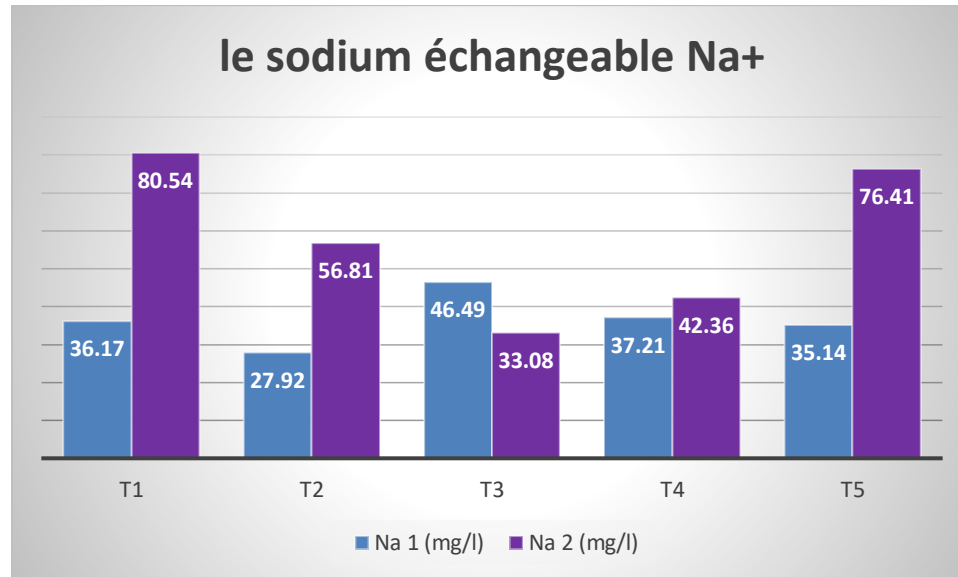


Figure III. 9 : Histogramme sodium Na^+ en (mg/l)

(Légende : Témoin T1 ; Biochar T2 ; Fumier T3 ; Engrais T4 ; Biochar activé avec engrais T5)

B- Discussions

- Le traitement avec du biochar activé et de l'engrais (T5) présente la teneur en Na^+ échangeable la plus élevée après le traitement T1 témoin, avec environ 76,41 mg/l. Cela suggère que ces traitements aient induit une augmentation de la teneur en sodium du sol.
- Le traitement avec du biochar (T2) se classe en deuxième position en termes de teneur en Na^+ échangeable, avec approximativement 56,81 mg/l. Cela indique que l'apport de matière organique sous forme de fumier a également contribué à augmenter la teneur en sodium du sol.

- Les traitements avec des engrais uniquement (T4) présentent des teneurs en Na^+ échangeables intermédiaires. Cela suggère que ce traitement ait eu un effet modéré sur la teneur en sodium du sol.
- Pour le traitement au fumier T3, on note une légère diminution de la teneur en Na^+ , ceci pourrait s'expliquer par une lixiviation du sodium échangeable ou par la substitution du sodium et calcium soluble impliquant une légère augmentation du taux de calcaire entraînant ainsi une diminution du taux de sodium dans le sol.

Potassium (K^+)

A- Résultats

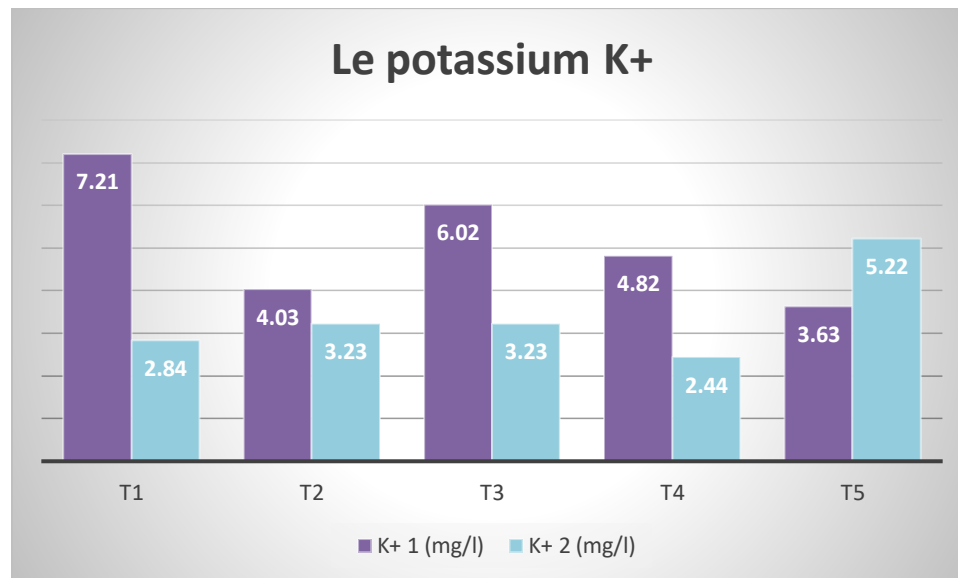


Figure III. 10 : Histogramme du potassium K^+ (mg/l)

(Légende : Témoin T1 ; Biochar T2 ; Fumier T3 ; Engrais T4 ; Biochar activé avec engrais T5)

Le potassium est un autre élément essentiel à la croissance des plantes. Il est impliqué dans de nombreux processus physiologiques, notamment la photosynthèse, la respiration et la régulation de l'eau. La quantité de potassium échangeable dans un sol dépend de plusieurs facteurs, surtout la texture du sol, le pH et la présence d'autres cations.

- Le traitement avec du biochar activé avec l'engrais (T5) présente la teneur en K^+ échangeable la plus élevée à la fin de l'expérimentation. Cela suggère que ce sol est plus susceptible de retenir ces cations comparé aux autres traitements.
- Le traitement avec du biochar (T2), du fumier (T3), des engrais (T4) et du témoin (T1) montrent en opposé une légère diminution de la teneur en potassium. Cela suggère que ces sols soient plus susceptibles de lixivier ces cations.
- Ces teneurs peuvent être expliquées par la nature du sol de notre parcelle d'étude.

.3.5.3. Les bicarbonates HCO_3^-

A- Résultats

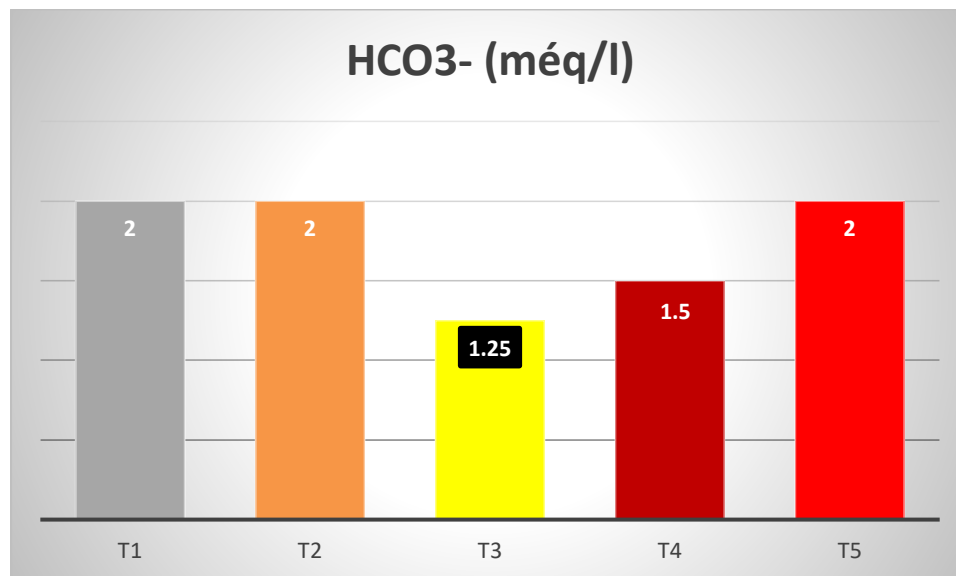


Figure III. 11 : Histogramme des bicarbonates

(Légende : Témoin T1 ; Biochar T2 ; Fumier T3 ; Engrais T4 ; Biochar activé avec engrais T5)

B- Discussions

La figure ci-dessus montre que les teneurs en bicarbonates (HCO_3^-) dans le sol suite à l'application de différents traitements : témoin (T1), biochar (T2), fumier (T3), engrais (T4) et biochar activé avec engrais (T5) :

En observant le graphique, on remarque une variation des teneurs en bicarbonates entre les différents traitements.

