

République Algérienne Démocratique Et Populaire

*Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche
Scientifique*



Université 20 Août 1955 , Skikda

Faculté des Sciences

Département des sciences agronomique

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : science du sol

INTITULÉ :

**L'efficacité de Biochar et d'engrais vert entant que
amendement organique pour améliorer la fertilité de sol et
productivité du blé**

Réalisé par :

❖ Mlle. Imane Touil

Encadré par :

❖ Dr. Bounouara Zohra

Membre de jury:

Le président

Dr. Hafsi Zakaria

Examinatrice

Dr. Larit Sabah

Encadrante

Dr. Bounouara Zohra

2025/2024

République Algérienne Démocratique Et Populaire

*Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche
Scientifique*



Université 20 Août 1955 , Skikda

Faculté des Sciences

Département des sciences agronomique

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : science du sol

INTITULÉ :

**L'efficacité de Biochar et d'engrais vert entant que
amendement organique pour améliorer la fertilité de sol et
productivité du blé**

Réalisé par :

❖ Mlle. Imane Touil

Encadré par :

❖ Dr. Bounouara Zohra

Membre de jury:

Le président

Dr. Hafsi Zakaria

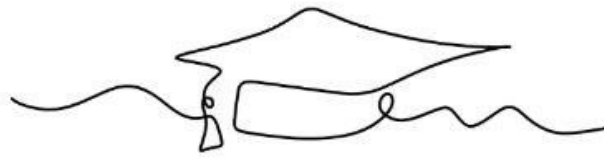
Examinatrice

Dr. Larit Sabah

Encadrante

Dr. Bounouara Zohra

2025/2024



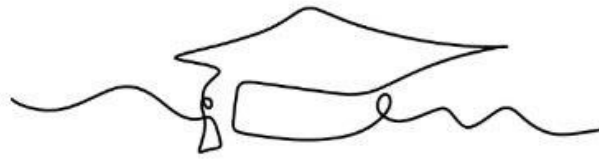
Remerciement :

Au terme de ce modeste travail, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à ALLAH, le Tout-Puissant et le Très Miséricordieux, pour m'avoir permis d'atteindre ce niveau d'études, et pour m'avoir accordé la santé, la force, le courage et la volonté nécessaires à l'achèvement de cette humble recherche.

*J'adresse ma sincère gratitude à ma promotrice, Madame **Bounoura Zohra**, pour la confiance qu'elle m'a accordée, pour avoir dirigé mon travail avec rigueur, et pour m'avoir offert l'encadrement critique dont j'avais besoin.*

*Aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'être présents;
Madame **Larit Sabah** et Monsieur **Hafsi Zakaria***

Nous tenons à remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin, directement ou indirectement, à la réalisation de la présente étude. Nous ne pourrions terminer ces remerciements sans y associer nos familles qui nous sont toujours apporté tout leur soutien et leur appui afin d'arriver au terme de cette aventure, et à la fin nous avons découvert le symbole de leur grand amour à tous nous disons un grand merci.



DIDICACE :

Je dédie ce travail

*en premier lieu aux êtres, les plus chers au monde, la prunelle
de mes yeux À mes défunts parents «Djamal & Noura touil»*

*Qui m'ont soutenu, en les remerciant pour tous leurs sacrifices, leur
tendresse, leur soutien et leurs prières durant tout mon parcours scolaire. Quoi
que je fasse je ne pourrais leur rendre ce qu'ils ont fait pour moi, si je suis arrivée
là c'est bien grâce aux que dieu les bénisse, et leur accorde longue vie et les
protège*

À

vosmes adorables sœurs: «Amani» & «Asma»

À

vos mes chers frères : «Mouhamed» & «Ahmad»

*le personne qui m'a soutenu depuis le jour où nous nous sommes connus.
Merci d'être toujours là pour moi*



Résumé :

Le sol est un facteur essentiel dans la production agricole, car il en est le véritable incubateur. C'est pourquoi il est crucial d'en prendre soin. L'une des meilleures façons d'y parvenir est d'adopter une fertilisation saine et efficace. Parmi ces méthodes, l'utilisation d'engrais organiques, tels que le compost, biochar.

Dans ce travail on a fait un engrais organique rassembler des éléments d'une valeur pour l'arbre, je le fait un teste biologique sur le blé dur ce qui nous a permis de connaitre la grande importance et le bénéfice de cela.

Abstract :

Soil is a crucial factor in agricultural production, as it serves as the true incubator for plant growth. Therefore, it is essential to take good care of it. One of the best ways to do so is by adopting healthy and effective fertilization practices. Among these methods is the use of organic fertilizers such as compost and biochar.

In this project, an organic fertilizer was created using valuable elements beneficial for trees. A biological test was conducted on durum wheat, which allowed us to observe the significant importance and benefits of this fertilizer.

Sommaire

Liste de tableau :

Liste de figure :

Liste des abréviations :

INTROUCTION GENERAL :	1
Chapitre01 : Synthèse Bibliographique	3
I. Le compost.....	4
I.1. La composition du compost	4
I.1.1. Azote(N) et rapport (C /N) :	6
I.1.2. Matière riche en Carbone :	7
I.1.3. Phosphore (P)	7
I.1.4. Potassium (K)	8
I.1.5. L'eau.....	8
I.1.6. L'aération	8
I.1.7. Les microorganismes décomposeurs	8
I.2. Les avantages de compost	10
I.2.1. Matière organique du sol.....	10
I.2.2. Abondance et diversité microbienne	11
I.2.3. Elimination des maladies du sol.....	11
I.2.4. Disponibilité des nutriments.....	12
I.3. Le fumier bovin :	12
I.3.1. Déchets ménagers et assimilés	13
I.3.2. Les déchets sec :	13
II. Le bio char	13
II.1. Les avantages du bio char	14
II.1.1. Améliore le pH du sol à faible coût	14
II.1.2. Augmente la capacité de rétention des éléments minéraux et la disponibilité du phosphore dans le sol	15

II.1.3. la nutrition minérale	15
II.1.4. Stimule la vie microbienne du sol.....	15
II.1.5. Améliore la porosité et participe à l'épuration du sol et de l'eau	16
II.2. Application du bio char.....	16
II.3. Le bio char comme amendement du sol.....	17
II.4. Pourquoi utiliser le bio char en agriculture	19
II.5. Techniques de production de fertilisants à libération lente à base de bio char	21
II.5.1. Activation par des modifications chimiques	21
II.5.2. Activation par enrobage de bio char	22
II.5.3. Activation par adjonction du bio char.....	22
III. Engrais vert.....	23
III.1. Avantages associés à l'utilisation d'engrais verts.....	24
III.2. Engrais verts et fertilisation	28
III.3. Itinéraire de culture des engrais verts	28
3.1. Préparation du sol et semis	29
3.2. En cours de culture :	29
3.3. Le broyage :	29
3.4. L'incorporation	30
III.4. Caractéristiques chimiques de la biomasse azotée produite par l'engrais vert et sa susceptibilité à la minéralisation.....	30
IV. Jus de compost.....	32
IV.1. L'aération des jus de compost	34
IV.2. Le jus de compost est-il un engrais ?.....	34
IV.3. Quelles bactéries sont-elles nécessaires dans le jus de compost ?.....	36
V. Engrais minéral partir de eau de mer	38
V.1. Bienfaits de l'engrais sur les végétaux :	38
VI. Itinéraire techniques du blé dur	39
VI.1. Caractéristiques du grain de blé dur	40
VI.2. Itinéraires du blé dur.....	41

VI .2.1.Choix de la parcelle	41
VI .2.2.Choix du précédent.....	42
VI .2.3.Choisir ses variétés	42
VI .2.4.Préparation du sol.....	43
VI .2.5. Implantation, dates et densités de semis.....	44
VI .2.6.Maîtrise des adventices.....	46
VI .2.7.Fertilisation azotée :	47
VI .2.8.Lutte contre la verse	48
VI .2.9.Maladies et protection fongicide	49
VI .2.10.Tallage – début montaison.....	51
VI .2.11.Remplissage des grains.....	52
VI .2.12.Irrigation efficace : bien positionner chaque apport.....	52
VI .2.13.Récolte :	53
VI .2.14.Le bon stade de récolte	53
VI .2.15.Observer les pertes	54
VI .2.16.Stockage des grains	54
Chapitre02 : Matériel et Méthodes	56
I. Matériel.....	57
II. Méthodes.....	58
II.1. Fabrication de l’engrais organique.....	58
II.1.1. Procède de compostage	59
II.1.2.Suivi de compost.....	61
II.2. Fabrication de l’engrais minéral.....	64
II.3. Test biologique.....	64
II.3.1.Suivi du blé dur	65
II.3.2.Température de sol.....	66
II.3.3.Humidité de sol	66
II.3.4.Tempe d’application de l’engrais.....	67

Chapitre 03 :Résultats Et Discussion.....	68
I. Paramètre analysés.....	69
I.1. Mesure de ph	69
I.2. Mesure humidité.....	70
I.3. Mesure de la matière organique et carbone organique.....	71
I.4. Mesure de la conductivité électrique.....	72
I.5. Mesure de la porosité	73
I.6. Multiplication de vert de terre	73
I.7. Evaluation de test biologique	74
Conclusion	76
Bibliographie	79
Annexe	85

Liste de tableau :

Tableau 1 : Caractérisation physico-chimique du bio char	19
Tableau 2 : Q quelque type d'engrais vert.....	24
Tableau 3 : les étapes de stockage bien conduit	44
Tableau 4 : Nombre de grains/m ² à semer selon la date, le type de sol et les conditions de semis.....	46
Tableau 5 : les constituants des seaux utilise.....	60
Tableau 6 : le retournement de compost.....	63
Tableau 7 : les pots	64
Tableau 8 : Tempe d'application de l'engrais	67
Tableau 9 :l'évolution du verte de compost	73

Liste de figure :

Figure 1 : début de compost.....	5
Figure 2: Mécanisme de compostage	11
Figure 3: Le charbon pour l’agriculture.....	20
Figure 4 : le charbon	23
Figure 5 : Maturation du blé dur après utilisation du foin de luzerne comme amendement	25
Figure 6 : Effet de l’enfouissement sur la stabilité structurale des sols.....	28
Figure 7 : type d’engrais vert.....	28
Figure 8 : avec l’engrais vert	31
Figure 9 : bien récolte se levait d’amendement vert.....	31
Figure 10 : Le jus de compost.....	37
Figure 11 : blé dur.....	41
Figure 12 : parcelle du blé dur	42
Figure 13 : Atouts et contraintes des outils de désherbage mécanique	48
Figure 14 : les grains de blé dur.....	52
Figure 15 : Les étapes d’un stockage bien conduit (Guide de culture du blé dur, 2021)	55
Figure 16 : Le mélange de fumier du bovin et les déchets secs et ménagers et bio char	57
Figure 17 : fumier du bovin	59
Figure 18 : L’apport de bio char	59
Figure 19 : Photo de préparation de compost dans un seau.....	60
Figure 20 : Jus de compost	61
Figure 21 : mesure de ph	69
Figure 22 : Gamme de l’évolution de pH (Pousset, 1999).	70
Figure 23 : le compost	70
Figure 24 : mesure de conductivité.....	72
Figure 25 : Les feuilles de blé.....	74
Figure 26 : Germination du blé.....	75

Liste des graphes :

Graphe 01 : L'évaluation du blé par rapport ou engrais utilise pendant 10 jours..... 64

Liste des abréviations :

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique.

AFNOR : Association Française de Normalisation.

MO : Matière Organique.

C° : Degré Celsius.

MT : mégatonnes

IRTF : la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier

ISB : Institut Supérieur de Biologie

IEA : International Energy Agency

RH : pourrait désigner Humidité relative

CAH : peut-être Capacité d’Absorption d’Humidité ou Contenu en eau Humide

CAF : pourrait être Capacité d’Absorption de l’Air Sec ou Contenu en eau de référence

NH₄⁺ : ammonium

(NO₃⁻) : Ion nitrate

Le rapport C/N : proportion relative de carbone (C) par rapport à l’azote (N)

P₂O₅ : pentoxyde de phosphore.

K₂O : oxyde de potassium.

ADEM : Agence de Développement et d’Encadrement des Micro-entreprises

FUE : Fraction Utilisable de l’Énergie

UGB : Université Gaston Berger

ITAB : Institut Technique de l’Agriculture Biologique

PH : potentiel en hidrogene

FAO : Food and Agriculture Organization

INR : International Normalized Ratio

CE : Conductivité électrique

INTROUDICTION

GENERAL

INTROUCTION GENERAL

INTROUCTION GENERAL :

L'appauvrissement des matières organiques et des nutriments du sol, ainsi que le changement climatique constituent des facteurs majeurs menacent la durabilité de la production agricole depuis la « révolution verte », les engrais inorganique ont joué un rôle essentiel dans L'augmentation de la production agricole et le maintien de la productivité au cours de dernier Demi-siècle. Cependant, l'usage exclusif de ces engrais chimiques ne représente pas une solution Durable pour améliorer la fertilité des sols et garantir le rendement des cultures. En effet, L'utilisation Excessive à long terme d'engrais minéraux peut accélérer la dégradation du sol impactent à la Fois le biote du sol et les processus biogéochimiques.

D'un autre côté ; La quantité totale de déchets ménagers produits en Algérie en 2020 est estimée à environ 13,5 millions de tonnes. La croissance démographique et le développement urbain contribuent dans une large mesure à l'augmentation de la quantité de déchets produits ; entre 2016 et 2035, la production de déchets ménagers pourrait doubler, passant de plus de 11 MT en 2016 à 23 MT en 2035 (AND, 2020), la part de la fraction organique dans la quantité totale de déchets produits dépasse 50%.

Les résultats d'une étude réalisée en 2014 ont confirmé la prédominance de la fraction organique, qui représentait 54,40 % à cette période, ce qui justifie la récupération biologique (compostage et digestion anaérobie) comme solution pour réduire ces quantités des déchets et éviter ces problèmes néfastes sur l'environnement et la santé (AND, 2014).

Le biochar est une substance carbonéée issue de la transformation thermochimique de la biomasse dans un environnement à faible teneur en oxygène. Parmi les biochar les plus couramment utilisés est à base de bois. Le biochar est reconnu comme une solution potentielle pour améliorer la fertilité des sols, limiter l'adsorption d'éléments toxiques et atténuer les effets du changement climatique.

Des recherches ont montré que l'incorporation du biochar dans le sol permet d'en améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol, il a été démontré que il favorise l'activité de la communauté microbienne du sol, accroît la biomasse et l'activité microbienne, et diminue les émissions de gaz à effet de serre grâce à la séquestration du carbone, optimise la disponibilité des éléments nutritifs des plantes et la croissance et le rendement corrélés. Par ailleurs le biochar renforce la capacité du sol à retenir l'eau, améliorer son aération et limite la saturation en basses.

INTRODUCTION GENERAL

Le compost est composé de matières organiques qui sont équilibrées et détériorées en raison de la dégradation des matières organiques facilitée par des conditions contrôlées et oxygénées (Adugna, 2016). L'utilisation du compost est écologique et naturelle. Le compost constitue donc un excellent moyen d'améliorer la fertilité du sol et contribue finalement à l'augmentation du rendement des cultures ((Afriyie & Amoabeng, 2017).

De plus, le sol a besoin de matière organique car il est important de maintenir la fécondité du sol et de réduire les pertes de nutriments. Par conséquent, le compost contient à la fois des nutriments et de la matière organique qui agissent comme un bon engrais organique pour le sol (Adugna, 2016). Lorsque le compost est incorporé au sol, il sera minéralisé et fournira une libération durable des nutriments disponible aux plantes (Ngo, P. T. Cavagnaro, T. R, 2018).

. Des études récentes ont démontré que l'application combinée de compost et de biochar produit un effet synergique positif sur la teneur en éléments nutritifs du sol et sur la capacité de rétention en dans des conditions de terrain.

L'amélioration de la fertilité des sols constitue un jeu majeur pour assurer une production agricole durable et de qualité. Parmi les pratiques agricoles recommandées, l'utilisation des amendements organiques occupe une place importante, notamment dans les cultures céréalières comme le blé dur. Cette culture, largement répandue dans les régions méditerranéennes, est particulièrement exigeante en nutriments pour exprimer son plein potentiel. L'apport de matières organiques permet non seulement de nourrir le sol, mais aussi de favoriser l'activité biologique et d'améliorer les propriétés physiques et chimiques du milieu. Cette introduction vise à explorer les effets des amendements organiques sur la croissance, le rendement et la qualité du blé dur.

Chapitre01 : Synthèse Bibliographique

L'amendement du sol

I. Le compost

I.1. La composition du compost

Le compostage est un procédé de traitement et de valorisation des déchets organiques qui reproduit en accéléré le processus d'humification de Mo dans les sols. Actuellement en France, seulement 7 % des déchets urbains sont compostés, alors que la part organique représente 50 % des 47 millions de tonnes produites annuellement.

Les composts sont avant tout utilisés en agriculture pour augmenter ou entretenir les teneurs en MO des sols, et le niveau de stabilité de leur Mo conditionne leur comportement après incorporation au sol. Les conséquences de la biodégradabilité résiduelle des composts sur la disponibilité potentielle de l'azote ont été également étudiées. Une dizaine de composts issus de plates-formes de compostage industrielles, comprenant des composts de déchets verts, des Co-composts de déchets verts et boues, des composts de bio déchets (fraction fermentescible des ordures ménagères collectée sélectivement), et des composts d'ordures ménagères résiduelles (après collecte sélective des emballages propres et secs), ont été échantillonnés après trois, quatre et six mois de compostage.

Afin de s'affranchir de la variable procédé de compostage, des composts ont également été élaborés en réacteurs de laboratoire à partir d'un procédé unique de compostage d'une durée de 3 mois et des proportions variables de déchets verts, bio déchets, et papiers-cartons. Une gamme de cinq classes de stabilité de la MO des composts a été définie sur la base de la minéralisation résiduelle du carbone. La caractérisation de la Mo des composts a été réalisée à partir de fractionnement chimique (extraction des acides humiques et fulviques) et biochimique (composition en lignine, cellulose, hémicellulose, substances solubles), et par analyse en spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF), et a permis d'interpréter les différences de vitesse de stabilisation. Le degré de maturité étant défini par le niveau de stabilisation de la MO des composts, le classement de stabilité défini précédemment a servi de référence pour la validation d'indicateurs de maturité.

Au cours du compostage, les composts évoluent vers des produits aux caractéristiques de plus en plus proches, indépendantes de leur origine, mais les vitesses de stabilisation dépendent

. (Godden, B. Garnier, 1992)

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

de l'origine des composts. On observe généralement une disparition rapide de la cellulose quand l'azote n'est pas facteur limitant. La dégradation plus lente de la lignine par rapport à la MO totale conduit à son enrichissement relatif au cours du compostage.

Les caractéristiques de la MO de ces composts évoluent peu entre trois et six mois de compostage, la prédominance dans les déchets initiaux, de papiers par nature riches en cellulose, requiert une durée de compostage plus longue pour arriver à des composts stabilisés, sans doute en raison d'un déficit en azote. De ce fait, les composts d'ordures ménagères, plus riches en papiers -cartons, sont encore instables au bout de trois mois, et nécessitent au moins six mois de compostage, avec retournements réguliers, pour se stabiliser. L'influence des bios déchets sur la vitesse de stabilisation des composts n'a pas pu être mise en évidence, car ils ne représentent qu'une faible proportion de la masse sèche des mélanges initiaux, à partir du fractionnement biochimique, on définit l'indice de stabilité biologique (ISB) des composts, indicateur de la proportion de matière organique susceptible d'entretenir la MO des sols. Pour les composts de déchets verts, la faible augmentation de leur ISB couplée à la minéralisation de leur MO au cours du compostage, se traduit par une légère diminution de leur valeur amendante en fin de compostage. En revanche, l'importante stabilisation de la MO des composts d'ordures ménagères au cours du compostage entraîne une augmentation de leur valeur amendante entre trois et six mois qui reste toutefois plus faible que celle des composts de déchets verts (IEA, 2005).



Figure 1 : début de compost

La biodisponibilité potentielle de l'azote des composts, évaluée à partir d'incubations de mélanges sol-compost apparaît faible. L'azote des composts stabilisés se minéralise lentement.

