



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université des Frères Mentouri Constantine
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département : Biologie Et Ecologie Végétale

قسم : البيولوجيا وايكولوجيا النبات

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Ecologie Fondamentale et Appliquée

Intitulé :

Synthèse sur l'effet des fertilisants chimiques et organiques sur la production du blé dur et la durabilité des sols

Présenté et soutenu par : *DJEHICHE Maroua*

Le : 09 / 07 / 2020

GUERGOURI Nesrine

Jury d'évaluation :

Président du jury : Dr. SAHLI Leïla (Université des frères Mentouri, Constantine1)

Rapporteur : Dr. BAZRI Kamel-eddine (Université des frères Mentouri, Constantine1)

Examineurs : Dr. ZAÏMECHE Saïda (Université des frères Mentouri, Constantine1)

***Année universitaire
2019 - 2020***

Remerciements

Nous tenons d'abord à remercier Dieu, qui nous a donné le pouvoir, volonté et patience à terminer ce travail réalisé à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Frères Mentouri Constantine 1.

Nous voudrions dans un premier temps remercier notre Docteur BAZRI Kamel-eddine pour son encadrement, d'avoir accepté de diriger et d'orienter ce travail de recherche ; nous le remercions aussi pour son accueil ; son aide et ses conseils très précieux et ses propositions pertinentes "création d'entreprise" comme projet de notre avenir. Il est agréable d'exprimer notre pleine gratitude pour votre simplicité et votre générosité preuve de votre qualité humaine et scientifique.

Nous vifs remerciements s'adressent également aux membres de jury qui ont accepté de juger ce travail :

Dr. SAHLI Leïla, pour le grand honneur de présider le jury.

Dr. ZAÏMECHE Saïda, pour avoir bien voulu examiner ce travail.

Nous souhaitons remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à :

A ALLAH LE TOUT PUISSANT ;

A Mes chers parents "Laïba " et "Messaoud " pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études, merci que dieu vous garde et vous protège ;

A mon adorable sœur " Zineb " qui m'a toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études ;

A mes chères et sœurs "Nassima", "Hafida " et "Assia " pour leurs encouragements et leurs soutiens moral ;

Leurs époux ;

Leurs neveux "Yasser ", "Adem ", "Souhaib " et "Mohamed Abderrahmane "

Et nièces "Meriem ", "Djana ", "Taouba " et "Djinane " ;

A mon frère "Walid " ;

A mon cher oncle "Houcine " qui m'assisté dans les moments difficiles, son épouse "Samia " et leurs enfants ;

A mon cher oncle " AbdElghani " j'aurais tant aimé que tu sois présent

Que Dieu ait ton âme dans sa sainte miséricorde ;

A ma binôme "Nesrine " et à toutes sa famille ;

A mon ami "Islem" qui m'a encouragé, me soutenu et m'assisté dans les moments difficiles, j'ai porté pleine du respect et de ma profonde gratitude merci d'être toujours là pour moi ;

A tous mes enseignants et collègues de promotion d'écologie fondamentale et appliquer 2019/2020

MAROUA

Dédicaces

Je dédie ce modeste mémoire :

En premier lieu à « ALLAH » qui m'a guidé sur le droit chemin

*Mes parents pour leur soutien, patience et soucis puisse Dieu vous accorder santé,
bonheur et longue vie ;*

*Mon très chère père « Yacine » celui qui sacrifie son tout pour satisfaire mes besoins,
et qui est toujours prêt à m'aider et m'encourager, je lui confirme mon attachement
et mon profond respect, amour et gratitude ;*

*Ma très chère mère « Soraya » qui était avec moi sur toutes mes étapes en priant
pour mon bonheur et mon succès qui m'encouragé durant toutes mes études et qui
sans elle, ma réussite n'aura pas eu lieu qu'elle trouve ici, mon amour et mon
affection ;*

*A mon oncle « AbdElrahime » qui a été toujours à mes coté pour son soutien et
pour toujours essayer de me faire sourire ;*

*Et à ma grande mère « Chrifa » et ma tante « Souad » ceux qui nous ont quittés
plus tôt et sont restés dans mon cœur que Dieu le tout puissant, l'avoit en sa sainte
miséricorde ;*

*A mes chères sœurs « Amira » « Yousra » « Iméne » et leur époux à mes chères frères
« Karim » « Djallel » pour leurs encouragements permanant et leur soutien moral*

Souhaitant que mon amour et ma gratitude puissent vous atteindre

A mes adorables nièces « Rym » et « Aya »

*A mes très chère amis « Salssabila » et « Ibtissem » qui était la raison qui m'a fait
avancer elles ma encourager, me soutenir, m'aider et m'entendre et rester à mes
côtés, que ma gratitude et mon amour vous parviennent ;*

A mes chères cousines « Oumeyma » « Radia » « zineb » et toute ma famille

*A ma binôme « Maroua » qui a partagée avec moi cette lourde tâche et à toutes sa
famille ;*

*A tous mes enseignants et collègues de promotion d'écologie fondamentale et
appliquer 2019/2020*

NESRINE

Résumé

Résumé

Ce travail a consisté essentiellement de faire une synthèse sur les effets des fertilisants organiques et chimiques sur la production et la qualité de blé dur en évaluant leurs conséquences sur la sécurité alimentaire, santé humaine et environnemental. Aussi l'utilité de la fertilisation mais aussi le type de fertilisant agit sur la production agricole, le rendement et la qualité de l'aliment végétale telle que la graine du blé. Ainsi, notre étude encourage les amendements organiques pour la durabilité des sols de production agricole et la qualité des aliments. Dans cet objectif, nous recommandons la production de biochar comme une des solutions éco compatible et améliorante des rendements des cultures de blé dur, malgré tous les obstacles et les contraintes de cet technique elle reste très intéressante.

Les mots clés : blé dur, qualité du blé, fertilisation organique, fertilisation chimique, durabilité des sols, biochar.

Abstract

This work mainly involved making a synthesis of the effects of organic and chemical fertilizers on the production and quality of durum wheat by assessing its consequences on food security, human health and the environment. And the advantage of fertilization to ensure the best possible harvest and the most effective type of fertilizer for the profitability of growing durum wheat

In addition to highlighting the mechanism of organic char as one of the ecological and improved solutions to the harvest of durum wheat, despite all the obstacles and restrictions imposed by this technology, its impact on the environment and the crops makes it very interesting

The key words: durum wheat, yield quality, fertilization, organic fertilizer, chemical fertilizer, pollution, bio char

الملخص

تضمن هذا العمل بشكل أساسي دراسة الجانب النظري لتأثيرات الأسمدة العضوية والكيميائية على إنتاج وجودة القمح الصلب من خلال تقييم عواقبه على الأمن الغذائي وصحة الإنسان والبيئة وميزة التسميد لضمان أفضل حصاد ممكن ونوع السماد الأكثر فاعلية لربحية زراعة القمح الصلب

بالإضافة إلى إبراز آلية التسميد بالفحم الحيوي كواحد من الحلول البيئية والمحسنة لحصاد القمح الصلب، على الرغم من تأثيرها على البيئة والمحاصيل الذي يجعلها مثيرة للاهتمام تواجه هذه التقنية الكثير من المعوقات والقيود

الكلمات المفتاحية: قمح صلب، جودة المحصول التسميد، الأسمدة العضوية، الأسمدة الكيماوية التلوث، الفحم الحيوي

Liste d'abréviations

mg : milligramme

cm : centimètre

°C : degré Celsius

mm : millimètre

Kg/ha : kilogramme par hectare

USDA : United States Department of Agriculture

Mt : millions de tonnes

FAO : Food and Agriculture Organisation

DSA: Direction des services agricoles

APS: Algérie Presse Service

NPK :N : Azote / P : Phosphore / K: Potassium

K₂O: Oxyde de potassium

ASMIDAL : un groupe industriel algérien leader dans son domaine qui gère un portefeuille d'entreprises de "développement, production, et commercialisation" des engrais et des produits phytosanitaires.

NO₃⁻ : Nitrate

NH₄⁺: Ammonium

H₂PO₄ou HPO₄²⁻ : Dihydrogen phosphate

CO₂ : dioxyde de carbone

N₂O : Protoxyde d'azote

pH : Le potentiel hydrogène

Liste d'abréviations

Kt : kilos tonnes

IFA : International Fertilizer Association

CH₄ : Méthane

L : Litre

m : Mètre

FCFA : Franc de la Communauté Financière Africaine

DA : Dinar Algérien

m² : Mètre carré

MAAP : Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche

Liste des tableaux

Tableau n°01 : Classification botanique du blé dur *Triticum durum* Desf (Gherairia et Zardoudi, 2018).

Tableau n°02 : Les maladies virales et fongiques les plus communes sur le blé (Mekaoussi, 2015).

Tableau n°03 : Principaux insectes ravageurs du blé dur (Mekaoussi, 2015).

Tableau n°04 : Éléments essentiels pour la vie des plantes et leurs fonctions (Abdelmalek et Goucem, 2016).

Liste des figures

Figure 1 : Structure du grain du blé (Gherairia et Zardoudi, 2018).

Figure 2 : Plants du blé (Abdelmalek et Goucem, 2016).

Figure 3 : Structure d'un épi et épillet du blé (Abdelmalek et Goucem, 2016).

Figure 4 : Les différents stades de développement du blé dur (Agriculture, 2015)

Figure 5 : Estimation de la production, de la consommation mondiale de blé et stocks fin de campagne de 2015 à 2018 (USDA).

Figure 6 : Estimation de la production mondiale blé en million de tonnes 2019-2020. (USDA).

Figure 7 : Production de blé dur enregistré au niveau de la wilaya de Constantine pendant les 5ans précédentes (DSA Constantine modifié).

Figure 8 : La superficie emblavée (ha) en blé au niveau de la wilaya de Constantine pendant les 5ans précédentes (DSA Constantine modifié).

Figure 9 : Une estimation de l'évolution de quatre indices qui ont un impact significatif sur la sécurité alimentaire et l'environnement (MAAP, 2010).

Figure 10 : Évolution comparée de la consommation régionale d'engrais en tonnes métriques de nutriments dans les régions en développement (Anonyme, 2019).

Figure 11 : Utilisation des fertilisants en Afrique (Will Agri 2017)

Figure 12 : Évolution de la capacité de production dans certains grands pays producteurs entre 2011 et 2020 (Anonyme, 2019).

Figure 13 : Pollution Des Sols Par Les Fertilisants (FAO).

Figure 14 : Attente de couche d'ozone par le phénomène de dénitrification (Benhassine et Dekdouk, 2019).

Figure 15 : Effet de fertilisation azoté sur les nappes phréatiques (Benhassine et Dekdouk, 2019).

Figure 16 : Évolution comparée de la production mondiale de céréales et de la consommation d'engrais en Kt d'éléments nutritifs (FAO et IFA, 2016).

Figure 17 : Bio-charbon (AlterAfrica).

Figure 18 : Ajout de biochar dans le sable au sud de l'Algérie (Pro-Nature, 2016).

Figure 19 : Principaux avantages environnementaux de biochar (Pro-Natura modifié).

Figure 20 :Séquestration du carbone dans le sol par le biochar (Pro-Natura ;2016).

Figure 21 :Technologie de production de bio-charbon (Laurin- Lanctôt, 2015).

Figure 22 : Machine CarboChar-1 (Pro-Natura, 2019).

Figure 23 : Carbonisateur(Low-Tech Lab , Association Nebeday 2016).

Figure 24 : Remplissage du Carbonisateur(Low-Tech Lab , Association Nebeday 2016).

Figure 25:Allumage (Low-Tech Lab , Association Nebeday 2016).

Figure 26 : Carbonisation(Low-Tech Lab , Association Nebeday 2016).

Figure 27 : Premier mélange(Low-Tech Lab , Association Nebeday 2016).

Figure 28 : Deuxième mélange(Low-Tech Lab , Association Nebeday 2016).

Tables des matières

Remerciements**Dédicaces****Résumé****Abstract****ملخص****Liste d'abréviations****Liste des tableaux****Listes des figures**

Introduction	1
Chapitre I : Généralités sur le blé dur	
I.1. Définition des blé dur.....	3
I.2. Origine génétique du blé dur	3
I.3. Classification botanique du blé dur	3
I.4. Les caractères morphologiques du blé.....	4
I.4.1. Le système aérien.....	4
I.4.2. Le système racinaire.....	5
I.4.3. Le système reproducteur.....	5
I.4.3.1. L'épi	6
I.4.3.2. L'épillet.....	6
I.5. Le cycle de développement du blé dur	6
I.5.1. La période végétative	7
I.5.1.1. La phase germination – levée	7
I.5.1.2. La phase levée – tallage	7
I.5.2. La période reproductrice	7

I.5.2.1. La phase montaison – gonflement	7
I.5.2.2. La phase épiaison – floraison	8
I.5.3. La période de formation et de maturation du grain.....	8
I.5.3.1. Grossissement du grain	8
I.5.3.2. Maturation du grain	8
I.6. Les exigences du blé	9
I.6.1. Exigences pédoclimatiques	9
I.6.1.1. La température	9
I.6.1.2. L'eau	9
I.6.1.3. La lumière	10
I.6.1.4. Le sol	10
I.6.2. Les exigences culturales.....	10
I.6.2.1. Préparation du sol	10
I.6.2.2. Semis	10
I.6.2.3. Fertilisation	10
I.7. Aspect phytosanitaire.....	10
I.7.1. Les maladies.....	11
I.7.2. Moisissures et mycotoxines.....	12
I.7.3. Les ravageurs.....	12
I.8. Importance des céréales.....	13
I.8.1. Importance alimentaire	13
I.8.2. Importance économique.....	14
I.8.2.1. Sur le plan mondial	13
I.8.2.2. Sur le plan national.....	15
I.8.2.3. Sur le plan régional	16

ChapitreII: La fertilisation

II.1. Définition de la fertilisation	19
II.2. Importance de la fertilisation pour les cultures	19
II.3. Les lois générales de la fertilisation	20
II.3.1. Loi de restitution au sol	20

II.3.2. Lois des accroissements moins que proportionnels	20
II.3.3. Loi d'interaction.....	20
II.4. Nutritions et les éléments fertilisants essentiel pour la vie des plantes	21
II.5. Les fertilisants	22
II.5.1. Matières fertilisantes	22
II.5.2. Amendements organiques	22
II.5.3. Biochar	23
II.6. Les engrais	23
II.6.1. Les différents types d'engrais.....	23
II.6.1.1. Les engrais organiques	23
II.6.1.1.1. Le fumier	23
II.6.1.1.2. Le compost	23
II.6.1.1.3. Paillis	23
II.6.1.1.4. Les engrais verts	24
II.6.1.2. Les engrais inorganiques.....	24
II.6.1.2.1. Engrais simples	24
II.6.1.2.2. Engrais composés	24
II.6.1.2.3. Engrais complexes	24
II.7. Méthodes d'application des engrais.....	24
II.8. Production et consommation des engrais dans le monde	25
II.9. L'utilisation des engrais et du fumier en Algérie.....	28

Chapitre III : Effets des fertilisants

III.1. Les conséquences de l'utilisation des fertilisants organiques et chimiques.....	29
III.2. Pollution des sols par les fertilisants	30

III.2.1. Comment les engrais peuvent polluer le sol ?.....	31
III.3. Fertilisants chimiques.....	31
III.3.1. L'effet d'azote en excès.....	31
III.3.2. L'effet de phosphore en excès.....	32
III.3.3. L'effet de potassium en excès.....	32
III.4. Effet de la fertilisation sur l'environnement.....	32
III.4.1. Effet de la fertilisation et les engrais chimiques sur l'environnement.....	32
III.4.1.1. Effet des engrais chimiques sur sol.....	32
III.4.1.2. Les effets sur l'Homme.....	33
III.4.1.3 Les conséquences sur l'environnement.....	33
III.4.2. Effet de la fertilisation et les amendements organiques sur l'environnement.....	35
III.4.3. Effet de la fertilisation sur la sécurité alimentaire.....	37
III.5. La qualité de la graine du blé dur.....	38
III.5.1. Notion de la qualité technologique.....	38
III.5.2. Appréciation de la qualité des grains de blé dur.....	38
III.5.2.1. La dureté.....	38
III.5.2.2. Poids de Mille Grains (PMG).....	39
III.5.2.3. Le Poids Spécifique (PS)	39
III.5.2.4. Teneur en eau.....	39
III.5.2.5. La moucheture	39
III.5.2.6. Teneur en protéine	40
III.5.2.7. Test de germination.....	40
III.6. L'effet de la fertilisation azotée sur la qualité de blé et le rendement	40
III.7. Le blé est-il mauvais pour la santé ?.....	41

III.7.1. L'allergie au blé.....	41
ChapitreIV : Exemple d'une entreprise de production du bio-charbon	
IV.1. Définition du Bio-charbon.....	43
IV.2. Utilisation du Bio-charbon comme amendement.....	43
IV.3. Intérêt du Bio-charbon.....	44
IV.4. Principaux avantages du bio-charbon.....	45
IV.5. Impact du bio-charbon sur l'environnement.....	46
IV.5.1. Bio-charbon moyen pour lutter contre les changements climatiques.....	46
IV.5.2. Effet du bio-charbon sur la productivité du sol.....	47
IV.5.3. Effet du bio-charbon sur la croissance des plantes et les rendements des cultures...	48
IV.6. Technique et méthodes de production du bio-charbon.....	48
• 1 ^{ère} méthode : Carbonisation par la Machine Carbo Char-1	48
• 2 ^{ème} méthode : Carbonisation manuelle	51
IV.7. Marché du produit.....	57
Conclusion et recommandations.....	60
Références bibliographiques.....	63
Références webographies.....	68



Introduction générale



Introduction générale

La principale source de nutrition humaine et animale provient directement des céréales d'où leur occupation d'une notoriété prépondérante dans le système agricole.

Comme il est évident le blé s'avère comme étant la base de toute nourriture humaine possédant des caractéristiques vitales, la culture des blés s'avère depuis longtemps un facteur de développement économique très important c'est une matière première très riches en calories s'adaptant à une grande variété de sol, résistant aux conditions climatiques.

En Algérie une grande importance est donnée à la céréaliculture en encourageant l'amélioration et l'augmentation des productions et rendements qui restent toujours insuffisants pour répondre aux besoins de la population algérienne d'où la nécessité de faire appel à l'importation des céréales pour répondre à la demande locale, malgré les efforts fournis dans cette filière depuis les techniques culturales jusqu'à la moisson.

L'amélioration de la qualité nutritionnelle de blé dur passe inévitablement par la fertilisation qui nécessite une gestion adéquate et un suivi très strict. Quant aux apports selon les normes durant les différents stades de développement, les plantes ainsi bien nourries par la technique de fertilisation vont permettre l'augmentation qualitative des rendements, mais peuvent aussi agir négativement sur la production, la qualité du produit (graines et paille) et l'environnement particulièrement la durabilité des sols, ses êtres vivants ainsi que les ressources en eaux (**Bazri, 2015**).