- Pour T5, T2 et T1, les traitements avec du biochar activé avec engrais (T5), biochar T2 et fumier présentent la teneur en bicarbonates la plus élevée, avec environ 2méq/l.
- Le traitement avec du fumier (T3) et le traitement à l'engrais (T4) présentent des teneurs en bicarbonates un peu plus faibles.
- Ces faibles teneurs peuvent s'expliquer par la faible quantité du calcaire total CaCO_3 contenu dans le sol malgré l'alcalinité du sol.

.2.1.1. Les sulfates SO_4^-

a. Résultats :

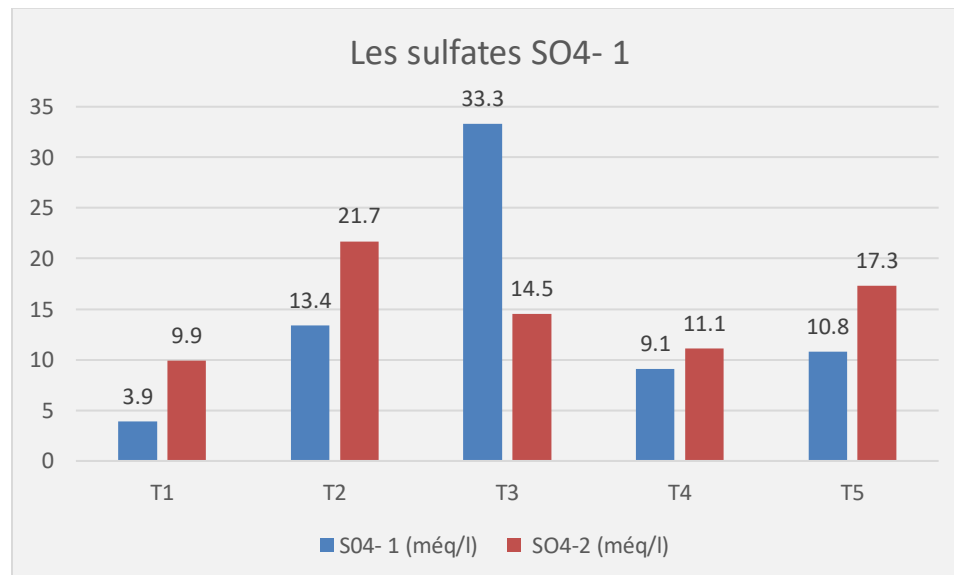


Figure III. 12 : Histogramme des sulfates SO_4^-

(Légende : TémoinT1 ; BiocharT2 ; FumierT3 ; EngraisT4 ; Biochar activé avec engraisT5)

b. Discussions

Le graphique montre les teneurs en sulfates (SO_4^{2-}) dans le sol suite à l'application de différents traitements : témoin (T1), biochar (T2), fumier (T3), engrais (T4) et biochar activé avec engrais (T5).

En observant le graphique, on remarque une variation des teneurs en sulfates entre les différents traitements.

- Le traitement avec du fumier (T3) présente la teneur en sulfates la plus élevée, avec environ 17,3 méq/l. L'ajout de matière organique, comme le fumier ou le compost, peut augmenter les teneurs en sulfates du sol. Cependant, on note une diminution considérable du taux de sulfates dans le sol à la fin de l'expérimentation.
- Le traitement avec du biochar activé et de l'engrais (T5) et du biochar (T2) se classe en deuxième position en termes de teneur en sulfates, Cela indique que l'apport de matière organique sous forme de biochar a induit une augmentation de la teneur en sulfates du sol.
- Le traitement avec des engrais uniquement (T4) et le témoin (T1) présentent des teneurs en sulfates moyennes. Cela suggère que ces traitements aient eu un effet modéré sur la teneur en sulfates du sol.
- Ces résultats peuvent s'expliquer par le faciès hydrochimique de l'eau d'irrigation qui constitue la source principale d'apports de sulfates au niveau des différents traitements.

.2.2.Le phosphore assimilable P2O5

A- Résultats

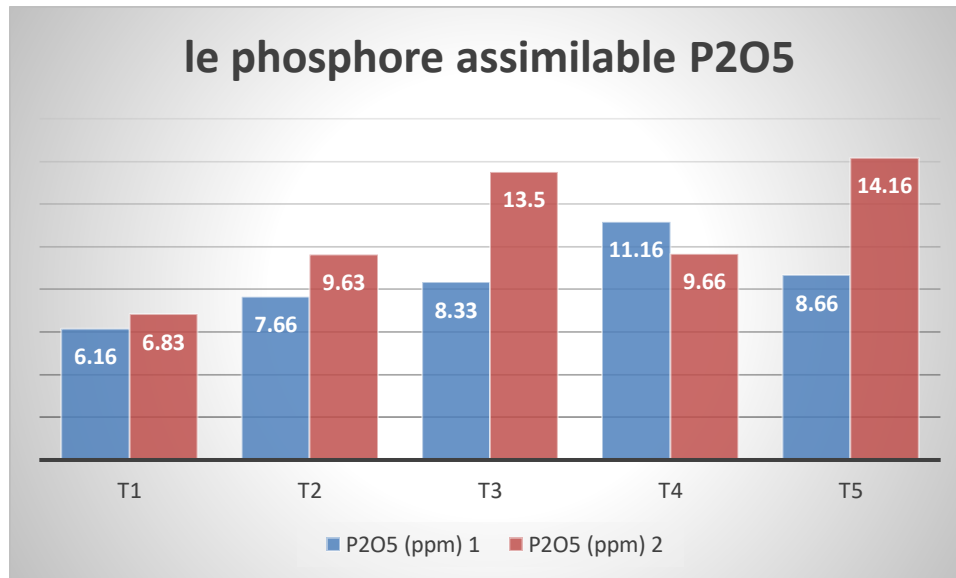


Figure III. 13 : Histogramme de la teneur en phosphore assimilable

(Légende : Témoin T1 ; Biochar T2 ; Fumier T3 ; Engrais T4 ; Biochar activé avec engrais T5)

B- Discussions

Le diagramme illustre les teneurs en phosphore assimilable (P2O5) dans le sol suite à l'application de différents traitements : témoin (T1), biochar (T2), fumier (T3), engrais (T4) et biochar activé avec engrais (T5).

En observant le graphique, on remarque une variation notable des teneurs en P2O5 entre les différents traitements, c'est-à-dire au début et à la fin de l'expérimentation.