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

L'incorporation au sol des composts instables provoque une forte immobilisation de l'azote du sol, suivi d'une phase de minéralisation à des vitesses supérieures à celles observées avec les

composts stables, parmi les indicateurs de maturité étudiés, le rapport d'humidification ($RH=CAH/CAF$) est le seul indicateur chimique fiable, un RH inférieur à 1 désignant un degré de maturité faible, et un RH supérieur à 1.3 désignant un degré de maturité élevé. Le test d'auto-échauffement est le test de terrain le plus pertinent. Ces deux indicateurs permettent d'évaluer de façon fiable le degré de stabilisation des composts, et d'en déduire des conseils sur leur période d'apport, en tenant compte des risques d'immobilisation de l'azote dans les sols liés à leur utilisation (Francou, 2003).

I.1.1. Azote(N) et rapport (C /N) :

L'azote des amendements organiques est sous forme organique (emprisonné dans la structure des fibres) et sous forme minérale. La forme minérale est disponible immédiatement aux plantes. La fraction organique doit être minéralisée pour devenir disponible aux plantes.

Il y a deux formes d'azote minérale : la forme ammoniacale (NH^+) et la forme nitrate (NO^-). Dans le sol, la forme ammoniacale se transforme rapidement en forme nitrate, mieux absorbée par les plantes, grâce à l'activité des bactéries. Ce processus demande de l'oxygène et par conséquent, un sol bien aéré et non compact. En l'absence d'air, les nitrates sont transformés en composés volatils qui se perdent dans l'atmosphère, ce processus est appelé dénitrification. La capacité d'un fumier ou d'un compost à nourrir les plantes est donc fortement liée à l'état du sol, les fumiers contiennent de l'azote minéral, principalement sous forme ammoniacale, et de l'azote organique, alors que les composts ne contiennent pratiquement que de l'azote organique. Si le fumier n'est pas incorporé rapidement après son épandage, la fraction ammoniacale se perd dans l'atmosphère par volatilisation de l'ammoniac. La vitesse de minéralisation de l'azote organique des fumiers et composts varie avec le type d'amendement, particulièrement son rapport carbone : azote (C/N). Le rapport C/N est le ratio entre la quantité de carbone et la quantité d'azote contenue dans les fumiers et composts. Cette donnée permet d'estimer de façon très grossière la rapidité de minéralisation de l'azote des fumiers et composts. Plus le rapport C/N est élevé, moins l'azote est rapidement disponible (Weill, A. Jein Duval, 2009).

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

. Le lisier est un effluent agricole constitué principalement d'un mélange liquide d'urines et d'excréments d'animaux d'élevage, auquel s'ajoute de l'eau. Sa composition est majoritairement liquide, bien qu'il puisse contenir une faible proportion de résidus de litière, comme de la paille.

. Les déchets biodégradables notamment de déchets verts, de bios déchets ou de déchets organiques, majoritairement composés de matière organique naturelle. Ces matières peuvent être décomposées, à des vitesses variables, par des bactéries et des microchampignons, avant d'être réintégrées dans les écosystèmes.

I.1.2.Matière riche en Carbone :

La bonne dégradabilité des pailles, due à leur faible teneur en lignine, permet un compostage rapide et de qualité. Ce processus réduit le volume initial tout en stabilisant le produit final. Bien qu'il soit possible d'y ajouter d'autres matières organiques, comme le fumier ou les fientes de volailles, ce mélange n'est pas indispensable à la réussite du compost (INRA, 1998).

. La décomposition des litières végétales a été décrite comme étant la deuxième plus importante fonction éco systémique sur terre, après la productivité primaire. Alors que la photosynthèse fournit les apports énergétiques à la plupart des chaînes alimentaires, la décomposition recycle les nutriments, permet leur utilisation future par d'autres organismes et relègue dans l'atmosphère le carbone fixé photo synthétiquement (Mark, 2014).

. L'utilisation des tiges sèches de culture présente plusieurs intérêts importants pour le sol. En se décomposant, elles apportent de la matière organique qui améliore la structure du sol, favorisant une meilleure aération, une capacité de rétention d'eau accrue et limitant le compactage.

I.1.3.Phosphore (P)

Le phosphore du fumier ou du compost est surtout sous forme organique. De 50 à 70 % du phosphore des fumiers et composts devient disponible aux plantes durant la saison de croissance. En fertilisation, les quantités de phosphore sont toujours données en termes de P_2O_5 (Weill, A. Jein Duval, 2009).

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

I.1.4.Potassium (K)

Le potassium du fumier ou du compost est principalement sous forme minérale et est immédiatement disponible aux plantes. En fertilisation, les quantités de potassium sont toujours données en termes de K_2O (Weill, A. Jein Duval, 2009).

I.1.5.L'eau

L'humidité est essentielle pour permettre l'activité des micro-organismes, un bon compost démarre avec une teneur en eau entre 50 et 60 %, et termine autour de 30 %,si le compost est trop sec, le processus ralentit, s'il dépasse 65 % d'humidité, des conditions anaérobies (manque d'oxygène) apparaissent, ce qui nuit à la qualité du compost (ADEM, 2010).

I.1.6.L'aération

Est essentielle dans le compostage aérobie, surtout au début du processus. Elle fournit l'oxygène nécessaire à l'activité des micro-organismes aérobies, qui assurent la décomposition. En cas de manque d'oxygène, la dégradation ralentit et peut devenir inefficace. Une bonne aération aide aussi à évacuer l'excès de chaleur, la vapeur d'eau et les gaz, réduit les risques de surchauffe, notamment en climat chaud, pour garantir une bonne circulation de l'air, il est important de bien gérer la taille des particules, l'humidité, le volume du tas et les retournements réguliers (ADEM, 2010).

I.1.7.Les microorganismes décomposeurs

Il existe 2 types de décomposition ou processus de compostage aérobie et anaérobie, la décomposition aérobie s'effectue en présence d'oxygène (O_2), elle est rapide et dégage beaucoup de chaleur. Lors du compostage.

La décomposition aérobie Le processus de compostage aérobie débute par la formation du tas, dans de nombreux cas, la température atteint rapidement 70 à 80°C au cours des deux premiers jours, des organismes mésophiles (dont la température de croissance optimale est comprise entre 20 et 45°C) se multiplient rapidement grâce aux sucres et acides aminés facilement disponibles. Ils produisent de la chaleur par leur propre métabolisme et élèvent la température à un point tel que leurs propres activités sont inhibées, quelques champignons ainsi que de nombreuses bactéries thermophiles (dont la température de croissance optimale est

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

comprise entre 50 et 70°C) poursuivent le processus, en augmentant la température du compost à 65°C, voire même plus. Cette hausse de température est cruciale pour la qualité du compost car la chaleur tue les pathogènes et les graines d'adventices.

La phase active de compostage est suivie par une période de maturation, pendant laquelle la température du tas diminue graduellement, le début de cette phase est identifiable lorsque le retournement ne provoque plus d'augmentation de la température du mélange, un autre groupe de champignons thermophiles apparaît, responsables d'une étape importante de décomposition des matériaux composant les membranes cellulaires végétales telles que la cellulose et l'hémicellulose. La maturation du compost permet d'éviter les risques entraînés par l'utilisation d'un compost immature: faim d'azote (N) et déficience en oxygène, et effets toxiques des acides organiques sur les plantes.

Finalement, la température diminue jusqu'à la température ambiante quand le compost est prêt le tas devient plus homogène et moins biologiquement actif bien que des organismes mésophiles recolonisent le compost. Le matériau devient brun foncé à noir, les particules sont plus petites et homogènes, et la texture ressemble à celle d'un sol, la quantité d'humus augmente, le rapport entre le carbone et l'azote (C/N) diminue, le pH devient neutre, et la capacité d'échange du matériau augmente.

-Les bactéries, comme tous les autres organismes vivants, ont besoin d'azote et de carbone de source organique. Elles utilisent le carbone comme source d'énergie et par oxydation de ce carbone, elles produisent de la chaleur et du dioxyde de carbone (CO₂). L'azote est leur principale source de protéines, lesquelles leur sont nécessaires à la formation de nouveaux individus et ainsi à la croissance de la population bactérienne. Reproduisent rapidement par fission binaire avec durée de vie d'une génération peut être aussi courte que 20 à 30 minutes.

-Les vers de terre jouent un rôle fondamental parmi les grands décomposeurs dans un tas de compost. Ces vers mesurant environ 5 cm, se nourrissent principalement de micro-organismes (bactéries, champignons, protozoaires) ainsi que de matière organique en décomposition, ils produisent un humus riche en nutriments tout en aérant le compost grâce à leurs déplacements.

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

Contrairement à d'autres décomposeurs leur action combine à la fois une décomposition chimique et physique (par le brassage du sol).

-Les champignons, bien que moins nombreux que les bactéries ou les actinomycètes, sont généralement plus volumineux et jouent un rôle crucial dans le compostage. Dépourvus de chlorophylle, ils ne peuvent pas réaliser la photosynthèse. Ils tirent donc leur énergie en décomposant la matière organique morte ou vivante. Ces organismes multicellulaires sont particulièrement efficaces pour dégrader des composés complexes comme la cellulose ou la

lignine. Les champignons interviennent surtout aux premières et dernières étapes du compostage, lorsque la matière organique est plus facilement assimilable, ils préfèrent généralement des milieux légèrement acides, ce qui influence leur présence dans le processus de décomposition.

- Les actinomycètes sont des bactéries filamenteuses qui jouent un rôle crucial dans la décomposition de la matière organique et la formation de l'humus. Ils sont moins abondants que les bactéries dites "inférieures", ils sont essentiels dans les écosystèmes terrestres. Ces micro-organismes préfèrent des conditions de pH neutre à légèrement alcalin (supérieur à 5.0), une température modérée et un niveau d'humidité moyen. Ils interviennent principalement aux derniers stades de la décomposition, s'attaquant aux matières organiques plus résistantes. Leur activité libère des nutriments tels que le carbone, le nitrate d'azote (NO_3^-) et l'ammonium (NH_4^+), rendant ces éléments disponibles pour les plantes, les actinomycètes sont connus pour produire des antibiotiques naturels qui inhibent la croissance d'autres bactéries, et sont responsables de l'odeur caractéristique de terre humide associée à l'humus (INRAE, 2012).

✓ La décomposition anaérobie pour sa part, s'effectue en absence d'oxygène (ou très peu) mais en présence d'un bon niveau d'humidité. Le résultat d'une fermentation anaérobie est la formation de substances ammoniacales et des sulfates d'hydrogène, ces derniers étant responsable de l'odeur d'œufs pourris (Haug, 1993).

I.2. Les avantages de compost

I.2.1.Matière organique du sol

Le compost a une teneur élevée en matière organique et peut facilement augmenter le niveau de matière organique dans les sols. Il en résulte une meilleure stabilité structurale du sol,

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

une meilleure capacité de rétention d'eau et un taux d'infiltration plus élevé, ainsi qu'une capacité d'échange cationique supérieure (FUE, 2020).

I.2.2. Abondance et diversité microbienne

L'une des caractéristiques uniques du compost est son abondance et sa diversité microbienne. Comme les microbes sont les principaux acteurs du processus de compostage, le compost contient une vaste gamme de bactéries, d'archées et de protozoaires. Ceci stimule l'activité microbienne des sols amendés avec du compost. Le vermicompost a une biodiversité encore plus élevée, car il ne nécessite pas de phase thermique, aucune perte de microbes ne se produit en raison de températures élevées (FUE, 2020).

I.2.3. Elimination des maladies du sol

Les microbes jouent un rôle très important en soutenant les plantes et en leur fournissant des nutriments, mais aussi en éliminant les maladies du sol. Beaucoup de composts ont la capacité de réprimer l'activité des agents pathogènes. Les effets directs comprennent la compétition microbienne pour les nutriments, les substances humiques, les substances volatiles toxiques ou les effets parasitaires directs, les effets indirects des composts sont une croissance vigoureuse ou saine des plantes, une réduction du stress, une résistance induite et une amélioration de la structure du sol, bien que le compost ne soit pas un agent phytosanitaire en tant que tel, il peut être d'une grande aide pour réduire la pression des maladies du sol (FUE, 2020).



Figure 2: Mécanisme de compostage

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

I.2.4. Disponibilité des nutriments

La disponibilité des éléments nutritifs dans le compost est également due à l'activité microbienne non seulement certains des éléments nutritifs contenus dans le compost sont immédiatement disponibles pour les plantes, mais lorsqu'ils sont enfouis dans le sol, les microbes du compost commencent à mobiliser les éléments nutritifs du sol, ce qui rend ces derniers assimilables par les plantes, peuvent contrôler ces effets grâce à leurs exsudats racinaires (FUE, 2020).

I.3. Le fumier bovin :

C'est le fumier le plus couramment composté, la composition du fumier d'origine conditionne en grand partie la qualité du compost en fin de processus, ainsi la meilleure

façon d'obtenir un bon compost est d'utiliser un fumier de litière accumulée. Pour un bon équilibre entre carbone et azote, la quantité de paille à apporter est de 7 kg/Unité de gros bétail(UGB)/jour en moyenne. Le compostage est donc bien adapté aux systèmes d'élevage avec aire paillée ou stabulation entravée très paillée. Notons que cette quantité de paille est également fonction de l'alimentation des animaux.

L'ajout de paille à un fumier « mou » reste envisageable, mais s'avère contraignant à manipuler, ce qui entraîne un surcoût en main-d'œuvre, pour des résultats souvent peu satisfaisants. Dans le cas des fumiers issus du raclage, il est toutefois possible d'incorporer de la paille avant chaque passage du ³rabot. L'efficacité en matière d'absorption des déjections varie selon la longueur des brins et le type de paille utilisé, l'usage de litière présente également des atouts, tant sur le plan sanitaire que pour le bien-être animal et les conditions de travail de l'éleveur.

Le nombre de retournements nécessaires dépend à la fois de la qualité initiale du fumier et des objectifs fixés pour le compostage par exemple, en vue d'un épandage sur prairie visant à éliminer les pathogènes et parasites animaux, un troisième retournement peut s'avérer indispensable si l'andain n'a pas atteint une température suffisante pendant une durée adéquate, pour un usage en grandes cultures sans exigence particulière d'assainissement (hormis les aspects phytosanitaires), un seul retournement peut suffire.

(ITAB, 2001)

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

I.3.1.Déchets ménagers et assimilés

Les déchets de cuisine constituent une excellente ressource pour le compostage. Riches en azote, ils participent à l'équilibre des matières organiques nécessaires à un compost de qualité. En voici quelques exemples :

- Épluchures de fruits et légumes : elles sont particulièrement nutritives et se décomposent facilement.
- Marc de café et filtres en papier : apportent de l'azote tout en améliorant la structure du compost.
- Pain et produits laitiers : bien qu'à utiliser avec modération, ils se dégradent correctement et enrichissent le compost.
- Fanes de légumes : très riches en nutriments, elles se compostent rapidement.
- Fruits et légumes abîmés : parfaits pour fournir une matière organique diversifiée.

I.3.2.Les déchets sec :

Feuilles mortes : Elles apportent du carbone et aèrent le compost.

Tailles de haies : À broyer si possible pour faciliter la décomposition.

II.Le bio char

Le « bio char » est une forme de charbon végétal produit par la pyrolyse de matières organiques telles que les sous-produits de la filière bois, résidus agricoles, déjections solides, déchets verts ou déchets alimentaires. Ce processus de conversion thermique se déroule en l'absence d'oxygène, transformant la biomasse en un matériau carboné stable. Le biochar pourrait avoir des propriétés bénéfiques en agriculture et en gestion durable des sols en tant qu'amendement du sol, améliore en effet la rétention d'eau, la fertilité et la séquestration du carbone, contribuant ainsi à la lutte contre les changements climatiques (Lehmann, J. Joseph, S, 2009).

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

En termes simples, le biochar est un produit riche en carbone obtenu lorsque de la biomasse comme du bois, du fumier ou des feuilles est chauffée dans un récipient fermé, avec peu ou pas d'oxygène disponible.

- d'en améliorer la fertilité,
- de favoriser la séquestration du carbone (C),
- ou de filtrer l'eau qui percole à travers le sol.

Le mode de production, ainsi que l'utilisation prévue, forment généralement la base de sa classification et de sa dénomination, la différence du bio char, riche en carbone organique, la combustion complète de la biomasse donne lieu à des cendres, composées principalement de minéraux comme le calcium (Ca), le magnésium (Mg), ou encore de carbonates inorganiques, dans la plupart des feux, une petite partie de la végétation ne brûle que partiellement dans des

zones où l'oxygène est peu disponible, et reste sous forme de charbon partiel (Kuhlbusch, T; A. J; Crutzen, P, 1995).

La propriété déterminante du biochar est que sa fraction organique contient un taux élevé de carbone, constitué principalement de composés aromatiques c'est-à-dire de cycles de six atomes de carbone liés entre eux, sans atomes d'oxygène ni d'hydrogène, qui sont pourtant courants dans la matière organique vivante, si ces cycles aromatiques étaient parfaitement empilés et alignés, on obtiendrait alors une forme appelée graphite. aux températures utilisées pour la fabrication du biochar, le graphite ne se forme pas de manière significative. À la place, se développe une structure beaucoup plus (Joseph, 2009).

II.1. Les avantages du bio char

II.1.1. Améliore le pH du sol à faible coût

Augmenter le pH du sol pour neutraliser son acidité à l'aide d'amendements calciques à l'exemple de la chaux est une opération coûteuse et non justifier économiquement pour le petit agriculteur contient aussi les principes actifs que ces amendements et peut être produit à faible coût.

La presque majorité des biochar produit sont alcalin avec des pH variant de 7-10, l'alcalinité

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

observée dépend de la proportion des cendres ainsi que des groupements carboxyliques observés dans chaque type de biochar. Ces cendres riches en carbonates (fumier) ou anions organiques concourent après leur hydrolyse à la neutralisation de l'acidité du sol et au relèvement (Zech, W; Schad, P; Hintereiner, E., 2002).

II.1.2. Augmente la capacité de rétention des éléments minéraux et la disponibilité du phosphore dans le sol

Les sols tropicaux acides du fait de leur charge positive en milieu acide (conséquence du faible taux de matière organique et du type d'argile rencontré) ont une faible capacité à retenir les grandes quantités d'éléments fertilisants. C'est pourquoi il est recommandé de fractionner les apports d'engrais afin d'éviter leur lessivage et que ceux-ci ne se retrouvent dans les eaux souterraines et rivières. Augmentant le pH du sol permet non seulement de résoudre le problème d'acidité mais aussi permet au sol d'avoir une charge nette négative et de retenir plus d'éléments fertilisants. Les nutriments sont plus accessibles, et cela protège également les plantes de la toxicité due à l'aluminium qui est présent dans ces sols argileux en particulier, freine la croissance des plantes et limite la production agricole (Sanchez, 1976).

II.1.3. la nutrition minérale

A travers les éléments minéraux contenus dans les cendres, le biochar augmente la disponibilité du phosphore pour la plante dans le sol. En milieu très acide, les apports d'engrais phosphatés se retrouvent fixés dans le sol et non disponibles aux plantes, en revanche le biochar une fois appliqué au sol va libérer des anions organiques qui vont combler les sites de fixation du phosphore de l'argile et permettre ainsi aux engrais phosphatés d'être disponibles aux plantes après application. De plus les groupements carboxyliques rattachés à la structure hétérocyclique que constitue le char contribuent aussi à la rétention des éléments minéraux (Wei, 2014).

II.1.4. Stimule la vie microbienne du sol

Bien que la structure du carbone du biochar est résistante à l'attaque par les microorganismes. Des études ont montré qu'une faible proportion du carbone contenue dans le biochar peut être disponible aux microorganismes. C'est ce carbone labile qui va stimuler l'activité microbienne du sol, plusieurs microorganismes des sols à l'exemple des bactéries ont un développement optimal en milieu proche de la neutralité (pH 6-7). Issus des biomasses présentant un système vasculaire contiennent de nombreux micro et macrospores qui peuvent

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

être utilisés par les microorganismes comme refuges contre les prédateurs. Des travaux de recherches ont montré certaines évidences que le bio char aura un effet bénéfiques sur les mycorhizes, un champignon du sol qui vit en symbiose avec les racines des plantes, en facilitant le développement des bactéries et des champignons il aide à une meilleure structuration du sol le milieu devient alors moins sensible au feu et à l'érosion (Fritze, H; Pennanen, T; Pietikäinen, J;, 2000).