Afin d'atteindre une rentabilité économique, l'agriculture moderne et intensive nécessite obligatoirement l'utilisation des fertilisants surtout chimiques et de la matière organique de différentes sources. Ces apports doivent soigneusement et rationnellement apportés aux sols et/ou cultures pour éviter les effets de toxicité, mais aussi la qualité du produit végétal qui est la base de la chaîne trophique et source d'alimentation pour l'Homme et les animaux.

L'objectif de notre étude est d'éclaircir les effets des différents types de la fertilisation chimique et organique sur les productions et rendements du blé dur dans la wilaya de Constantine, tout en visant la création d'une entreprise du bio-charbon un conditionnant durable des sols, ce produit découvert en Amazonie sous le nom de terra Pretta contribue fortement aux bons rendements agricoles, qualité du produit agricole et retourne ainsi la vie aux sols naturellement pauvre et/ou détériorer par une agriculture agressive et intensive.

Ce modeste travail comporte les chapitres suivants :

- Chapitre 1. Généralités sur le Blé dur ;
- Chapitre 2. Généralités sur la fertilisation ;
- Chapitre 3. Les effets des fertilisants ;
- Chapitre 4. Exemple d'une entreprise de production du bio-charbon

Et enfin une conclusion et recommandations.



*Chapitre 1 : Généralités sur le
blé dur*



1. Définition du blé dur (*Triticum durum*)

Le blé dur appartient au genre *Triticum* et à l'espèce *durum* (Desfontaines). Il fait donc partie du groupe des espèces tétraploïdes. C'est une céréale cultivée dans de très nombreux pays surtout sous le climat méditerranéen comme l'Afrique du Nord et les grandes plaines des États-Unis. Il se caractérise par un épi à rachis solide, à glumes carénées jusqu'à leur base, à glumelle inférieure terminée par une longue barbe colorée ; un grain très gros (45-60 mg), de section sub-triangulaire, très riche en albumen, de texture vitreuse et par un appareil végétatif à tallage faible (souvent un seul épi par plante), à chaume long et souple, sensible à la verse (Flehetna, 2018).

2. Origine génétique du blé dur

Le blé appartient à la famille des graminées (Gramineae = Poaceae), qui comprend plus de 10 000 espèces différentes. Plusieurs espèces de ploïdie différentes sont regroupées dans le genre *Triticum* qui est un exemple classique d'allo polyploïdie, dont les génomes homéologues dérivent de l'hybridation inter espèces appartenant à la même famille (Gherairia et Zardoudi, 2018).

3. Classification botanique du blé dur

Tableau n°01 : Classification botanique du blé dur *Triticum durum* Desf. (Gherairia et Zardoudi, 2018).

Règne	Plantae
Sous-règne	Cormophyte
Embranchement	Spermaphytes
Sous-embranchement	Angiospermes
Super-ordre	Commeliniflorales
Ordre	Poales
Classe	Monocotyledones
Famille	Poaceae
Genre	<u>Triticum</u>
Espèces	<u><i>Triticum durum</i> Desf</u>

4. Les caractères morphologiques du blé : Le blé se présente d'abord comme une plante herbacée, dont l'appareil végétatif est constitué de deux parties, l'une aérienne et l'autre racinaire et l'appareil reproducteur (Abdelmaleket Goucem, 2016).

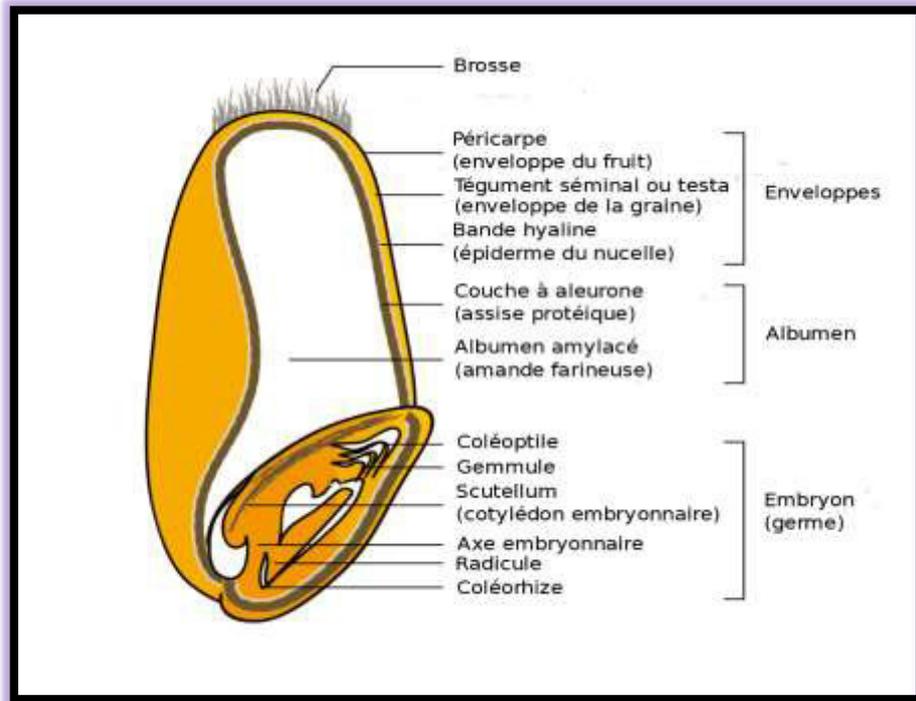


Figure1 : Structure du grain du blé (Gherairia et Zardoudi, 2018).

4.1. Le système aérien : Il Est formé de la tige issue du caryopse et des talles partant du plateau de tallage ; La tige ouchaume est constituée d'entre-nœuds séparés par des nœuds ou zones méristématiques à partir desquelles s'allongent les entre-nœuds et servent comme point d'attache des feuilles. Les feuilles sont alternées, comportant chacune une portion supérieure et une portion inférieure correspondant respectivement au limbe et à la gaine. Les feuilles sont alternées, comportant chacune une portion supérieure et une portion inférieure correspondant respectivement au limbe et à la gaine (Abdelmalek et Goucem, 2016).



Figure2 :Plants du blé. Source : (Abdelmalek et Goucem, 2016)

La tige ne commence vraiment à prendre son caractère de tige qu'au début de la phase végétative, elle s'allonge considérablement à la montaison, et porte 7 ou 8 feuilles rubanées, engainantes sur toute la longueur d'un entre nœuds. Les feuilles ont des nervures parallèles et sont terminées en pointe(Abdelmalek et Goucem, 2016).

4.2. Le système racinaire : L'appareil racinaire, chez le blé est formé de deux systèmes racinaires successifs, un système séminal dont les racines fonctionnent au cours du cycle de la plante. Les racines séminales sont au nombre de 6. Ce système est secondé par le système racinaire adventif qui assure la nutrition de la plante pendant la période active.

L'appareil racinaire du type fasciculé peu développé. 55% du poids total des racines se trouve entre 0 et 25 cm de profondeur, 17,5% entre 25 et 50 cm, 14,9% entre 50 et 75%, 12% au-delà. En terre très profond (sols de limon), les racines descendent jusqu'à 1,50 mètre(Abdelmalek et Goucem, 2016).

4.3. Le système reproducteur : Les fleurs sont regroupées en inflorescence correspondant à l'épi dont l'unité morphologique de base est l'épillet constitué de grappe de fleurs enveloppées de leurs glumelles et incluses dans deux bractées appelées les glumes (inférieure et supérieure). (Abdelmalek et Goucem, 2016).

4.3.1. L'épi : Il est aussi du bourgeon terminal du plateau de tallage. Lorsque le développement de la tige est terminé, l'épi apparaît enveloppé dans la dernière feuille, et après quelques jours on peut étudier sa structure en détail. C'est l'épiaison ; L'épi comporte une tige pleine ou rachis coudée et étranglée à intervalles réguliers et portant alternativement à droite et à gauche un épillet (Abdelmalek et Goucem, 2016).

4.3.2. L'épillet : Ne comportent pas de pédoncule il est attaché directement sur le rachis. Les épillets nombreux (jusqu'à vingt-cinq). Ils représentent Petits groupes de fleurs, inséré sur l'axe de l'épi. Il est protégé à sa base par deux glumes (bractées), les fleurs sont protégées par des glumelles et des glumellules. Après la fécondation, la fleur donne naissance à un fruit unique, le caryopse ou grain, qui comporte un embryon ou germe plaqué sur les réserves (Abdelmalek et Goucem, 2016).

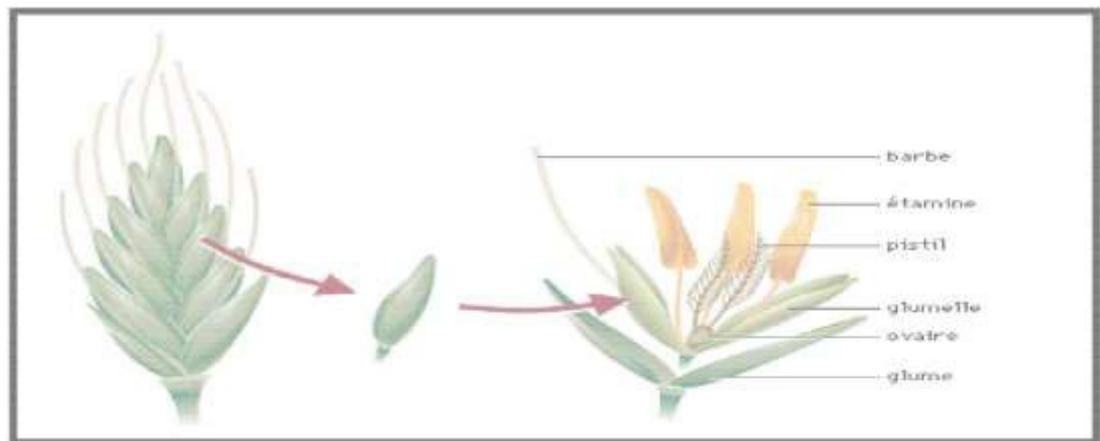


Figure 3 : Structure d'un épi et épillet du blé. Source : (Abdelmalek et Goucem, 2016)

5. Le cycle de développement du blé dur : Afin de caractériser le cycle de développement du blé, différentes échelles de notation ont été développées, portant soit sur des changements d'aspect externe, soit sur les modifications d'aspect interne des organes reproducteurs.

- ✓ L'échelle utilisée pour reconnaître les stades par des changements d'aspect externe (Levée - Montaison).
- ✓ L'échelle utilisée pour reconnaître les stades par des modifications d'aspect interne (Différentiation de l'épi : Stade épi 1 cm).

Le cycle biologique du blé est une succession de périodes subdivisées en phases et en stades. (Nadjem, 2012).

5.1. La période végétative : Elle se caractérise par un développement strictement herbacé et s'étend du semis jusqu'à fin tallage. Elle se divise en deux phases :

5.1.1. La phase germination – levée

La germination de la graine se caractérise par l'émergence du coléorhize donnant naissance à des racines séminales et du coléoptile qui protège la sortie de la première feuille fonctionnelle. La levée se fait réellement dès la sortie des feuilles à la surface du sol. Au sein d'un peuplement, la levée est atteinte lorsque la majorité des lignes de semis sont visibles. Durant la phase semis levée, l'alimentation de la plante dépend uniquement de son système racinaire primaire et des réserves de la graine).

Les plus grosses graines lèvent les premières et donnent des plantules plus vigoureuses. De plus la composition des réserves (teneur en protéines) agit favorablement sur la vitesse de la germination-levée(Nadjem, 2012).

5.1.2. La phase levée – tallage

La production de talles commence à l'issue du développement de la troisième feuille. L'apparition de ces talles se fait à un rythme régulier à celui de l'émission des feuilles. A partir des bourgeons situés à l'aisselle des talles primaires initiées à la base du brin maître, les talles secondaires peuvent apparaître et être susceptibles d'émettre des talles tertiaires. Le nombre de talles produites dépend de la variété, du climat, de l'alimentation minérale et hydrique de la plante, ainsi que de la densité de semis.

La nutrition minérale notamment azotée est faible jusqu'au stade 2-3 feuilles. Le facteur nutritionnel peut modifier la vitesse du tallage herbacé, la durée du tallage et le nombre de talles. La fin du tallage représente la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive, conditionnée par la photopériode et la vernalisation qui autorisent l'élongation des entre-nœuds (Nadjem, 2012).

5.2. La période reproductrice

5.2.1. La phase montaison – gonflement

La montaison débute à la fin du tallage, elle est caractérisée par l'allongement des entre-nœuds et la différenciation des pièces florales. A cette phase, un certain nombre de talles

herbacées commence à régresser alors que, d'autres se trouvent couronnées par des épis. Pendant cette phase de croissance active, les besoins en éléments nutritifs notamment en azote sont accrus. La montaison s'achève à la fin de l'émission de la dernière feuille et des manifestations du gonflement que provoquent les épis dans la gaine (Nadjem, 2012).

5.2.2. La phase épiaison – floraison

Elle est marquée par la méiose pollinique et l'éclatement de la gaine avec l'émergence de l'épi. C'est au cours de cette phase que s'achève la formation des organes floraux (l'anthèse) et s'effectue la fécondation. Cette phase est atteinte quand 50 % des épis sont à moitié sortis de la gaine de la dernière feuille.

Elle correspond au maximum de la croissance de la plante qui aura élaboré les trois quarts de la matière sèche totale et dépend étroitement de la nutrition minérale et de la transpiration qui influencent le nombre final de grains par épi (Nadjem, 2012).

5.3. La période de formation et de maturation du grain

5.3.1. Grossissement du grain : Cette phase marque la modification du fonctionnement de la plante qui sera alors orientée vers le remplissage des grains à partir de la biomasse produite. Au début, le grain s'organise, les cellules se multiplient. Les besoins des grains sont inférieurs à ce que fournissent les parties aériennes (plus de 3/4 de la matière sèche sont stockés au niveau des tiges et des feuilles). Par la suite, les besoins augmentent et le poids des grains dans l'épi s'élève, alors que la matière sèche des parties aériennes diminue progressivement.

Seulement 10% à 15% de l'amidon du grain peut provenir de réserves antérieures à la floraison. A l'issue de cette phase, 40 à 50 % des réserves se sont accumulées dans le grain qui, bien qu'il ait atteint sa taille définitive, se trouve encore vert et mou, c'est le stade « grain laiteux ». L'autre partie des réserves se trouve encore dans les tiges et les feuilles qui commencent à jaunir. Les réserves du grain proviennent en faible partie de la photosynthèse nette qui persiste dans les dernières feuilles vertes. Chez les variétés tardives, cette quantité est de 12 % contre 25 % chez les précoces. La majeure partie des réserves accumulées vient des tiges et les feuilles jaunissantes, mais non encore desséchées (Nadjem, 2012).

5.3.2. Maturation du grain : La phase de maturation succède au stade pâteux (45 % d'humidité). Elle correspond à la phase au cours de laquelle le grain va perdre progressivement son humidité en passant par divers stades. Elle débute à la fin du palier hydrique marqué par la stabilité de la teneur en eau du grain pendant 10 à 15 jours. Au-delà de cette période, le grain ne

perdra que l'excès d'eau qu'il contient et passera progressivement aux stades « rayable à l'angle » (20 % d'humidité) puis, « cassant sous la dent » (15-16 % d'humidité), (Nadjem, 2012).

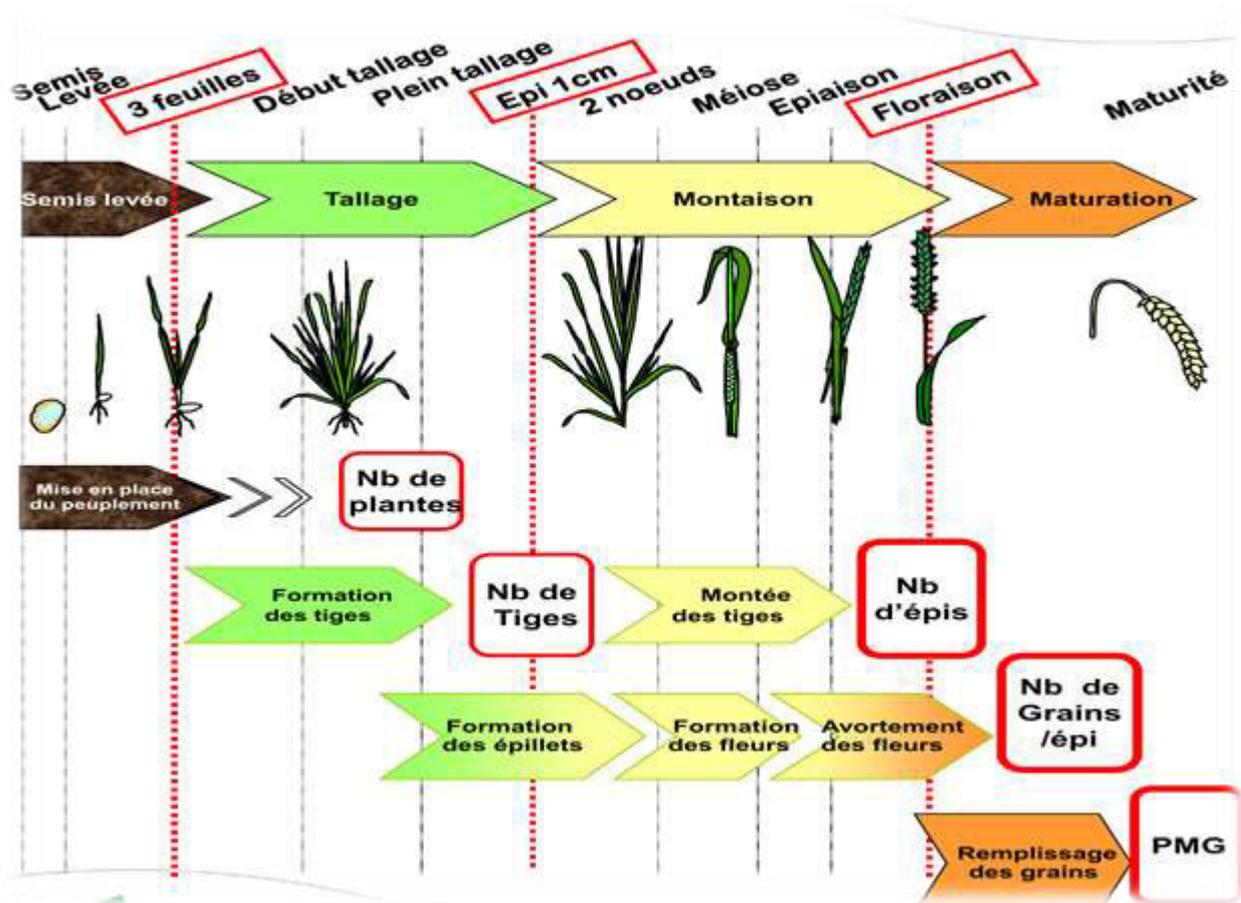


Figure 4 :Les différents stades de développement du blé dur. Source : (Agriculture, 2015).