- **Traitement avec du biochar activé et de l'engrais (T5) :** Ce traitement présente la teneur en P2O5 la plus élevée. Cela indique que l'utilisation conjointe de biochar activé avec engrais a contribué à augmenter la quantité de phosphore assimilable dans le sol. En effet, le Phosphore est en général immobilisé aux pH inférieurs à 6 et l'augmentation du pH du sol sous Biochar

a eu des effets positifs sur la biodisponibilité du phosphore (Brady et Weil, 2002). De plus, la grande surface spécifique du biochar permet de minimiser les pertes par lixiviation du phosphore (Zhang *et al.*, 2010)

- **Traitement avec du fumier (T3):** Ce traitement se classe en deuxième position en termes de teneur en P₂O₅. Cela suggère que l'apport de matière organique sous forme de fumier a eu un impact positif significatif sur la disponibilité du phosphore assimilable dans le sol.
- **Traitement avec du biochar (T2):** Ce traitement présente une teneur en P₂O₅ intermédiaire. Cela suggère que l'ajout de biochar a eu un effet modéré sur la disponibilité du phosphore assimilable dans le sol.
- **Traitement avec des engrais uniquement (T4) :** ce traitement présente également une teneur en P₂O₅ intermédiaire. On remarque une légère diminution de la teneur en phosphore assimilable ; ce qui peut s'expliquer par les pertes par lixiviation du sol en phosphore malgré les apports au début de la saison culturale.
- **Traitement témoin (T1) :** ce traitement présente la teneur en P₂O₅ la plus faible. Cela indique que l'absence de traitement a eu un effet modéré sur la disponibilité du phosphore assimilable dans le sol.
- On note un léger enrichissement du sol en phosphore assimilable, ceci pourrait s'expliquer de plus par une solubilisation des minéraux renfermant du phosphore en des milieux fortement salés (feldspaths, plagioclase) (Khechai, 2023).
- On en déduit alors d'après les normes d'interprétations du phosphore selon Olsen que les traitements au fumier T3, à l'engrais T4 et au biochar activé avec engrais T5 ont des teneurs moyennes tandis que les traitements témoin T1 et biochar T2 ont une teneur basse en phosphore assimilable.

Tableau III. 10 : Interprétations selon les normes d'interprétations pour le phosphore assimilable Olsen

P205%	Interprétations
Entre 0 et 5	très basse
Entre 5 et 10	basse
Entre 10 et 22	moyen
Supérieur à 22	elevé

.2.3.L'azote Total N%

A- Résultats

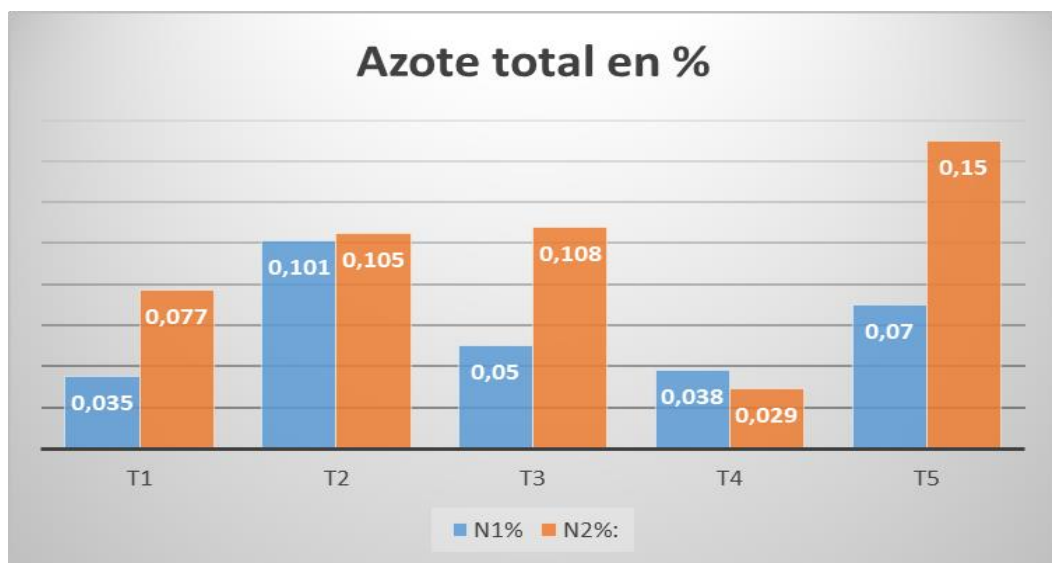


Figure III. 14 : Histogramme de la teneur en azote

(Légende : Témoin T1 ; Biochar T2 ; Fumier T3 ; Engrais T4 ; Biochar activé avec engrais T5)

B- Discussions

Le diagramme ci-dessus illustre les teneurs en azote total (N) dans le sol suite à l'application de différents traitements : témoin (T1), biochar (T2), fumier (T3), engrais (T4) et biochar activé avec engrais (T5).

En observant le graphique, on remarque une variation notable des teneurs en N entre les différents traitements.

Teneurs les plus élevées :

- **Traitement avec du biochar activé et de l'engrais (T5) :** ce traitement présente la teneur en N la plus élevée. Cela suggère que l'utilisation conjointe de biochar activé et d'engrais ait eu un impact positif sur la teneur en azote total du sol.
- **Traitement avec du fumier (T3) :** Ce traitement se classe en deuxième position en termes de teneur en N, Cela indique que l'apport de matière organique sous forme de fumier a également contribué à augmenter la quantité d'azote total dans le sol. L'ajout de matière organique, comme le fumier, peut augmenter la teneur en azote total du sol en fournissant une source d'azote à la fois minéral et organique.

Teneurs intermédiaires :

- **Traitement avec du biochar (T2) :** ce traitement présente également une teneur en N intermédiaire. Il indique une légère augmentation de la teneur en azote. Cela indique que l'ajout de biochar a eu un effet modéré sur la teneur en azote total du sol.
- **Traitement témoin (T1) :** ce traitement présente ainsi une teneur en N intermédiaire. Cela indique que l'absence de traitement n'a pas induit une diminution de la teneur en azote total du sol.

Teneur la plus faible :

- **Traitement avec des engrais uniquement (T4) :** ce traitement présente la teneur en N la plus faible, et cela, malgré les exportations apportées à la parcelle. Cela peut s'expliquer par le fait que l'azote peut être perdu du sol par lessivage, volatilisation et dénitrification.

On conclut que la teneur en azote des sols traités avec le biochar activé avec engrais (T5), biochar (T2) et le fumier (T3) a augmenté, contrairement aux autres traitements, et cela, malgré les exportations et les lixiviations. Cela serait lié au fait que l'azote provenant de l'engrais minéral (NPK) et de la minéralisation du fumier est maintenu dans le sol par les particules de biochar (Alling, 2014 ; Kammanet *al.*, 2015).

.2.4.Le rapport C/N

A-Résultats

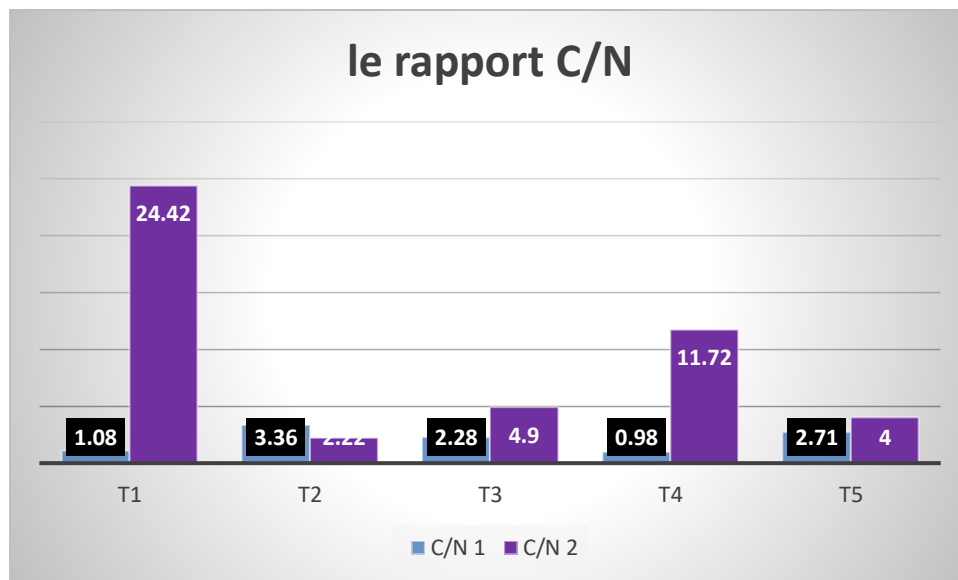


Figure III. 15 : Histogramme du rapport C/N des différents traitements

B-Discussion

Le traitement témoin T1 indique une valeur de C/N élevée supérieure à 15, environ 24,42 ; cela indique une minéralisation lente et une accumulation de la matière organique du sol.