II.1.5. Améliore la porosité et participe à l'épuration du sol et de l'eau

Le biochar est un matériau poreux et de faible densité ($< 0.5 \text{ g/cm}^3$) son incorporation dans le sol augmente la porosité et l'aération du sol, rendant ainsi le sol propice au développement racinaire des plantes. Cette propriété peut être exploitée pour croissance rapide des plants mis en pépinières, certains bios chars possèdent aussi une surface spécifique grande qui leur permet d'absorber les polluants organiques et les métaux lourds dans le sol. La structure microporeuse du charbon de bois lui permet de retenir et de fixer de nombreuses molécules

toxiques (des métaux lourds, notamment) présentes dans l'eau et de contribuer à sa dépollution (Gascó, G; Méndez, A;, 2012).

II.2. Application du bio char

Pendant la pyrolyse, la structure de la biomasse est transformée en une structure très poreuse. La matrice est composée presque entièrement de carbone stable. Les applications du bio char sont nombreuses. En agronomie, il possède des propriétés de rétention d'eau dans les minuscules pores de la matière. Ces pores sont de taille suffisamment importante pour permettre à l'eau d'être retenue, tout en lui permettant d'être libérée par la suite. La rétention d'eau est nécessaire non seulement pour fournir de l'eau aux plantes, mais aussi pour les micro-organismes du sol, il constitue un habitat pour ces derniers, tels que les mycorhizes qui vivent en symbiose avec les plantes et les aident à se développer par sa forte porosité. La surface de la matrice poreuse du biochar possède des charges électriques négatives qui entraînent l'échange de cations nutritifs chargés positivement. Cependant, ces cations ne sont pas si solidement liés car ils sont libérés pour être absorbés par les plantes, avant toute utilisation du biochar, un prétraitement est nécessaire pour l'utiliser au meilleur de son potentiel. Par exemple, mélangé avec un engrais organique, il absorbera les nutriments et les micro-organismes présents dans l'engrais, tout en empêchant ces nutriments d'être lessivés (Harcourt, T).

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

Avant d'appliquer le biochar il est important de noter que lors de la pyrolyse toute l'azote contenue dans la biomasse originelle est soit piégé dans la structure aromatique ou volatilisé, n'apportera pas d'azote d'où la nécessité d'associer au biochar une source d'azote afin d'éviter le phénomène d'immobilisation de l'azote du sol en cas application ⁴de biochar ayant un taux de volatile élevé. Le biochar peut être associé au compost, dans ce cas le compost fournira la matière carbonée nécessaire à la vie microbienne du sol tandis que le biochar aidera à enrichir le sol en carbone. Contrairement à l'azote les autres éléments nutritifs contenus dans les cendres ou la structure carbonée peuvent être disponibles aux plantes. Les doses peuvent aller de 5-50t/ha dépendant du type de sol (Gerard, L, 2015).

II.3. Le bio char comme amendement du sol

L'amélioration des sols n'est pas un luxe, mais une nécessité dans de nombreuses régions du monde. L'insécurité alimentaire est particulièrement répandue en Afrique subsaharienne et en Asie du Sud, où la malnutrition touche respectivement 32 % et 22 % de la population totale (FAO, 2006).

Alors que la malnutrition a diminué dans de nombreux pays entre 1990–1992 et 2001–2003, plusieurs nations d'Asie, d'Afrique ou d'Amérique latine ont au contraire connu une augmentation de ce fléau (FAO, 2006). La « Révolution verte », initiée par le prix Nobel Norman Borlaug, au cours de là Le Centre international pour l'amélioration du maïs et du blé (CIMMYT), créé au Mexique dans les années 1940, a connu un grand succès en augmentant la productivité agricole en Amérique latine et en Asie, ces succès reposaient principalement sur des avancées technologiques agricoles, telles que : des variétés de cultures améliorées, l'irrigation, et l'apport d'engrais et de pesticides. La gestion durable des sols n'a été réclamée que récemment, avec pour objectif de créer une « double révolution verte » intégrant des technologies de conservation (Tilman, D; Cassman, K;, 2002).

Il est offre de grandes opportunités pour transformer la Révolution verte en pratique agro écologique durable. En effet, la rentabilité des intrants agricoles, de plus en plus coûteux comme les engrais, dépend d'un niveau adéquat de matière organique dans le sol, un niveau que la gestion des sols avec du biochar permet de maintenir à long terme (Kimetu, J. M; Lehmann, J;, 2008).

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

En Afrique, en particulier, la Révolution verte n'a pas rencontré un succès suffisant (Evenson, R.;, 2003), en grande partie à cause du coût élevé des intrants agrochimiques (Sanchez, P, 2002), entre autres raisons (Evenson, R, 1960).

Le biochar représente une opportunité unique pour améliorer la fertilité des sols et l'efficacité de l'utilisation des nutriments, en s'appuyant sur des ressources locales, renouvelables et durables.

L'adoption de la gestion par le biochar ne nécessite pas de nouvelles ressources, mais permet une utilisation plus efficace et plus respectueuse de l'environnement des ressources existantes. Les agriculteurs dans des agroécosystèmes à ressources limitées peuvent convertir des résidus organiques et des biomasses combustibles en biochar, sans compromettre le rendement énergétique, tout en obtenant un retour sur investissement rapide. Dans les pays industrialisés comme dans les pays en développement, la perte et la dégradation des sols se produisent à un rythme sans précédent (Stocking, M, 2003), avec des conséquences profondes sur les propriétés

des écosystèmes pédologiques (Matson, P; Parton, W;., 1997),. Dans de nombreuses régions, la perte de productivité des sols persiste malgré une utilisation intensive des intrants. Malgré l'utilisation intensive d'intrants agrochimiques, la productivité des sols continue de décliner, tout en entraînant des impacts environnementaux négatifs sur les ressources en sols et en eau (Foley, J; Robertson, G;., 2005).

Le bio char joue un rôle clé dans l'élargissement des stratégies de gestion durable des sols, en optimisant les pratiques agricoles existantes. Il contribue non seulement à améliorer la productivité des sols, mais aussi à diminuer l'impact environnemental sur les ressources pédologiques et hydriques.

Ainsi, le bio char ne doit pas être considéré comme un substitut aux systèmes actuels de gestion des sols, mais plutôt comme un complément précieux. Il favorise le développement d'une gestion durable des terres, ouvrant la voie à ce que l'on pourrait appeler une véritable « révolution verte du bio char ».

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

Critère	importance
pH (H ₂ O ou KCl)	Neutralisation de l'acidité, la charge
Le taux et le type de cendre	Neutralisation de l'acidité, nutrition minérale, limite la fixation du phosphore
Salinité	Peut contribuer à la dégradation du sol si elle est très élevée
Densité apparente	Donne une indication sur le volume des pores
Taux de carbone	Doit être > 50%
Les ratios atomiques O/C, H/C,	Informe sur le degré de carbonisation et donc la stabilité du biochar. Il doit être inférieur à 0.6
La surface spécifique, porosité	Rétention de l'eau des polluants organiques et métaux lourds
Le taux de matière volatile	Doit être faible < 10%, Un taux élevé (40%) contient du carbone labile pour les microorganismes et peut conduire à l'immobilisation de l'azote du sol. Ce type de charbon produit beaucoup de flammes lorsqu'on le brûle
La capacité d'échange cationique	Rétention des éléments minéraux
Le pouvoir calorifique supérieure	Valeur énergétiques comme combustible
Taux de métaux lourds	Doit être faible
Les hydrocarbures polycycliques et aromatiques	Doit être faible

Tableau 1 : Caractérisation physico-chimique du bio char

II.4. Pourquoi utiliser le bio char en agriculture

Il y a un consensus croissant sur le fait que le biochar serait un ingrédient de la recette du sol idéal pour la capture du carbone, l'augmentation de la teneur en matière organique du sol, la stimulation de la diversité microbienne et surtout l'amélioration de la performance agricole de certains sols. Ce sont tous des facteurs importants qui permettent l'utilisation du char dans la permaculture où la gestion des terres est abordée avec une philosophie à l'échelle de l'écosystème.

Il a été démontré qu'il augmente la diversité des bactéries du sol, qui sont capables de décomposer lentement le char. La prolifération de telles populations est bénéfique pour la santé des cultures. La colonisation du charbon par les bactéries et la formation d'un revêtement organique est peut-être le déterminant le plus important d'une bonne fonction du biochar dans le sol.

Il a été démontré que la présence de biochar dans les milieux de culture a des effets bénéfiques sur la population microbienne. Il a été suggéré que l'efficacité était dû soit aux caractéristiques physiques et chimiques du biochar qui affectent les mycorhizes ou les bactéries

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

du sol, soit à l'effet biocide de certains composants du biochar. Cela a été démontré par l'amélioration des performances des fraises lorsqu'elles sont cultivées dans des milieux de croissance hors-sol en présence de bio char.

Les sols agricoles peuvent présenter des phénomènes de « fatigues des sols », qui se traduisent par des baisses de rendement. Ces phénomènes sont fréquents dans des situations de monoculture (exemples : culture de radis, mâche et vergers). De même, le biochar pourrait apporter une solution au manque d'eau. La fréquence des sécheresses augmentant avec le changement climatique, le biochar pourrait faire partie de la solution. Les propriétés physiques et chimiques du sol sont les plu⁵s importantes propriétés à considérer avant l'utilisation du charbon. En conséquence, les sols denses, insalubres et acides semblent souvent avoir des réactions positives. Ces types de sols doivent bénéficier d'une application de biochar mélangé ou Co composté avec un engrais organique. Si un engrais organique riche tel que le lisier doit être utilisé, le charbon peut être incorporé à un taux de 35% sur une base volumique.

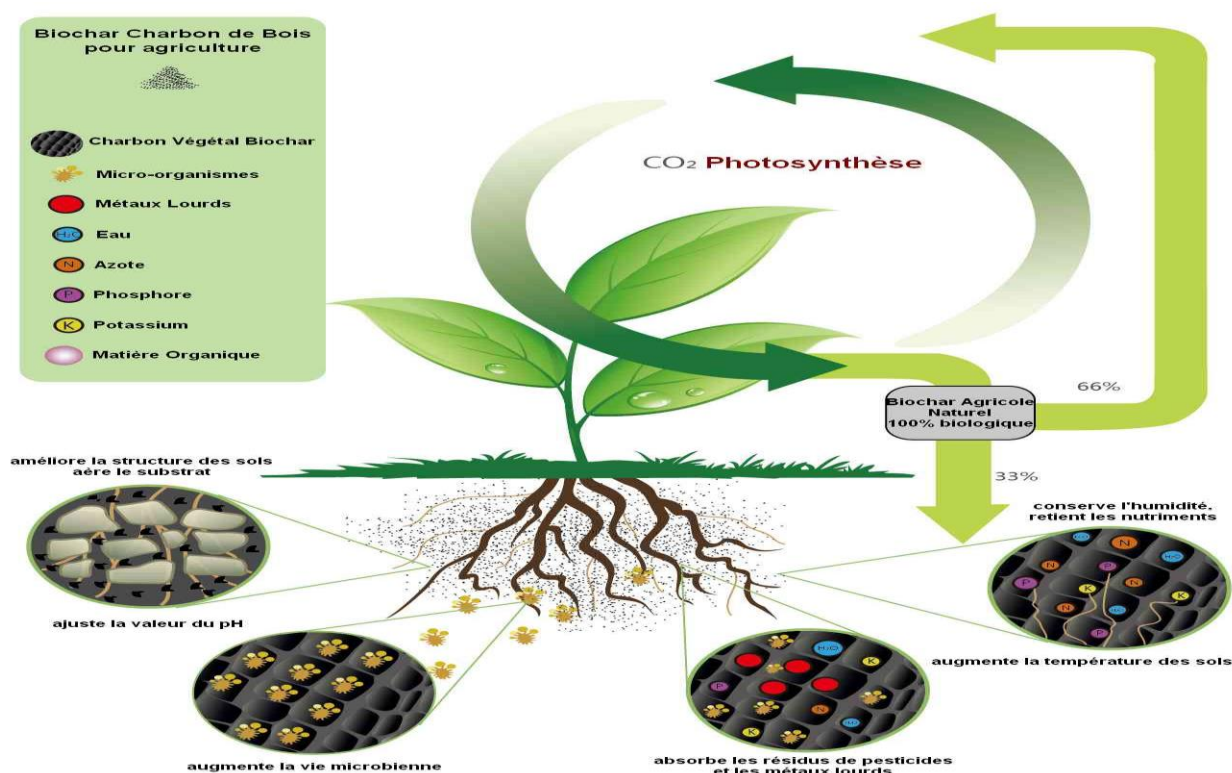


Figure 3: Le charbon pour l'agriculture

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

II.5. Techniques de production de fertilisants à libération lente à base de bio char

Les effets de l'utilisation du bio char pristine comme amendements du sol ont été largement documentés (Liang et al. 2014). Il est une substance poreuse et riche en carbone, provenant directement de la pyrolyse sans aucune modification de ses propriétés physico-chimiques ou biologiques, et utilisé pour amender les sols ou pour l'élimination des polluants (Amusat, S. et al).

Malgré ses nombreux avantages, le bio char issu de la pyrolyse est généralement trop pauvre en nutriments, et par conséquent libère peu de nutriments lorsqu'il est directement incorporé au sol (Ding, Y. et al, 2016). Un certain nombre de travaux ont donc mis l'accent sur son traitement avec divers procédés ou modifications, pour produire du bio char enrichi en nutriments ou bio char-SRF, efficace même à faible dose dans le sol (Schmidt et al, 2017).

Ces techniques de modification du bio char sont appelées « activation ou enrichissement ». Il existe plusieurs techniques d'activation du bio char, dont le but est de créer certaines propriétés pour des usages spécifiques.

II.5.1. Activation par des modifications chimiques

Cette technique permet de changer la composition chimique du bio char, pour accroître les propriétés absorbantes et structurales indispensables pour modifier la cinétique globale de relargage des nutriments (Rombel et al. 2022). Il s'agit généralement de prétraitement de la biomasse qui se déroule avant la pyrolyse, et se fait principalement avec des substances acides (HNO_3 , H_2SO_4 , HCl , H_3PO_4), basiques (KOH et NaOH), ou avec des substances comme FeCl_3 , $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, MgCl_2 , NH_4Cl , ZnCl_2 (Sun, K et al, 2018).

Le prétraitement agit directement sur le taux d'adsorption des nutriments grâce à l'augmentation de la surface spécifique, ou le développement d'une affinité pour l'adsorption de certains éléments comme les phosphates (Fang, W et al, 2020), il convient de souligner que l'efficacité de la modification chimique dépend du type de biomasse et des caractéristiques de pyrolyse, qui conditionne la réussite de la modification et peut souvent aboutir à une faible adsorption des nutriments ou cibler les nutriments inappropriés (Al-Rawajfeh et al, 2019).

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

En plus des prétraitements chimiques, l'élévation progressive de la température au cours de la pyrolyse est l'une des techniques permettant de réduire la taille de pores, et cela a pour répercussion la diminution de la vitesse de libération (Ma & Zhang, L, 2016).

II.5.2. Activation par enrobage de bio char

L'enrobage du bio char est une méthode utilisée pour réguler la cinétique de libération des nutriments, et améliorer l'efficacité de leur utilisation par les plantes. Ce procédé consiste à encapsuler physiquement les granules d'engrais à base de bio char dans des matériaux hydrophobes organiques ou inorganiques, qui agissent comme une barrière de diffusion des éléments nutritifs (Hagemann, N; Harter, J;et al, 2017). Parmi les matériaux de revêtement, on trouve divers matériaux polymères et non polymères qui peuvent être biodégradables ou non. Pour des questions de durabilité, il est recommandé d'opter pour des revêtements biodégradables et accessibles localement tels que la bentonite, l'amidon etc., ou des combinaisons d'huiles minérales (Naz, M & Sulaiman, S, 2016).

II.5.3.Activation par adjonction du bio char

Aux engrais de synthèse : c'est la forme la plus simple et la plus pratiquée, consiste à mélanger le bio char avec des engrais commerciaux ou en recouvrant les engrais d'une couche de bio char, ou en l'associant durant le compostage (Cissé et al, 2022).



Figure 4 : le charbon

III. Engrais vert

Les engrais verts sont des plantes à croissance rapide, généralement cultivées en fin ou en début de saison, lorsque la parcelle n'est pas occupée par une culture de production. Ils forment rapidement une bonne couverture végétale à la surface du sol, le protègent du soleil, des pluies battantes, du lessivage..., limitent la prolifération des mauvaises herbes et fixent une série d'éléments nutritifs dans leur biomasse. Leur décomposition stimule l'activité biologique du sol et notamment la vie microbienne, produit de l'humus qui améliore la structure du sol, le protège du lessivage et améliore sa rétention en eau, les éléments nutritifs (dont l'azote) sont restitués progressivement et donc disponibles longtemps pour la culture suivante, ils augmentent souvent la capacité du sol à supprimer des agents pathogènes (biologique, Initiation au jardinage, 2014).

Depuis longtemps, les agriculteurs utilisent des cultures d'engrais verts pour enrichir leur sol en matières organiques, les engrais verts se décomposent pour former divers types de matières organiques, les résidus d'engrais verts matures et fibreux caractérisés par un rapport carbone-azote (C:N) relativement élevé sont généralement composés de lignine qui ne se décomposent pas facilement. Cette décomposition lente produit des matières organiques stables

et persistantes communément appelées « humus », seule une très petite portion des résidus de l'engrais vert se transforme en matières organiques stables. Le producteur qui cherche à accroître la teneur du sol en matières organiques aura avantage à envisager des cultures d'engrais verts qui produisent de grandes quantités de biomasses fibreuses et matures, il est alors préférable d'éviter

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

les cultures qui produisent de jeunes plantes « succulentes » et des légumineuses fixatrices d'azote (Jobin, P; Douville;, 2015).

Engrais vert	Caractérisations
Trèfle blanc	Vivace, développement pas trop important si pas laissé plus d'un an, mellifère
Vesce	Annuelle, croissance rapide, étouffe les autres plantes, production importante de matière organique, mellifère Souvent semée en association avec une graminée
Féverole	Annuelle, souvent semée en association avec une graminée
Épinard	Annuelle, productive, décomposition rapide, adapté à la culture intercalaire Sols frais, non calcaires
Seigle	importante couverture du sol, effet concurrentiel, libère des toxines anti-germination, résiste au froid Tous sols, même pauvres et lourd
Phacélie	Système racinaire puissant, croissance rapide, productive, mellifère Tous sols, même lourds

Tableau 2 : Q quelque type d'engrais vert

III.1. Avantages associés à l'utilisation d'engrais verts

❖ Ajout de matières organiques au sol

Depuis longtemps, les agriculteurs utilisent des cultures d'engrais verts pour enrichir leur sol en matières organiques. Une fois enfouis, les engrais verts se décomposent pour former divers types de matières organiques. Les résidus d'engrais verts matures et fibreux caractérisés par un rapport carbone-azote (C:N) relativement élevé sont généralement composés de lignine qui ne se décomposent pas facilement. Cette décomposition lente produit des matières organiques stables et persistantes communément appelées « humus ». Souvent, seule une très petite portion des résidus de l'engrais vert se transforme en matières organiques stables. Le

producteur qui cherche à accroître la teneur du sol en matières organiques aura avantage à envisager des cultures d'engrais verts qui produisent de grandes quantités de biomasses fibreuses

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

et matures. Il est alors préférable d'éviter les cultures qui produisent de jeunes plantes « succulentes » et des légumineuses fixatrices d'azote (Sullivan, 2003).

➤ Stimulation de l'activité biologique du sol

Les matières végétales jeunes et fraîchement cultivés (notamment les légumineuses) contiennent des substances facilement disponibles qui servent de nourriture aux micro-organismes du sol. Une fois enfouies dans le sol, elles produisent très peu et même parfois aucunes matières organiques stables. Par contre, elles peuvent stimuler considérablement l'activité biologique du sol, entraînant ainsi un accroissement de la minéralisation des matières organiques (la libération d'éléments nutritifs provenant de la décomposition des matières organiques). De plus, l'activité biologique du sol favorise la mise en disponibilité de certains éléments nutritifs pour les végétaux (Cole, M, 1999).