6. Les exigences du blé

6.1. Exigences pédoclimatiques

6.1.1. La température : La température est un facteur physiologique très important dans toute les phases du cycle végétatif du blé ; la germination bloque ; à 0°C et la phase de croissance nécessite 15 à 25°C, (Gherairia et Zardoudi, 2018).

6.1.2. L'eau : Jusqu'à la fin du tallage les besoins en eau sont relativement faibles. Par contre, au cours de montaison jusqu'à la floraison les besoins en eau de la culture sont considérables et peuvent s'évaluer à 180mm, le blé devient très résistant à la sécheresse(Gherairia et Zardoudi, 2018).

6.1.3. La lumière : La lumière est le facteur qui agit directement sur le bon fonctionnement de la photosynthèse et le comportement du blé. En effet, un bon tallage ; floraison et développement des plantes est garanti, (Gherairiaet Zardoudi, 2018).

6.1.4. Le sol : Le blé dur est besoin d'un sol sain, se ressuyant bien en hiver et à bon pouvoir absorbant. (Les sols limoneux, argileux calcaires ou les sols argileux-siliceux profonds) En terre peu profond, il y a risque de sécheresse en période critique (Gherairia et Zardoudi, 2018).

6.2. Les exigences culturales

6.2.1. La préparation du sol : Le blé nécessite un sol bien préparé et ameubli sur une profondeur de 12 à 15 cm pour les terres patentes ou 20 à 25 cm pour les autres terres. Le sol doit être légèrement motteux et suffisamment tassé en profondeur, une structure fine en surface pour permettre un semis régulier et peu profond, (GherairiaetZardoudi, 2018).

6.2.2. Le semis : La date de semis un facteur limitant vis-à-vis rendement, c'est pourquoi la date propre à chaque région doit être respectée sérieusement pour éviter les méfaits climatiques, en Algérie il peut commencer dès la fin d'octobre avec un écartement entre les lignes de 15 à 25 cm et une profondeur de semis de 2,5 à 3 cm. La dose de semis dans les régions saharienne varie entre 200 à 225 Kg/ha en fonction des paramètres climatiques, la grosseur des grains, la faculté germinative et la fertilité du sol, (Gherairiaet Zardoudi, 2018).

6.2.3. La fertilisation : Les cultures annuelles telles que les blés craignent la carence en phosphore (P) et en Potassium (K) quand elles sont jeunes car leurs racines n'exploitent qu'une faible partie du sol. L'engrais doit donc être apporté en début de cycle et au plus près des jeunes racines(GherairiaetZardoudi, 2018).

7. Aspect phytosanitaire : La culture de blé est exposée à différentes contraintes biotiques causées par les organismes vivants. Le stress biotique contribue dans la situation productive de la plante. Les principaux ennemis des cultures sont les nématodes, les mollusques, les insectes, les acariens, les oiseaux, les rongeurs et autres mammifères. (Mekaoussi, 2015).

7.1. Les maladies : Les céréales peuvent être attaquées par des virus, des bactéries et des champignons (Tableau 2)(Mekaoussi, 2015).

Tableau n°02 : Les maladies virales et fongiques les plus communes sur le blé (Mekaoussi, 2015).

	Maladies	Agent causal	Référence
Maladies virales	Virus de la jaunisse nanisante des céréales	Le virus BYDV	Mekaoussi, (2015)
	Mosaïque striée du blé	Le virus WSMV	
	Virus de la mosaïque modérée de l'orge	Le virus BaMMV	
Maladies fongiques	Le piétin échaudage	Gaeumannomycesgraminis	Mekaoussi, (2015)
	Les fusarioses	Fusarium culmorum Fusarium graminecola	
	Les septorioses	Septoriatritici	
	Rouille jaune	Puccinia striiformis	
	Rouille brune	Puccinia tritici	
	L'oïdium	Erysiphegraminis	
	La carie	Tilletia caries Tilletiafoetida	
	Les charbons	Ustilagitrifici Ustilagonuda	
Taches helminthosporienne	Pyrenophoratrifici repentis		

7.2. Moisissures et mycotoxines

- ✓ L'industrie suit les exigences gouvernementales en ce qui attrait à la présence de la mycotoxine DON(Deoxynivalénol) ou vomitoxine produite par la moisissure Fusarium dans le blé ainsi quedans la farine produite ; l'OchratoxineA (OTA) une mycotoxine ayant des propriétés cancérigènes, néphrotoxiques ettératogène fait partie des toxines surveillées de plus près par l'Agence canadienne d'inspection desaliments.
- ✓ La contamination fongique (moisissure) du grain de blé peut survenir au champ ou lorsque le grain est entreposé.
- ✓ Les mycotoxines se développent dans le grain de blé en conditions favorables de chaleur et d'humidité (teneur en eau) (Agence canadienne d'inspection des aliments, 2016).

7.3. Les ravageurs : D'après(Mekaoussi, 2015).Les ravageurs les plus communs et les plus dangereux pour les emblavures de céréales sont présentés dans le tableau 3.

Tableau n°03 : Principaux insectes ravageurs du blé dur(Mekaoussi, 2015).

Nom commun	Parties attaquées	Références
La mouche de Hesse (cécidomyies) (Diptères)	Grains	Mekaoussi,(2015)
La punaise des céréales (Hétéroptères)	Epis	//
Les vers blancs (Coléoptères)	Feuilles et tiges	//
Les pucerons (Homoptères)	Feuilles et jeunes épis	//
Les criquets (Orthoptères)	Feuilles et tiges	//
Les Noctuelles	Feuilles, tiges et épis	//

(Lépidoptères)		
Thrips (Thysanoptère)	Epis	//

8. Importance des céréales : La céréaliculture est une composante importante dans le système alimentaire et dans l'économie mondiale, nationale et régionale.

8.1. Importance alimentaire

Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de la base dans beaucoup de pays en développement, particulièrement dans les pays maghrébins. La filière céréalière constitue une des principales filières de la production agricole en Algérie (Djermoun, 2009).

Les blés constituent la première ressource alimentaire de l'humanité, et la principale source de protéines. Ils fournissent également une ressource privilégiée pour l'alimentation animale et de multiples applications industrielles. La presque totalité de la nutrition de la population mondiale est fournie par les aliments en grains dont 95% sont produits par les principales cultures céréalières (Nedjah, 2015).

La consommation de blé dur (grain entier, souvent appelé blé complet) joue un rôle protecteur en santé humaine, vis-à-vis des maladies cardio-vasculaires, de certains cancers, du diabète et de l'obésité. L'effet serait lié à la teneur en acide phytique, en lignines, et en d'autres composés, et n'est pas complètement explicité (Abdelmalek et Goucem, 2016).

Les céréales représentent l'énergie nécessaire au travail musculaire ainsi qu'au fonctionnement plus général de l'organisme. Chaque pays a ses céréales adaptées au climat et au sol, donc facile à cultiver par les paysans ou les particuliers, pour vivre et se nourrir (Eddé, 2019).

8.2. Importance économique

8.2.1. A l'échelle mondial : Depuis des millénaires, le blé occupe à l'échelle mondiale une place primordiale dans les programmes de recherche et d'amélioration agricole, le blé considéré comme l'aliment stratégique de toutes les nations du monde.

La production mondiale de blé pour les années 2015/2016 ; 2016/2017 ; 2017/2018 pourrait atteindre 737 ; 753 et 738 millions de tonnes respectivement. Cette baisse de production ne suffit pas pour autant à alléger les stocks de fin de campagne, ils sont attendus pour la campagne 2017/2018 supérieurs à ceux de la campagne en cours selon l'USDA (Hélène, 2017),(Figure 5)

La consommation mondiale de blé subit une très forte progression entre la campagne 2015/2016 – 2016/2017 (+28 millions de tonnes), et dans la campagne 2017/2018 s'étant en 735 millions de tonnes selon l'USDA (Hélène, 2017), (Figure 5)

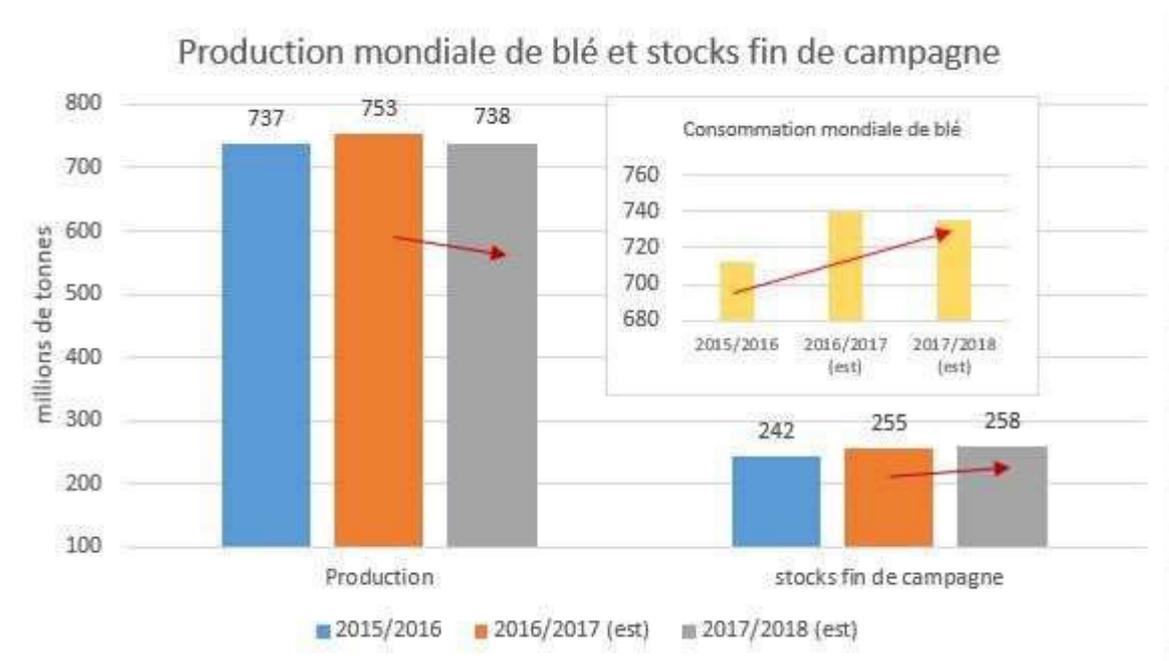


Figure 5 : Estimation de la production, de la consommation mondiale de blé et stocks fin de campagne de 2015 à 2018. Source : USDA.

Le Canada est le premier exportateur mondial de blé dur et l'Algérie le premier importateur(Aknoucheet Laib, 2017).

La production mondiale de blé pour l'année 2019-2020 (figure 6), pourrait atteindre 764.5 millions de tonnes selon (l'USDA).

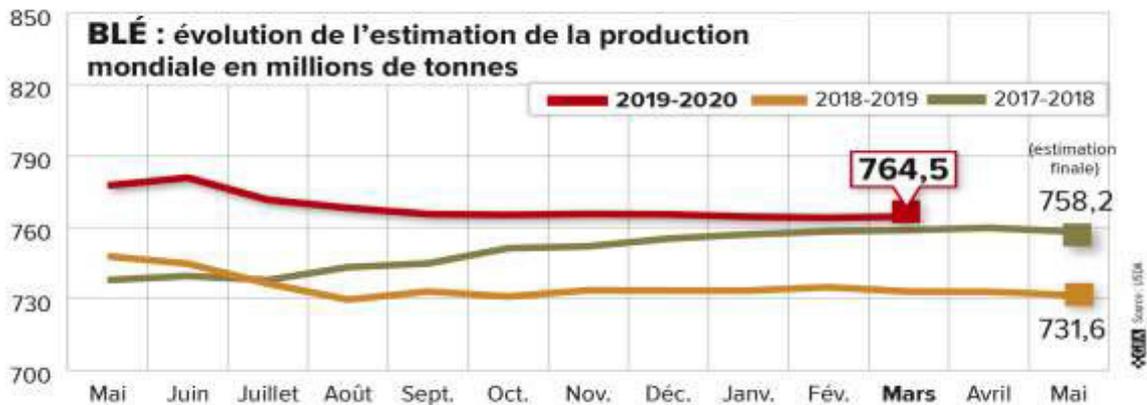


Figure 6 : Estimation de la production mondiale blé en million de tonnes 2019-2020. Source : USDA.

Selon un rapport mensuel du ministère américain de l'Agriculture publié mardi 10 mars 2020, Les chiffres de stocks et d'exportation des principaux producteurs et exportateurs mondiaux de blé et de maïs n'ont pas été modifiés, en dépit de l'épidémie mondiale de coronavirus (USDA).

En revanche, Concernant le blé, l'Inde, voit sa production légèrement réévaluée à 103,6 Mt (+1,4 Mt), et ses stocks progresser d'autant, ce qui pourrait favoriser son retour sur le marché mondial du commerce de blé, selon (M. Le Molgat).

Les estimations de la FAO concernant l'utilisation mondiale de blé pendant la campagne de commercialisation 2020-2021 devrait stagner autour de 759,4 millions de tonnes, la hausse prévue de la consommation alimentaire faisant plus que compenser le recul attendu de l'utilisation dans les secteurs de l'alimentation animale et de l'industrie (en particulier dans l'Union européenne, aux États-Unis d'Amérique et au Canada), essentiellement en raison de la chute de la demande qui découlera sans doute des graves contractions de l'économie imputables à la pandémie de covid-19 (FAO, 2020).

8.2.2. A l'échelle nationale : En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Cette caractéristique est perçue d'une manière à travers toutes les phases de la filière (Djermoun, 2009).

Les céréales constituent la composante principale des productions végétales en Algérie, elles couvrent près de 80% de la surface agricole utile (SAU) et intéressent la presque totalité des exploitations agricoles (Benabdallah, 2016).

Les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien, le blé étant le produit de consommation de base, les habitants des pays magrébins sont les plus gros consommateurs de cette denrée au monde notamment l'Algérie avec près de 600 grammes par personne et par jour (Zettal, 2017).

Cette consommation de blé a légèrement augmenté ces dernières années en raison de l'urbanisation accrue, de la croissance de la population et de l'augmentation de la capacité de broyage, mais devrait rester plus ou moins stagnante (Zettal, 2017).

Selon le Ministre de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche, Cherif Omari, la production céréalière obtenue en 2018-2019 atteint "un niveau historique, jamais enregistré depuis l'indépendance", précisant que les quantités récoltées à ce jour dépassaient celles de la saison dernière, estimées à 27 millions de quintaux (APS, 2019)

8.2.3. A l'échelle régionale

La production de blé dur dans la wilaya de Constantine

La wilaya de Constantine a réalisé, durant la saison agricole 2017-2018, une production qualifiée qui a dépassé 3 millions quintaux de céréales toutes variétés confondues, ont rappelés responsables de la DSA, (APS, 2020).

Cette récolte a été réalisée sur une superficie de 81 204 hectares, avec un rendement moyen estimé à 36 quintaux par hectare, contre 15 quintaux enregistrés la saison écoulée. L'objectif de ce rendement, sur lequel le ministère de l'Agriculture se penche depuis plusieurs années, a été bel et bien atteint dans la wilaya de Constantine, pionnière dans ce secteur (APS, 2018).

Constantine réserve 54 100 hectares à la culture du blé dur, 19 350 hectares à celle du blé tendre, 6 975 hectares à la culture de l'orge et 1 115 hectares aux fourrages. Les capacités de stockage sont estimées à 2 035 000 quintaux (APS, 2018).

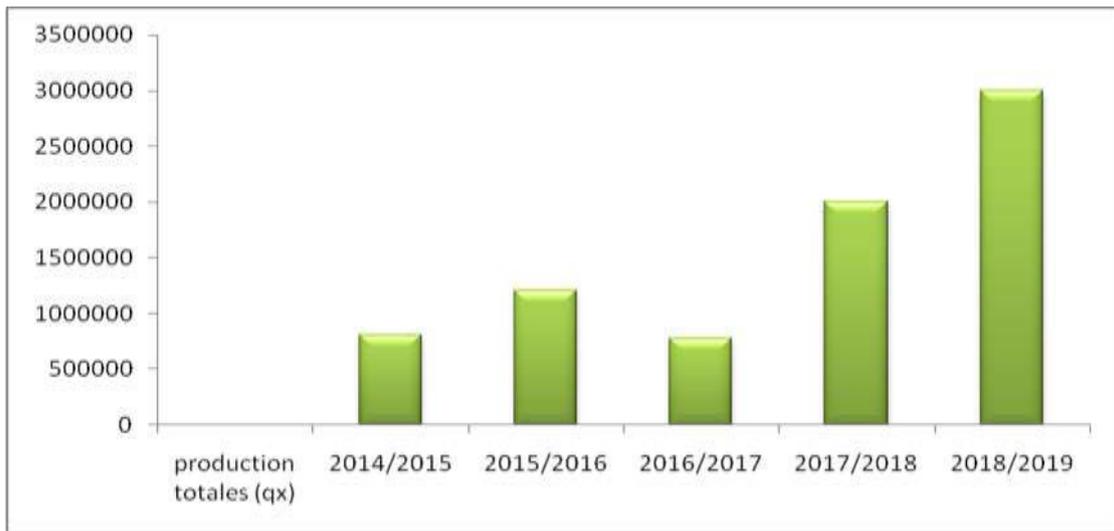


Figure7 : Production de blé dur enregistré au niveau de la wilaya de Constantine pendant les 5ans précédentes Source : (DSA Constantine modifié).

La campagne moissons-battages de la saison agricole 2018-2019 a atteint, dans la wilaya de Constantine, un taux d'avancement appréciable estimé à 70 %, avec la réalisation d'une production de 2 millions de quintaux de céréales à travers l'ensemble des communes, selon la Direction desservices agricoles (DSA).

La superficie globale réservée à cette production est de 90.655 hectares, la récolte céréalière recensée touchant une surface de plus de 60.000 hectares, a précisé à l'APS le chef du service de l'organisation de la production et de l'appui technique Djamel Benseradj, (APS, 2019).