Pour le traitement à l'engrais T4, on a une valeur de C/N = 11,72, ce qui indique une bonne minéralisation matérialisée par un enrichissement du sol en éléments fertilisants.

Pour les traitements au biochar (T2), au fumier (T3), au biochar activé avec engrais (T5), on note une valeur de C/N inférieure à neuf, ce qui indique une minéralisation rapide, une perte d'éléments fertilisants. On note un problème de brûlure de la matière organique (cas des sols arides), appelé turnover rapide, cité par (Duchaufour, 1988).

.3. Les paramètres de la culture



jaunissement de la culture : Récolte



les grains d'orge

Figure III. 16 : Récolte et grains de l'orge cultivée (photo originale)

Tableau III. 11 : Tableau de rendement moyen de la culture des différents traitements (voir annexe)

Traitements	Poids totale (g)	Poids net (g)	Nombre d'épi (m ²)	Longueur d'épi (cm)	Nombre grains /épi	Poids d'épi (g/m ²)	Poids du 1000 grains (g)
T1 : témoin	272	108	216	15	19	1	20
T2 ; biochar	270	162	240	18	32	1,66	40
T3 : fumier	604	258	302	17,33	42	2	40
T4 : engrais	404	176	288	19,16	32	1,66	40
T5 : biochar+engrais	370	162	312	20	42	1,66	40

.3.1. Les Composantes de rendement

Nombre d'épis par mètre carré (NE) ; Nombre de grains par épi (NGE)

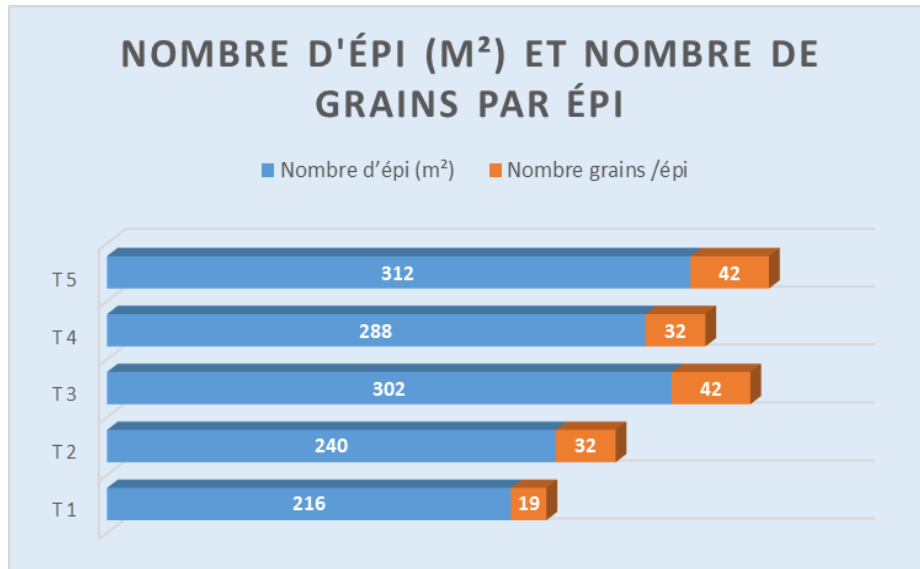


Figure III. 17 : Diagramme exprimant le nombre d'épis et de grain par épi par m²

Les résultats du diagramme ci-dessus illustrent les valeurs du rendement du nombre d'épis/m² et du nombre de grains par épi. On remarque que :

Les valeurs les plus élevées sont observées au niveau du traitement T5 biochar activé avec engrais et T3 fumier, suivi du traitement au biochar T2 et celui à l'engrais T4.

Le traitement témoin sans amendement T1 a fourni les valeurs les plus faibles en nombre d'épis et de grains par épi.

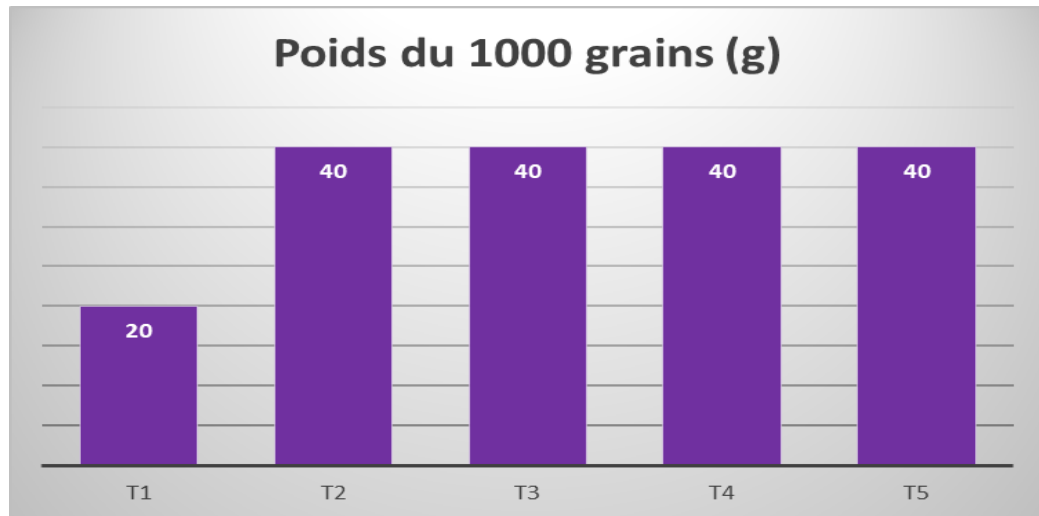
Le Poids de 1000 grains

Figure III. 18 : Diagramme du poids de 1000 grains des différents traitements

(Légende : TémoinT1 ; BiocharT2 ; FumierT3 ; EngraisT4 ; Biochar activé avec engraisT5)

Les résultats du diagramme ci-dessus illustre les valeurs du poids de 1000 grains des différents traitements, on observe que les traitements au biochar activé avec engrais T5, biochar T2, fumier T3 et celui a l'engrais T4 ont statiquement les mêmes valeurs respectivement 40g/m².

Tandis que le traitement témoin sans amendement T1 a fourni un poids de 1000 grains de 20 g/m².

.3.2.Rendement

.3.2.1. Longueur et Poids des épis

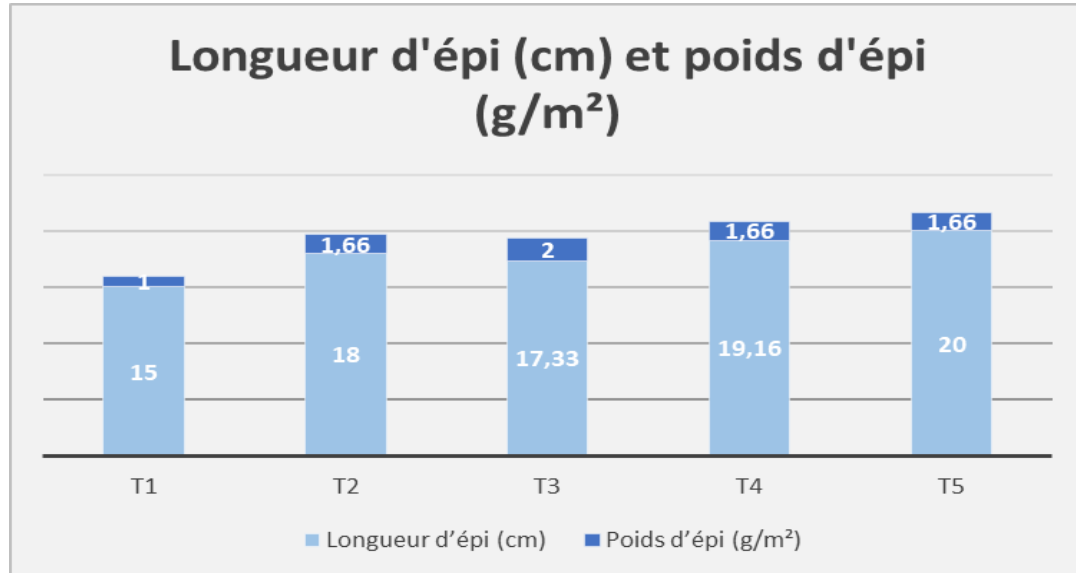


Figure III. 19 : Diagramme du poids et longueur des épis

(Légende : Témoin T1 ; Biochar T2 ; Fumier T3 ; Engrais T4 ; Biochar activé avec engrais T5)

Le diagramme ci-dessus représente la longueur des épis et le poids d'un épi des différents traitements, on observe que la longueur la plus élevée se trouve au niveau du traitement avec du biochar activé avec engrais T5 ; suivi du traitement à l'engrais T4, biochar T2 et fumier T3, la même remarque est faite pour le poids d'un grain de ces différents traitements.