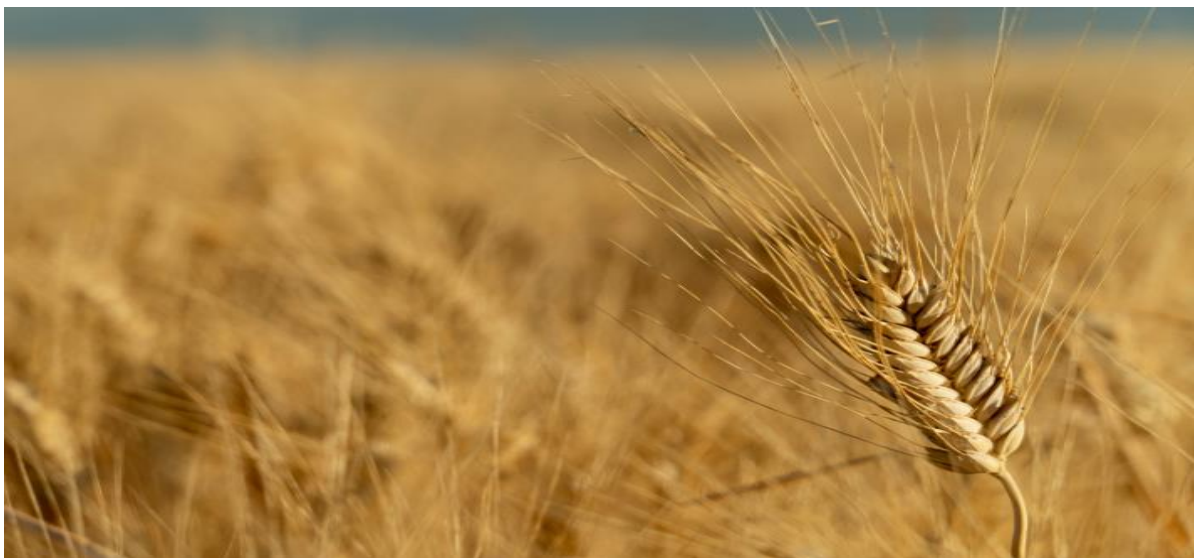


Figure 5 : Maturation du blé dur après utilisation du foin de luzerne comme amendement

Labour de céréales sous-ensemencées de ray-grass annuel. Rapport C:N de divers amendements organiques et engrais verts Les propriétés des résidus d'engrais verts sont donc très importantes, car elles exercent une influence directe sur les processus de décomposition de la matière organique (humification et minéralisation) et sur d'autres aspects de la nutrition des

végétaux. Les engrais verts jeunes « succulents » et à faible rapport C:N, alimentent les micro-organismes du sol, alors que les engrais verts matures et fibreux tels que les pailles de céréales, forment des matières organiques plus stables, mais stimulent peu l'activité biologique du sol ,une

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

bonne couverture végétale, en plus de protéger la surface du sol, a un effet favorable sur le développement des microorganismes à proximité des racines (dans la rhizosphère). Les racines de cultures en pleine croissance libèrent des substances qui soutiennent et stimulent l'activité biologique du sol. Par conséquent, même une culture de couverture semée tard à l'automne, bien qu'elle ne procure pas de biomasse importante à enfouir, peut stimuler les populations d'organismes dans le sol (Sullivan, D, 2003).

➤ Amélioration de la structure du sol

En général, les sols à forte teneur en matières organiques qui ont une activité biologique intense présentent également une excellente structure. En effet, l'activité biologique et les matières organiques favorisent une bonne agrégation du sol tout en améliorant sa stabilité et sa porosité. Il s'ensuit une bonne rétention de l'eau et une protection accrue contre l'érosion. De plus, le passage de l'équipement agricole ne compacte pas aussi facilement un sol bien structuré, qu'un sol qui ne l'est pas. Les micro-organismes (tels les lombrics) et micro-organismes du sol contribuent de façon importante à l'amélioration de ses caractéristiques physiques, en creusant des tunnels, en décomposant ou en digérant la matière organique, et en sécrétant des substances « collantes » qui favorisent une bonne structure du sol. Bon nombre de cultures commerciales, notamment les légumes-racines, profitent grandement d'une structure du sol améliorée sur le plan de la qualité et du rendement. Par ailleurs, la plupart des cultures fourragères (trèfles et graminées) et céréalières sont d'excellents amendements du sol, car leur système racinaire imposant, robuste et peu profond contribue à ameublir le sol. Les mélanges de pâturages, de foin ou d'ensilage vivaces, le ray-grass annuel et le seigle d'hiver sont de bons exemples de ces cultures.

➤ Recyclage, Préservation et ajout d'élément nutritif

On pédologiques profonds du sol et de les amener à la surface, près de la rhizosphère des cultures commerciales subséquentes. Certaines cultures d'engrais verts sont aussi réputées pour sont capables d'extraire les éléments nutritifs des horizons pédologiques profonds du sol et de les amener à la surface, près de la rhizosphère des cultures commerciales subséquentes. Certaines cultures d'engrais verts sont aussi réputées pour é à extraire les nutriments difficiles d'accès pour d'autres végétaux. L'assimilation du phosphore du sol par le sarrasin et l'avoine est un exemple de ce phénomène. Les engrais verts à racines profondes sont capables d'extraire les éléments nutritifs des horizons pédologiques profonds du sol et de les amener à la surface, près de la rhizosphère des cultures commerciales subséquentes. Certaines cultures d'engrais verts sont aussi réputées pour é à extraire les nutriments difficiles d'accès pour d'autres végétaux.

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

L'assimilation du phosphore du sol par le sarrasin et l'avoine est un exemple de ce phénomène. Leur capacité à extraire les nutriments difficiles d'accès pour d'autres végétaux. L'assimilation du phosphore du sol par le sarrasin et l'avoine est un exemple de ce phénomène. Les cultures de couverture automnales telles que les crucifères semées après la culture principale, servent à capter et à retenir des nutriments qui, autrement, pourraient être lessivés.

➤ Contre les maladies

L'emploi d'engrais vert dans des rotations de cultures bien planifiées aide à briser le cycle biologique de bon nombre de champignons, bactéries, insectes et nématodes ravageurs. Pour briser le cycle biologique des ravageurs, il importe de sélectionner un engrais vert d'une autre famille que la future culture commerciale pour éviter d'héberger des ravageurs susceptibles d'avoir un impact négatif sur cette dernière. Les engrais verts peuvent aussi attirer des organismes bénéfiques, prédateurs ou parasites d'espèces indésirables. On affirme que certains cultivars de crucifères et de millet perlé peuvent réduire les populations de nématodes nuisibles. Pour les cultures en rangs, les cultures compagnes ou cultures intercalaires peuvent aussi diminuer la pression exercée par les insectes en rendant la culture commerciale plus difficile à trouver. Un environnement diversifié tend à réduire le risque de prolifération de certains ravageurs (Sarrantonia, M, 1994).

➤ Lutte contre les mauvaises herbes

Plusieurs cultures d'engrais verts sont dites « étouffantes », car elles servent à contrôler ou réduire les populations de mauvaises herbes. Les meilleurs résultats à cet égard s'obtiennent avec les cultures qui germent et recouvrent rapidement le sol et qui produisent une épaisse couverture végétale. Le sarrasin, certaines céréales printanières et le seigle d'automne sont de bons exemples de cultures étouffantes. Ces plantes concurrencent les mauvaises herbes pour s'accaparer l'humidité, la lumière du soleil, l'espace, et les nutriments (l'azote, par exemple). Il est à noter que certains engrais verts étouffants tels que le millet japonais, les hybrides de sorgho du Sudan, et les ray-grass annuels s'établissent lentement au début, mais ont tendance à bien compétitionner plus tard en saison. Il est souvent recommandé de faucher ces dernières cultures tôt en saison pour stimuler leur regain et pour éliminer les mauvaises herbes annuelles qui pourraient produire des graines (Sarrantonia, M, 1994).

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

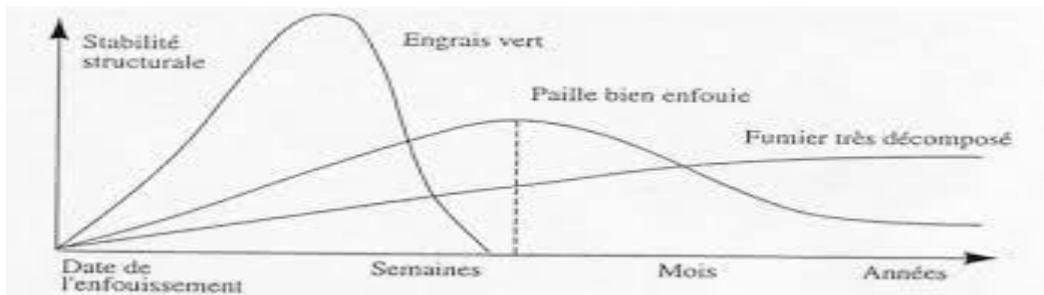


Figure 6 : Effet de l'enfouissement sur la stabilité structurale des sols



Figure 7 : type d'engrais vert

III.2. Engrais verts et fertilisation

Les engrais verts apportent au sol des matières organiques qui se dégradent rapidement. Ils produisent donc peu de substances humiques, d'autant moins que leurs tissus sont jeunes et peu lignifiés. Ils peuvent par contre améliorer la nutrition Les engrais verts à base de légumineuses enrichissent le sol en azote par fixation symbiotique de l'azote de l'air. Cette fixation est importante lorsque le sol n'est pas trop riche en azote, ce qui favorise le développement des nodosités racinaires, siège de la fixation. Un couvert de 3 tonnes/ha de vesce pourrait ainsi remettre à disposition 50 à 100 unités d'azote disponibles. L'effet sera variable en fonction de la culture suivante (besoins correspondant aux périodes de minéralisation) et des conditions pédoclimatiques, les engrais verts remettent à disposition des éléments fertilisants en quantités importantes et sous des formes plus disponibles), la quantité de phosphore assimilable augmente après la culture d'un engrais vert, il semblerait que les crucifères aient l'aptitude d'extraire du potassium des minéraux silicatés du sol.

III.3. Itinéraire de culture des engrais verts

Pour mettre en place un engrais⁶ vert, il faut impérativement disposer d'une période suffisamment longue au minimum 2 mois en été (1 mois de culture et 1 mois de délai avant la culture suivante) au minimum 4 à 6 mois pour les semis de printemps et d'automne.

(CENTREX, 1999)

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

3.1.Préparation du sol et semis

Si possible des semences biologiques, ou à défaut des semences non traitées. ^Î Aucune fumure de fond n'est nécessaire pour l'engrais vert ; il peut cependant être intéressant d'apporter avant l'engrais vert la fertilisation destinée à la culture suivante (amendement et engrais), bien travailler le sol en profondeur et en surface : sous-soleuse, roto bêche, herse rotative... afin de réaliser un parfait lit de semences, condition déterminante pour la réussite de l'engrais vert, en sol très enherbé, un faux semis permettra de limiter le niveau d'adventices dans la parcelle.

Semer l'engrais vert en respectant les doses et la profondeur de semis puis tasser le lit de semences par un passage de rouleau. ^Î Sous abris ou en l'absence de pluies en plein champ, arroser par aspersion immédiatement après le semis, puis pratiquer des aspersion régulières afin d'assurer une croissance rapide et homogène.

3.2. En cours de culture :

⁷ Irrigations éventuelles par aspersion, réalisation d'une coupe de nettoyage (fauche à un niveau assez haut), en cas de floraison précoce de l'engrais vert (cas fréquent pour les crucifères) ou des adventices. Cette coupe pourra permettre de favoriser un redémarrage vigoureux de l'engrais vert et facilitera le broyage final.

3.3.Le broyage :

Période de broyage : avant la montée à graines assez tôt avant l'installation de la culture suivante (30 à 50 jours), afin d'assurer une préparation de sol convenable : (le délai doit en général être plus long pour les semis directs que pour les plantations). Avant tout phénomène de verse (risque si densité forte et pluies abondantes) - avant que les tiges soient trop ligneuses, donc difficiles à broyer et à se décomposer et pouvant engendrer des problèmes de faim d'azote ;

^Î méthode de broyage : réalisé de préférence avec un broyeur à marteaux : l'engrais vert est laissé en surface (séchage) durant 1 semaine environ avant enfouissement.

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

3.4.L'incorporation

Superficiel avec un outil à disque ou une roto bêche (quelques cm), puis irriguer si sol sec pour favoriser la décomposition. Il est impératif d'éviter la formation de couches épaisses de déchets de plantes peu décomposés : risques de phytotoxicité, de faim d'azote, de sol soufflé.

III.4. Caractéristiques chimiques de la biomasse azotée produite par l'engrais vert et sa susceptibilité à la minéralisation

Les caractéristiques chimiques déterminantes pour évaluer la susceptibilité à la minéralisation de la biomasse azotée de la CIPAN sont son contenu en N, son rapport C/N et les teneurs en lignine et cellulose

Les fourchettes de variations sont importantes pour l'ensemble des caractéristiques, les biomasses avec un C/N élevé ont généralement des taux de cellulose et de lignine élevés. C'est ce que l'on a pu observer lorsqu'on a comparé une moutarde ayant reçu une fumure minérale de 80 kg N·ha⁻¹ à une moutarde n'en ayant pas reçu

De plus, généralement, ces caractéristiques évoluent au cours du temps et pour la moutarde, implantée très tôt (mi-août), le rapport C/N est souvent supérieur à 20 et le contenu en lignine de plus de 3 % (exprimés sur la matière sèche).

On peut prévoir que la minéralisation de l'azote de la biomasse sera rapide dans le cas où la teneur en azote est élevée et le taux de lignine bas, soit pour des CIPAN « jeunes » ou des vesces. Afin de le vérifier, une expérimentation avec marquage isotopique au N a été réalisée : des engrais verts ont été marqués et enfouis préalablement à une culture de betterave dans des parcelles de 12 m², le taux de minéralisation a été estimé après la culture de betterave (sur base du bilan, azote présent au départ, azote restant dans le sol et azote exporté par la culture + pertes, Dans cette étude, le lien avec les caractéristiques des biomasses et le potentiel de minéralisation a été difficile à établir, même si la moutarde utilisée présentait un C/N plus faible (12-13) que les deux autres CIPAN (22 en moyenne)., la quantité d'azote provenant des CIPAN, prélevée par la culture de betterave (mesurée en octobre à la récolte de celle-ci) s'avère peu élevée (maximum de 45 kg N·ha⁻¹) par rapport à la biomasse enfouie. Il apparaît donc qu'une proportion généralement majoritaire de l'azote enfoui des CIPAN est récalcitrante à la minéralisation, à l'échelle de l'année d'enfouissement (Dufrêne, M, 2001).

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

Grâce au fractionnement de cet azote suivant Bremner (1965), par hydrolyse avec HCl, on distingue trois compartiments :

- fraction d'azote soluble dans l'acide et distillable (constituée de sucres aminés),
- fraction soluble dans l'acide et non distillable (constituée majoritairement d'acides aminés),
- fraction insoluble dans l'acide (cycles N complexes, liés aux acides humiques).

Donne la répartition dans ces différentes fractions de l'azote résiduaire des trois CIPAN considérées (Ninane, V, 1995).



Figure 8 : avec l'engrais vert



Figure 9 : bien récolte se levait d'amendement vert

IV. Jus de compost

Le thé de compost se définit simplement comme une infusion aqueuse obtenue à partir de compost, réalisée par un processus de brassage à froid. Ce procédé utilise un compost de qualité, bien mûr, ne nécessitant pas de réduction supplémentaire des pathogènes. Pour que le thé conserve sa richesse biologique, il est essentiel que le processus reste aérobie, condition indispensable au maintien et à l'activité des micro-organismes extraits du compost. Cette diversité microbienne est fondamentale pour favoriser la santé du sol et des plantes, en recréant un réseau trophique complexe à la surface des végétaux, dans le sol ou les substrats. L'ajout d'ingrédients nutritifs au début du brassage vise à accroître la biomasse microbienne et son activité. Ainsi, diverses recettes, souvent propres à chaque producteur, sont testées pour améliorer la production végétale, la structure du sol, le cycle des nutriments et la résistance aux maladies.

En affinant les paramètres de production du thé de compost, on peut mieux comprendre comment favoriser la croissance de certains organismes bénéfiques, adaptés à chaque situation culturale. Cette approche biologique s'inscrit pleinement dans une vision d'agriculture durable, où la fertilité du sol⁸ s'améliore au fil des années, contrairement aux postulats de l'agriculture chimique conventionnelle qui considère souvent la productivité du sol comme figée ou en déclin. En effet, le recours massif aux engrais minéraux solubles a conduit à une dégradation de la qualité des sols et des eaux, les nutriments n'étant plus retenus efficacement, un sol vivant, enrichi par les processus naturels et microbiens, retient mieux les nutriments et préserve la qualité de l'environnement, tout en assurant une production végétale saine et pérenne. Un changement s'imposera lorsque l'agriculture durable et non l'agriculture extractive et destructrice sera réellement mise en pratique. Les pesticides et les engrais inorganiques deviennent inutiles si la santé du sol est correctement maintenue. Le travail du sol (labour) doit être réduit au strict minimum. Dans un système agricole sain et durable, les maladies et ravageurs ne constituent pas une menace majeure. Quant aux « mauvaises herbes », elles sont en réalité des indicateurs révélant un déséquilibre dans le système. La nature fournit aux agriculteurs des signaux clairs sur ce qui ne va pas encore faut-il savoir les interpréter correctement.

(ADEM, 2020)

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

Si la biologie du sol est absente ou inefficace, alors le sol est malade. L'agriculture extractive repose sur le travail intensif du sol (labour) et l'apport excessif d'éléments nutritifs inorganiques, ce qui nuit gravement à la vie biologique nécessaire au bon fonctionnement du sol. À une époque où l'on pratiquait l'agriculture sur brûlis, sur de petites surfaces et avec des périodes de jachère. Mais dans le monde actuel, les terres agricoles ne disposent plus de cette période de repos : l'activité agricole est continue, sans interruption permettant à la nature de se réparer. Il devient donc impératif de réintroduire les micro-organismes et les sources de nourriture nécessaires à leur survie et à leur développement, afin de compenser l'absence de « temps de récupération ». Sans cette vie biologique, les fonctions essentielles du sol telles que la formation de sa structure, la rétention et le cycle des nutriments ne peuvent pas se produire ou sont sévèrement limitées. La suppression naturelle des maladies et la protection des cultures deviennent alors pratiquement inexistantes. Restaurer la communauté microbienne est donc une condition essentielle pour retrouver la santé des sols.

Certaines personnes, ne comprenant pas la biologie des sols, affirment à tort que les bactéries sont toujours présentes, en quantité constante. Cette idée erronée provient de méthodes d'analyse obsolètes. En effet, les approches issues de la médecine, centrées sur les agents pathogènes, ont été transposées à tort au sol, menant à des conclusions inappropriées, par exemple, les méthodes de comptage sur boîtes de Pétri (plate count) se concentrent principalement sur les spores formes dormantes de certains organismes mais ignorent totalement la majorité des espèces réellement actives dans le sol, bien que résistantes, ne représentent qu'une infime portion de la diversité biologique réelle. En réalité, ces techniques classiques passent à côté de 99,99 % ou plus des espèces microbiennes vivantes et actives. Ainsi, de nombreuses décisions agricoles ont été prises sur la base de données extrêmement trompeuse.

Les méthodes d'observation directe de la biomasse active révèlent que l'activité biologique du sol est gravement affectée par l'usage de pesticides, d'engrais chimiques, le travail du sol et les herbicides. L'impact de ces perturbations dépend toutefois de l'état du sol au moment de l'exposition : par exemple, si le sol est sec et que les micro-organismes sont inactifs, les effets seront moindres. En revanche, lorsque ces produits sont appliqués alors que la vie biologique est en pleine activité, les dommages sont immédiatement observables.

La question de la recolonisation biologique se pose également. Pour que les micro-organismes (bactéries, champignons, protozoaires, nématodes) se déplacent d'un endroit à un

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

autre, il faut des vecteurs naturels comme les oiseaux, serpents, araignées, ou insectes. Si ces transporteurs sont eux-mêmes absents ou morts à cause de la pollution chimique, comment les microbes peuvent-ils recoloniser les sols appauvris ? Très peu d'organismes survivent à un transfert aérien par le vent, surtout dans un environnement sec. Et dans les vallées agricoles modernes, fortement contaminées par les produits chimiques, il n'existe même plus de source viable de sol sain pour permettre cette recolonisation. La diversité biologique nécessaire a été anéantie depuis longtemps. Le vent ne peut pas transporter ce qui n'existe plus.