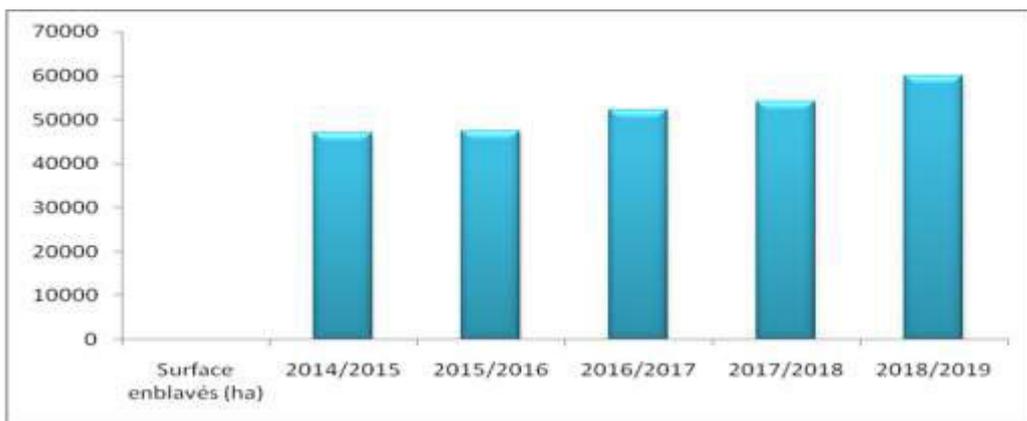


Figure 8 : La superficie emblavée (ha) en blé au niveau de la wilaya de Constantine pendant les 5ans précédentes. Source : (DSA Constantine modifié).



Chapitre 11 : Généralités sur La fertilisation



1. Définition de la Fertilisation

La fertilisation est l'application des fertilisants pour améliorer les propriétés spécifiques du sol et augmenter sa fertilité (Benamara et Djotni, 2018). De façon plus restrictive, elle peut être définie la fertilisation comme un processus consistant à apporter à un milieu de culture, tel que le sol, les éléments minéraux nécessaires au développement de la plante (Gherairia et Zardoudi, 2018).

L'objectif de la fertilisation est de satisfaire les besoins nutritionnels des plantes en complétant l'offre du sol en éléments minéraux dans des conditions économiquement rentables et respectueuses de l'environnement. C'est le principal déterminant de l'activité biologique et influence les propriétés physiques et chimiques du sol (Kadir et Mahma, 2018).

La fertilisation doit tenir compte (Laib, 2011):

- ✚ Du rythme d'absorption des éléments minéraux ; le phosphore, l'azote et le potassium durant le cycle de culture ;
- ✚ De la capacité d'échange du sol ;
- ✚ De la dynamique des éléments nutritifs.

2. Importance de la fertilisation pour les cultures

La fertilisation est indispensable pour améliorer les rendements, et doit être correctement évaluée pour se situer à l'optimum économique (FAO, 2005), par les mécanismes de la nutrition végétale, qui est l'ensemble des processus qui permettent aux végétaux d'absorber dans le milieu ambiant et d'assimiler les éléments nutritifs nécessaires à leurs différentes fonctions physiologiques : croissance, développement, reproduction etc.... (Benamara et Djotni, 2018)

Selon (Benamara et Djotni, 2018), la fertilisation a pour but :

- ✓ De créer, améliorer ou maintenir les caractéristiques biologiques et physico-chimiques du sol aptes à optimiser l'absorption par les plantes des éléments nécessaires à leur croissance et au rendement ;
- ✓ D'assurer la complémentarité des fournitures en provenance du sol.

3. Les lois générales de la fertilisation

Selon (Gherairiaet Zardoudi, 2018), les principes actuels de la fertilisation découlent de trois lois fondamentales

3.1. Loi des restitutions au sol : Les exportations des éléments minéraux doivent être compensées par des restitutions pour éviter l'épuisement des sols. Cette règle est insuffisante pour trois raisons :

- De nombreux sols souffrent d'une pauvreté naturelle en un ou plusieurs éléments nutritifs et exigent d'être enrichis pour répondre à la définition de sol cultivé.
- Le sol est exposé à des pertes d'éléments fertilisants par lessivage vers la nappe souterraine ou par ruissellement et érosion vers les eaux de surface.
- Les plantes ont des besoins intenses en éléments nutritifs appelés « besoins instantanés » au cours de certaines périodes de leur cycle végétatif durant lesquelles les réserves mobilisables du sol peuvent être insuffisantes.

3.2. Loi des accroissements moins que proportionnels : Quand on apporte au sol des doses croissantes d'un élément fertilisant, les rendements ne croissent pas proportionnellement. Cette loi se traduit par une courbe dont le sommet représente le rendement maximum possible. Le rendement optimum est atteint quand le gain de rendement couvre la dépense supplémentaire en engrais.

3.3. Loi d'interaction : L'importance du rendement d'une récolte est déterminée par l'élément qui se trouve en plus faible quantité par rapport aux besoins de la culture. L'analyse de terre permet généralement de découvrir le facteur limitant. Cette loi d'interaction met en évidence l'interdépendance entre les différents éléments fertilisants et la nécessité d'atteindre une richesse suffisante du sol en tous éléments pour que le rendement optimum soit atteint. L'interaction est dite positive lorsque l'effet exercé par un ensemble de deux facteurs est supérieur à la somme des effets de ces facteurs agissant séparément. Ainsi, la satisfaction des besoins en potassium assure une plus grande efficacité des apports d'azote. L'interaction entre le phosphore et l'azote est également positive.

4. Nutritions et les éléments fertilisants essentiels pour la vie des plantes

Les plantes ont besoin de nourriture comme tous les êtres vivants, pour croître et se reproduire. Pour se développer, les plantes utilisent de l'eau et des substances minérales à partir du sol, de la lumière (énergie solaire), du carbone (sous forme de CO_2) et l'oxygène de l'air. Et des éléments essentiels pour la vie des plantes (Gherairia et Zardoudi, 2018).

Tableau n°04 : Eléments essentiels pour la vie des plantes et leurs fonctions (Abdelmalek et Goucem, 2016).

	Eléments	Forme d'adsorption	Formations principales
Les éléments majeurs	Azote	$\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$	Construction du composé principal des cellules, des protéines de la chlorophylle.
	Phosphore	H_2PO_4^- $/\text{HPO}_4^{2-}$	Construction des gènes, rôle central dans le transfert d'énergie dans la plante.
	Potassium	K^+	Aide dans la régulation osmotique, important pour des plusieurs fonctions enzymatiques et dans le métabolisme de protéine.
	Calcium	Ca^{+2}	Implique dans la division cellulaire et joue un rôle majeur dans le maintien de l'intégrité de la membrane.
	Magnésium	Mg^{+2}	Constituant de la chlorophylle et facteur dans plusieurs réactions enzymatiques.
	Soufre	SO_4^{2-}	Constituant de protéine, des aminoacides, des vitamines, nécessaire pour la production des plantes.
Les oligo-éléments	Fer	Fe^{2+}	Constituant de plusieurs enzymes comme le cytochrome, implique dans la fixation d'azote et la photosynthèse.
	Zinc	Zn^{+2}	Nécessaire pour le fonctionnement correct de plusieurs systèmes enzymatiques.
	Cuivre	Cu^{2+}	Il intervient notamment dans l'entretien des cartilages, des os. Il est également essentiel dans la lutte contre

			les infections et le bon fonctionnement du cœur.
	Manganèses	Mn ⁺²	Considéré comme un micronutriment des cultures végétales et un activateur ou cofacteur d'enzymes
	Sodium	Na ⁺	Un excellent conducteur électrique. Utilisé comme fluide caloporteur (réfrigérant) à haute température
	Chlore	Cl ⁻	Important dans la purification de l'eau, dans les désinfectants, les agents de blanchissement

5. Les fertilisants : Les fertilisants se dit d'un produit capable d'améliorer la productivité d'un sol, c'est-à-dire tout matériel ajouté à un sol pour fournir des nutriments aux plantes, ça peut être des éléments minéraux ou autres matières fertilisantes.

Les fertilisants sont des produits ajoutés dans un sol dans le but de conserver ou d'améliorer leur productivité, ça peut être des éléments minéraux ou autres matières fertilisantes nécessaires aux développements des plantes(Benamaraet Djotni, 2018).

5.1. Matières fertilisantes :Les matières fertilisantes représentent l'ensemble des produits d'origine naturelle, agricole ou industrielle apportés au sol pour maintenir ou améliorer sa fertilité. Elles ont des modes d'action divers en intervenant sur la nutrition des végétaux ou en agissant sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol(BenamaraetDjotni, 2018).

Les matières fertilisantes mixtes, du fait de leur composition, contribuent à la nutrition des plantes et à l'amélioration des propriétés du sol, par exemple, les amendements métallurgiques phosphatés et d'engrais(Benamaraet Djotni, 2018).

5.2. Amendements organiques : Les amendements organiques visent à compenser la fraction de la matière organique du sol qui se minéralise chaque année. Ils enrichissent le sol en matière organique, en améliorant la structure et apportent jouent également un rôle très important sur l'activité biologique du sol (notamment sur les microorganismes)(Benamara et Djotni, 2018).

Les principaux amendements organiques sont les effluents d'élevage et les résidus de récolte provenant de l'exploitation agricole. D'autres, comme les déchets urbains ou certains sous-produits industriels, sont d'origine externe(Benamara et Djotni, 2018).

5.3. Biochar : Le biochar est un néologisme anglais, composé du préfixe bio- et du mot charcoal qui signifie charbon de bois. C'est un produit secondaire solide issu de la pyrolyse de biomasse

(matière organique telle que les résidus des végétaux et les déchets des animaux) dans la production de biocarburants. La pyrolyse est une décomposition thermique dans un milieu pauvre en oxygène (Benamara et Djotni, 2018). Elle conduit à la production :

- d'un mélange gazeux appelé syngas qui est un gaz combustible ;
- d'huile appelé bio-oil - de biochar.

6. Les engrais : Les engrais sont des substances ou des mélanges d'éléments minéraux incorporées au sol pour en accroître ou en maintenir la fertilité. De façon à améliorer la croissance des plantes et augmenter les rendements et la qualité des cultures.

Les engrais peuvent être organiques (déchets végétaux, déjections animales) ou inorganiques (issus de l'industrie chimique et de l'extraction minière pour les phosphates et la potasse) (Réseau Agriculture Régional de la FRAPNA, 2013).

6.1. Les différents types d'engrais : On distingue deux types d'engrais, les engrais organiques et inorganiques :

6.1.1. Les engrais organiques

Les engrais organiques proviennent de la transformation de déchets végétaux et animaux. Ils peuvent être élaborés à partir de fumier, de lisier, de produits animaux (plumes et poils, sang desséché, corne), de produits végétaux tels que les feuilles, tiges ou récupérés par l'intermédiaire d'un compostage de végétaux (Réseau Agriculture Régional de la FRAPNA, 2013).

Selon (Soualmia, 2014), il y a 4 différents types des engrais organiques à savoir

6.1.1.1. Le fumier : Obtenu par fermentation des excréments et de la litière des animaux Il est possible également d'utiliser une solution de purin de ferme ou du fumier

6.1.1.2. Le compost : l'obtention d'un compost mature après 4 à 6 mois

6.1.1.3. Paillis

6.1.1.4. Les engrais verts : La culture d'engrais vert est une des pratiques de base de l'agriculture biologique. La forme d'engrais vert la plus courante est représentée par les résidus végétaux.

6.1.2. Les engrais inorganiques

Les engrais inorganiques, également appelés engrais minéraux ou chimiques sont des produits qui proviennent essentiellement de sources non vivantes ou à travers des processus artificiels. La plupart des engrais commerciaux entre dans cette catégorie (Kadir et Mahma, 2018).

Les différents types d'engrais Inorganique (Gherairia et Zardoudi, 2018) :

6.1.2.1. Engrais simples : Les engrais simples sont des engrais qui ne contiennent qu'un seul élément fertilisant, il en existe donc plusieurs types : des engrais azotés, des engrais phosphatés et des engrais potassiques.

6.1.2.2. Engrais composés : Les engrais composés contenant au moins deux des trois éléments fertilisants de base. Parmi ces engrais composés on peut citer par exemple les suivants : des engrais ternaires NPK, des engrais binaires NK, tels que le nitrate de potassium (13 % N et 46 % K_2O).

6.1.2.3. Engrais complexes : Soit par fabrication chimique pour obtenir des engrais complexes. Le procédé chimique produit un engrais où chaque grain contient à la fois le N, le P et le K.

7. Méthodes d'application des engrais : Les engrais peuvent être apportés au sol, en pulvérisation foliaire et dans l'eau d'irrigation (Soualmia, 2014).

- ✓ Les applications des engrais sur le sol sont les plus fréquentes. La plupart des engrais utilisés sont suffisamment solubles dans l'eau du sol.
- ✓ Les produits utilisés dans la fertilisation peuvent être des produits fertilisants solides facilement solubles ou des produits liquides.
- ✓ Une pureté de la solution fertilisante : les impuretés peuvent provenir de la solubilisation d'un des produits utilisés ou de la réaction de plusieurs produits. Elles provoquent l'obstruction du réseau d'irrigation (tuyaux, émetteurs, ...). Ces problèmes peuvent être aggravés par la présence d'algues et de microorganismes variétés dans l'eau d'irrigation.
- ✓ Une compatibilité entre les produits utilisés de sorte à éviter la formation de composés insolubles.

- ✓ Les apports d'engrais en pulvérisation foliaire servent à corriger des carences aiguës en azote et/ou en oligo-éléments. Afin d'éviter les brûlures des feuilles, il est recommandé d'utiliser des concentrations faibles d'urée ayant des teneurs en biurets (composés proches de l'urée produits pendant la fabrication de cet engrais et toxiques pour les plantes) inférieures à 2%.

8. Production et consommation mondiale des engrais : Selon la FAO, la consommation mondiale d'engrais devrait atteindre 200 millions de tonnes en 2018, avec plus de 50% de la consommation mondiale d'engrais concentrée en Chine, aux États-Unis d'Amérique et en Inde. Cette demande en engrais devrait être poussée par l'augmentation de la population mondiale et le besoin d'assurer la sécurité alimentaire ainsi que par l'augmentation du niveau de vie (MAAP, 2010).

La (MAAP, 2010) estime une hausse entre 50 et 80 % de la demande de produits agricoles.

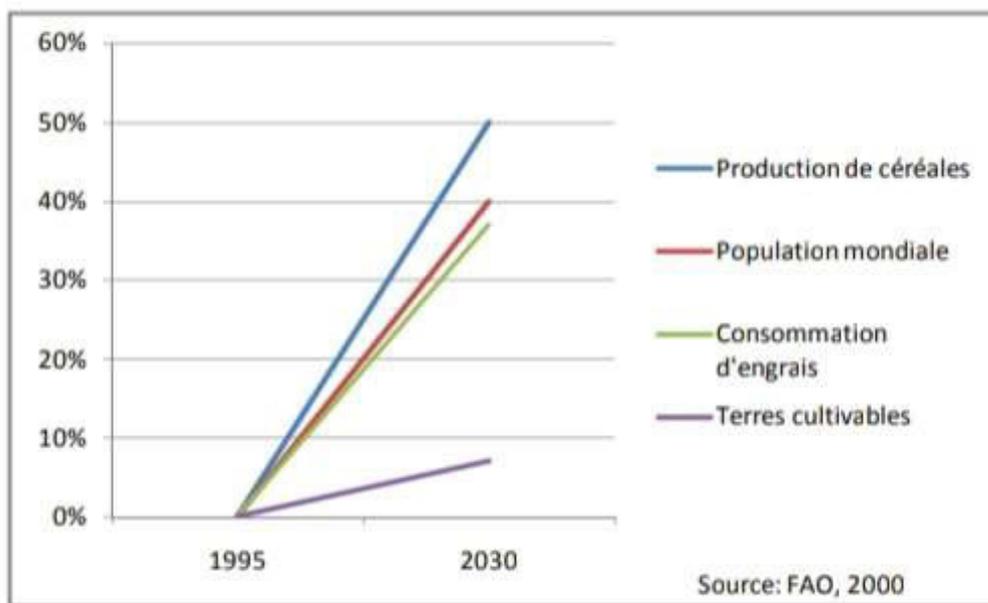


Figure 9 : Une estimation de l'évolution de quatre indices qui ont un impact significatif sur la sécurité alimentaire et l'environnement. Source : (MAAP, 2010).

L'augmentation de la productivité agricole n'est possible qu'avec l'utilisation de technologies améliorant le rendement, comme les engrais inorganiques. Or, la faible utilisation d'engrais demeure l'un des facteurs qui entravent la croissance de la productivité agricole en Afrique. Par rapport à d'autres régions en développement, la consommation d'engrais en Afrique sur la

période 2000-2015 n'a augmenté que de façon marginale (voir la figure ci-dessous). (Anonyme, 2019).

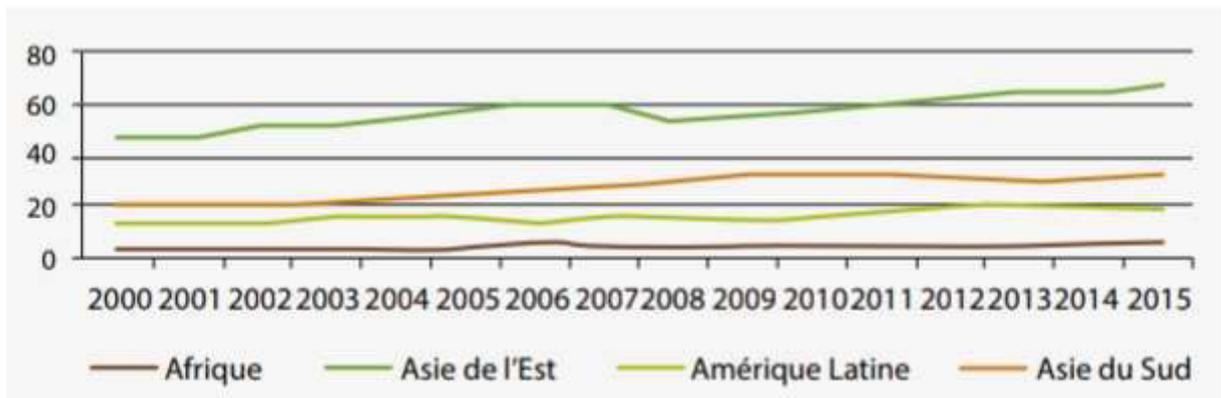


Figure 10 :Évolution comparée de la consommation régionale d’engrais en tonnes métriques de nutriments dans les régions en développement. Source : (Anonyme, 2019).

La consommation de fertilisants, en 2019 en Afrique, aura augmenté de 70 % en 10 ans, selon l’IFA (International Fertilizer Association). L’Afrique est à la fois producteur, consommateur, exportateur et importateur d’engrais. Son agriculture consomme encore peu d’engrais mais ses besoins croissent chaque année (Frédéric, 2017)



Figure 11 : Utilisation des fertilisants en Afrique. Source : (Will Agri2017)

La production d'engrais en Afrique est concentrée dans six pays : Afrique du Sud, Égypte, Tunisie, Algérie, Nigeria et Maroc. Ces pays ont une industrie des engrais développée et un niveau élevé d'utilisation. On s'attend à un développement significatif des capacités de production d'engrais à base d'azote et de phosphore en Afrique (Anonyme, 2019).