Le traitement témoin T1 sans amendement indique la plus faible valeur en termes de poids d'un épi et également de la longueur des épis.

.3.2.2. Rendement en grains

Rendement théorique : $RDT = NE * NGE * PMG$

NE : représente le nombre d'épi

NGE : nombre de grains par épi

PMG : poids moyen d'un grain

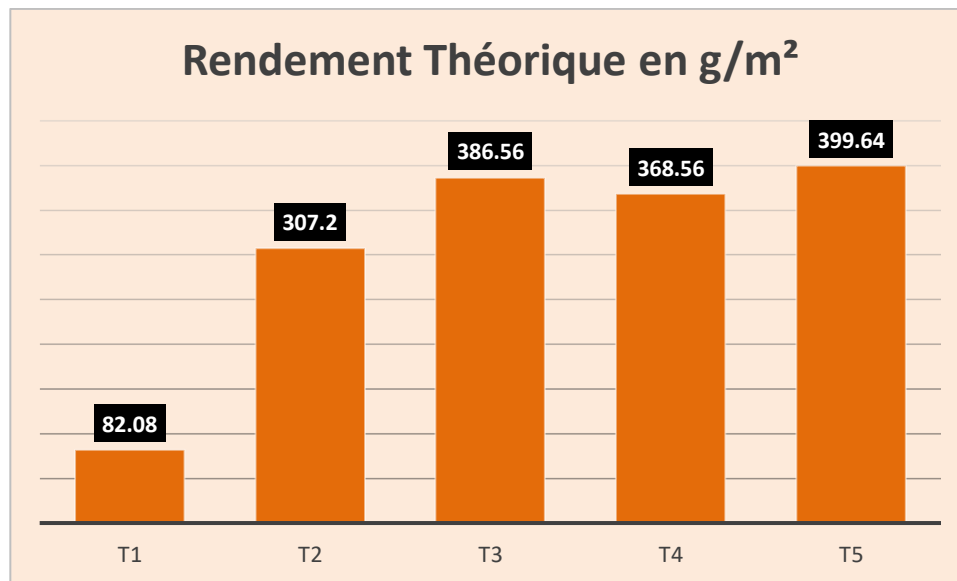


Figure III. 20 : Rendements en grains des différents traitements

Les résultats du diagramme ci-dessus illustre les valeurs du rendement en grains des différents traitements, on observe que les traitements au biochar activé avec engrais T5 détient le rendement grains le plus élevé ; suivi du traitement fumier T3 et l'engrais T4.

Le traitement au biochar T2 présente un rendement grains moyen comparés aux traitements (T5, T3 et T4) mais qui est nettement plus élevé que le traitement témoin sans amendement T1 qui présente le rendement grains la plus faible.

.4. Etude statistique des paramètres de la culture (les composantes du rendement)

.4.1. Le poids totale (épi+paille+mauvaises herbes) en g

A- Résultats

Tableau III. 12 :Poids total

Traitements	Moyennes estimées(Poids totale (g) (épi+ paille+MH))	Groupes homogènes	
fumier	604,333	A	
engrais	404,000		B
Biochar + engrais	370,000		C
Témoin	272,000		D
Biochar	270,000		D

B- Discussion

Les résultats obtenus montrent une différence significative entre les traitements étudiés. Le test de Newman-Keuls fait apparaître quatre (4) groupes homogènes.

Le poids total le plus élevé est de 604,33g pour le traitement au fumier T3, suivi par le traitement à l'engrais T4 (404g), le traitement au biochar +engrais se classe en troisième position par un poids totale de (370g), suivie par le témoin T1 avec un poids totale de (272g) et le poids totale le plus faible est obtenu par le traitement au biochar T2 (270g).

4.2. Lepoids net en g

A- Résultats

Tableau III. 13 : Poids net

Traitements	Moyennes estimées (Poids net(g) (épias/m ²))	Groupes homogènes	
fumier	258,000	A	
engrais	176,000		B
Biochar + engrais	162,000		C
Biochar	162,000		C
Témoin	108,333		D

B- Discussion

Les résultats obtenus montrent une différence significative entre les traitements étudiés. Le test de Newman-Keuls fait apparaître quatre (4) groupes homogènes.

Le poids net le plus élevé est de 258g pour le traitement au fumier T3, suivi par le traitement à l'engrais T4 (176g), le traitement au biochar + engrais se classe en troisième position par un poids net de (162g), suivie par le traitement au biochar T2 avec un poids net de (162g). Le poids net le plus faible est obtenu par le témoin T1 (108,33g).

4.3. Le nombre d'épi/m²

A- Résultats

Tableau III. 14 : Nombre d'épi par m² des différents traitements

Traitements	Moyennes estimées (Nombre d'épis/m ²)	Groupes homogènes			
Biochar + engrais	312,000	A			
fumier	302,000		B		
engrais	288,000			C	
Biochar	240,000				D
Témoin	216,000				E

B- Discussion

Bouzerzour et al (1986) signalent que le nombre d'épis se forme pendant le tallage, période où les conditions climatiques sont favorables.

Les résultats obtenus montrent une différence significative entre les traitements étudiés. Le test de Newman-Keuls fait apparaître cinq (5) groupes homogènes.

Le nombre d'épis le plus élevé est de 312 épis/m² pour le traitement au biochar +engrais, suivi par le traitement au fumier T3 (302 épis/m²), le traitement à l'engrais T4 se classe en troisième position par un nombre d'épis/m² de (288 épis/m²), suivie par le traitement au biochar T2 avec un nombre d'épis/m² de (240 épis/m²). Le nombre d'épis/m² le plus faible est obtenu par le témoin T1 avec 216 épis/m².

D'après Benbelkacem (1986), les orges à deux rangs ont plus d'épi que les orges à six rangs et sont les meilleures sources pour le fort tallage.

.4.4.La longueur d'épi en cm

A- Résultats

Tableau III. 15 : Longueur d'épi (cm)

Traitements	Moyennes estimées(Longueur d'épais (cm))	Groupes homogènes		
Biochar + engrais	20,000	A		
engrais	19,157	A	B	
Biochar	18,000		B	C
fumier	17,330			C
Témoin	15,000			D

B- discussion

Les résultats obtenus montrent une différence significative entre les traitements étudiés. Le test de Newman-Keuls fait apparaître quatre (4) groupes homogènes.

La moyenne de longueur d'épi obtenue est de 20cm pour le traitement au biochar +engrais, le traitement à l'engrais T4 présente une longueur intermédiaire entre le traitement au biochar +engrais T5 et le traitement au biochar T2 (20-18cm) avec une longueur de 19.1cm, suivi par le traitement au biochar avec une longueur intermédiaire entre le traitement à l'engrais et le traitement au biochar (19.1 et 18 cm) qui se classe en troisième position avec une longueur de 18 cm, suivie par le traitement au fumier T3 avec une longueur de 17.33 cm. Le témoin T1 présente la longueur d'épi la plus faible avec 15 cm.