IV.1. L'aération des jus de compost

Le compostage aérobique nécessite un apport en oxygène important, en particulier lors du stade initial du traitement. En effet, si la contribution en oxygène n'est pas suffisante, la croissance des microorganismes aérobies se trouve limitée, ralentissant ainsi sa décomposition.

De plus, étant donné que le processus de compostage aérobique peut atteindre des températures très élevées, l'aération va permettre de réguler l'excès de chaleur et d'éliminer la vapeur d'eau et les gaz piégés dans le tas afin de réduire le risque d'incendie dû à une surchauffe du tas. De ce fait, l'aération est indispensable pour un compostage efficace, l'aération se veut également inévitable pour permettre un rejet de la lixiviation dans le milieu naturel tout en respectant les normes de rejet.

En effet, l'arrêté ministériel de Septembre 1997 réglemente l'exploitation des CSDU (Centre de Stockage des Déchets Ultimes) et fixe les conditions de rejet des lixiviats vers le milieu naturel. Ces effluents liquides ne peuvent donc être rejetés dans le milieu naturel s'ils ne respectent pas les valeurs fixées par ¹⁰l'article 36 de cet arrêté, sous peine de poursuites judiciaires. Ainsi, avec notre expérience de plus de 60 ans dans le domaine de l'aération et avec de nombreuses références dans le domaine du compostage et du traitement des lixiviats, nous pouvons vous proposer diverses solutions pour permettre le bon déroulement du traitement des jus de compost et de lixiviats.

IV.2. Le jus de compost est-il un engrais ?

Lorsque les cultures sont récoltées, les nutriments contenus dans les plantes sont extraits du système. Ces nutriments doivent donc être restitués au sol. Mieux encore, la fertilité du sol devrait augmenter au fil du temps, comme c'est le cas dans les écosystèmes naturels. En effet, dans les systèmes naturels, les sols tendent à s'enrichir progressivement en éléments nutritifs à mesure que la succession écologique progresse. Ce phénomène ne se produit cependant pas dans

(INR,2020).

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

l'agriculture conventionnelle, en raison de l'érosion, du ruissellement, du lessivage et de la compaction, qui entraînent une perte constante de nutriments.

Mais pourquoi ces pertes ont-elles lieu ? Qu'est-ce qui change dans les sols agricoles ? La réponse réside dans la destruction des organismes vivants qui, dans un sol sain, sont censés maintenir la structure du sol et retenir les nutriments. Cette destruction se produit principalement dans l'agriculture conventionnelle à ¹¹travers plusieurs mécanismes :

1. Le travail mécanique du sol (labour), qui coupe, broie et écrase les organismes vivants du sol.
2. L'utilisation de pesticides, qui tuent bien plus que les espèces ciblées.
3. L'utilisation massive d'engrais inorganiques, qui sont essentiellement des sels, provoquant la mort des organismes du sol par un phénomène d'osmose (extraction de l'eau des cellules).
4. La compaction du sol, qui réduit le taux d'oxygène et modifie le métabolisme des micro-organismes, les forçant à passer d'une activité aérobie (avec oxygène) à une activité anaérobie (sans oxygène), moins bénéfique pour le sol.

Le problème fondamental est que dans un sol appauvri en vie biologique, les nutriments ne peuvent pas être retenus, ce qui mène à la pollution des eaux de surface, des nappes phréatiques et de l'atmosphère.

En conséquence, les systèmes agricoles chimiques conventionnels nécessitent l'ajout de 150 à 200 livres (ou plus) d'azote (N) à chaque cycle de culture, afin de compenser les pertes. À l'inverse, dans les systèmes agricoles durables, où la biologie du sol est bien gérée et active, les nutriments sont naturellement retenus

. Ainsi, seuls les nutriments réellement extraits par la récolte doivent être remplacés. Par exemple, en se basant sur la teneur en azote de la matière végétale, seulement 15 grammes d'azote par tonne de biomasse récoltée seraient nécessaires à restituer. Dans un verger où l'on récolte environ 4 tonnes de fruits par acre, il suffirait de restituer environ 60 grammes d'azote (N) par acre pour compenser les pertes liées à la récolte, en se basant sur une estimation de 15 (INR,2020).

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

grammes d'azote par tonne de matière végétale. Pourtant, certains arboriculteurs conventionnels appliquent chaque année jusqu'à 1000 livres d'engrais par acre, ce qui représente une quantité largement excessive. Dans le cas extrême de la production d'ensilage, où 200 tonnes de biomasse peuvent être retirées par acre, les besoins de remplacement atteindraient seulement 3 kg d'azote par acre. L'azote minéral directement assimilable (comme le nitrate), mais sous forme organique, intégrée à la matière organique et à la biomasse microbienne. Contrairement à une idée répandue selon laquelle le compost ne serait pas un engrais, cette affirmation ne tient que si l'on considère uniquement les formes solubles et inorganiques des nutriments. L'industrie des engrais a favorisé cette vision limitée en définissant l'azote uniquement comme nitrate, nitrite ou ammonium.

Or, dans un sol vivant, le cycle biologique est capable de convertir les formes non solubles des nutriments (comme l'azote, le phosphore ou d'autres éléments) en formes assimilables par les plantes, grâce à l'action des micro-organismes. Ces derniers transforment la matière organique, l'incorporent dans leur biomasse, puis relâchent les nutriments sous forme disponible lorsque les micro-organismes sont eux-mêmes consommés dans le réseau trophique du sol. Le jus de compost joue donc un rôle essentiel¹², non pas comme un engrais conventionnel, mais comme un activateur biologique capable de soutenir et de restaurer la fertilité naturelle des sols.

IV.3. Quelles les bactéries sont-elles nécessaires dans le jus de compost ?

Les bactéries colonisent la majeure partie de la surface des feuilles ou des racines, ce qui leur permet d'être très efficaces pour consommer les ressources alimentaires que les organismes pathogènes utiliseraient autrement.

Elles occupent ainsi la majorité des sites d'infection, empêchant les agents pathogènes de s'y installer. Dans le sol, les bactéries ont des fonctions supplémentaires : elles retiennent les nutriments essentiels tels que l'azote (N), le phosphore (P), le soufre (S), le calcium (Ca) ou le fer (Fe) dans leur biomasse. En raison de leur rapport carbone/azote, elles immobilisent l'azote plutôt que de le minéraliser, à l'exception de certaines bactéries nitrifiantes ou ammonifiantes qui interviennent dans des conditions spécifiques. Par ailleurs, les bactéries décomposent les résidus végétaux et les substances toxiques pour les plantes, en particulier les substrats simples et facilement dégradables, et jouent un rôle fondamental dans la construction de la structure du sol.

(INR,2020).

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

Elles forment les plus petites « briques » qui permettent de construire cette structure essentielle : sans elles, il n’y aurait pas de « maison » pour le sol, la structure ne se développerait pas, la capacité de rétention d’eau resterait faible et le sol resterait compacté. Ces bactéries créent aussi les passages nécessaires à la diffusion de l’oxygène dans le sol et à l’évacuation du dioxyde de carbone.

Il est donc crucial d’avoir un nombre suffisant de bactéries, et une grande diversité d’espèces, afin qu’au moins certaines d’entre elles puissent s’adapter aux conditions environnementales existantes, supprimer différentes souches de pathogènes, retenir les nutriments, décomposer les résidus et améliorer la structure du sol. La majorité des bactéries apportées avec le jus de compost ne seront pas immédiatement actives ; elles « s’endorment » dans le sol en attendant des conditions favorables pour se réveiller, concurrencer les organismes nuisibles, stocker les nutriments, dégrader la matière organique et construire la structure du sol. Parmi les dizaines de milliers d’espèces bactériennes introduites par le jus, plusieurs centaines correspondront aux conditions présentes et contribueront à la santé du sol. Nous ne connaissons pas les noms précis de ces bactéries, car il est impossible de les cultiver sur des milieux classiques, et les méthodes de dénombrement sur gélose ne permettent pas de les évaluer.



Figure 10 : Le jus de compost

Tant que la science ne peut pas identifier ces bactéries à moindre coût, il suffit de les introduire dans le sol via le jus de compost et de laisser la plante sélectionner celles dont elle a besoin. La plante nourrit ces micro-organismes qui protègent ses racines, feuilles et tiges contre les maladies, et alimente aussi les champignons, qui à leur tour nourrissent les protozoaires et nématodes, conduisant à la libération des nutriments sous une forme assimilable. La plante stimule ainsi la construction de la structure du sol, permettant une bonne diffusion de l’oxygène et une meilleure capacité de rétention d’eau (INR,2020).

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

V. Engrais minéral partir de eau de mer

Les capacités de nos cellules sont remarquables, à condition toutefois de les maintenir en bonne santé. Sans même aborder les mémoires ou empreintes cellulaires, il est bien établi que le bon fonctionnement de notre organisme dépend en grande partie d'une hydratation optimale. Mais encore faut-il que cette eau soit saine — c'est-à-dire dépolluée et biocompatible

L'engrais, bien qu'il offre de nombreux bienfaits, ne purifie pas l'eau : il ne supprime pas les résidus de médicaments, hormones ou minéraux indésirables. Pour cela, un système de filtration reste indispensable. En revanche, il permet de clustériser l'eau, c'est-à-dire de réduire la taille des agrégats moléculaires afin de faciliter leur passage à travers les membranes cellulaires. L'objectif est de restaurer le plein potentiel énergétique de nos cellules, notamment leur capacité hydro-électrique.

V.1. Bienfaits de l'engrais sur les végétaux :

- Il stimule la croissance et améliore les rendements dès la première année.
- Les fruits et légumes deviennent plus résistants aux maladies et aux insectes.
- Il est particulièrement bénéfique pour les arbres fruitiers, dont les fruits deviennent plus riches en vitamines et minéraux.
- Il favorise la création de nouvelles variétés végétales.
- Il accélère l'évolution des plantes en renforçant leur synergie avec l'écosystème environnant.

Après trois années de traitement à l'engrais, le sol atteint un enrichissement optimal en microéléments, permettant aux cultures d'exprimer leur plein potentiel. Les plantes croissent plus rapidement et assimilent davantage de nutriments chaque jour, il ne remplace pas l'alimentation des plantes. Il est donc crucial de surveiller leur apport nutritionnel, notamment en culture aquatique ou hydroponique, en ajustant régulièrement votre programme d'engrais en fonction des besoins mesurés.

L'augmentation de la quantité de fruits va charger les arbres plus qu'à leur habitude, pensez à tailler les vieux arbres fruitiers bien avant de commencer avec-il. Les rendements sont

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

remarquables lorsqu'il est utilisé avec des techniques de biodynamie et de perm culture et de paillis de votre zone de culture. N'utilisez pas de pesticides, herbicides ou fongicides. Pour de meilleurs résultats, appliquez l'engrais dilué sur un sol humide.

Tout d'abord, il est essentiel de souligner que ne doit pas être considéré comme un substitut à la nutrition régulière des plantes. Bien que L'engrais ait été associé à des avantages potentiels pour la croissance et la santé des plantes, il doit être considéré comme un complément plutôt qu'un substitut complet des nutriments essentiels dérivés des engrais réguliers ou des amendements du sol

L'engrais fait référence à un groupe d'éléments dans un état spécifique qui présentent des propriétés uniques. Certains partisans suggèrent que l'ajout de L'engrais au sol ou au milieu de croissance ¹³des plantes peut améliorer l'absorption des nutriments, améliorer les processus métaboliques et, en fin de compte, améliorer la santé et le rendement des plantes. Cependant, la recherche scientifique sur le sujet est encore limitée et un débat est en cours concernant son efficacité et ses avantages Pour une croissance et un développement optimal des plantes, il est crucial de maintenir un environnement bien équilibré et riche en nutriments. Les engrais traditionnels et les amendements du sol fournissent des nutriments essentiels tels que l'azote, le phosphore, le potassium et d'autres micronutriments qui sont vitaux pour une croissance saine des plantes. Ces nutriments jouent des rôles spécifiques dans différents processus végétaux et ne peuvent pas être entièrement remplacés par L'Ormus ou tout autre supplément unique.

Par conséquent, il est recommandé que s'il est utilisé, soit intégré dans une stratégie globale de nutrition des plantes plutôt que d'être considéré comme la principale source de nutriments. Cette approche garantit que les plantes reçoivent tous les éléments nécessaires pour prospérer et atteindre leur plein potentiel.

En conclusion, L'engrais peut être un ajout intéressant à vos pratiques de jardinage, mais il n'est pas destiné à remplacer les méthodes conventionnelles de nutrition des plantes. Je vous encourage à continuer à explorer des pratiques durables et fondées sur la science pour soutenir la santé et la vitalité de vos plantes.

VI.Intérinaire techniques du blé dur

¹³ (Hudson, 1994)

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

Blé dur occupe depuis quelques décennies une place prépondérante au sein de nombreuses exploitations de la région Centre. Souvent sujet aux caprices de la météo et aux fluctuations de prix, elle n'en demeure pas moins une espèce socle de l'économie céréalière de notre bassin agricole. Cette production entièrement dédiée à l'alimentation humaine doit répondre à de nombreux cahiers des charges dans un contexte réglementaire et climatique en pleine mutation. Le savoir-faire que nous avons acquis au fil du temps au sein de territoires adaptés, focalise l'attention des transformateurs et consommateurs dont les attentes ne cessent de croître. La réponse aux défis de demain demande une adaptation permanente portée par des connaissances agronomiques et génétiques toujours plus pointues. La rédaction de ce guide technique en est le témoin. Chaque producteur pourra y trouver les clés de réussite qui lui sont nécessaires en adéquation avec son exploitation et ses marchés. Le blé dur ne manque pas d'avenir, il ne demande qu'à être cultivé (Guide de culture du blé dur, 2021).

VI.1. Caractéristiques du grain de blé dur

Les débouchés du blé dur sont très différents de ceux du blé tendre, car il est majoritairement utilisé pour fabriquer des pâtes de façon industrielle (75 % des débouchés mondiaux). Au Maghreb il est d'abord utilisé (60 % des utilisations) pour des pains et pâtisseries mais aussi du couscous, avec une part importante de fabrications domestiques traditionnelles. Quatre spécificités principales du grain de blé dur expliquent ses usages :

- Son amande est vitreuse, dure et cassante
- Les protéines de réserves de l'amande, qui formeront le gluten après hydratation, malaxage et extrusion, ont une composition et un équilibre spécifiques conduisant à des pâtes plus résistantes et moins extensibles que celles faites avec du blé tendre.
- Sa teneur en protéines est relativement élevée (13 à 16 %), identique à celle des blés tendres améliorants et supérieure à celle des blés tendres meuniers (10 à 12 %).
- Sa teneur en pigments jaunes (caroténoïdes) est élevée et sa teneur en enzymes oxydantes (peroxydases) inférieure à celle du blé tendre.

La couleur des pâtes ne provient que du blé dur et de sa teneur en caroténoïdes du grain. Une couleur jaune lumineuse est recherchée par les industriels et consommateurs. Elle se traduit par la mesure de deux indices : l'indice de jaune et l'indice de brun, l'idéal étant un indice de jaune élevé et un indice de brun bas. La couleur est essentiellement génétique, seul l'indice de

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

brun peut être variable par une augmentation de celui-ci avec la teneur en protéines et la moucheture.



Figure 11 : blé dur

VI .2. Intérinaires du blé dur

VI .2.1.Choix de la parcelle

Le blé dur est plus sensible que le blé tendre à certains stress : sécheresse, hydromorphie, défauts de structure car son système racinaire est globalement moins performant qu'un blé tendre à situation égale. On privilégie les parcelles à sols sains, non hydro morphes sans zone, avérée ou suspectée, de tassement. La totalité des variétés cultivées aujourd'hui en France est plus ou moins sensible aux virus des mosaïques. Il faut donc choisir préférentiellement des parcelles qui en sont indemnes. Le blé dur est plus sensible aux désherbants racinaires que le blé tendre avec de plus fortes phytotoxicités et une sensibilisation au gel. Les solutions foliaires de printemps n'étant plus efficaces, les programmes herbicides doivent donc être adaptés et les parcelles

présenter une pression graminée d'automne la plus faible possible. Si la météo, et notamment la pluviométrie n'est pas optimale, la qualité (PS, taux de protéine), mais également la productivité sont optimisés et sécurisés par l'irrigation dans les zones où elle est possible

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

VI .2.2.Choix du précédent¹⁴

Le blé dur est une culture exigeante en azote pour l'élaboration de sa qualité. On privilégie donc des précédents restituant le plus d'unités d'azote. Le précédent légumineux est primordial en agriculture biologique afin de maximiser le reliquat d'azote dans le sol. Dans tous les cas un bilan azote est calculé au plus juste ! Le parasitisme racinaire (piétin échaudage, nématodes...) est très préjudiciable sur blé dur. Il faut donc éviter un précédent blé. Un blé dur de blé a tendance à générer de plus petits grains, un mauvais poids spécifique (PS) et des teneurs en protéines plus faibles



Figure 12 : parcelle du blé dur

VI .2.3.Choisir ses variétés

Pour répartir les risques. Les variétés ne présentent pas les mêmes sensibilités face aux aléas climatiques, à la verse ou aux maladies, ni les mêmes caractéristiques de qualité. Choisir plusieurs variétés permet donc de répartir les risques. Il faut choisir la variété la mieux adaptée selon le type de sol, la possibilité d'irriguer ou non, le précédent. Les commentaires détaillés de chaque variété ci-dessous vous aideront à faire les bons choix

Rechercher un compromis entre rendement et qualité. Certaines variétés séduisent par leur potentiel de rendement très élevé mais au détriment d'autres critères de qualité ou de rusticité.

Les derniers quintaux gagnés ne seront pas rentabilisés si la récolte est trop affectée par un fort taux de mitadinage, une teneur en DON ou en moucheture élevée. Le fractionnement de la fertilisation azotée ne permet pas toujours de garantir une teneur en protéines suffisante avec

(Guide de culture du blé dur, 2021)

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

certaines variétés. Les meilleurs produits fongicides ne permettent pas toujours de garantir une qualité sanitaire satisfaisant la filière. Le choix de variétés à forte teneur en protéines, résistantes au mitea dinage, à l'accumulation de DON ou à la moucheture sur une partie de la sole, est indispensable pour espérer une récolte de qualité suffisante

- Quel choix variétal en région Centre

Les variétés et leur comportement évoluant assez rapidement, nous vous invitons à actualiser les données ci-dessous en vous reportant sur les CHOISIR et DECIDER Variétés et intervention d'automne publiés chaque année. Pour choisir la variété idéale, certains critères doivent avoir plus de poids. Le rendement n'est pas repris dans la liste présentée ci-dessous mais il reste bien sûr un critère de première importance.

VI .2.4.Préparation du sol

Elle n'est pas différente des autres céréales à paille, l'objectif étant d'obtenir un lit de semences avec le moins de grosses mottes possibles pour maximiser la levée. Derrière luzerne ou sainfoin, un labour est conseillé pour favoriser leur destruction. Il peut être également remplacé par deux scalpages successifs, si les conditions s'y prêtent (absence de sols trop secs ou au contraire trop humides). Le type de travail du sol doit être raisonné en fonction du type d'adventices rencontrés (profondeur de germination et persistance du stock semencier dans le sol). Un faux semis est possible si les conditions climatiques s'y prêtent mais elles sont souvent difficiles à réunir en climat méditerranéen. Il est un levier parmi d'autres et ne doit pas être le seul activé. Dans tous les cas, attention au travail du sol en conditions trop humides et aux risques de semelles ou de lissages pouvant pénaliser l'enracinement de la céréale

Le tableau page suivante reprend les choix variétaux possibles dans notre zone de production en fonction des positionnements et des critères recherchés. La liste n'est pas exhaustive, d'autres variétés ont aussi leur place dans la sole de blé dur car adaptées à des contextes particuliers ou à la faveur de contrats spécifiques correspondant à des marchés de niches bien identifiés. Cette proposition variétale est actualisée de septembre 2020, l'offre variétale étant en constante évolution, des variétés à caractéristiques similaires à celles présentées dans le tableau peuvent leur être rattachées

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

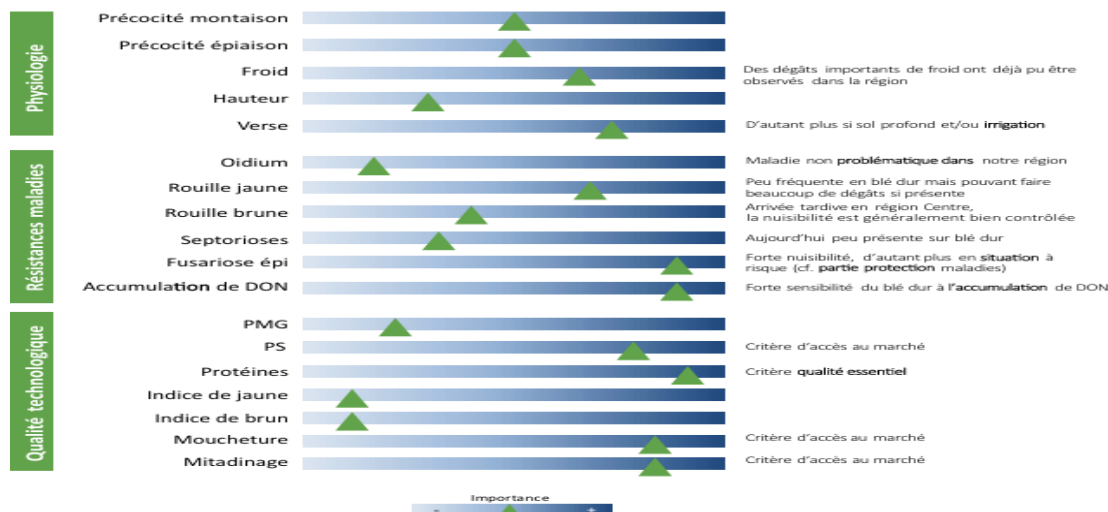


Tableau 3 : les étapes de stockage bien conduit

Le point sur les mélanges variétaux

Les mélanges variétaux ne permettent pas aujourd'hui d'obtenir un gain de productivité ou de qualité par rapport aux mêmes variétés cultivées séparément, mais ils ne présentent pas de perte non plus. Selon les typologies et les stratégies d'exploitations, les mélanges peuvent trouver certains avantages répartition du risque en diluant l'effet de l'année sur plusieurs variétés plutôt qu'une.