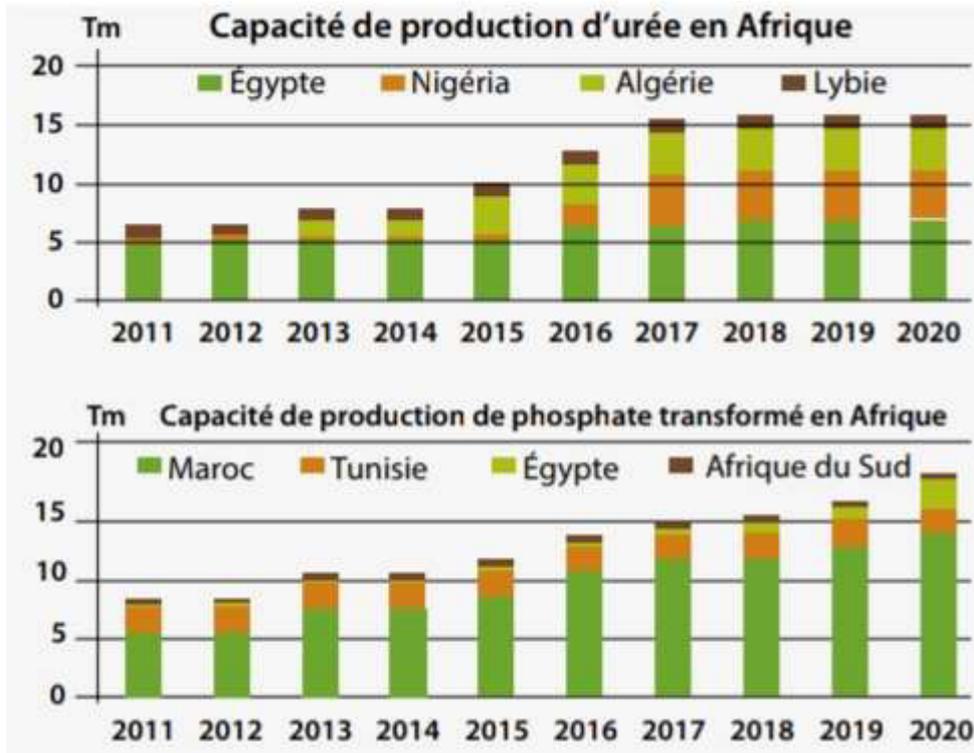


Figure 12 :Évolution de la capacité de production dans certains grands pays producteurs entre 2011 et 2020. Source : (Anonyme, 2019).

9. L'utilisation des engrais et du fumier en Algérie :L'Algérie utilise peu d'engrais comparativement à d'autres pays africains tel le Maroc par exemple. L'utilisation reste stabilisée autour de 45 unités d'éléments nutritifs/ha (FAO 2005).

Au long des années, ce manque n'est expliqué que par la pluviosité, certes un facteur prépondérant, mais mal mise à profit par la faiblesse d'utilisation des engrais, paramètre essentiel de productivité et de qualité (FAO 2005).

Le fumier est très recherché en Algérie compte tenu du besoin important mais aussi des techniques d'élevage, qui ne permettent pas souvent une production importante de fumier(FAO 2005).

L'ASMIDAL arrive largement à satisfaire les besoins de l'agriculture algérienne et à occuper une place importante en matière d'exportation(FAO 2005).



Chapitre III : Effets des fertilisants



1. Les conséquences de l'utilisation des fertilisants organiques et chimiques

Les conséquences de l'utilisation des engrais, qui peuvent comporter des risques et qui sont soumises à la critique, sont les suivants :

- ❖ Effets sur la qualité des sols, leur fertilité, leur structure, l'humus et l'activité biologique ;
- ❖ Effets sur l'érosion du sol ;
- ❖ Effets liés au cycle du phosphore et autres éléments nutritifs : potassium, soufre, magnésium, calcium, oligo-éléments ;
- ❖ Effets sur les parasites des cultures ;
- ❖ Utilisation d'énergie non renouvelable et épuisement des ressources minérales ;
- ❖ Effets indirects sur l'environnement, par la mécanisation pour l'agriculture intensive, et les épandages. (Ayoub H. et al. 2012)

L'utilisation des engrais pour augmenter les rendements des cultures récemment été l'objet de préoccupations environnementales (Soualmia, 2014). On peut citer :

- ✓ Pollution des sols à cause de la présence des métaux lourds : cadmium, arsenic, fluor, ou d'éléments radioactifs, significativement présents dans les phosphates, et dans les lisiers de porc par les métaux lourds ;
- ✓ Pollution des eaux souterraines lié à la toxicité des nitrates, ce qui affecte la potabilité de l'eau et augmente les dangers de santé ;
- ✓ Pollution des rivières et des eaux côtières, ce qui peut entraîner l'eutrophisation et affecter la vie des poissons et autres vies aquatique ;
- ✓ Pollution atmosphérique à travers la dénitrification et la volatilisation de l'ammoniac et contribuent ainsi au réchauffement global de la terre

Des travaux antérieurs ont montré que l'utilisation à long terme ou à court terme d'engrais phosphaté (Mono-ammonium-phosphate) diminue le pH de la solution du sol. Par contre, l'apport d'engrais minéraux a contribué dans l'enrichissement de la solution du sol en sels (Kadir et Mahma, 2018).

2. Pollution des sols par les fertilisants

L'utilisation intensive des fertilisants de synthèses dans les pratiques agricoles moderne dont le but d'augmenter les rendements, la qualité de culture et de réduire les pertes de récoltes Mais de grandes quantités de ces fertilisants se répandent dans l'environnement et constituent l'un des principaux facteurs de pollution agricole (Ayoub H. et al. 2012).

De ce fait ; différentes formules d'engrais sont fabriquées car différentes cultures exigent des quantités différentes de chaque élément nutritif (NPK : l'azote, phosphore et potassium), et cela l'efficacité de ces derniers varie par rapport aux types de sols, de cultures et de conditions d'application. Le choix de l'engrais à utiliser dépend de plusieurs facteurs et la prise de décision doit tenir compte des conditions spécifiques dans lesquelles on se trouve. Une analyse de sol faite avant l'installation de la culture permet de connaître les quantités d'éléments nutritifs à apporter pour réaliser le rendement espéré (Ayoub H. et al. 2012,).



Figure 13 : Pollution Des Sols Par Les Fertilisants.

Source : (FAO)

2.1. Comment les engrais peuvent polluer le sol ?

Quand un engrais est apporté au sol, il subit des transformations chimiques et biologiques qui finissent par libérer dans la solution du sol (une certaine humidité du sol est nécessaire), selon sa

composition, l'azote sous forme de NO_3^- et /ou NH_4^+ , le phosphore sous forme de H_2PO_4 ou HPO_4^{2-} et le potassium sous forme de K^+ (Ayoub H. et al. 2012).

Ces éléments nutritifs deviennent des polluants lorsqu'ils sont appliqués en excès sur les sols agricoles sous forme d'engrais ou dans les zones de production animale intensive

Les engrais chimiques qui sont utilisés (dans l'agriculture) non sont pas tous absorbés par les racines des plantes, une partie soit s'accumule dans les sols soit s'écoule dans les rivières ou s'infiltrant (migrent) dans les nappes souterraines, une autre se disperse dans l'air. Un excédent d'azote avec un excédent de phosphore provoque une eutrophisation, une asphyxie des milieux aquatiques (Ayoub H. et al. 2012).

Par contre les engrais organiques d'origines animales et végétales ont l'avantage de renforcer la vie et la structure des sols et d'atténuer notamment les risques d'érosion. Alors l'effet des engrais organiques sur l'environnement reste meilleur que celui des engrais chimiques (Ayoub H. et al. 2012).

3. Fertilisants chimiques

3.1. L'effet d'azote en excès : L'azote est un élément très important pour le développement du blé, estiment qu'il faut 3Kg d'azote pour produire 1 quintal de blé dur. Il faut que la plante ait dès le début de la montaison tout l'azote nécessaire à son développement. Les besoins en azote de la culture lors du gonflement et à la floraison sont en effet extrêmement importants ; c'est à ce moment que la matière végétale augmente le plus vite et que se détermine le nombre d'épis. A la récolte, plus de 75% de l'azote total de la plante se trouve dans les grains (Mihoub, 2008).

Un apport excessif d'azote peut conduire à l'acidification des sols, soit par de dépôts. Ou bien que par l'ajout de chaux dans les agro-écosystèmes. L'effet tend à appauvrir les éléments essentiels du sol dans les sols naturels, en mobilisant les métaux toxiques, et entraîne des risques supplémentaires aussi pour les écosystèmes continentaux et aquatiques (Ian Angus 2019)

L'excès en azote peut provoquer (Diaffi et Saoudi, 2015):

- Un développement végétatif intense ;
- Un retard de l'arrêt de croissance et de la maturité (risque d'échaudage) ;

- Le rendement peut être légèrement réduit, c'est là le résultat d'un excès de sel dans le sol plutôt que forme de toxicité due à l'azote ;
- L'excès d'azotés en abaissant abusivement le rapport C/N entraîne les troubles signalés plus haut ;

3.2. L'effet de phosphore en excès : Des études ont prouvé l'efficacité de l'apport phospho-potassique sur l'accroissement des rendements de grain et de biomasse et de la qualité des grains du blé dur conduit en intensif ainsi qu'une meilleure résistance de cette culture au stress thermique. En effet, une culture de blé dur conduite dans des conditions non limitantes en eau et en azote a réagi à un apport potassique au sol (Aissa et Mhiri, 2002).

Dans le cas de sols pauvres en phosphore, un apport avant semis est mieux valorisé qu'un apport à 2 talles. En effet, c'est au stade jeune que les plantes sont les plus sensibles à une carence en phosphore. (Christophe Le Gall, 2015).

Les excès de phosphore sont en général sans inconvénient pour la récolte (Mihoub, 2008).

3.3. L'effet de potassium en excès : En absence de fertilisation potassique, le potassium devient au cours des stades de montaison et d'épiaison un facteur limitant du développement de la plante.(Beleid, 2017).

L'effet de l'excès en potassium n'existe pas vraiment, l'excès de potassium conduit à des antagonismes cationiques, puisqu'un excès de potassium bloque l'absorption des autres oligo-éléments comme le calcium, le magnésium et le zinc, mais aussi le fer (prof_gilberto, 2014).

4. Effet de la fertilisation sur l'environnement

4.1. Effet de la fertilisation et les engrais chimiques sur l'environnement

4.1.1. Effets des engrais chimiques sur sol : les effets des fertilisants chimiques sur le sol ne sont pas immédiatement évidents. Parce que les sols ont un fort pouvoir tampon grâce à leurs composants. Au fil du temps, il indique que, émergeant de la pollution, la détérioration de la fertilité du sol, les réactions de dégradation du sol se produisant dans le sol entraînent une détérioration de l'équilibre de l'élément actuel.

La structure des sols dans la productivité agricole est très importante et elle est considérée comme un indicateur. Inconsciemment, la fertilisation du sol, tout comme dans la détérioration de la structure, est provoquée par les émissions industrielles (Marie-Michelle Gamache 2014).

4.1.2. Les effets sur l'Homme : L'homme peut s'affecter par les fertilisants soit d'une manière directe ou indirecte :

**** Directe :**

- Les agriculteurs sont les plus touchés par ses fertilisants chimiques ;
- Les substances chimiques utilisées dans l'agriculture pourraient être la cause de nombreuses maladies (maladie de parkinson, cancer, leucémie, etc...)

**** Indirecte :**

- Lors de l'infiltration des sols, notamment les nitrates rendent l'eau des nappes phréatiques impropre à la consommation ;
- L'homme pourrait être en danger ici d'une intoxication par consommation et par accumulation d'élément dangereux ;
- De plus, la consommation d'animaux intoxiqués par ces mêmes éléments est un danger supplémentaire pour l'Homme.
- L'emploi intensif d'engrais azotés peut causer des catastrophes écologiques (telles que la prolifération des algues vertes), pouvant être mortelles pour l'Homme (INRS 2017).

4.1.3. Les conséquences sur l'environnement : Les fertilisants les plus utilisés par les agriculteurs sont les fertilisants chimiques (minéraux). Leur teneur en azote, nitrate et potasse étant très élevé, ils peuvent donc nourrir les plantes jusqu'à leur capacité d'absorption maximum, mais parfois les tuer en cas de concentration trop élevée.

Cependant, une fois que la plante a absorbé les nutriments nécessaires à sa croissance (environ 89% des engrais déversés), où vont les 11% restants ?

-Dépendance

Les éléments non-absorbés sont néfastes à tout l'écosystème entourant la plante, amoindissant la quantité de vers et de micro-organismes dans le sol, essentiels à la croissance de la plante. Cette destruction entraîne alors une dépendance aux engrais.

-Stérilisation des sols

Couplé à un mauvais drainage, l'emploi intensif d'engrais risque la salinisation des zones trop arrosées, provoquant ainsi la stérilisation des sols et leur désertification.

-La couche d'ozone

La couche d'ozone est aussi affectée par ce problème, car les phénomènes de dénitrification et de volatilisation de l'ammoniac contenu dans les engrais azotés génèrent des gaz à effet de serre environ 150 fois plus actifs que le CO₂.

Viennent ensuite les engrais de synthèse qui seraient responsables de l'émission annuelle de 2,2 Mt de N₂O : environ 2,5 % de l'azote (N) des fertilisants épandus seraient irrémédiablement convertis en N₂O, causant une attaque importante de la couche d'ozone.

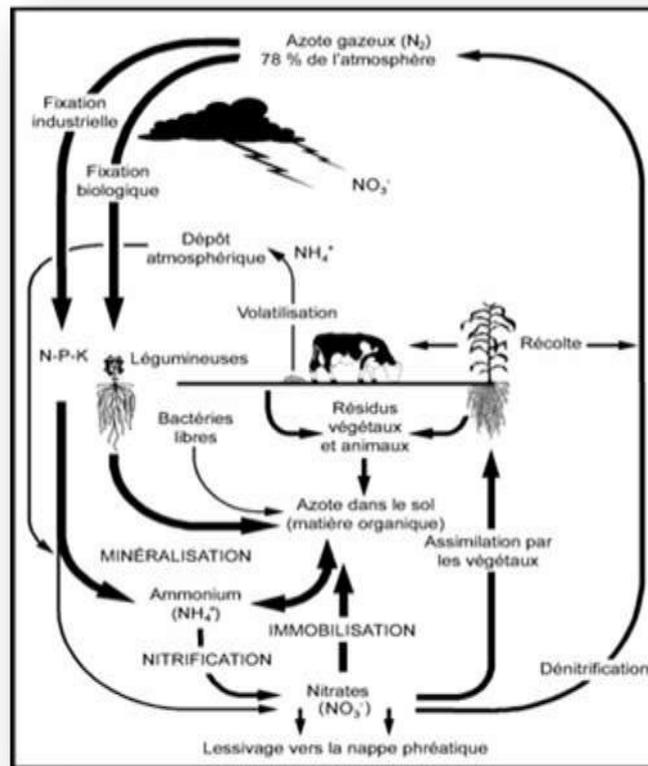


Figure 14 : Attente de couche d'ozone par le phénomène de dénitrification. Source : (Benhassine et Dekdouk, 2019).

-Les nappes phréatiques

Les nappes phréatiques, qui sont situées seulement à une centaine de mètres de profondeur, sont les principales réserves d'eau que nous consommons. L'eau de pluie emporte avec elle des particules de terre, de sels minéraux, d'engrais ou de produits chimiques répandus sur le sol.

Et lorsque les terres agricoles sont saturées en engrais, l'eau emporte donc les NKP (azote, nitrate et potasse), qui polluent donc ces réserves en eau, la rendant impropre à la consommation. Les fleuves et rivières, étant alimentés par les nappes phréatiques, peuvent aussi être pollués. Cette pollution touche au final plusieurs écosystèmes ; les mers, les océans, les fleuves, les forêts, etc... (Benhassine, Dekdouk, 2019).

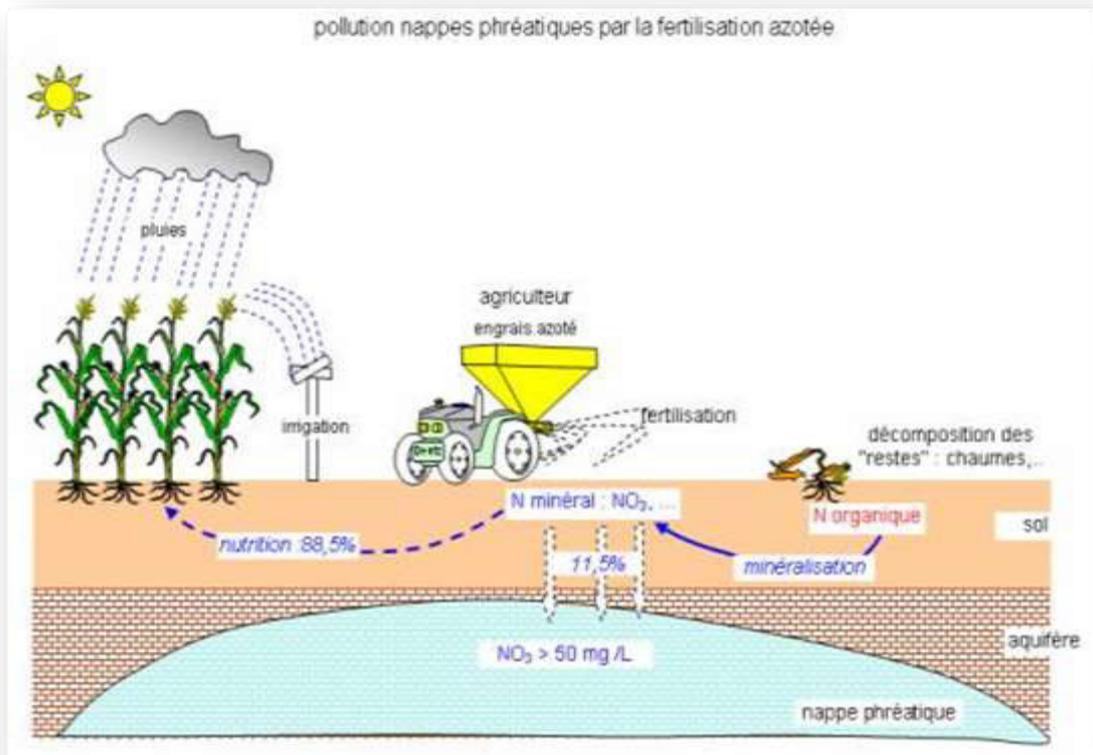


Figure 15 : Effet de fertilisation azoté sur les nappes phréatiques. Source : (Benhassine et Dekdouk, 2019).