.4.5. Le nombre de grains /épi

A- Résultats

Tableau III. 16 : Nombre de grains par épi

Traitements	Moyennes estimées (Nombre de grains par épis)	Groupes homogènes	
Biochar + engrais	42,000	A	
fumier	42,000	A	
Biochar	32,000		B
engrais	32,000		B
Témoin	19,000		C

B- Discussion

D'après Kabouche et al (2001), la fertilité est liée au nombre de rangs par épi. Les orges à six rangs sont nettement plus fertiles que les orges à deux rangs.

Les résultats obtenus montrent une différence significative entre les traitements étudiés. Le test de Newman-Keuls fait apparaître trois (3) groupes homogènes.

Le traitement au biochar +engrais et le traitement au fumier T3 présentent le nombre de grains par épi les plus élevés avec 42 grains/épi, le traitement au biochar T2 et celui à l'engrais T4 se classe en deuxième position par un nombre de grains/épi de 32 grains/épi. Le nombre de grains/épi le plus faible est obtenu par le témoin T1 avec 19 grains/épi.

Selon Paulsen et Heyne (1982) in Kabouche et al (2001), la fertilité de l'épi est liée aux conditions climatiques, surtout au cours du stade gonflement épiaison, la sécheresse et les hautes températures précoces peuvent induire la stérilité du grain de pollen et la destruction de l'ovaire.

.4.6. Le poids d'épi (g)

A- Résultats

Tableau III. 17: Poids d'épi

Modalité	Moyennes estimées (Poids d'épis (g))	Groupes
Fumier	2,000	A
Biochar	1,660	B
Biochar + engrais	1,660	B
engrais	1,660	B
Témoin	1,000	C

B- Discussion

Les résultats obtenus montrent une différence significative entre les traitements étudiés. Le test de Newman-Keuls fait apparaître trois(3) groupes homogènes.

Le traitement au fumier T3 présente le poids d'épi le plus élevé avec 2g, suivi du traitement au biochar T2, au biochar +engrais T5 et à l'engrais T4 qui présente le poids d'épi d'une valeur de 1.66g et le poids d'épi le plus bas est observé au niveau du témoin T1 avec 1g.

.4.7. Le poids de 1000 grains

A- Résultats

Tableau III. 18 : Poids de 1000grains (g)

Modalité	Moyennes estimées (Poids de 1000 grains (g))	Groupes
fumier	42,000	A
Biochar + engrais	40,000	A
engrais	40,000	A
Biochar	40,000	A
Témoin	20,000	B

B- Discussion

Bouzerzour (1997) in Ababsa (2003), estime que le poids de 1000 grains est un bon critère de sélection pour améliorer indirectement le rendement en grains.

Les résultats obtenus montrent une différence significative entre les traitements étudiés. Le test de Newman-Keuls fait apparaître deux (2) groupes homogènes.

Le traitement au fumier T3 présente le poids de 1000g le plus élevé avec une valeur de 42g, suivi du traitement au biochar +engrais T5, à l'engrais T4 et au biochar T2, qui présente un poids de 1000 grains d'une valeur 40g. Le témoin T1 présente le poids de 1000 grains le plus faible avec 20g.

D'après Abbassenne et al (1998) in Bouzerzour et al (2002), une phase de remplissage qui se déroule sous fortes contraintes thermiques donne des rendements très faibles, même si l'état des plantes au stade d'épiaison laisse espérer un bon rendement.

Conclusion

L'évaluation de l'effet du biochar combinés avec d'autres amendements : fumier, engrais utilisé comme amendement sur les propriétés physico-chimiques du sol et les paramètres agronomiques de l'orge dans la zone semi-aride d'Oued Righ, dans le périmètre de Barkadjia a fait l'objet de notre étude. À travers les résultats obtenus des analyses au laboratoire, on note une nette amélioration des paramètres chimiques du sol, à savoir l'augmentation du pH rendant le sol plus alcalin. Ce qui confère une meilleure condition de vie aux cultures ; une diminution de la salinité du sol malgré l'irrigation avec l'eau salée de plus de 9 ds/m ; une augmentation de la capacité d'échange cationique accentué pour les traitements du biochar activé avec engrais (T5) et du biochar T2, comparés aux autres traitements, cela suggère que ces traitements aient eu un impact positif sur la capacité de rétention du sol. Ceci peut être expliqué par la capacité du biochar à augmenter la capacité de rétention du sol grâce à sa grande surface spécifique et à sa structure microporeuse qui a induit une meilleure rétention des nutriments minéraux dans le sol. Par contre, les résultats du rapport C/N de ces traitements (T5, T2) indiquent une minéralisation trop rapide, entraînant ainsi une brulure de la matière organique du sol.

L'amendement du sol avec le biochar a eu un effet positif sur les paramètres chimiques du sol, sur le diamètre et le rendement grain de l'orge. Le rendement grains le plus élevé a été obtenu avec le traitement T5 (Biochar activé avec engrais NPK) suivi du T4 : Engrais NPK, T3 : Fumier et T2 Biochar alors que le traitement T0 (sans amendement) a donné le plus faible rendement grains. Cela serait dû au fait que l'association du biochar avec l'engrais a permis une meilleure gestion des éléments minéraux dans le sol et, par conséquent, a occasionné une plus grande productivité de l'orge. En fonction des résultats obtenus, il n'est pas très recommandé d'utiliser le biochar seul dans les régions arides pour éviter une brulure de la matière organique du sol. Ces résultats suggèrent qu'il conviendra d'adopter une pratique de fertilisation combinant le biochar à des fertilisants minéraux (engrais minéraux, azotés) ou organiques (le compost ou le fumier) afin d'assurer une augmentation de la production agricole de façon durable. Cela constitue une solution intéressante en vue de restaurer et/ou de maintenir la fertilité des sols, accroître les rendements des cultures tout en réduisant les effets néfastes des changements climatiques à travers la séquestration du carbone dans le sol. La technologie du Biochar constitue une alternative intéressante pour la valorisation des résidus cultureux peu ou pas exploités pour

améliorer durablement la qualité des sols et assurer la sécurité alimentaire tout en protégeant l'environnement.

L'étude statistique des paramètres de la culture a montré une différence significative entre les différents traitements étudiés avec un coefficient de corrélation R^2 voisin de 1 pour tous les traitements effectués.

Bibliographie

1. Abdelaziz, Bouzegag Stationnement et écologie des Sarcelles (Anatidés) dans les zones humides de l'éco complexe de la vallée d'Oued Righ (Sahara Algérien). Guelma : s.n., 2015.
2. Activate your Biochar by using BiotMax, a soil probiotic. BiotMax contains beneficial agriculture in the twenty-first century. *Philos. Trans. R. Soc. Biol. Sci.* 2007, 362,
3. Akhtar.S.S , Andersen M. N et Liu.F.2015, Biochar Mitigates Salinity Stress in Potato
4. Amendments decrease pore-water concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sewage sludge. *BioresourceTechnology* 111: 84–91.
5. Anderson P.S., 2013. Affordable Biochar Production Options Small Cookstoves, Medium Barrels, and Some Large Devices. Presentation to First Midwest Biochar Conference, 14 June 2013, Champaign, IL. 50p.
6. Ababsa N., 2003: contribution à l'étude de comportement de quelques variétés d'orge (*Hordeum vulgare*.L) dans les conditions pédoclimatiques des hautes ^plaines constantinoises. Mémoire .Ing. Univ. Batna : 60p
7. Ademe, 2004 Répartition typique des différents produits de pyrolyse
8. Ahmad M, Usman A, Al-Faraj A, Abduljabbar A, Ok Y and Al-Wabel M 2017 Date palm wastederived biochar composites with silica and zeolite: synthesis, characterization and implication for carbon stability and recalcitrant potential. *EnvironmentalGeochemistry and Health*
9. Antal, M.J., Grønli, M., 2003. The art, science, and technology of charcoal production. *Industrial Engineering and Chemical Research* 42, 1619–1640
10. Aubert, Guy. Méthodes d'analyses des sols. Marseille : CRDP, 1978
11. Australian Journal of Soil Research 46(5): Preta sanitation: Re-discovered from an ancient Amazonian civilization—Integrating production and fertility on highly weathered central amazonian upland soil. *Plant Soil*,
12. Badache A, 2005, Etude expérimentale de l'influence des sels solubles sur le compétement d'atriplexhalimus l
13. Baize D (2000) Guide des analyses en pédologie : 2e édition, revue et augmentée. Editions Quae.
14. Baize, D., Jabiol, B., 1995. Guide pour la description des sols. Techniques et pratiques. Ed INRA.375p.