Cela a le même effet que de choisir un « bouquet » de plusieurs variétés mais cultivées pures, sur des soles blé dur parfois réduites au sein d'une exploitation il peut être plus facile de multiplier le nombre de variétés en les cultivant en mélange plutôt que de multiplier le nombre de parcelles, équilibrer le ratio rendement/qualité en jouant sur les différents critères complémentaires des variétés dans le mélange.¹⁵ Limitation des risques verse et rouille jaune sur les variétés qui y sont sensibles quand elles sont dans un mélange avec des variétés qui présentent de bons niveaux de résistance sur ces deux critères.

VI .2.5. Implantation, dates et densités de semis

- **.A quelle date semer ?**

Les variétés de blé dur que l'on cultive sont toutes alternatives : leur développement dépend essentiellement de la température, il n'y a pas, ou très peu, de frein lié à la durée du jour.

(Guide de culture du blé dur, 2021)

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

Si l'hiver est long et froid, les stades seront retardés. A l'inverse, si l'hiver est doux, le blé dur devient très précoce, ce qui l'expose plus fortement aux gels printaniers. Pour répartir les risques, il est conseillé de semer un bouquet de variétés de différentes précocités. Le potentiel de rendement maximal du blé dur est généralement atteint pour des semis réalisés entre le 20 octobre et le 20 novembre.

Depuis les dernières années, une accentuation des problématiques de désherbage dans notre région (vulpins et ray-grass), avec des solutions plus réduites en lien notamment avec la recrudescence de résistances aux solutions foliaires de sortie d'hiver. Eviter les semis trop précoces reste un levier efficace et opérationnel. Selon les précocités à montaison et à épiaison des variétés, leur optimum de date de semis peut légèrement varier. Une fois l'optimum de date de semis connu il est nécessaire de s'assurer d'être dans de bonnes conditions de semis qui sont elles aussi décisives. Le blé dur est plus sensible que le blé tendre à une mauvaise structure car son enracinement est moins performant en situation difficile

•.Quelle densité ?

Il ressort que dans notre région, le rendement maximum est généralement atteint avec un peuplement en sortie d'hiver de 200 à 220 plantes/m². La culture risque d'être plus exposée à la sécheresse, aux maladies et à la verse. Une densité trop faible de 150 plantes/m² induit rapidement des pertes de rendement car le blé dur a une capacité de tallage plus faible que le blé tendre.

Des compensations peuvent cependant être observées via la fertilité épi ou le PMG. Pour les semis précoces, en bonnes conditions d'implantation, les pertes à la levée sont d'environ 15 %. Par contre, pour des semis tardifs réalisés en mauvaises conditions, ces pertes peuvent aller jusqu'à 40 %. L'amélioration de la qualité de la préparation est prioritaire pour limiter le surcoût de semence. Des problématiques de phytotoxicités liées au désherbage d'automne peuvent aussi impliquer des pertes de pieds à anticiper.

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

Densités en grains semés (taux de germination ≥ 95%)	Blé dur d'hiver		Blé dur de printemps
	Période de semis	Du 20/10 au 5/11	Après le 5/11
Limons argileux, argilo calcaires profonds			
Bonnes conditions, sol ressuyé, préparation fine	250 - 300	280 - 330	300 - 350
Mauvaises conditions, sols humides, motteux, caillouteux	280 - 330	300 - 350	
Limons battants sains			
Bonne préparation	250 - 300	300 - 330	350
Préparation difficile	330 - 350	350	400
Argilo-calcaires superficiels, sols séchants			
Pierrosité faible, bonnes conditions, préparation fine	280 - 330	300 - 350	380
Pierrosité forte	320 - 380	350 - 400	
Terre forte			
Bonnes conditions	280 - 330	300 - 350	380

Tableau 4 : Nombre de grains/m² à semer selon la date, le type de sol et les conditions de semis

•.Quelle protection de semences ?

Les règles concernant le choix de la protection de semence en blé dur ne sont pas fondamentalement différentes de celles qui concernent le blé tendre. Compte tenu de la grande sensibilité du blé dur aux fusarioses, afin d'éviter les fontes de semis qu'elles peuvent occasionner et les manques à la levée, on veille à choisir un produit efficace sur ces maladies : à base de fludioxonil ou de prothioconazole.

¹⁶Pour gérer les risques spécifiques comme le piétin échaudage (en blé dur de paille) on s'orientera vers des associations avec du LATITUDE XL. Aucun traitement de semences n'est efficace contre l'ergot. Seules les mesures agronomiques permettent de gérer le risque : labour, contrôle des graminées adventices et broyage des bordures de champ. L'utilisation de semences contaminées est à proscrire strictement.

VI .2.6.Maîtrise des adventices

Malgré des dates de semis plus tardives que sur blé tendre, le désherbage du blé dur n'en n'est pas moins difficile. Avec un nombre plus limité de jours disponibles pour désherber à l'automne sur des dates de semis plus tardives, il est préférable d'intervenir plutôt en pré levée. Selon l'année et la date de semis, les post-levées peuvent également être plus risquées et augmenter le risque de gel mais cela n'est pas systématique.

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

La bête noire du blé dur blé dur est globalement plus sensible que le blé tendre à de nombreuses matières actives. Des problèmes de sélectivité ont tendance à sensibiliser le blé dur au gel hivernal. De ce fait, la gamme de solutions anti graminées sur blé dur est plus restreinte

Désherbage mécanique du blé dur, comme le blé tendre n'est pas l'espèce la plus adaptée au désherbage mécanique compte tenu qu'il est le plus souvent nécessaire d'intervenir pendant la période hivernal, peu favorable à un ressuyage du sol optimal, en particulier en sols argileux. De ce fait le nombre de jours disponibles est souvent très limité, d'autant que pour qu'un passage soit efficace, des conditions sécantes pour éviter tout repiquage des adventices doit suivre. Les stratégies sur blé dur sont similaires à celles mises en place sur le blé tendre même si les données sont beaucoup moins nombreuses sur cette espèce. De par son plus faible tallage, une adaptation qui pourrait cependant être à prévoir est, en règle générale, un réglage moins agressif de la herse étrille

VI .2.7.Fertilisation azotée :

Assurer le rendement et la qualité du blé dur à la récolte dépend étroitement de sa teneur en protéines. L'objectif est d'atteindre 13.5 % de protéines pour limiter le mitadinage et produire des pâtes d'une ténacité suffisante. La conduite de la fertilisation azotée est primordiale pour atteindre cet objectif : le nombre d'apports, leurs positionnements, la dose et la forme de chacun des apports sont importants. La fertilisation doit se faire dans le respect de la réglementation, établie pour réduire ses effets sur la qualité des eaux. Les détails de cette réglementation, dans le cadre de la directive nitrate et des GREN sont consultables sur les sites régionaux des ministères

La fertilisation doit être précoce en l'absence d'irrigation pour favoriser sa minéralisation et surtout réfléchi en fonction du coût de l'unité¹⁷ d'azote apporté. Les bios stimulants n'ont à l'heure actuelle pas démontré leur intérêt vis-à-vis du rendement comparativement à des témoins sans azote

Il n'existe que très peu de solutions de protections phytosanitaires autorisés en bio, hormis quelques produits de bio contrôle à base de soufre utilisables contre l'oïdium (fréquent en Camargue) ou la sectorise. Mais, en AB, grâce à la faiblesse de la disponibilité de l'azote et aux rotations, les problématiques liés aux maladies sont relativement faibles. Il est important d'être vigilant sur la qualité sanitaire des semences en particulier vis-à-vis du risque carie

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

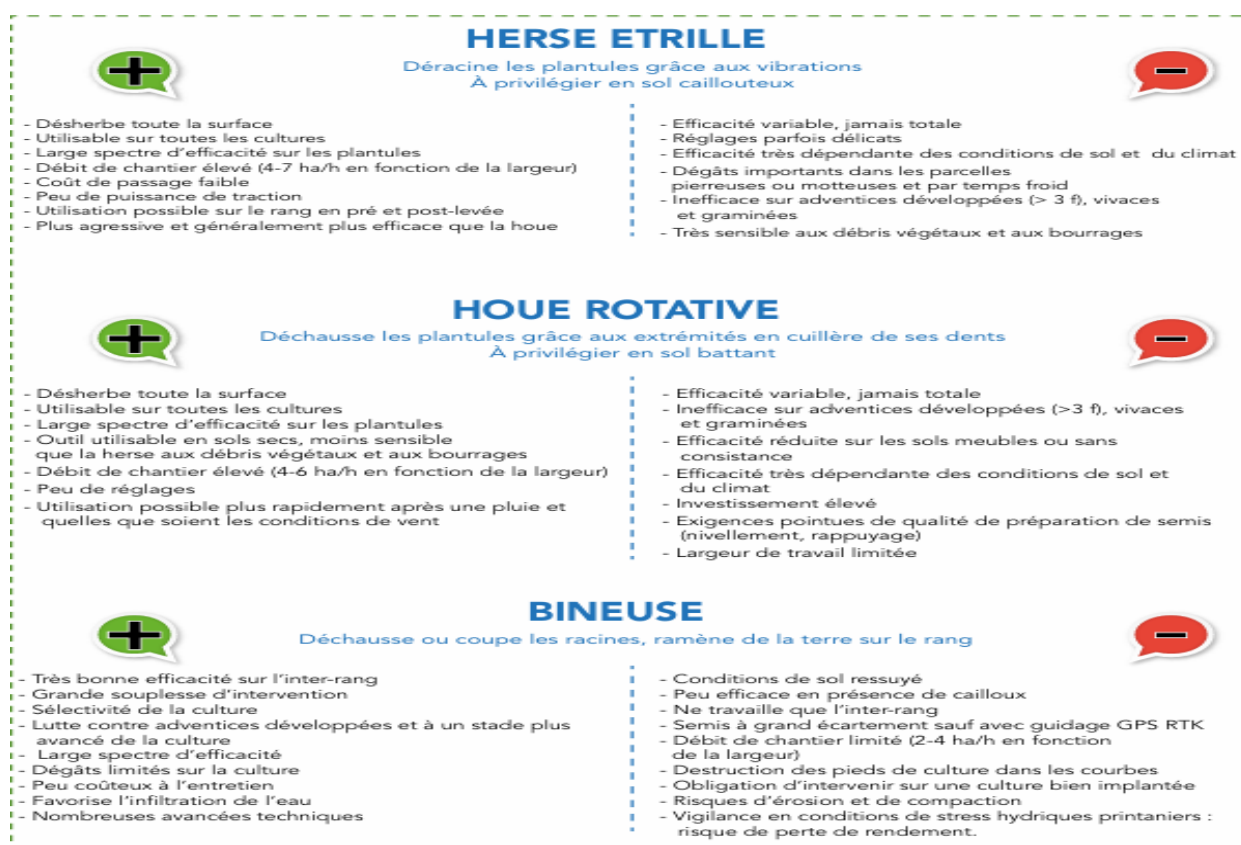


Figure 13 : Atouts et contraintes des outils de désherbage mécanique

VI .2.8.Lutte contre la verse

La verse provoque des pertes de rendement variables selon son intensité et surtout selon sa précocité. Elle affecte également la qualité : augmentation de la mouche ture et du mitadinage, dégradation de la qualité sanitaire. Les facteurs qui favorisent la verse sont.

Le choix d'une variété sensible, une densité trop importante, il faut essayer de limiter le nombre de plantes levées à 250 plantes/m², une forte alimentation azotée, notamment précoce (forts reliquats, gros premier), Des maladies précoces qui affaiblissent les tiges et le système racinaire : piétin-verse, fusariose (qui provoque la nécrose de la couronne racinaire et du plateau de tallage, voire des premiers centimètres de la tige). Attention une variété résistante peut verser à cause du piétin-verse. Inversement, une variété sensible avec un peuplement de tiges limité en sortie d'hiver s'avèrera peu sensible à la verse. Si une irrigation post-floraison est prévue, l'application d'un régulateur de croissance est fortement recommandée.

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

❖ Des leviers pour limiter le risque verse

• Le choix variétal

Le facteur variétal constitue l'un des facteurs les plus efficaces pour se prémunir de la verse. Certaines variétés possèdent en effet des avantages qui diminuent le risque de verse : faible hauteur de tige, et notamment des premiers entre-nœuds, et meilleure rigidité de tige.

• La date et la densité de semis ¹⁸

Les semis trop précoces accentuent le risque de verse. Cette pratique précocifie l'arrivée au stade épi 1 cm. La montaison se fera en jours dits « courts ». Les tiges auront tendance à s'étioler, du fait du déficit lumineux, affaiblissant d'autant la tenue de tige. Ceci sera plus préjudiciable pour une variété précoce à montaison. Les semis précoces allongent de manière significative le cycle végétatif et peuvent entraîner un tallage excessif des cultures. Cela mène à une compétition pour la lumière, due à l'exubérance végétative d'un semis précoce et à l'étiollement des tiges lié aux conditions lumineuses déficitaires de début d'année. Au final, cela conduit à un allongement excessif des entre-nœuds et un risque de verse significatif. Les fortes densités de semis ont un effet analogue et provoquent un allongement des entre-nœuds de la base. Au moment de l'implantation, un dernier facteur peut augmenter le risque de verse : la profondeur de semis. Si le semis est trop profond (> 4 cm), la tige a tendance à développer plus fréquemment un premier entre-nœud plus long et moins rigide.

• La gestion de la fumure azotée

Un excès d'azote accentue également le risque verse. Un premier apport d'azote excédentaire ou de forts quats favorisent un tallage herbacé pléthorique avec pour conséquences des effets similaires aux fortes densités de semis ou aux semis trop précoces. Il est donc conseillé de minimiser le premier apport dans les situations à risque. D'après certaines études, un excès d'azote précoce peut également réduire l'enracinement.

VI .2.9.Maladies et protection fongicide

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

- **.Septoriose**

Le blé dur est beaucoup moins sensible à la septoriose que le blé tendre malgré une recrudescence de cette maladie depuis quelques années dans la région. La septoriose rencontrée sur blé dur peut être de la septoriose nodurum sur laquelle les strobilurines sont encore efficaces, ou de la septoriose tritici (celle plus communément rencontrée sur blé tendre). Des années comme 2016, avec une pression parfois importante de septoriose sur blé dur dans la région laisse supposer que les souches évoluent (et deviennent plus spécifiques du blé dur) mais la maladie reste aujourd'hui globalement peu présente et les souches observées sont peu agressives. Attention on peut confondre facilement ces symptômes avec ceux de *Microdochium* ou des tâches physiologiques.

- **Rouille jaune**

La rouille jaune ne fait son apparition sur blé dur qu'en 2012 en région Centre et provoque des dégâts importants en 2014 en arrivant tôt dans le cycle. C'est essentiellement la douceur de l'hiver, l'évolution des souches et la sensibilité de quelques variétés qui expliquent la forte pression en 2014. Depuis elle est plutôt discrète dans la plaine, avec néanmoins des attaques modérées en 2020.

- **Ravageurs et parasites du sol¹⁹**

Les ravageurs que l'on peut rencontrer sur blé dur sont nombreux et communs pour la plupart aux autres céréales. Nous n'aborderons ici que les ravageurs responsables de dégâts élevés ou fréquents sur blé dur. Ils sont abordés par période afin d'aider à :

- La surveillance : quand observer et que rechercher

- La décision de lutte, qu'elle soit curative ou préventive pour les années suivantes.

Les pucerons présents à l'automne sur les jeunes plantes (plusieurs espèces peuvent être observées principalement, mais aussi *Sitobion avenae*, ainsi que la cicadelle *Psammotettix alienus* transmettent des virus aux plantes lors de leur piqûres alimentaires dans le phloème. Ils

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

vectent ainsi respectivement la jaunisse nanisante de l'orge (JNO, virus B/CYDV) et la maladie des pieds chétifs (virus WDV). Sur blé dur, en l'absence de lutte génétique disponible, la protection s'appuie sur la lutte contre les vecteurs. Ces petits insectes ne sont pas faciles à observer surtout si les conditions climatiques ne sont pas favorables à leur activité. Les observations sont à réaliser si possible par un bel après-midi ensoleillé et sans vent. Les cicadelles sont des insectes très mobiles qui peuvent être piégées sur des plaques engluées jaunes. Ces plaques peuvent également capturer des pucerons ailés (toutes espèces confondues, même celles qui ne s'installeront pas sur la culture), mais elles ne rendent pas compte de la population de pucerons aptères (sans ailes) dans la parcelle. Elles sont un indicateur de l'activité des insectes et peuvent alerter sur la nécessité de réaliser des observations dans la culture mais sont un mauvais indicateur de risque. De manière générale, la surveillance est à renforcer quand le climat est doux (environ $T^{\circ}\text{min} > 6^{\circ}\text{C}$, $T^{\circ}\text{max} > 18^{\circ}\text{C}$), ensoleillé et peu venté. Les plantes sont très sensibles à l'infection virale à leur stade jeune, mais leur sensibilité perdure pendant le tallage. La surveillance est ²⁰donc à maintenir jusqu'aux premiers froids qui entraîneront la disparition des insectes. Attention, la présence des pucerons peut perdurer en cas d'hiver doux, dans ce cas même une faible population de pucerons peut entraîner des dégâts importants de par leur durée d'activité dans les parcelles. Les symptômes de JNO ne se révèlent que tardivement, souvent en cours de montaison (jaunissements et/ou rougissements de l'extrémité des feuilles). La maladie des pieds chétifs peut apparaître plus tôt (dès le mois de février), avec la présence de plantes chétives disparaissant par la suite. La sensibilité du blé dur à ces virus est de l'ordre de celle du blé tendre (l'orge est beaucoup plus sensible à la JNO). Au champ, il est très difficile de différencier ces deux viroses, seule une analyse de laboratoire peut permettre de confirmer le diagnostic.

VI .2.10.Tallage – début montaison

C'est pendant cette période que se révèlent généralement les atteintes du système racinaire, qui peuvent être d'origines très diverses. Les symptômes sur feuilles ne sont pas toujours spécifiques (en dehors de la mosaïque), il est donc souvent nécessaire d'observer les racines pour identifier le bio agresseur. Aucune lutte curative n'est possible, mais l'identification du parasite est essentielle pour prévoir la lutte préventive à engager les prochaines années.

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

VI .2.11.Remplissage des grains

Les insectes qui attaquent les grains directement (cécidomyie orange) ou indirectement par prélèvement de sève (pucerons sur épi) peuvent induire des pertes de rendement élevées et dégrader la qualité. La surveillance doit être méthodique car, en dehors d'une très forte attaque, leur présence peut passer inaperçue.