4.2. Effet de la fertilisation et les amendements organiques sur l'environnement

La fertilisation organique est permise d'obtenir d'excellents résultats sans nuire à l'environnement. Il s'agit des amendements organiques qui apportent de multiples avantages et un impact positif sur l'environnement :

- Modifient la structure du sol en améliorant le drainage sur un sol compact ;
- Il est possible de faire diminuer le pH du sol calcaire, en effet le sol calcaire va être acidifié par la décomposition du fumier, mais à ne pas avoir un sol trop acide en faisant un apport en fumier trop important ;
- Ils vont développer la vie microbienne du sol cela vous limitera des pertes de chaleurs et conservera votre sol à une température optimale ;
- Les amendements organiques sont favorisant la structure et la fertilité du sol .
- Des résultats montrent que l'effet des amendements organiques sur les propriétés physiques du sol est perceptible uniquement lorsque les épandages se font sur une période assez longue (SEH Emmanuel, 2009);
- L'impact des amendements organiques sur la microflore tellurique a été confirmé par (SEH Emmanuel, 2009) qui montrent que la matière organique en se décomposant fournit un substrat nutritif pour la multiplication d'organismes du sol dont l'activité est en retour bénéfique au sol et aux plantes.

Un sol dont le taux de matière organique est trop bas peut avoir des conséquences agro-environnementales multiples et sévères:

- Risques accrus d'érosion ;
- Plus grande sensibilité de la structure au tassement ;
- Diminution de la fertilité du sol et des rendements, et bien sûr l'appauvrissement de la biodiversité des sols ;
- Par conséquent, accroissement de la sensibilité aux maladies et ravageurs (Jim Ritter 2018).

L'apport de la matière organique à des doses croissantes fait diminuer de façon hautement significative le pH. En ce qui concerne la conductivité électrique, la matière organique a augmenté la salinité du sol grâce à la minéralisation de ces composés organiques.

Les résultats obtenus de l'étude de (Koull et Halilat, 2016), font apparaître deux phases distinctes de l'influence de la matière organique sur les propriétés du sol :

- Une première période, variant de quatre à cinq semaines, caractérisée par un changement rapide des propriétés du sol ;
- Une deuxième phase caractérisée par un recul dans les caractéristiques du sol.

4.3. Effet de fertilisation sur la sécurité alimentaire

La fertilisation contribue à la quantité qu'à la qualité des productions végétales sur lesquelles repose le système alimentaire mondial

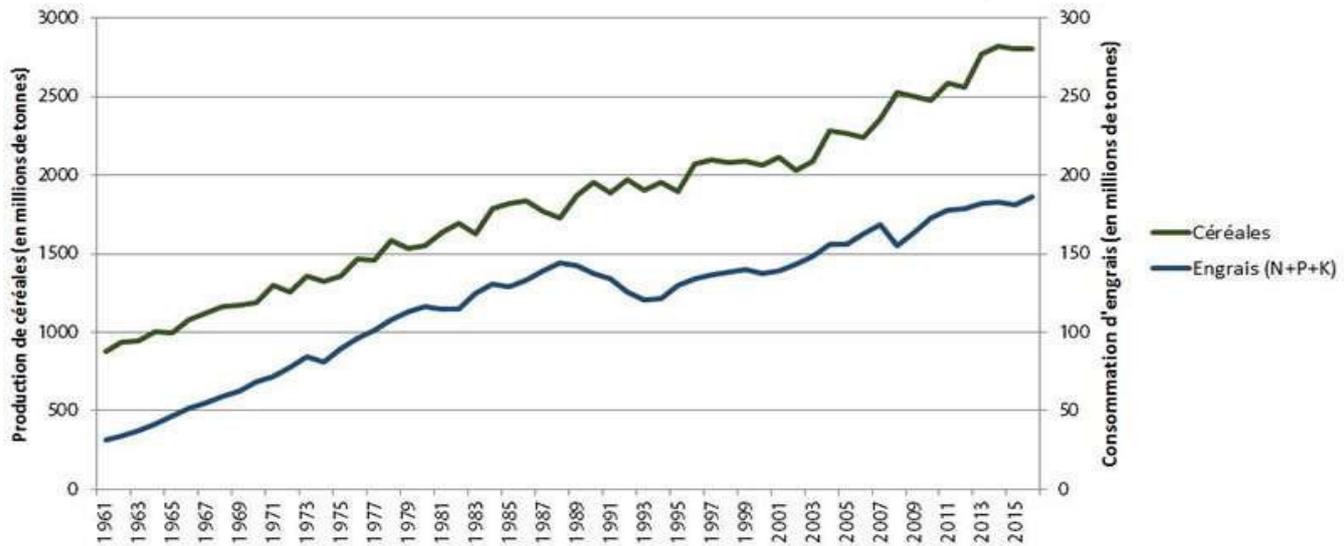
La sécurité alimentaire est définie par une alimentation suffisante en quantité, sûre et suffisamment nutritive permettant une vie saine et active. La fertilisation s'inscrit dans les deux enjeux suivants :

Dans les cinquante dernières années, la population a plus que doublé et la production céréalière a triplé à 2.5 milliards de tonnes. Sans l'utilisation d'engrais azotés la récolte mondiale n'atteindrait que 50% de ce niveau.

La sélection des variétés et les progrès dans l'usage des engrais et des produits de protection des plantes ont constitué les facteurs de succès de la révolution verte mais celle-ci rencontre des limites partout dans le monde : usage intensif de la ressource en eau, dépendance des énergies fossiles, pollution de l'eau et diminution de la biodiversité résultant de la spécialisation des exploitations.

L'agriculture biologique se présente comme une alternative mais elle s'accompagne d'une baisse de productivité pour des cultures importantes comme blés, orges, colza...et plus généralement de coûts de production plus élevés

Le raisonnement de la fertilisation a pour objectif de tirer parti du progrès continu apporté par l'amélioration des variétés en mettant l'accent sur l'efficacité de tous les apports d'éléments nutritifs (engrais, produits organiques résiduels), (FAO, Bruulsema, T.W. et al, 2012).



Figures 16 : Évolution comparée de la production mondiale de céréales et de la consommation d'engrais en Kt d'éléments nutritifs. Source : (FAO et IFA, 2016).

5. La qualité de la graine du blé dur

5.1. Notion de la qualité technologique :

La notion de la qualité des blés dur est très complexe, sa définition dépend à la fois des variétés, des conditions de culture, de l'interaction entre génotype milieu et de la valeur nutritionnelle. Ainsi elle est conditionnée par les habitudes alimentaires, les spécificités des blés et les technologies de transformation utilisées (Bellagoun et Medini, 2015)

La qualité technologique du blé dur englobe toute une série de caractéristiques qui vont du rendement en semoule jusqu'à l'aptitude à la transformation, et s'élabore toute au long du cycle de développement pour répondre d'une part aux attentes des industriels, semouliers et pastières et d'autre part aux critères nutritionnels, organoleptiques et hygiéniques (Bellagoun et Medini, 2015)

5.2. Appréciation de la qualité des grains de blé dur :

L'objectif d'un système d'évaluation de la qualité est d'aider le sélectionneur à identifier les génotypes de bonne qualité, et à les utiliser comme une source parentale pour les futures générations. Il existe plusieurs critères pour l'appréciation de la qualité des grains du blé dur :

5.2.1. La dureté

La dureté du grain de blé a une influence majeure sur la qualité. Plus le blé est dur, plus la teneur en amidon est réduite et l'absorption de la farine en eau sera faible. La dureté du grain a des effets sur la qualité de la farine vu qu'elle affecte la mouture. C'est le seul facteur déterminant la future utilisation du blé (Malki, 2016).

5.2.2. Poids de Mille Grains (PMG)

La masse de 1000 grains est une composante de rendement agronomique des céréales, et un des indicateurs du rendement technologique dans les industries de première transformation. La présence de grain échaudé a une incidence sur le rendement en mouture. Pour les agriculteurs, cette analyse permettra de calculer plus précisément les doses de semences nécessaires pour répondre à un objectif de densité de semis.

Le PMG, pour une même variété, est corrélé positivement au taux d'extraction de semoule. Dans les zones chaudes de culture du blé dur telle que l'Afrique du nord, les PMG sont moins importants. Ce déficit provient de la brièveté de la période de reproduction (Elhadefet Elokki, 2015).

5.2.3. Le Poids Spécifique (PS)

La masse volumique dite masse à l'hectolitre, appelé aussi poids spécifique (PS) ou poids à l'hectolitre (PHL) a pour objet la mesure de la masse d'un certain volume de grains, impuretés et masse de l'air présent dans les espaces inter-granulaires. Etant toujours prise en compte dans les transactions commerciales (Bellagoun et Medini, 2015).

5.2.4. Teneur en eau

L'eau est un des constituants de base du grain (environ 13%). L'intérêt de connaître précisément la teneur en eau d'une céréale ou de la farine est avant tout réglementaire. En effet, la réglementation impose une teneur en eau < à 15% afin de faciliter la conservation et d'éviter une altération.

Connaitre la teneur en eau du grain permet aux meuniers de savoir la quantité d'eau à rajouter avant la mouture pour une meilleure séparation des couches du grain (Elhadefet Elokki 2015).

5.2.5. La moucheture

La moucheture du blé dur se caractérise, sur les grains mûrs, par des plages de coloration brune ou noire en d'autres endroits que sur le germe. Elles sont pénalisantes car on les retrouve dans la semoule et dans les pâtes alimentaires. La dépréciation de la valeur marchande des lots de blés durs peut être très importante avec des réactions de prix, voire des refus de lots présentant de taux de moucheture supérieurs à 5 %. Ce pourcentage correspond au poids des grains mouchetés par rapport au poids total de l'échantillon (Bellagoun et Medini, 2015).

5.2.6. Teneur en protéine

La composition des protéines est le critère le plus utilisé dans l'évaluation de la qualité du blé. Les protéines existent dans le grain de blé sous forme de granules. Quand la graine devient mûre, les granules d'amidon s'élargissent à l'intérieur des cellules des grains développés et compriment les protéines sous des formes particulières (Malki 2016).

Elle est influencée par les facteurs génétiques et agro-climatiques. Les caractéristiques technologiques des semoules sont étroitement liées et dépendent de la teneur et de la qualité des protéines des variétés. En moyenne, elle est comprise entre 7 et 18% pour les blés durs (Bellagoun et Medini, 2015).

5.2.7. Test de germination

La germination est l'ensemble des phénomènes par lesquels, la plantule, en vie ralentie dans les graines, reprend une vie active et se développe. Au cours de la germination, les protéines de réserves stockées dans l'albumen sont mobilisées pour assurer l'alimentation de la plantule, cette mobilisation pourrait être facilitée par la thiorédoxine qui est capable de mobiliser l'azote des protéines du gluten en réduisant les liaisons disulfures des gliadines et des gluténines (Bellagoun et Medini, 2015).

6. L'effet de la fertilisation azotée sur la qualité de blé et le rendement

Selon (Judith N. et al, 2012), pour des raisons économique et environnementale, l'utilisation efficace d'engrais azotés est cruciale dans la production du blé. L'apport excessif d'engrais azotés est associé aux pertes de N dans l'environnement mais aussi aux pertes de rendement et de qualité, tandis que les quantités insuffisantes d'azote (N) réduisent les rendements et la concentration en protéine dans les grains (CPG), entraînant donc une baisse de rentabilité.

Le rendement et la qualité du blé sont influencés par de nombreux facteurs tels que la rotation des cultures, le travail du sol, la source d'engrais azotés, le temps d'application des engrais ainsi que la texture du sol.

Des essais permettant de déterminer la réponse du blé à la fertilisation azotée selon différentes textures de surface des sols s'avère donc nécessaires pour une meilleure gestion des engrais azotés.

7. Le blé est-il mauvais pour la santé ?

7.1. L'allergie au blé :

L'allergie en générale alimentaire se caractérise par une hypersensibilité spécifique envers des substances étrangères à l'organisme. Une consommation répétée d'un aliment ou de ses constituants provoque une réaction antigènes-anticorps.

La sensibilité du blé lui-même, impliquant des inhibiteurs de l'albumine de l'alpha-amylase, et la sensibilité au gluten de blé implique la gliadine, (Le blé contient au moins 27 composants allergéniques dont la gliadine et la gluténine qui compose le gluten). 4 à 8 % de la population mondiale déclare suivre un régime sans gluten et 26 % déclare essayer d'éviter le gluten sans avis médical.

Les symptômes d'allergie à la fois pour le blé et le gluten, sont les suivants :

- ✓ Le type de peau totale (dermatite atopique, urticaire localisée ou généralisée, érythème et l'eczéma), surtout chez les enfants.
- ✓ Respiratoire (asthme, des démangeaisons, le gonflement par la bouche).
- ✓ Parfois, être un symptôme de l'appareil digestif (vomissements, diarrhée et douleurs abdominales)(Zettal, 2017).



*Chapitre IV : Exemple d'une
entreprise de production du bio-
charbon*



1. Définition du Bio-charbon

Le bio-charbon aussi appelé biochar, est un charbon d'origine végétale obtenu par pyrolyse en absence d'oxygène de biomasse végétale d'origine diverse, généralement des déchets de scierie ou des résidus agricoles(Sadoun et Aouinet, 2018).

Il est distingué du charbon de bois (obtenu par carbonisation) à usage énergétique par son orientation à être utilisé comme amendement du sol (Michel Mustin, 2013).

Contrairement aux autres amendements, le biochar :

- Possède un effet durable dans le temps (carbone stable).
- Ne s'applique qu'une seule fois.

L'origine du bio-charbon proviendrait des pratiques agricoles des habitants d'Amazonie (Laurin-Lanctôt, 2015).



Figure 17 : Bio-charbon Source : (AlterAfrica).

2. Utilisation du Bio-charbon comme amendement

La communauté scientifique des dernières années a observé que l'usage du bio- charbon comme amendement au sol représentait un grand potentiel pour l'augmentation du rendement

des cultures agricoles, car il présente plusieurs effets bénéfiques sur la qualité et les rendements des cultures agricoles ainsi que sur les propriétés des sols.

Le bio-charbon se caractérise par sa composition importante en carbone aromatique. Il se caractérise aussi par un bon transport de gaz. C'est grâce à son contenu en micro et macro pores, qui retiennent l'air et l'eau, qu'il représente un bon habitat pour les microorganismes en leur garantissant les différents besoins métaboliques (Sadoun et Aouinet, 2018).

Cet amendement possède des propriétés physico-chimiques très variables telles que :

- La porosité ;
- La surface spécifique ;
- La composition minérale ;
- La capacité d'échange cationique.

3. Intérêt du Bio-charbon

Les bénéfices environnementaux du bio-charbon séquestrent du carbone dans le sol ; la stabilité du bio-charbon dans le sol est une question fondamentale puisque seule une longue période de résidence peut assurer une séquestration durable du carbone. Ses principaux avantages pour les sols sont :

- Augmentation significative et permanente de la capacité d'échange de cations (CEC) du sol - c'est-à-dire de la capacité du sol à retenir les nutriments ;
- En raison de sa grande porosité, il crée de nombreux habitats pour les microbes bénéfiques ;
- Rétention d'eau accrue.

La conversion de la biomasse en bio-charbon change fondamentalement les dynamiques de transformation en ce qui concerne la séquestration du carbone. En carbonisant la biomasse, 50% de son carbone est immédiatement libéré, laissant stable le reste du carbone dans le bio-charbon (Sadoun et Aouinet, 2018).



Figure 18 : Ajout de biochar dans le sable au sud de l'Algérie. Source : (Pro-Nature, 2016).

4. Principaux avantages du bio-charbon

La pyrolyse de la biomasse en bio-charbon et en énergie crée quatre avantages principaux (Sadoun et Aouinet, 2018):

- Amélioration de la productivité du sol pour atteindre des rendements plus élevés ;
- Création d'une bioénergie en substitution des énergies fossiles ;
- Séquestration de carbone dans le sol qui réduira le dioxyde de carbone atmosphérique ;
- Gestion des déchets.

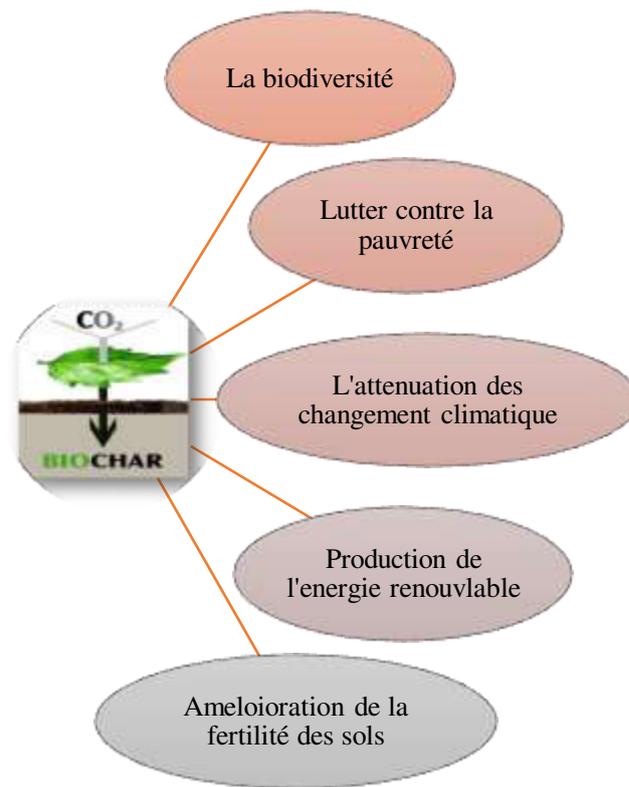


Figure 19 : Principaux Avantages Environnementaux De Biochar. Source : (Pro-Natura modifié).

5. Impact du bio-charbon sur l'environnement

5.1. Bio-charbon moyen pour Lutter contre les changements climatiques

Le bio-charbon présente aussi des avantages environnementaux différents :

- Evite la pression sur les forêts par la substitution d'autres biomasses renouvelables à la place du bois. Cette déforestation évitée représente une séquestration de carbone additionnelle par rapport au scénario de référence ;
- Evite la combustion en plein air de résidus agricoles traditionnellement pratiquée, ce qui permet de réduire les émissions de CO₂, CH₄ et N₂O ;
- Elimine les émissions de CH₄ dues à la production traditionnelle de charbon de bois. Cette technologie améliore considérablement l'efficacité de la carbonisation (30-45%) par rapport aux méthodes traditionnelles (10-15%). (Pro-Natura, 2010) ;

- Diminue les émissions du sol en trois gaz à effet de serre préoccupants pour le climat. Une étude récente estime qu'au moins 12% des émissions de gaz à effet de serre émis par l'activité humaine pourraient être compensés par le développement du bio-charbon (Sadoun et Aouinet, 2018).