15. Baize, D.2000. Guide des analyses en pédologie. Ed .I.N.R.A. Paris, 257p.
16. Benbelkacem A., 1986 : L'amélioration du rendement des orges par un fort tallage, *céréaliculture n°15* : 31-37
17. Bouzerzour H, Adjabi A., Benmahammed A., Hadj Sahraoui A. et Harkati N., 2002: Productivité et adaptation compares des variétés de céréales en zone semi aride d'altitude, *céréaliculture n°37*: 4-13
18. Bouzerzour H., Benmahamed A., et Hassos K.L., 1997 : variabilité génétique,héritabilité et corrélation entre caractères mesurés sur orge en plein milieu semi-aride, *céréaliculture n°30* : 11-
19. Beggar H. (2006). La biomasse phoenicicole ; un savoir-faire local à promouvoir « cas de la région de l'oued Righ ». Mémoire de fin d'étude. Département des sciences agronomiques. Université KasdiMerbah.Ouargla. Algérie
20. Biochar and its use and function in soil. *Adv. Agron.* 105, 47–82.
21. Boumaraf, Belkacem. Caractéristiques et fonctionnement des sols dans la vallée de Oued Righ, Sahara Nord Oriental Algérie. Université de Reims Champagne Ardenne.2013. p. 97, Thèse de doctorat.
22. Bouznad, Imad Eddine, et al. Essai de modélisation de la Gestion des ressources en eau dans la vallée d'Oued Righ (Sahara septentrional algérien) par l'Utilisation d'un outil d'aide à la décision WEAP. 2016;. *oued right : s.n., 2016. pp. 56 76, revue scientifique.*
23. Bradley, A., Larson, R. A. &Runge, T. 2015. Effect of Wood Biochar in Manure- UNEP, 2015. *The economics of Land Degradation in Africa : Benefits of Action outweigh the costs, Nairobi, Ecosystem Services Economics Units, UNEP Division of Environmental Policy Implementation. Agriculture in the humidtropics*
24. Brady N.C., et Weil R.R., 2002. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling : a meta-analysis. *GCB Bioenergy.*
25. Cheng C. H., Lehmann L., Thies J. E., Burton S. D. and Engelhard M. H. (2006) 12p
26. Classification des sols salés ou salsodiques. *Cah. ORSTOM Ser. Péd., Vol. XX N°1,*
27. Contribution à l'étude d'hydrogéochimie d'eaux de surface et eaux souterraines dans la région de Oued Righ (Sud Est Algerien). Benhaddya, M L. 2020, *Journal Algérien des Régions Arides (JARA), pp. 1 14.*
28. Custum Biologicals, Inc. Deerfield Beach, FL.USA., 2012: *Activating Biochar*
29. Downie, A., Crosky, A., and Munrore, P., 2009 : *Physical Properties of Biochar. In*

30. Drouiche A, Faouzi Z, Bouchahm N, Hamzaoui W, Chaib W, Farah F, DJABRI L. Caractérisation physico chimique des eaux de remontée dans la vallée d'Oued Righ. oued righ, algérie
31. Dubost, Daniel. Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Tours : s.n., 1991. Thèse de doctorat
32. Duchaufour. , 1988 : Abrégé de pédologie, 2^e éd., coll Abrégés des sciences, Masson, paris, 232p.
33. Durand J.H, 1983: Les sols irrigables, Agence de coopération culturelle et technique
34. Durand J H, 1958 les sols irrigables. Etude pédologique S.E.S Alger, p 198
35. Djemai A., 2018. Effet du biochar sur quelques propriétés physico-chimiques des sols salés. Mémoire master, Université Ibn khaldoun-Tiaret.
36. Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. Archives of Agronomy and
37. Elchami, Arour. variation diachronique saisonnière de la végétation dans une zone présaharienne (Cas de la région de Messâad W.Djelfa). Messâad W.D jelfa : s.n., 2001. mémoire de master
38. F.A.O. Utilisation des engrais par culture en Algérie. Rome 2005. p. 61.
39. F.A.O., 2008: Annuaire statistique de la FAO
40. Glaser B., Haumaier L., Guggenberger G., Zech W. 1998. Black Carbon in Soil: the use of benzene carboxylic acids as specific markers. *Organic Geochemistry*, 29: 811-819.
41. Glaser, B. Prehistorically modified soils of central Amazonia: A model for sustainable
42. Glaser. B ., Haumaier .L ., Guggenberger G ., Zech W ., 2001 the Terra Preta phenomenon : a model for sustainable
43. Gomez J. D., Deneff K., Stewart C. E., Zheng J., et Cotrufo M. F., 2014. Biochar addition rate influences soil microbial abundance and activity in temperate soils. *European Journal of Soil Science*. 65: 28-39. in *journal of agronomy and crop science*. p11
44. H., & Zech, W. 2007. Long effect of manure, charcoal and mineral fertilization on crop
45. IFAD (International Fund for Agricultural Development), 2019. Creating opportunity for rural youth, Rural Development Report, Rome, Italy
46. Kamman, C.I., Schmidt, H.-P., Messerschmidt, N., Linsel, S., Steffens, D., Müller, C., Koyro, H.-W., Conte, P., Joseph, S., 2015. Plant growth improvement mediated by nitrate capture in co-composted biochar. *Sci Rep* 5, Article number 11080.
47. Khechai. S, 2023 ; Cours master micromorphologie des sols , Université de Biskra, département des sciences Agronomiques.

48. Kimetu JM and Lehmann J, 2010. Stability and stabilization of biocharbon and green manure in : soil with different organic carbon contents. *Australian J of SoilResearch* 48 : 577– 585
49. Laird D.A., Fleming P., Davis D.D., Horton R., Wang B., Karlen D.L., 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical
50. Lehmann J and Joseph S, eds, *Biochar for environmental management*, Earthscan
51. Lehmann J, Rillig MC, Thies J, Masiello CA, Hockaday WC, Crowley D (2011). Biochar Effects on soil biota - A review. *SoilBiology and Biochemistry*, 43, 1812– 1836.
52. Les croûtes calcaires et gypseuses en Algérie: Formation et âge. Durand, Jacques H. 1 Janvier 1963., *Bulletin de la Société géologique de France.*, Vol. S7 V (6), pp. 959 968.
53. Les sols irrigables. Durand, Jacques H. [éd.] Agence de Coopération Culturelle et Technique, Techniques Vivantes Presses Universitaires de France P.U.F. 1983, Etude pédologique, p. 190.
54. Les sols irrigables. Durand, Jacques H. [éd.] Agence de Coopération Culturelle et
55. Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neil, B.,
56. Lompo et al., *J. Appl. Biosci.* 2021 Effets combinés du biocharbon et du fumier sur les propriétés physico-chimiques d'un sol ferrugineux tropical sous culture de mil en zone semi-aride du Burkina Faso.
57. Messar (E.M.), 1996. Le secteur phoenicicole algérien : situation et perspectives à l'horizon 2010. *Options méditerranéennes*, n°2, 1996
58. Merzoug N., 2021 Le périmètre de Barkadjia (El Meghaier) situation actuelle et perspectives de développement. Mémoire master, Université de Ouargla .
59. Metrough A., 2023 Etude comparative de l'effet du biochar et des microplastiques sur la fertilité des sols et de la production d'une culture fourragère (*HordeumVulgare*) sous stress salin et hydrique. Mémoire master, Université de Tébessa.
60. Mustin Michel,(2013) : le biochar, rôle agronomique et environnemental.
61. Naturelles, ENSA Montpellier, France organiques sur les propriétés microbiologiques des sols sableux non salés ..*Naturwissenschaften* 88 (1), 37-41 145.
62. Oxidation of black carbon through biotic and abiotic processes. *Org. Geochem.* 37, Pédosphère, INA El Harrach – Alger. Phenomenon a model for sustainable agriculture in the humid tropics. poultry litter biochars as soil amendments. pédologique, p. 190.
63. Pro-Natura international (2016) : pour une agriculture très productive et écologique publishing, London, 2009.