Figure 14 : les grains de blé dur

VI .2.12.Irrigation efficace : bien positionner chaque apport

Lorsqu'elle est bien pilotée, l'irrigation du blé dur est très souvent rentable dans les sols à faible réserve hydrique et/ou les années sèches. Elle favorise la valorisation de l'azote apporté lorsque les pluies se font attendre. Elle contribue à maintenir la qualité des grains si elle est couplée à une fertilisation azotée adaptée. Mais certaines précautions sont à prendre pour limiter les risques d'apparition de moucheture et le développement de la fusariose, notamment en choisissant des variétés peu sensibles.

Ne pas irriguer durant 8-10 jours à partir de la sortie des premières étamines : c'est essentiellement au cours de la floraison qu'ont lieu les contaminations des fusarioses productrices de mycotoxines. Un climat humide à cette période est très favorable à cette maladie. On évitera donc d'irriguer pendant une durée de 8 jours environ à partir de la sortie des premières étamines pour ne pas augmenter le maintien de conditions humides. Si le temps est couvert et frais, même après la floraison, une irrigation au cours du remplissage est déconseillée.

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

VI .2.13.Récolte :

au bon stade, avec une machine bien réglée

Tout au long de la culture, vous avez mis en œuvre les techniques permettant de constituer un blé dur de bonne qualité. La récolte doit être réalisée dans les meilleures conditions possibles pour préserver cette qualité. Les objectifs à atteindre peuvent être hiérarchisés ainsi : Régler avec précision les organes de battage pour récolter un maximum de grains entiers, Récolter avec une humidité optimale (norme de commercialisation à 15% maximum), Récolter un produit le plus propre possible, Conserver la faculté germinative des grains, Eviter les pertes de grains derrière la moissonneuse-batteuse

Le réglage de base de la moissonneuse batteuse La machine doit être bien nettoyée. Les plaques d'ébarbage doivent être démontées car elles rendent le battage trop agressif. Les releveurs d'épis (s'ils sont nécessaires) doivent être bien alignés, en nombre limité (1 tous les trois doigts) et en bon état pour assurer une reprise régulière. La vitesse des rabatteurs est toujours légèrement supérieure à l'avancement. L'orientation des dents est à régler pour qu'elles accompagnent la végétation et s'effacent devant la vis de reprise. La vis de reprise sera réglée à 10-12 mm du fond de coupe à droite et à gauche.

VI .2.14.Le bon stade de récolte²²

Ne pas attendre pour récolter : une période de pluie après maturité peut entraîner du mitadinage, dégrader le PS, donner un aspect « lavé » aux grains et déclencher de la germination sur pied. Prévoir la date de récolte, c'est possible grâce aux tueurs d'humidité du grain. Un contrôle de l'humidité au démarrage du chantier de récolte sera le bon réflexe pour poursuivre ou arrêter le travail. En production de blé dur, l'optimum d'humidité se situe entre 16 % et 13 % pour une bonne maîtrise du taux de casse. Il est inutile de retarder la récolte ou d'attendre le dessèchement total des pailles ; ceci engendrera une perte de poids, confrontera la culture aux risques de pluie et donc à la progression du mitadinage. On peut récolter à partir de 16 % de teneur en eau dans le grain à condition, soit de livrer directement à l'organisme stockeur, soit d'avoir une installation de ventilation performante. En effet, lorsque le grain est humide, si la ventilation n'est pas bien conduite, il y a un risque de dégradation des grains par échauffement naturel, notamment à la partie supérieure des cellules, avec développement de moisissures et

(Guide de culture du blé dur, 2021)

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

d'insectes, perte de matière sèche et de qualité. En trois paliers de refroidissement bien menés, l'humidité sera ramenée à 15 %. En cas de prévision d'un épisode pluvieux prolongé, il est possible de récolter des 18 % pour préserver la qualité du grain mais il faut alors prévoir de sécher le grain puis de le refroidir. La perte en eau du grain peut être très rapide : après le stade grain pâteux, selon les conditions de températures et de vent le grain peut perdre 2 points d'humidité par jour par temps séchant (et jusqu'à 4 points en zone Sud Est). Hors pluies et orages, il est possible de passer d'une humidité idéale pour la maîtrise de la qualité à une humidité trop faible en l'espace de 3 à 4 jours.

VI .2.15.Observer les pertes

En cours de chantiers et l'état du produit dans la trémie L'observation des pertes (en provenance des secoueurs, à l'arrière en bout de grille, sous l'andain) et de l'état du produit dans la trémie permet de modifier les réglages de la machine. Dans une poignée de grains prélevée en trémie, il est normal d'observer deux à trois grains vêtus. Cela est très spectaculaire, mais ne représente qu'un à deux pour cent de déchets. Un lot trop propre en trémie résulte d'une fermeture excessive des grilles et un excès de ventilation, se traduisant par un retour au batteur de grains nus et trop de pertes arrière. La présence de grains cassés est importante (> 3 %), des embryons éjectés sont visibles à la loupe, les lots destinés à la semoulerie seront altérés.

VI .2.16.Stockage des grains

Tous les acteurs du stockage et de la conservation du grain poursuivent le même objectif : au minimum main tenir la qualité du grain tel qu'il a été récolté. Le stockage n'est donc pas une tâche passive mais un véritable métier technique, nécessitant la connaissance du comportement des caractéristiques du grain et des équipements de l'installation de stockage. La mise en place d'un véritable itinéraire de stockage est un élément majeur de succès.

- Facteurs de dégra²³ation des grains

En cours de stockage L'évolution de la qualité des grains après la récolte dépend de plusieurs facteurs, parmi lesquels la température et l'humidité jouent un rôle important. si ces deux facteurs ne sont pas maîtrisés, la qualité des grains peut être altérée par :- La présence d'insectes- Le développement de moisissures peut modifier l'aspect des grains (couleur) ou leur

Chapitre01 : Synthèse bibliographique

odeur (le flair), les rendant impropre à la commercialisation, ou, si ces moisissures sont productrices de mycotoxines, entrainer des dépassements de seuils réglementaires pouvant conduire à un déclassement de lots.- Une reprise de l'activité biologique du grain et des réactions enzymatiques, entraînant échauffement, perte en matière sèche, baisse du pouvoir germinatif ou de la valeur technologique du grain.

- Le blé dur de printemps

À tout son intérêt dans une rotation qui veut introduire une céréale de printemps. Afin de maximiser ses performances, il faut le semer tôt et l'irriguer. Si l'évolution climatique se traduit dans les années qui viennent par des printemps chauds et secs, ses rendements pourraient devenir beaucoup plus aléatoires sans une irrigation adaptée. Les écarts de potentiel de rendement entre blé dur d'hiver et de printemps sont en moyenne (références pluriannuelles) de 10 q/ha en sol profond irrigué, mais sont très variables (en fonction de l'année, des conditions de fin de cycle, la date de semis...). Une culture de printemps supplémentaire dans la rotation permet de mieux gérer les graminées adventices (même si l'enherbement peut rester important dans les situations à forte infestation de ray-grass). On peut ajouter que le blé dur de printemps n'exprime que très rarement des symptômes de mosaïque et que les maladies racinaires s'y développent moins. Partager sa sole de blé dur entre des semis d'automne et des semis de printemps permet de répartir les risques agronomiques et les accidents de qualité. Et du blé dur de printemps.



Figure 15 : Les étapes d'un stockage bien conduit (Guide de culture du blé dur, 2021)

Chapitre02 : Matériel et Méthodes

Chapitre02 : Matériel et Méthodes

L'objectif de ce chapitre est de présenter les matériaux utilisés, le mode de compostage, les méthodes d'analyse effectuées pour le compostage.

I. Matériel

_ Fumier du bovin

_ Le biochar

_ Les déchets ménagers humiques et agricole

_ Déchets sec

_ Argile

_ Les verts de terre



Figure 16 : Le mélange de fumier du bovin et les déchets secs et ménagers et bio char

II.Méthodes

II.1. Fabrication de l'engrais organique

Pour formuler cette compostage pour devient un engrais parfait doit être un mélange satisfaisant pour les besoins d'agriculture.

- Collecte des déchets ménagers agricoles et humiques déchets secs

- _ Pelures de pomme de terre
- _ coquilles de noix
- _ Café en grains pelures d'autres légumes
- _ sous formes de feuilles mortes

Le mélange de cet élément avec l'ajout d'eau chaque fois donne un mélange homogène riche en azote et phosphate

- Matière azotée (le fumier)

Le rapport carbone/azote (C/N) des sous-produits du palmier dattier est très élevé (115,4), car ces résidus sont très riches en matière organique (90 %) mais pauvres en azote (0,39 %). Dans ces conditions, le démarrage du compostage est difficile, car l'activité microbienne est limitée.

Pour favoriser le processus, l'ajout de fumier, plus riche en azote (1,5 %), est nécessaire afin de stimuler l'activité biologique dans l'andain en fermentation.

Les ouvriers collectent le fumier sec des, puis le transportent vers l'aire de compostage (ou aire de fermentation) à l'aide d'un véhicule.



Figure 17 : fumier du bovin

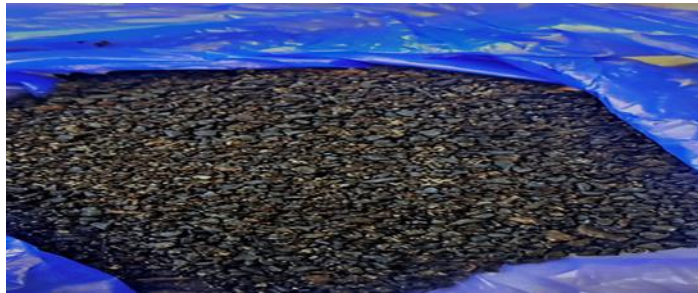


Figure 18 : L'apport de bio char

- Un matériau carboné obtenu par pyrolyse (chauffage sans oxygène) de la biomasse
- L'utilisation de vertes de compostage facilite le processus de décomposition des déchets tout en préservant leur éléments nutritifs en leur fournissant un environnement approprié avec ventilation.

II.1.1. Procède de compostage

Les essais de compostage sont réalisées dans une seule proportion utilisées des produits organiques résiduels sont regroupées au niveau de tableau.

Chapitre02 : Matériel et Méthodes

Constituantes	Seau1	Seau2
Verte de terre (en nombre)	26	26
Argile (kg)	0	0.5
Biochar (kg)	2	1.5
Fumier du bovin (kg)	1.5	1.5
Les feuilles mortes (g)	500	500
Léau (l)	20	20

Tableau 5 : les constituants des seaux utilise



Figure 19 : Photo de préparation de compost dans un seau



Figure 20 : Jus de compost

Pour un bon démarrage du compostage nous avons posé les matières sèches carbonées «les déchets sèches et humide », et azotées « le fumier » (C/N) et bicha sous forme des couches alternées avec des quantités bien définies; permettant l'activation du compostage.

Les dimensions de seaux sont de 30 cm à largeur (L_a), une longueur (L_o) de 80 cm ; et une hauteur (H) à peu près de 52cm.

Pour le premier seau il ya deux couches La première couche est composée des déchets humide de 15 cm de hauteur, puis sèche de feuilles morte de 10 cm de hauteur et fumier de 12 cm et bio char de 5 cm et le même pour la deuxième couche.

Pour le dernier seau les mêmes étapes de premier seau mais à 2 couches.

II.1.2.Suivi de compost

II.1.2.1.Retournement

Pour garantir une bonne aération du compost ainsi qu'une meilleure dissipation de la chaleur produite, le retournement du compost sert à apporter l'oxygène nécessaire à la respiration des microorganismes, à homogénéiser le mélange des matières compostées.

Chapitre02 : Matériel et Méthodes

Il est essentiel de respecter un programme de retournement adapté. La fréquence des retournements dépend du taux de décomposition, du niveau d'humidité, de la porosité des matériaux, ainsi que de la durée souhaitée pour le compostage. Étant donné que la décomposition est plus rapide au début du processus, les retournements sont plus fréquents au départ.

Le premier retournement ne doit intervenir qu'au bout de 2 à 4 semaines, afin d'éviter une baisse de température qui pourrait nuire à l'activité bactérienne.

Dure (j)	Retournement	Les compléments
1 a15		Les déchets agricoles humiques et secs 5l d'eau
15 a30	1	Fumier du bovin 10l d'eau
30 à 45	2	Les vertes de terre 10l d'eau
45a 60	3	Le bio char 10l d'eau
60 à 75		10l d'eau
75 à 100	4	Bio char (ech1) Argil (ech2) 5l deal

Chapitre02 : Matériel et Méthodes

100 à 120	5	Just bonne aération
-----------	---	---------------------

Tableau 6 : le retournement de compost

II.1.2.2.L'humidité

L'humidité joue un rôle essentiel dans le maintien de l'activité métabolique des micro-organismes. Pour un compost efficace, la teneur en eau doit être comprise entre 40 % et 65 %.

Si le compost est trop sec, le processus de compostage ralentit considérablement, une humidité supérieure à 65 % favorise des conditions anaérobies, ce qui entraîne l'inhibition ou la disparition des bactéries, laissant principalement les champignons actifs.

Il est donc tout aussi importante de ne pas trop humidifier le compost, car un excès d'eau réduit la disponibilité en oxygène, provoque le pourrissement et génère des odeurs désagréables.

II.1.2.3.Détermination du carbone organique

L'évaluation de la teneur en carbone des amendements organiques repose sur la détermination de leur teneur en matière organique (M.O) par la méthode de la perte au feu. Ensuite, un facteur de conversion basé sur le rapport M.O/C est appliqué pour estimer la teneur en carbone.

Les facteurs les plus souvent utilisés sont 1.724 et 2.0. Selon les laboratoires et la nature des produits pour les composts. Il a été déterminé lors de l'élaboration de la norme nationale du Canada sur les composts (BNQ, 1997).

Conventionnellement, le pourcentage de carbone est égal à la moitié du pourcentage de la matière organique totale (AFNOR, 1999).

La teneur en matière organique, déterminée par la méthode de perte au feu, correspond à la fraction volatile de l'échantillon, représentant ainsi la matière organique totale. Cette teneur, rapportée à la matière sèche, est obtenue par calcination de 3 g de compost à 550 °C

Chapitre02 : Matériel et Méthodes

pendant 16 heures, conformément à la norme. NF U 44-160

Les analyses ont été réalisées pour chaque andain au cours des premières phases du processus de compostage, notamment durant les étapes mésophile et thermophile.

II.2. Fabrication de l'engrais minéral

Appart ire de l'eau de mer on a fait un engrais minéral améliore la sante microbiologique du sol et la capacité de rétention en eau, fabrique partir de sels marins et eau distille et le lessive de soude.

Il est substance supposée enrichir la terre surtout pour les racines et la production.

II.3. Test biologique

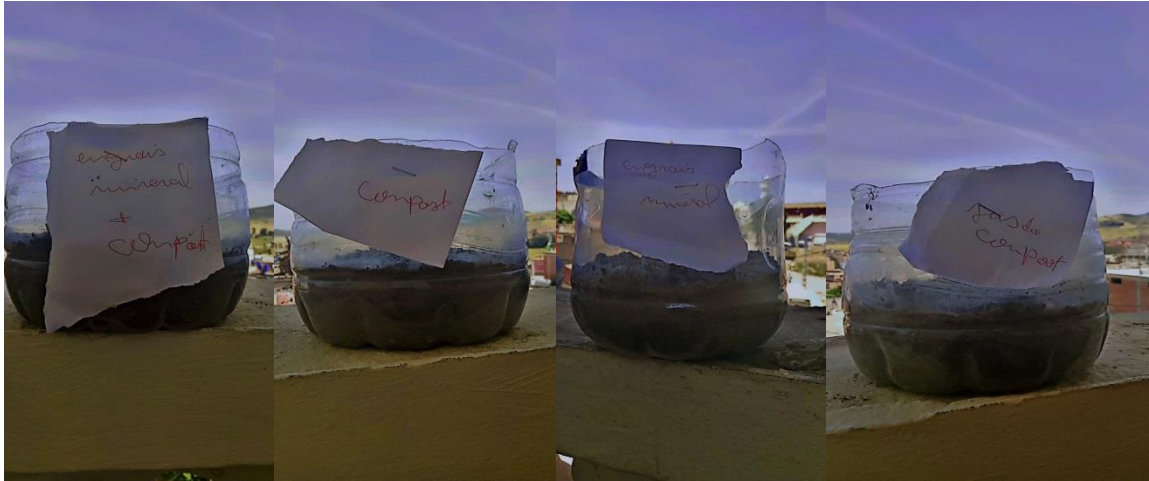
Le semi du blé dur dans des pots pour suivi l'évolution du blé avec l'utilisation d'engrais organique et minéral dans un chaque pot.

En trouve 4 pots :

L'engrais	Pot+ le sol argilo-sableux
Le compost	2
Jus de compost	3
Engrais minéral	4
Le compost +l'engrais minéral	5

Tableau 7 : les pots

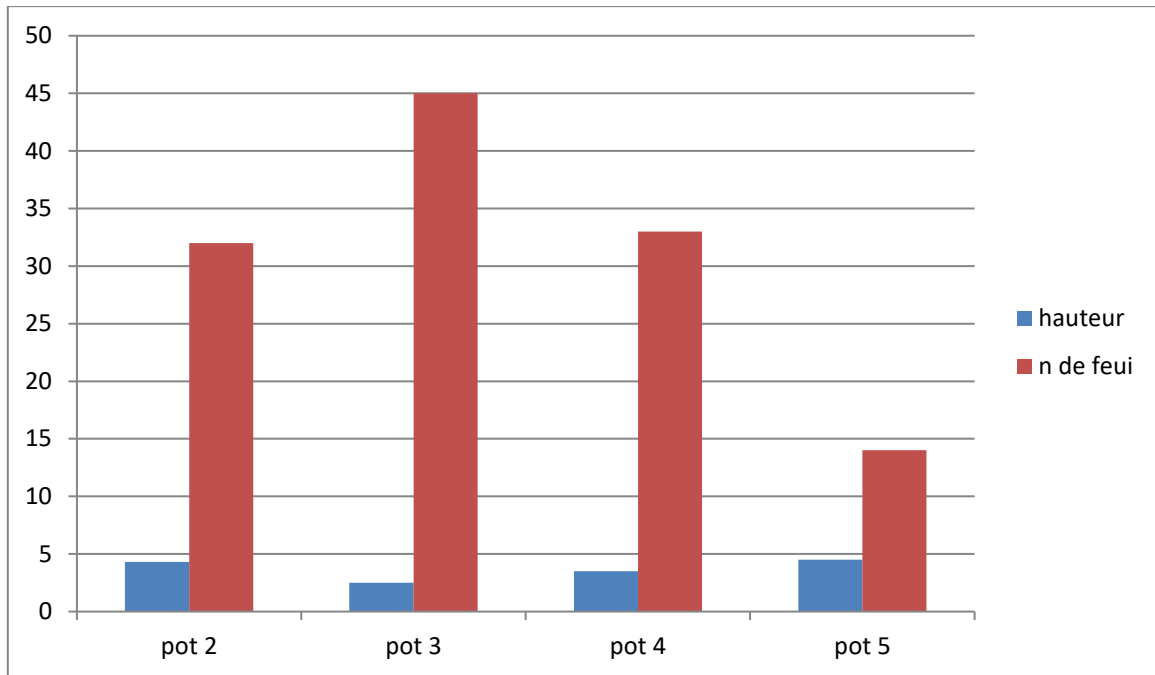
Chapitre02 : Matériel et Méthodes



1^{er} pot : c'est le pot témoin dans ce cas le sol est place avec le blé et suivi sans utiliser d'engrais, avec seulement de l'irrigation.

II.3.1.Suivi du blé dur

- Le semis : culture pendant mai, le semer de 10 graines a une profondeur de 3 cm et un espace de 5 cm entre chaque.
- Arrosage : en garde le sol humide pas détrempe, en réduire la fréquence après 10 jours,
- Exposition : en place les pots dans un jardin ensoleille 7h pour jours.
- La croissance depuis 15 jours



Graphe 01 : L'évaluation du blé par rapport ou engrais utilise pendant 10 jours

II.3.2. Température de sol

Le facteur le plus important est la température du sol. Température du sol **entraîne tous les processus** métaboliques et bien que de nombreux autres facteurs tels que l'humidité, l'aération, la nutrition et la profondeur soient également importants, ils ne commencent à influencer la graine que lorsqu'il fait suffisamment chaud pour que tous les processus biochimiques de la culture soient lancés.