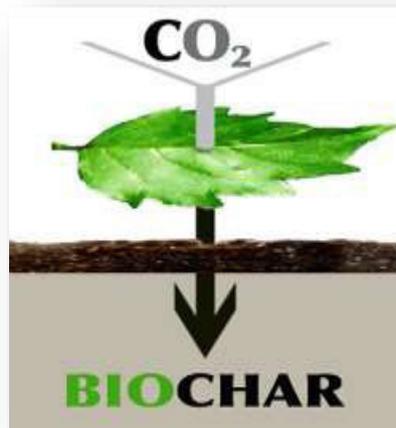


Figure 20:Séquestration Du Carbone Dans Le Sol Par Le Biochar. Source : (Pro-Natura ;2016)

5.2. Effet du Bio-Charbon sur la Productivité du Sol :

Selon Luc Gérard OnanaOnana, en général avec le bio-char, plus le sol est pauvre plus le bio-char aura un effet sur le sol. La recherche démontre les effets mesurables du bio-charbon sur la productivité du sol :

- Améliore le pH du sol à faible coût ;
- Augmente la capacité de rétention des éléments minéraux et la disponibilité du phosphore dans le sol ;
- Stimule la vie microbienne du sol ;
- Améliore la porosité et participe à l'épuration du sol et de l'eau (site web).

Les effets positifs observés sur la croissance des plantes à la suite de l'application de bio-charbon pourraient ne pas être liés à un apport nutritif, mais à l'amélioration d'autres propriétés du sol (Sadoun et Aouinet, 2018).

5.3. L'effet du Bio-Charbon sur la Croissance des Plantes et les Rendements des Cultures

L'amendement en bio-charbon peut avoir un effet bénéfique sur la croissance des plantes (Sadoun et Aouinet, 2018).

A partir de deux expériences qui ont été conduites dans une serre de l'Université Laval au Québec, Canada. Les résultats obtenus ont confirmé que l'ajout de bio-charbon a altéré différemment les propriétés physiques et chimiques du substrat, mais sans affecter les rendements des cultures (Vicky, 2018 ;). Les travaux de recherche ont démontré que l'augmentation des rendements n'était pas occasionnée par une amélioration de la nutrition de la plante, mais plutôt par une meilleure activité microbienne dans le substrat amendé avec le bio-charbon d'érable produit à 700 °C. (Vicky, 2018 ;).

6. Technique et méthode de production du Bio-charbon :

La production du bio-charbon est connue depuis longtemps. Actuellement, dans le cadre de la protection de l'environnement et la valorisation des déchets, elle est très encouragée dans le but de diminuer les déchets, réduire l'utilisation des engrais chimiques et la création des petites entreprises par les jeunes pour le développement économique.

Comme exemples de techniques utilisées dans des entreprises semi industriel nous mettons en évidence deux méthodes qui vont nous permettre de penser à l'installation d'une petite entreprise de fabrication des produits biochar.

1^{ère} méthode : Carbonisation par la Machine Carbo Char-1 :

Le bio-charbon est obtenu en soumettant de la biomasse à un procédé de décomposition thermique, la pyrolyse. Une très grande variété de types de biomasse peut être utilisée pour produire du bio-charbon, incluant les résidus forestiers, agricoles, horticoles et de jardinage, les fumiers, et certains résidus industriels de biomasse. La pyrolyse consiste à chauffer la biomasse dans un environnement qui exclut totalement ou partiellement l'oxygène. Le manque d'oxygène prévient la combustion complète du matériel (Major, 2011).

La pyrolyse qui produit le biochar utilise une biomasse riche en cellulose comme matière première telle des copeaux de bois, des résidus de maïs, de riz et des résidus de l'agriculture ou de la foresterie. La biomasse riche en carbone est brûlée dans un four industriel sous haute température et dans un environnement pauvre en oxygène (Laurin- Lanctôt, 2015).

Cette pyrolyse génère 50% du carbone sous forme de biochar qui est utilisé principalement comme amendement au sol et un autre 50% du carbone sous forme de bioénergie telle des gaz synthétiques ou des huiles pouvant être utilisées pour produire de la chaleur et/ou de l'énergie (Laurin- Lanctôt, 2015).

L'industrie de la pyrolyse et de la production de biochar connaît un certain essor depuis une dizaine d'années, au Québec (Sébastien, 2017).

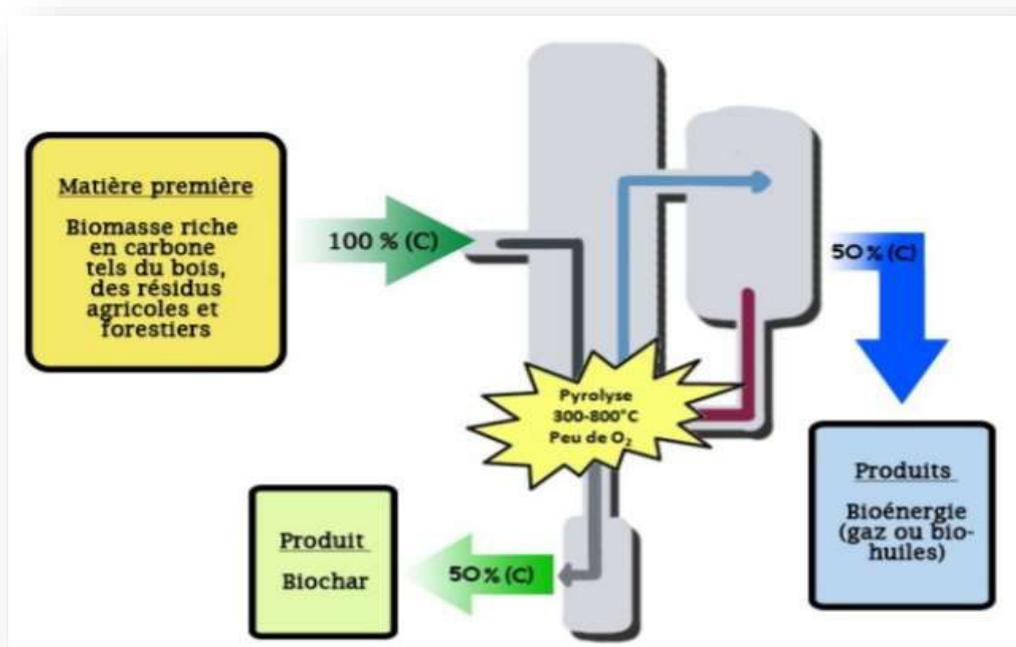


Figure 21 : Technologie de Production de Bio-Charbon (Laurin- Lanctôt, 2015).

Technique de production de bio-char de très haute qualité développée par Pro-Natura(Pro-Nature).

La technologie de la carbonisation en continu développée par Pro-Natura consiste à récupérer des résidus agricoles inutilisés ou d'autres types de biomasse renouvelable non valorisable d'une autre façon, pour les carboniser par pyrolyse.

Le bois peut également être carbonisé sous toutes ses formes, y compris la sciure avec un rendement environ 3 fois supérieur aux procédés de carbonisation classiques pour fabriquer le bio-char.

Cette technologie innovante est basée sur l'utilisation d'une cornue chauffée à 550°C au travers de laquelle s'écoule la biomasse en l'absence d'oxygène. Des machines de nouvelle génération, appelée Carbo-Char, produisent du bio-char de très haute qualité de manière écologique. Le processus a les caractéristiques suivantes :

- Le fonctionnement est continu, 7 jours sur 7, 24 heures sur 24 ;
- Après allumage, l'unité est chauffée en brûlant les gaz émis pendant la carbonisation ;
- Toutes sortes de biomasses peuvent être utilisées. Au besoin, un séchoir et un broyeur ; peuvent être rajoutés afin de préparer la biomasse pour la pyrolyse
- La température et le temps de séjour de la biomasse dans la machine sont réglables pour produire le bio-char optimisé en fonction de chaque type de résidus.

Ce processus est donc pratiquement autonome en termes d'énergie et son rendement (poids de charbon vert produit par rapport au poids de la biomasse à 15% d'humidité) atteint 30% à 45% suivant le type de biomasse. En plus des avantages du procédé de carbonisation en cornue, le coût de fonctionnement du réacteur est réduit par la production en continu. Ce procédé permet aussi d'obtenir un rendement énergétique optimum, en ce qui concerne la carbonisation en cornue, grâce à l'excellente maîtrise de la combustion des gaz de pyrolyse assurant l'autonomie de fonctionnement du réacteur.

Il existe trois modèles de CarboChar avec des productions journalières s'étageant entre 1 et 5 tonnes et avec des rendements d'environ 40 %.

- CarboChar-1 produit une tonne de bio-char par jour et une machine transportable car il pèse seulement une tonne.
- CarboChar-3 permet de produire environ 5 tonnes de bio-char par jour.



Figure 22 : Machine Carbo-Char-1 Source : (Pro-Natura, 2019).

2^{ème} méthode : Carbonisation manuelle (Low-Tech Lab , Association Nebeday2016).

Le fonctionnement : il constitue l'étape la plus importante dans la fabrication de briquettes de bio-charbon, c'est la carbonisation. Ce processus se déroule au sein d'un carbonisateur, ici réalisé dans un fut métallique. De la biomasse très sèche est introduite dans le fut, elle est ensuite enflammée afin d'atteindre progressivement une température de 400 à 500°C.

Avec l'allumage et après allumage, la température monte progressivement jusqu'à 100°C le temps que l'humidité (environ 10%) contenue dans la biomasse s'évapore. La température monte ensuite jusqu'à 280°C. Cette phase est dite endothermique, elle a besoin d'énergie pour se dérouler. Cette énergie est apportée par une combustion complète d'une petite partie de la paille du carbonisateur. Plus la paille sera sèche, moins d'énergie sera nécessaire.

A partir de 280°C, commence la phase de pyrolyse. La paille se décompose en charbon, goudron et autres éléments. Cette réaction est dite exothermique, elle libère de l'énergie. Il faut donc limiter l'apport en oxygène en fermant le carbonisateur afin d'éviter la combustion totale de la paille. La chaleur dégagée par la pyrolyse fait monter la température à 400°C, jusqu'à ce que toute la paille soit réduite en charbon, goudron et autres composés.

L'expérience et les essais permettent de maîtriser ce procédé pour un rendement maximum.

Le Carbonisateur : Son dispositif fonctionne selon le principe suivant :

- Ouvrir une trappe sur une extrémité (1) d'un fût métallique de 200 L ;

- Percer de nombreux trous sur l'autre extrémité (2) ;
- Réaliser un couvercle amovible avec cette extrémité (2) ;
- Souder des pieds et poignées pour la manipulation du Carbonisateur, l'extrémité amovible (2) étant le bas du système lors de la carbonisation.



Figure 23 : Carbonisateur. Source:(Low-Tech Lab , Association Nebeday2016).

Récolte de la paille : La récolter la paille en brousse ou dans les champs après moisson, selon les disponibilités.

Remplissage du Carbonisateur : pour remplir le dispositif il faut prendre en considération les points suivants :

- Placer le carbonisateur avec l'extrémité amovible vers le haut ;
- Placer un cylindre au centre du fût, on peut utiliser un manche d'outil par exemple ;
- Remplir de paille en prenant soins de bien tasser ;
- Retirer le cylindre.

Repositionner le couvercle amovible en vérifiant bien son blocage.



Figures 24 : Remplissage du Carbonisateur. Source : (Low-Tech Lab , Association Nebeday2016).

Allumage : Pour cette étape, il faut prendre les mesures suivantes :

- Retourner le carbonisateur, l'extrémité avec la trappe ouverte doit être vers le haut ;
- A l'aide d'un râteau, dégager sur le sol une cuvette de terre d'un diamètre légèrement supérieur à celui du carbonisateur. Garder tout autour une couronne de terre ;
- Positionner le fût au centre de cette cuvette, l'air doit pouvoir circuler sous le carbonisateur ;
- Allumer la paille par la trappe et laisser ouvert ;



Figures 25 : Allumage. Source : (Low-Tech Lab , Association Nebeday 2016).

Carbonisation : Cette étape nécessite les activités suivantes :

- Laisser brûler la paille environ 30 minutes jusqu'à ce que la flamme devienne plus claire, avec peu de fumée visible. Puis fermer la trappe ;
- Colmater la trappe avec de la terre humide afin d'empêcher l'arrivée d'oxygène ;
- Rabattre la terre sur la base du fût afin d'empêcher l'entrée d'oxygène par le bas. (Laisser fermer pendant 15 minutes).



Figures 26 : Carbonisation.Source :(Low-Tech Lab , Association Nebeday2016).

Le premier mélange : Après le brulage, nous procédons aux opérations suivantes :

- Ouvrir le carbonisateur et le vider dans un récipient ;
- Pour 20kg de matière carbonisée (poussier), ajouter 20 L d'eau et 4 kilos d'argile ;
- Récolter le mélange en l'égouttant correctement ;
- Étendre sur une bâche pour faire sécher le mélange au soleil ;
- Stocker le poussier sec à l'abri de l'humidité.



Figures 27 : Premier mélange.Source:(Low-Tech Lab , Association Nebeday2016).

Le deuxième mélange : Le poussier ne peut être utilisé tel quel pour faire des briquettes, on lui applique un second mélange :

- Étendre une bâche au sol ;
- Préparer sur la bâche 50 kg de poussier sec issus du mélange précédent ;
- Pour 50 kg de poussier, peser et préparer 15 kg de coques d'arachide broyées ;
- Peser et préparer 1.5 kg d'argile pilée et tamisée ;
- Incorporer l'argile à la coque d'arachide en prenant soins d'homogénéiser le mélange ;
- Incorporer le mélange argile/arachide au poussier, en prenant soins d'homogénéiser le mélange ;
- Mettre le mélange dans un récipient et y ajouter 50 L d'eau tout en mélangeant ;
- Réaliser le test de bonne proportion du mélange: Faire une boule avec les mains puis la lâcher d'1 m de hauteur. La boule doit se tenir. Si elle se casse, il n'y a pas assez d'eau, si elle s'écrase de façon importante, il y a trop d'eau.



Figures 28 : Deuxième mélange.

Source : (Low-Tech Lab , Association Nebeday2016).

Le Pressage : Il existe de nombreux types de presses, de très accessibles d'autres plus complexes et coûteuses comme les presses à vis sans fin utilisées ici. Le principe est le suivant :

- Une fois la presse en action, insérer le mélange au fur et à mesure.
- Extruder les briquettes à la longueur souhaitée (ici 20 cm).
- Disposer les briquettes sur des claies de séchage.
- A l'aide de l'empreinte, couper les bords des briquettes afin de standardiser le format à la longueur voulue.

** Il faut noter qu'il faut au moins 2 personnes pour être efficace).

Séchage et Empaquetage : La dernière étape consiste à :

- Mettre les claies au soleil durant 3 ou 4 jours le temps que les briquettes sèchent.
- Embaquer les briquettes pour le stockage et la vente.

7. Marché du produit

Avant de se lancer dans un projet, il est obligatoire de penser aux points suivants :

Les connaissances nécessaires : Pour se lancer dans la commercialisation du charbon écologique, il faut maîtriser les étapes de la transformation des matières premières en briquettes de combustible. Ces matières premières sont les ordures ménagères et agricoles biodégradables. L'ordre classique est le suivant : la collecte, le séchage, la carbonisation, l'ajout d'un liant, le compactage, le séchage et le conditionnement. La transformation est obtenue en quelques heures et le séchage peut prendre jusqu'à 3 jours et plus en fonction du moyen utilisé (séchoir ventilé ou soleil), (Moyouzame 2020)

Comment apprendre ? On peut apprendre auprès des petites entreprises locales de transformation d'ordures en charbon écologique, ou dans les écoles polytechniques spécialisées(Moyouzame 2020).

Les Matériaux : Résidus agricoles : paille (Pour 50 kilos de paille), (Moyouzame 2020)

- ✓ 100L Eau ;
- ✓ 5.5 kg d'argile ;
- ✓ 15 kg de déchets agricoles.

Les Outils:

- ✓ Fût en métal de 200 L transformé en pyrolyseur (pour la carbonisation) ;
- ✓ Pelle ; Râteau ; Bâche ; Pilon ; Tamis ; Presse ;
- ✓ Masque et gants de protection ;
- ✓ Grand récipient pour les mélanges ;
- ✓ Claies de séchage ;
- ✓ Empreinte en métal pour standardiser la taille des briquettes (Moyouzame 2020).

Le personnel et la formation : selon (Patrick D. E. Mfouapon, 2007), Pendant la phase pilote, 6 personnes ont travaillé sur l'unité, réparti comme suit :

- ✓ 2 personnes au mélangeur ;
- ✓ 2 personnes au niveau de l'agglomérateur ;
- ✓ 1 personne au niveau du broyeur ;
- ✓ 1 gardien pour surveiller les installations.

Mais lorsque l'unité est passée en phase d'industrialisation, seulement 4 personnes pourront assurer le travail, 3 opérateurs et un gardien:

- ✓ 1 opérateur pour entrer la matière première
- ✓ 1 opérateur pour récupérer le produit
- ✓ 1 technicien pour surveiller

Ces opérateurs avaient presque les mêmes qualifications. Ils permutaient les postes à tour de rôle suivant un calendrier.

Où s'approvisionner ? Les déchets biodégradables sont disponibles en quantité. On peut s'approvisionner chez les agriculteurs et les ménages (Moyouzame 2020).

Comment trouver la clientèle ? La clientèle est constituée des ménages à revenus moyens et faibles en zones rurales et urbaines (Moyouzame 2020).

A quel volume/moment devient-on rentable ?

Une entreprise semi-industrielle peut recycler 20 tonnes de déchets par semaine et une entreprise industrielle 100 tonnes par semaine. Une tonne de déchets représente 25 sacs de charbon de 40 kilogrammes chacun. Le charbon écologique se vend à 500 FCFA (110.30 DA) le kilogramme. Le sac de 40 kg de charbon coûte 8000 francs CFA (1764 DA).

L'activité devient véritablement rentable au bout de 3 ans et à partir d'une production semi-industrielle (Moyouzame, 2020).

Quel matériel ou équipement ?

- ✓ Un site pour l'implantation de l'unité de production (pour un début, elle peut s'étendre sur 150m² à 350m²) ;
- ✓ Des équipements de protection individuelle ;
- ✓ Des brouettes, tricycles ou autre moyen de transport pour la collecte des ordures biodégradables ;
- ✓ Des fûts métalliques adaptés pour la réduction des déchets en cendre ;
- ✓ Le liant pour assurer l'adhésion des particules de cendres (ça peut être de la poudre d'argile ou de l'amidon mélangé à de l'eau) ;
- ✓ Un appareil de compactage et un séchoir pour déchets et matière organique (Moyouzame, 2020).

Quel est le budget demandé pour se lancer ? Pour faire tourner une très petite entreprise de production de charbon écologique, il faut compter un budget d'au moins 600 000 FCFA (132000 DA), pour l'achat du matériel et d'un container qui fera office d'usine.