64. **Rahal Bouziane H et Abdelguerfi A. (2007). Caractéristiques agronomiques et morphologiques d'orges oasiennes (*Hordeumvulgare L.*) de la région d'Adrar (Algérie). Recherche Agronomique. 19:7-13.**
65. **Revell, K.T., Maguire, R.O., Agblevor, F.A., 2012. Influence of poultrylitter biochar on soil properties and plant growth. Soil Science 177, 402–408.**
66. **Review of the pyrolysis platform for coproducing bio-oil and biochar Volume 3, Issue sanitation, bio-waste management and agriculture. Water Sci. Technol. 2010, 61,**
67. **Rhoades J .D ., Kandiah A. and Mashali A.M., (1992),the use of saline water for crop**
68. **Schmidt, H.P.,2012 : Ways of Making Terra Preta. Biochar Activation (Delinat production Irrigation and drainage paper, F.A.O. N° 48. Rome 140p.**
69. **Serrai Othmane. La dégradation de l'Oued Righ et son impact sur les oasis périphériques. Université de Ourgla. 2009. Thèse de doctorat.**
70. **Servant, Jean., (1975) Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes. L'exemple des sols salés du sud et du sud ouest de la France. Univ de Montpellier. 1975. pp. 225 245.**
71. **SKjenstad, J . O., Thies , J. Luizao, F.J., Petersen, J., Neves, E.G., 2006. sol soumis a une irrigation avec une eau salés.these master. UnivBatna .**
72. **Soil Science, 60, 393- 404**
73. **Sombroek WG (1966) Amazon soils. A reconnaissance of the soils the Brazilian Amazon region. Dissertation, Zageningen, the Netherlands**
74. **Sombroek WG, Nachtergaele FO, Hebel A (1993) Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. Ambio 22:417-426**
75. **Spokas, K.A., 2010. Review of the stability of biochar in soils : predictability of O : C molar ratio. Carbon Management (2010) 1(2), 289–303.**
76. **Steiner, C., Teixeira, W.G., Lehmann, J., Nehls, T., de Macedo, J. L. V., Blum, W. E.**
77. **Technique, Techniques Vivantes Presses Universitaires de France P.U.F. 1983, Etude**
78. **The role of biochar in retaining nutrients in amended tropical soils. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. 177: 671-680.**
79. **Walkley, A.J. and Black, I.A. (1934) Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. Soil Sci. 37, 29-38.**
80. **Whitman T, Nicholson CF., Torres D. and Lehmann J., 2011. Climate change impact of biochar cook stoves in Western Kenyan farm house holds : System dynamics model analysis. Environmental Science and Technology. Environ. Sci. Technol. 2011, 45, 8, 3687–3694.**

81. <https://fr.al-ain.com/article/sirocco-algerie-maghreb-france>
82. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Carvopse>
83. <https://wikimemoires.net/2022/04/mzab-precipitations-humidite-relative-de-lair-et-insolation/>
84. <https://www.crstra.dz/telechargement/journals/jara-14-2017/pdf/reponse-nutritionnelle-de-trois-varietes-d-orge-a-la-qualite-de-l-eau-d-irrigation-et-a-la-fertilisation-azotee.pdf>
85. <https://www.vivescia.com/grand-angle/tous/cereales-quel-est-le-cycle-de-orge>.

Résumé

L'une des contraintes majeures des systèmes de production agricole en Algérie demeure la dégradation des sols. La présente étude menée dans la vallée d'Oued Righ avait pour objectif de déterminer les effets du Biochar utilisé comme amendement sur les propriétés physico-chimiques du sol et sur le rendement de la culture de l'orge. De ce fait, nous avons effectué un essai sur terrain composé d'un dispositif en blocs aléatoires comportant 4 traitements +1 témoin en quatre répétitions. Les traitements comprenaient un témoin sans amendement T1, un traitement au Biochar T2, au fumier T3, à l'engrais T4 et au biochar activé avec engrais T5. Les résultats obtenus ont montré que les matières fertilisantes ont induit une amélioration des paramètres chimiques du sol. Les meilleurs paramètres chimiques du sol ont été observés avec T2 et T5 qui ont induit une augmentation de la capacité d'échange cationique, qui a permis l'obtention du plus grand rendement grains d'orge comparativement à ceux obtenus avec les traitements fumier T3, et engrais T4 qui étaient statistiquement équivalents. La combinaison du biochar aux engrais minéraux (engrais NPK) a amélioré la fertilité du sol et le rendement de l'orge.

Mots-clés : Biochar ; fertilité des sols ; restauration des sols ; séquestration du carbone, valorisation des résidus cultureux

Abstract

One of the major constraints of agricultural production systems in Algeria remains soil degradation. The present study carried out in the Oued Righ valley aimed to determine the effects of Biochar used as an amendment on the physicochemical properties of the soil and on the yield of barley cultivation. Therefore, we carried out a field trial consisting of a randomized block design comprising 4 treatments + 1 control in 4 repetitions. Treatments included a control without T1 amendment, treatment with Biochar T2, Manure T3, fertilizer T4 and activated biochar with fertilizer T5. Fertilizing materials led to an improvement in soil chemical parameters. The best chemical parameters of the soil were observed with T2 and T5 which induced an increase in the cation exchange capacity, which made it possible to obtain the greatest barley grain yield compared to those obtained with the control treatments T1, manure T3, and T4 fertilizer which were statistically equivalent. The combination of biochar with mineral fertilizers (NPK fertilizers) improved soil fertility and barley yield.

Keywords: Biochar; soil fertility; soil restoration; carbon sequestration, valorization of crop residues.

ملخص

يظل تدهور التربة أحد العوائق الرئيسية التي تواجه نظم الإنتاج الزراعي في الجزائر. تهدف الدراسة الحالية التي أجريت بوادي واد ريغ إلى تحديد تأثيرات الفحم الحيوي المستعمل كتعديل على الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة وعلى محصول زراعة الشعير. ولذلك، قمنا بإجراء تجربة ميدانية تتكون من تصميم كتلة عشوائية تضم 4 معالجات + 1 مراقبة في 4 تكرارات. تضمنت المعاملات معاملة السيطرة بدون تعديل T1، والمعاملة بالفحم الحيوي T2 والسماذ T3 والسماذ T4 والفحم الحيوي المنشط بالأسمدة T5. أدت مواد التسميد إلى تحسن في المعايير الكيميائية للتربة. تمت ملاحظة أفضل المعايير الكيميائية للتربة باستخدام T2 و T5 مما أدى إلى زيادة في قدرة التبادل الكاتيوني، مما جعل من الممكن الحصول على أكبر محصول من حبوب الشعير مقارنة بتلك التي تم الحصول عليها مع معاملات التحكم T1 والسماذ T3 والأسمدة T4 والتي كانت مكافئة إحصائياً. أدى الجمع بين الفحم الحيوي والأسمدة المعدنية (أسمدة NPK) إلى تحسين خصوبة التربة وإنتاجية الشعير.

الكلمات المفتاحية: خصوبة التربة؛ الفحم الحيوي. ترميم التربة؛ عزل الكربون، وتثمين مخلفات المحاصيل