II.3.3. Humidité de sol

L'humidité du sol influence la vitesse à laquelle l'eau est absorbée par les graines. Pour pouvoir germer, celles-ci doivent atteindre un certain niveau d'humidité proportionnel à leur poids. Une teneur en eau suffisante, assurée par l'humidité du sol et les précipitations précoces du printemps, favorise une germination rapide et réussie, à condition que la température soit adéquate. Ce processus varie également en fonction du type de sol.

Chapitre02 : Matériel et Méthodes

II.3.4. Tempe d'application de l'engrais

Le pot	Moment d'application
Témoin
De compost	Ou début de germination
De jus de compost	Ou milieu de germination et montaison
De engrais minéral	Ou début de germination
De compost +engrais minéral	Ou début de germination

Tableau 8 : Tempe d'application de l'engrais

Chapitre 03 : Résultats Et Discussion

Chapitre 03 : Résultats et discussion

I. Paramètres analysés

Pour évaluer le degré de maturité du compost de nombreux travaux de recherche se basent sur les caractéristiques chimiques telles que :

- Ph
- Humidité
- matière organique
- Conductivité
- Porosité

I.1. Mesure de pH

À partir de l'échantillon, 10 g de compost sont prélevés puis mélangés à 25 ml d'eau distillée stérile dans un bécher de 100 ml, selon un rapport de 1:5. Le mélange est ensuite agité pendant 15 minutes à l'aide d'un agitateur magnétique. Après agitation, on laisse reposer la solution pendant 15 minutes avant de mesurer le pH à l'aide d'un pH-mètre.



Figure 21 : mesure de pH

Pour définir le type de pH nous avons utilisé la gamme de l'évolution du pH suivante :

Chapitre 03 : Résultats et discussion

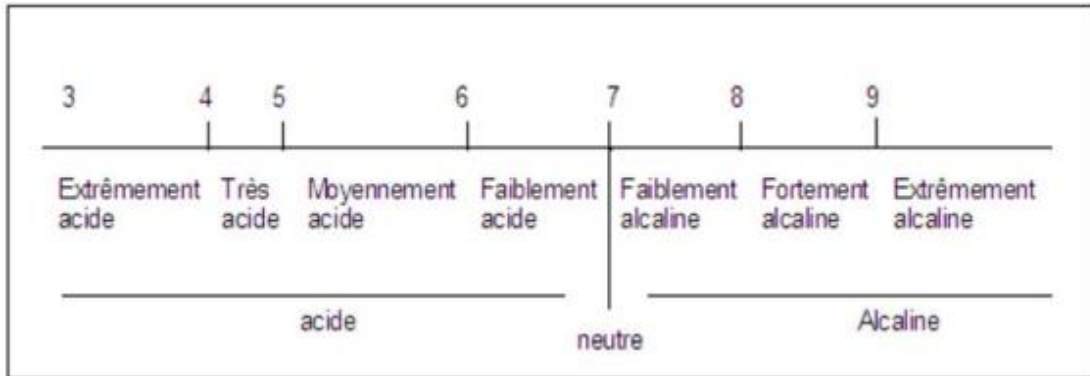


Figure 22 : Gamme de l'évolution de pH (Pousset, 1999).

Le résultat d'analyse de pH au niveau de laboratoire du sol montre une valeur 9,49, on remarque que le pH est extrêmement alcalin.

Dans le processus de compostage, la valeur du pH est l'une des paramètres les plus importantes car elle influe sur les activités microbiennes et enzymatiques pendant ces processus (P, C., & H, 2016).

Plusieurs travaux ont montré que le pH est un indicateur de la maturité du compost, les pH acides sont caractéristiques des composts immatures (instables), tandis que les composts mûrs sont caractérisés par des pH compris entre 6 et 9 (Biddlestone et Gray, 1988) et entre 7 et 9 (Albrecht, 2007).

I.2. Mesure humidité

Un échantillon de 10 g de composte tamise et pesé dans un creuset a l'Etat humide et l'Etat sec (dans l'étuve pendant 24 h 105c)



Figure 23 : le compost

Chapitre 03 : Résultats et discussion

Poids de compost humid:10g

Poids de compost sèche : 7.8g

Donc :

$$\text{Humidité' (\%)} = [(M \text{ humide} - M \text{ sec}) / M \text{ sec}] \times 100$$

$$= [(10 - 7.8) / 7.8] \times 100$$

$$= (2.2 / 7.8) \times 100$$

$$= 28.21\%$$

I.3. Mesure de la matière organique et carbone organique

L'analyse de la matière organique (MO) et des cendres dans un compost s'effectue en deux étapes, selon le protocole du laboratoire du CRSTRA :

Séchage à 105 °C :

Un échantillon de 10 g de compost est placé dans une étuve pendant deux heures à 105 °C afin d'éliminer l'eau. On obtient ainsi la masse sèche de l'échantillon.

Calcination à 450 °C :

L'échantillon sec est ensuite calciné dans un four à moufle à 450 °C pendant quatre heures. Cette opération détruit complètement la matière organique, ne laissant que les résidus minéraux appelés cendres.

La teneur en matière organique est déterminée par simple différence entre la masse sèche avant calcination et la masse des cendres obtenue après calcination. La formule utilisée est la suivante :

$$\text{MO(\%)} = ((P_s - P_c) / P_s) \times 100$$

Avec :

P_s : Poids de l'échantillon sec (mg);

P_c : Poids de l'échantillon après calcination (mg).

Chapitre 03 : Résultats et discussion

A partir de pourcentage de MO, nous pouvons déterminer les pourcentages de carbone organique (CO), ainsi en appliquant la relation suivante :

$$CO(\%) = MO(\%) * 1.72$$

À l'issue de l'analyse de la matière organique effectuée en laboratoire, une teneur de **37,4 %** a été obtenue, tandis que la teneur en **carbone organique** a été évaluée à **21,74 %**. En comparaison, selon Harzelli (2017), la teneur en matière organique du compost issu de déchets verts était de **23 %**.

La teneur en carbone organique diminue au cours du compostage. Cette diminution de la concentration a lieu essentiellement pendant la phase de fermentation. La principale raison de cette diminution est l'utilisation par les micro-organismes et les vertes de terre des substances organiques indispensables à leurs métabolismes, conduisant à leur minéralisation en dioxyde de carbone (Mustin M, 1987).

I.4. Mesure de la conductivité électrique

À partir de l'échantillon, 10 g de compost sont prélevés puis mélangés à 30 ml d'eau distillée stérile dans un bécher de 100 ml, selon un rapport de 1:5. Le mélange est ensuite agité pendant 20 minutes à l'aide d'un agitateur magnétique. Après agitation, on laisse reposer la solution pendant 15 minutes avant de



Figure 24 : mesure de conductivité

Mesurer la CE à l'aide d'un conductimètre. Le résultat d'analyse de CE avec une température de 22C au niveau de laboratoire du sol montrent une valeur 1.668ms/cm avec faible salinité.

Chapitre 03 : Résultats et discussion

I.5. Mesure de la porosité

Le volume des eaux occupe dans le sol, pour mesure la porosité en prélevé, sans la tasser et après un séchage de 105°C pendant 24 h

$$D_a = m/v$$

$$V \text{ du cylindre} = 3.14 * r * h = 3.14 * 5 * 7.4 = 100 \text{ cm}^3$$

$$m = 0.8$$

$$D_a = 0.8/100 = 0.08 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Porosité} = 1 - (D_a/D_r) \times 100$$

$$D_r = 1.2 \text{ g/cm}^3$$

Donc porosité : 34%

Compost bien aérer a cause des les bactéries et les vertes de terre cerclé et ça et évaluer la biodiversité des microorganismes existe pour la décomposition de la matière organique.

I.6. Multiplication de vert de terre

Vert de compost	Nombre	Taille
Premier de compostage	26	3cm
Fin de compostage	62	7.8cm

Tableau 9 : l'évolution du verte de compost

Les verts de compost trouvent le bon environnement pour la reproduction et la nutrition, a l'effet du carbone et la bonne aération et potassium..., le system vermicompostage devient facilement assimilables pour la plante et une capacité d'améliorer la structure de sol.

Les vers de terre jouent un rôle fondamental dans la préservation de la vie humaine et de l'environnement. En tant qu'éléments clés de la chaîne alimentaire, ils assurent la fertilité des sols dont dépend notre alimentation. Le lombric, par son comportement fouisseur et son mode de

Chapitre 03 : Résultats et discussion

vie, contribue activement à la structuration des sols, faisant de lui un acteur écologique de premier plan

I.7. Evaluation de test biologique

Pour voir l'effet de l'engrais utilisé sur la germination (entre 4 à 10 jours)

En calcule le moyen :

$$\text{Moyen} = \text{Somme des hauteurs} / \text{Nombre des valeurs} = (4.5 + 6 + 4.5 + 4.7 + 5.5) / 5 = 5.04$$

La culture du blé peut bénéficier efficacement de l'utilisation du compost. Les résultats expérimentaux indiquent que l'intégration du compost dans le sol contribue à **améliorer à la fois la germination et le développement végétatif** du blé. En effet, le compost constitue une **source naturelle de nutriments essentiels**, tels que l'**azote**, le **phosphore** et la **potasse**, indispensables à la croissance de la plante. Par ailleurs, le compost agit favorablement sur la **structure du sol**, en renforçant sa capacité de **rétenion en eau** tout en facilitant le **drainage**, ce qui crée un environnement plus adapté à la croissance racinaire.



Figure 25 : Les feuilles de blé

Le taux de germination

Après de prendre un 65 de grains dans un papier filtre un essuie-tout humid place dans une recipient sans exe deau dans un temperature de 25°c pendant 5 jours en trouve des graines germées avec la radicule danc :

Chapitre 03 : Résultats et discussion

Taux de germination %=(Nombre de graines germees/Nombre de gaines total)x100

$$=(51/65)\times 100$$

En trouve :78.46%



Figure 26 : Germination du blé

Conclusion

Conclusion

Conclusion :

Il est aujourd'hui largement reconnu que le compost et le bio char apportent de nombreux bienfaits au sol. Le compost améliore ses propriétés physiques, chimiques et biologiques, en favorisant notamment la rétention d'eau dans les sols légers et en aérant la structure des sols lourds. Quant au bio char, il contribue à stabiliser la matière organique, augmente la capacité de rétention en nutriments, et améliore durablement la structure et la fertilité des sols.

L'ensemble des avantages offerts par le compost permet d'augmenter les rendements des cultures agricoles à moindre coût, tout en respectant l'environnement grâce au recyclage des déchets ménagers et industriels.

Cette étude nous a permis, d'une part, d'évaluer la qualité d'un compost issu de matières mixtes (déchets ménagers et feuilles des arbres, biochar, fumier du bovin), et d'autre part, d'identifier l'activité des vertes de compostage présente au cours du processus de compostage.

Parallèlement, un suivi régulier des paramètres physico-chimiques a été effectué tout au long du processus de compostage.

Pour qu'une stratégie soit couronnée de succès, il me semble essentiel de prendre en considération les aspects économiques, écologiques et cultureux. C'est dans cette optique que j'ai mené ce modeste travail, où j'ai mis en évidence l'effet du compost et engrais minéral et bio char sur l'élongation des tiges et le nombre de feuilles chez le blé dur. Cependant, ces indicateurs à eux seuls ne suffisent pas à prédire une éventuelle augmentation du rendement. C'est pourquoi je considère qu'il est nécessaire de poursuivre les recherches, notamment en étudiant l'impact du compost et le bio char sur des paramètres plus directement liés à la production, tels que la production.

Afin d'évaluer à sa juste valeur l'impact de ce produit sur les cultures agricoles, il est nécessaire de multiplier les essais, y compris dans des conditions exceptionnelles, tout en quantifiant d'autres paramètres sur le court, moyen et long terme.

À long terme, ce sont les aspects économiques et environnementaux qui seront privilégiés. En effet, le recyclage des différents déchets contribue à la lutte contre la pollution agricole et réduit la quantité de déchets à traiter. Sur le plan économique, une utilisation raisonnée du compost offre aux agriculteurs un gain supplémentaire non négligeable.

Conclusion

Cela se répercute sur le coût de production, contribuant ainsi à améliorer le pouvoir d'achat des citoyens, qui ne cesse de diminuer.

Bibliographie

Bibliographie

Bibliographie

- 1) ADEM. (2002). *Le compostage des déchets organiques : Principes, procédés et suivi*.
- 2) ADEM. (2010). *Le compostage domestique : Maîtriser les déchets organiques à la source*. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.
- 3) ADEM. (2020). *Le compostage*.
- 4) (1988). aerobic biodegradation of solid. 825-839. (B. A, Intervieweur)
- 5) AFNOR. (1999). *Dénombrement des micro-organismes par comptage des colonies obtenues*. Paris.
- 6) Afriyie, & Amoabeng. (2017). Use of organic wast compost to improve soil fertility and crop yilds. *Agricultural Research*, 3(12), 101 110.
- 7) Al-Rawajfeh et al. (2019). Biochar application in improving soil health and sustainability. *Environmental Science and Pollution Research*, 4(26), pp. 3456–3469.
- 8) Amusat, S.et al. (s.d.). Ball-milled synthesis of biochar.
- 9) AND. (2014). *gestion des dechetes*. algerie.
- 10) AND. (2020). *gestion des dechetes*. algerie.
- 11) Arrêté ministériel. (1997). l'élimination des déchets organiques par compostage. *la République française*.
- 12) biologique, Initiation au jardinage. (2014). *la gestion des sols, le compostage, la planification des cultures, et la régulation des parasites et maladies*. paris.
- 13) BNQ. (1997). *Amendements organiques – Composts*. Québec.
- 14) CENTREX. (1999). *Technicien Réseau*. France.
- 15) Cissé et al. (2022). *Valorisation par compostage des déchets organiques dans la wilaya de Tizi-Ouzou*. Tizi-Ouzou, Université Mouloud Mammeri .
- 16) Cole, M. (1999). le compostage des biomasses fibreuses et matures.

Bibliographie

- 17) Ding, Y. et al. (2016). Biochar to improve soil fertility: A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2(36), p. 36.
- 18) Dufrêne, M. (2001). *L'esthétique du quotidien*. Presses Universitaires, France.
- 19) Evenson, R. (1960). Assessing the impact of the Green Revolution. pp. 758–762.
- 20) Evenson, R.; (2003). Assessing the impact of the Green Revolution. pp. 758–762.
- 21) Fang, W et al. (2020). *Impact of biochar on rhizosphere bacterial diversity restoration following chloropicrin fumigation of planted soil*. *Science of The Total Environment*.
- 22) FAO. (2006). *he state of food insecurity in the world : Eradicating world hunger*.
- 23) Foley, J; Robertson, G;. (2005). Global consequences of land use. pp. 570–574.
- 24) Francou, C. (2003). *Stabilisation de la matière organique au cours du compostage des déchets urbains*.
- 25) Fritze, H; Pennanen, T; Pietikäinen, J;. (2000). *Recovery of soil microbial communities and functions after disturbances*.
- 26) FUE. (2020). *rapport technique*.
- 27) Gascó, G; Méndez, A;. (2012). The use of biochar as soil amendment: A brief review of the effects on soil physical properties. *Agricultura Técnica*, 3(72), pp. 295–300.
- 28) Gerard, L. (2015). *Gestion des amendements carbonés en agriculture : disponibilité des éléments nutritifs et recommandations d'application*.
- 29) Godden, B. Garnier. (1992). *Compostage et évolution de la matière organique*. (INRA, Éd.) Paris.
- 30) Guide de culture du blé dur. (2021). Institut du végétal, France.
- 31) Hagemann, N; Harter, J;et al. (2017). Does soil aging affect the N₂O mitigation potential of biochar? A combined microcosm and field study. 5(9), pp. 953–964.
- 32) Harcourt, T. (s.d.). *Biochar en agriculture : une solution polyvalente*. Consulté le 2023, sur Carbon Centric: <https://carbon-centric.fr/biochar-agriculture/>

Bibliographie

- 33) Haug, R. T. (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering*. (C. Press., Éd.)
- 34) Hudson, D. (1994). *A framework for environmental modeling*. University of Oxford., ORM.
- 35) IEA. (2005). *Évaluation agronomique des composts issus des ordures ménagères*. IEA.
- 36) INR. (2020). *Le rôle des bactéries dans la santé des sols*.
- 37) INRA. (1998). *Le compost : Principes et utilisation*. Institut National de la Recherche Agronomique.
- 38) INRAE. (2012). *Les micro-organismes du sol et leur rôle dans les écosystèmes*. Institut National de Recherche pour l'Agriculture.
- 39) ITAB. (2001). *Guide pratique du compostage en élevage*. Institut Technique de l'Agriculture Biologique.
- 40) Jobin, P; Douville;. (2015). *la gestion des résidus de culture et la fixation de l'azote par les légumineuses sont disponibles*.
- 41) Joseph, S. (2009). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology* .
- 42) Joseph, S; Cowie, A;. (2021). How biochar works, and when it doesn't. *mechanisms controlling soil and plant responses to biochar*, 11(13), pp. 1731–1764.
- 43) Kimetu, J. M; Lehmann, J;. (2008). Reversibility of soil productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient. *Ecosystems*, 5(11), pp. 726–739.
- 44) Kuhlbusch, T; A. J; Crutzen, P. (1995). Toward a global estimate of black carbon in residues of vegetation fires. *Climatic Change*. 159–166(29).
- 45) Lehmann, J. Joseph, S. (2009). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan.

Bibliographie

- 46) Ma, N., & Zhang, L. (2016). Biochar improves soil aggregate stability and water availability in a Mollisol after three years of field application. *5(11)*.
- 47) Mark, J. (2014). *The role of decomposition in nutrient cycling*. (E. Press, Éd.)
- 48) Matson, P; Parton, W;. (1997). Agricultural intensification and ecosystem properties. pp. 504–509.
- 49) Mustin M. (1987). Le Compost. *Gestion de la Matière Organique*, 957.
- 50) Naz, M, & Sulaiman, S. (2016). Slow release coating remedy for nitrogen loss from conventional urea. *Controlled Release*, 109–120.
- 51) Ngo, P. T. Cavagnaro, T. R. (2018). Compost application improves soil nutrient availability and plant performance. *Soil Science and Plant Nutrition*, 4(18), 987-1002.
- 52) Ninane, V. (1995). Étude des mécanismes de défense immunitaire pulmonaire. *Pneumologie Clinique*, 3(51), 145–152.
- 53) P, C., C., C. M., & H, M. (2016). *Measuring the reduction limit of repeated*.
- 54) Pousset, J. (1999). *L'engrais verts et fertilité des sols* (éd. 2ème Edition).
- 55) R, A. (2007). *Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets*. Université Paul Cezanne Aix Marseille.
- 56) Sanchez, P. (2002). Soil fertility and hunger.
- 57) Sanchez, P. (1976). *Properties and management of soils in the tropics*. New York, Wiley.
- 58) Sarrantonia, M. (1994). le compostage des biomasses fibreuses et matures.
- 59) Schmidt et al. (2017). *The use of biochar in animal feeding*.
- 60) Stocking, M. (2003). tropical soils and food security: The problem of supporting food production on infertile soils.
- 61) Sullivan, D. (2003). Maturity and stability evaluation of composted yard trimmings. *Compost Science & Utilization*, 1(6), pp. 6-18.

Bibliographie

- 62) Sullivan, D. (2003). Composting of Lignocellulosic Waste Material for Soil Amendment. *Compost Science & Utilization*, 1(6), pp. 6–18.
- 63) Sun, K et al. (2018). *Effect of ZnCl₂-activated biochar on catalytic pyrolysis of mixed waste plastics for producing aromatic-enriched oil.*
- 64) Tilman, D; Cassman, K;. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*. pp. 671–677.
- 65) Wei, L. e. (2014). Effects of biochar application on soil nutrient retention and crop productivity. *Soils and Sediments*, 5(14), 737–750.
- 66) Weill, A. Jein Duval. (2009). *Guide de gestion des matières organiques agricoles.* france.
- 67) Zech, W; Schad, P; Hintereiner, E;. (2002). *Soil Science: An Introduction to Soils and Plant Growth.*

Annexe

Annexe

Annexe 01 : l'évolution du blé para port ou engrais utilise

Pot	Hauteur (cm)	N de feuilles
Témoin	4.5	13
1	6	32
2	5.5	45
3	4.7	33
4	4.5	14

Tableau : l'évolution du blé para port ou engrais utilise