A l'échelle industrielle, il faut un financement de 50 000 millions FCFA (1102000 DA) répartis dans le matériel, la main d'œuvre et l'unité de production (Moyouzame, 2020)

Conclusion et recommandations

Le blé est la céréale la plus consommée par l'homme, sa production et son rendement sont fortement liés aux types d'amendements apportés aux sols.

Le problème majeur rencontré pour les céréales en général et le blé dur en particulier est l'instabilité des rendements.

Différents facteurs sont les causes de cette instabilité à savoir : La sécheresse, la précipitation pluviale irrégulière, les différentes maladies, les insectes nuisibles ainsi que le suivi inefficace appliqué sur le terrain notamment sur le plan fertilisation.

En Algérie, afin d'atteindre une rentabilité économique, les producteurs céréaliers utilisent surtout les fertilisants chimiques. Ces derniers peuvent avoir aussi des effets négatifs sur l'environnement tels que la pollution de l'air, eaux, sols et le réchauffement global de la terre, mais aussi sur le végétal. Il faut noter que ces engrais chimiques peuvent donner sur des acides (acide sulfurique, acide chlorhydrique) entraînant la destruction des bactéries qui fournissent l'azote aux plantes en croissance, ce qui entrave la croissance végétale, la production et le rendement.

Contrairement aux fertilisants chimiques, les fertilisants organiques sont généralement non toxiques et n'ont pas beaucoup d'effet nocif sur les plantes, ni les aliments ni l'environnement. Ils sont biodégradables, durables et plus écologique alors homologues, ils n'émettent pas de produits chimiques nocif dans l'atmosphère et contribuent à assurer et rendre les plantes et les cultures plus propres et diminue de toute modification chimique ; la raison principale de la cherté et la forte demande des produits biologiques.

Par ailleurs intensifier la production pour améliorer les rendements de la production agricole, nécessite le développement de stratégie la gestion des fertilisants, et l'adaptation de nouvelles techniques et nouveaux produits qui peuvent améliorer la productivité des sols, non nocif pour l'environnement, et utile pour la réduction de la pollution.

Le biochar (bio-charbon) est devenu comme une solution contribuant au stockage du carbone dans le sol qui par son effet la fertilité des sols donne des résultats

promoteur dans la production végétale de la qualité nutritionnelle des graines de blé ; il présente beaucoup d'avantages sur le plan climatique soit :

- Séquestration du carbone ;
- Réduction des émissions de carbone à effet de serre ;
- Coproduction de bioénergie ;
- Amélioration de la qualité des sols par une réduction du lessivage des nutriments ;
- Rendement amélioré ;
- Réduction de l'intensification de l'agriculture ;

Le projet biochar présente sur 4 principaux aspects des effets négatif soit :

- La santé des sols et la productivité agricole ;
- Les changements climatiques :
- Les impacts sociaux ;
- Utilisation concurrente de la biomasse.

Cependant le projet biochar ne retrouve confronté à des obstacles socioculturels nécessitant pour la mise en œuvre une parfaite connaissance joue milieu où évolue les personnes qu'ils auront besoins de formation afin de mieux gérer leurs besoins et attentes.

Dans le but d'améliorer l'augmentation du rendement de la production du blé dur, nous recommandons aussi :

- Irrigation d'appoint pour pallier à la rareté des pluies ;
- L'obligation d'analyse et de traitement des sols ;
- Changement et aide à la formation technique des agriculteurs ;
- Les différentes techniques de la fertilisation des sols ;
- Le désherbage chimique ;
- Traitement fongique.

Références bibliographiques

Abdelmalek D. et Goucem T.A. (2016).L'effet de l'épandage d'une fumure organique sur la qualité nutritionnelle du blé dur (Waha, Mohammed Ben Bachir). Mémoire de master : sciences biologiques Option : Qualité des produits et sécurité alimentaire. Université De Tébessa, Algérie, 15,16,17,29p et 31p + WIKIPEDIA.

Aissa A.D. et Mhiri A. (2002). Fertilisation phospho-potassique du blé dur en culture intensive en Tunisie. Cahiers Agricultures, page391.

AKNOUCHE D. et LAIB R. (2017). Amélioration de la production du blé dur : cas de la zone sud de Constantine. Mémoire de master : Sciences Biologiques. Spécialité : Biologie et génome végétale. UFMC1, Algérie, 21p.

Anonyme (2019).Promotion de la production, du commerce transfrontalier et la consommation des engrais en Afrique.

Bazri K. (2015). Action de quelques espèces lombriciennes collectées dans l'Est algérien sur la croissance des plantes. Séminaire international des biotechnologies Constantine (SIBC).19-21 octobre 2015. Université des frères Mentouri-Constantine1.

BELAID D. (2017). Revoir la fertilisation potassique des céréales. Edition Collection Brochures Agronomiques, Algérie, page3.

BELLAGOUN I. MEDINI A. (2015). Etude comparative de la qualité technologique de quelques échantillons du blé dur de la moisson 2014 (région de Guelma). Mémoire de Master : Spécialité/Option : Qualité des produits et Sécurité Alimentaire. Université de Guelma, Algérie, 9-10- 23-26-27p.

BENABDALLAH M.E.A. (2016). Les caractères et les effets d'une fertilisation biologique par le grignon d'olive sur le rendement des cultures des céréales. Mémoire de master en Agronomie : Amélioration végétale. Université de Tlemcen, Algérie, 7p

BENAMARA H. et DJOTNI S. (2018) Etude d'optimisation de la fertilisation minérale sur la croissance et le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf) dans la région de Guelma. Mémoire

de Master : Filière : Sciences agronomiques Spécialité : Option : Phytopathologie et phytopharmacie et la protection de végétaux Département : Ecologie et Génie de l'Environnement Université de Guelma, Algérie, 15-16-17p.

Christophe Le Gall (2015). Fertilisation en phosphore des céréales. Chambres d'agriculture des Pays de la Loire page1.

DE LA CULTURE DE BLE EN REGION SEMI-ARIDE. Mémoire de Magister Option : Production Végétale et Agriculture de Conservation UFA Sétif Algérie, 5,6,7,8p.

Diaffi H. Saoudi H. (2015). Effet de la fertilisation azotée et des variétés sur les performances de la production de blé dur cultivé en zone semi-aride de Sétif. Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila. Algérie. 18p

Djermoun A. (2009). La production céréales en Algérie : les principales caractéristiques Département d'Agronomie Université de Hassiba Benbouali de Chlef Revue Nature et Technologie. n° 01. 45 à 53p.

FAO 2005. Utilisation des engrais par culture en Algérie. FAO. 27-31-34p.

GHERRAIRIA I et ZARDOUDI F (2018). Effet de la fertilisation sur la culture de blé dur (*Triticum durum Desf.*) dans la région de Guelma. Mémoire de Master : Sciences Agronomiques Spécialité/Option : phytopharmacie et production des végétaux Département : Ecologie et génie de l'Environnement. Université de Guelma Algérie, 4,5,8,9,10,13,14, 15p

JUDITH N. et al, (2012). Effets de la texture et de la fertilisation azotée sur le rendement et la qualité de blé de printemps. Journée d'information scientifique grandes cultures, 20p.

KADIR S. et MAHMA R. (2018). Effet des différentes périodes d'incubation des engrais inorganiques et organiques sur quelques propriétés physico- chimiques d'un sol sableux Cas Hassi Ben Abdallah Ouargla. Mémoire de Master Académique. Filière : Science Agronomique Spécialité : protection de la ressource sol -eau et environnement. U.K.M Ouargla, Algérie, 1-2p.

LAIB S. (2011). Contribution à l'étude de l'influence des types et doses d'engrais phosphatés sur le prélèvement du potassium par une culture de blé dur dans la région d'El Goléa. Mémoire du diplôme d'ingénieur d'Etat : Spécialité : Agronomie Saharienne Option : Mise en valeur des sols sahariens. Univ. K.M. Ouargla, Algérie, 21p.

- Laurin-Lanctôt S. (2015).** Effet de l'amendement en biochar des sols biologiques pour une culture de tomates sous serre : Rétention en nutriments, activité biologique et régie de fertilisation. Maîtrise en sols et environnement Maîtrisées sciences (M.Sc.) Université LAVAL,
- Major J. (2011).** Le biochar : outil pour la gestion des résidus de biomasse et la fertilité des sols. Bio Tendances. 2p
- MALKI R. et MALKI Y. (2016).** Détermination des caractéristiques physico-chimiques et technologiques des différents passages d'un moulin industriel ERIAD TADEMAIT mémoire de master : Filière Sciences Agronomiques. Spécialité Contrôle de qualité et Nutrition en Agro-alimentaire. Université M'hamedBouguara Boumerdes, Algérie, 8-9p.
- MEKAOUSSI R. (2015).** Etude de comportement variétal du blé dur (*Triticum durum* Desf.) vis-à-vis de *Rhopalosiphum maidis* (Homoptera:Aphididae) dans la région de Batna en vue de l'amélioration de la plante. MEMOIRE de MAGISTER Filière Sciences agronomiques Ecole doctorale Option Valorisation et amélioration de l'agro biodiversité végétale. Université de Batna. 13,14,15p.
- Michel MUSTIN, (2013).** Le biochar : Rôle agronomique et environnemental. RITMO Agroenvironnement. Recherche Innovation Transfert de Technologie pour les Matières fertilisantes Organiques. 3p.
- MIHOUB A. (2008).** Effet de la fertilisation phosphatée sur la nutrition azotée et la productivité d'une culture de blé dur (*triticum durum* L. var. carioca) (dans la région d'El-Goléa-Ghardaia). Mémoire de diplôme d'ingénieur d'état en sciences agronomiques. Spécialité : Agronomie Saharienne. Option : Mise en valeur des sols sahariens. U. K.M. Ouargla. Algérie. 23-32p (3)
- Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche(2010).**Etat, perspectives et enjeux du marché des engrais ; Service de la Statistiques et de la Prospective. Centre d'Etudes et de Prospective 2 rue Henri Rol-Tanguy - TSA 70007 93555 Montreuil sous-bois Cedex. France, 4-5p.
- N. Koull et M.T. Halilat, (2016).** Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région d'Ouargla (Algérie). Étude et Gestion des Sols, Volume 23, 16p.
- NADJEM K. (2012).** CONTRIBUTION A L'ETUDE DES EFFETS DU SEMIS DIRECT SUR L'EFFICIENCE D'UTILISATION DE L'EAU ET LE COMPORTEMENT VARIETAL

NEDJAH I. (2015). Changements physiologiques chez des plantes (Blé dur *Triticum durum* Desf.) exposées à une pollution par un métal lourd (plomb). Thèse de Doctorat Option : Ecophysiologie Végétale Intitulé : Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 19p

Patrick D. E. MFOUAPON (2007). Etude de faisabilité d'une unité de production de charbon vert. Projet de fin d'études d'ingénieur de conception. Ecole supérieure polytechnique, Centre de THIES, Département Génie Électromécanique. Université CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR, Sénégal, 23p.

Pro-Natura International, (2010). Québec, Canada, Lutter contre les changements climatiques et augmenter la productivité agricole avec le charbon vert, 4p.

Réseau Agriculture Régional de la FRAPNA(2013). Des alternatives aux engrais de synthèse, 1p.

SADOUN S. et AOUINET M.A. (2018). Contribution à l'étude de l'effet de l'incorporation d'un bio-charbon sur les propriétés agroécologique d'un sol sableux et son impact sur la culture de blé dur dans la région d'El-Oued. Mémoire de master. Filière : Sciences biologiques. Spécialité : La Biodiversité et environnement. Université d'El-Oued, Algérie, 18-19-20-21-22

Sébastien L. (2017). BIOCHAR, LA RÉALITÉ QUÉBÉCOISE. CONFÉRENCE INTERNATIONNALE SUR LE BIOCHAR : MISSION ITALIE, « BIOCHAR : PRODUCTION, CHARACTERIZATION AND APPLICATIONS », Biopterre, 5p

SEH Emmanuel, (2009). IMPACTS AGRONOMIQUES, ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX DE QUELQUES AMENDEMENTS ORGANIQUES A NKOLONDONDOM (Yaoundé-Cameroun). Mémoire de master en Etudes d'Impacts Environnementaux (EIE). Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles. Université de DSCHANG, 21-22p.

simeto) dans la région de Guelma. Mémoire de master : Filière : Sciences agronomiques. Spécialité/Option : phytopathologie et phytopharmacie. Université de Guelma, Algérie, 14,15, 19p.

SOUALMIA B. (2014). Etude comparative de l'effet de trois types d'engrais (weatstart, weatgrow, et weatgeen) sur le rendement de la culture de blé dur *Triticum durum* Desf (Var

ZETTAL Y. (2017). Le blé : importance, santé et risque. Mémoire de master : Sciences Biologiques. Spécialité : Biologie et génomique végétale. UPMC1, Algérie, 9-25-26p

Références webographiques

Agence canadienne d'inspection des aliments, (2016) <https://www.inspection.gc.ca/sante-des-animaux/aliments-du-betail/directives-reglementaires/rg-8/fra/1347383943203/1347384015909?chap=1>

Agriculture, (2015)<https://studylibfr.com/doc/7309750/elaboration-du-rendement-du-bl%C3%A9>

AlgériePresse Service<http://www.aps.dz/economie/94214-saison-2018-2019-l-algerie-pourra-se-passer-de-l-importation-d-orge-et-de-ble> Date de publication : 10/09/2019

AlgériePresse Service<http://www.aps.dz/regions/92204-constantine-une-production-cerealiere-de-deux-millions-de-quintaux> Date de publication : 27/03/2020

AlgériePresse Service<https://www.elwatan.com/regions/est/constantine/saison-cerealiere-2017-2018-a-constantine-une-production-record>Date de publication : 31/08/2018

Alter Africahttps://www.alterafrika.com/Charbon_vegetal.htm

Ayoub H. et al. (2012).<https://fr.scribd.com/doc/107178853/Pollution-Du-Sol-Par-Les-Pesticides-Et-Les-Engrais#>

Benhassine et Dekdouk (2019)<http://avoir-la-science-en-gre.e-monsite.com/pages/ii-quels-sont-les-effets-des-engrais-sur-l-environnement.htm>

DSAwww.dsa-constantine.dz

Eddé C. <https://www.celinou.fr/blogs/le-blog-de-celinou/ce-que-nous-cache-les-cereales>Date de publication : 27/04/2019

ElhadefetElokki,

(2015)<https://www.univsetif.dz/MMAGISTER/images/facultes/2015/SNV/ELHADEF%20ELKOLLI%20LYDIA.pdf>

FAO<http://www.fao.org/3/i9183en/i9183en.pdf>.

FAO, (2020)<http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/fr/>Date de publication : 07/05/2020

FAO,BruulsemaT.etal,2012 <http://www.fertilizer.org/FertilizingCropsToImproveHumanHealth>

- Flehetna**, <https://www.flehetna.com/fr/le-ble-durtriticum-durum>Date de publication : 11/06/2018
- Frédéric H.(2017)**<https://www.willagri.com/2017/11/28/lindustrie-engrais-afrique/>
- Hélène S.**<https://www.cultivar.fr/sinformer/la-consommation-mondiale-de-cereales-saccroit>Date de publication : 11/05/2017
- <http://dsne.chez-alice.fr/eau/RBVNET/RBV/IPFE.HTM>
- <https://www.agriconomie.com/engrais/amendements/amendement-organique/pc977>
- Ian Angus2019**<http://alencontre.org/ecologie/exces-dazote-trop-dune-bonne-chose-est-mortel-pour-la-biosphere.html>
- IanAngus2019**https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/38531637/fertilizantes.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DAn_Agricultural_Pol
- Jim Ritter (2018)** https://www.supagro.fr/ress-pepites/matiereorganique/co/2_RoleMO.html
- Low-Tech Lab, Association Nebeday2016**https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Bio_Charbon
- Luc Gérard OnanaOnana**Ingénieur agronome/ Msc en science du sol Enseignant associé à lafilère de métier du bois, de l'eau et de l'environnement, Université de Dschang. Laboratoire de conversion thermochique de la biomasse, Université de Gand, Belgique
- <http://www.iedafrique.org/Le-Biochar-un-charbon-biologique.html>
- M.Le Molgat**,<https://www.lafranceagricole.fr/actualites/cultures/marche-des-grains-statu-quo-en-depit-du-coronavirus-1,12,3132712999.html>Date de publication : 11/03/2020
- Moyouzame A.(2020)**<https://www.agenceecofin.com/lancer-son-entreprise/0601-72467-produire-du-charbon-ecologique>

Prof_gilberto,(2014)<http://hydroponie.fr/potassium/#:~:text=%E2%80%93%20Le%20potassium%20est%20aussi%20responsable,prot%C3%A9ines%20et%20de%20l'ATP>

Pro-Natura International <https://www.pronatura.org/biochar/>

USDA.<https://www.lafranceagricole.fr/actualites/cultures/marche-des-grains-statu-quo-en-depit-du-coronavirus-1,12,3132712999.html>Date de publication : 11/03/2020

Vicky Lévesque, Ph.D., agr., Doctorante en microbiologie agroalimentaire 30 janvier 2018<https://www.laterre.ca/du-secteur/formation/biocharbon-avenue-prometteuse-lagriculture-durable>

Année universitaire : 2019/2020

Présenté par : DJEHICHE Maroua
GUERGOURI Nesrine

INTITULÉ : Synthèse sur l'effet des fertilisants chimiques et organiques sur la production du blé dur et la durabilité des sols

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en Ecologie Fondamental et Appliquée

Ce travail a consisté essentiellement de faire une synthèse sur les effets des fertilisants organiques et chimiques sur la production et la qualité de blé dur en évaluant leurs conséquences sur la sécurité alimentaire, santé humaine et environnemental. Aussi l'utilité de la fertilisation mais aussi le type de fertilisant agit sur la production agricole, le rendement et la qualité de l'aliment végétale telle que la graine du blé. Ainsi, notre étude encourage les amendements organiques pour la durabilité des sols de production agricole et la qualité des aliments. Dans cet objectif, nous recommandons la production de biochar comme une des solutions éco compatible et améliorante des rendements des cultures de blé dur, malgré tous les obstacles et les contraintes de cet technique elle reste très intéressante.

Mots clés : blé dur, qualité du blé, fertilisation organique, fertilisation chimique, Durabilité des sols, biochar

Laboratoire de recherche : Biologie et environnement

Jury d'évaluation :

Président du jury : Dr. SAHLI Leïla (Université des frères Mentouri, Constantine1)

Rapporteur : Dr. BAZRI Kamel-eddine (Université des frères Mentouri, Constantine1)

Examineurs : Dr. ZAÏMECHE Saïda (Université des frères Mentouri, Constantine1)

Date de soutenance : 09 / 07 / 2020