

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère d'Enseignement Supérieur et de la recherche scientifique
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
Faculté de science naturelle et de vie



UNIVERSITE
Abdelhamid Ibn Badis
MOSTAGANEM

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'Obtention du diplôme de
master académique en production végétale**

**Effet de la fertilisation minérale et des
amendements organiques sur la culture de blé dur
(*Triticum durum Desf*) (variété simeto) dans la
région de Mostaganem**

Soutenu par :

BELABIOD Aya

ALI YAHIA Nesrine

Membre du jury :

Président: Dr Arbaoui Mohamed

MCA Univ Mostaganem

Examineur: Dr Homrani Monia

MCA Univ Mostaganem

Encadreur : Mme HAMZA Lahouaria

MCB Univ Mostaganem

Année Universitaire :2025/2026



REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions Allah le Tout-Puissant de m'avoir accordé
la santé, la volonté
et le courage pour accomplir ce travail.
nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos chers parents et à
toute

nos famille pour leur amour, leur soutien indéfectible et leurs
encouragements tout au
long de notre parcours.

Nos remerciements vont également à les membres dr jury:

✓ Président de jury: Dr Arbaoui Mohamed

✓ Examineur de jury: Dr Homrani Monia

Pour avoir accepté d'évaluer ce mémoire, ainsi que pour leurs
observations et suggestions enrichissantes.

Je remercie sincèrement mon encadreur Dr Lahouaria Hamza, pour ses
précieux
conseils, sa disponibilité et son soutien tout au long de la réalisation de
ce mémoire.

Je remercie également l'ensemble des enseignants de l'université qui
nous ont

accompagné durant nos années universitaires, avec une mention
particulière à Mlle

Messaoud Djebara Souaad pour son aide et son dévouement.

Mes remerciements vont aussi à M. Amara Belahouel pour son
encadrement

durant notre stage pratique, qui a grandement enrichi notre expérience
professionnelle.

Enfin, nous remercions toute personne ayant contribué, de près ou de
loin, à l'aboutissement de ce travail.

*Ali yahia Nesrine
Belabiod Aya*



DÉDICACES

Nous dédions ce modeste travail ...

À nos chers parents, qui ont tout sacrifié pour notre bonheur et notre
réussite, et dont

les prières et l'amour inconditionnel ont été notre plus grande force.

À toute la famille, pour leur soutien, leur tendresse et leurs
encouragements tout au
long de notre parcours.

À tous nos enseignants qui ont contribué à ma formation et forgé en moi
l'amour du
savoir..

À tous ceux qui nous sont chers et qui ont cru en nous.

Ce travail est le fruit de vos efforts autant que des nôtres.

Ali yahia nesrine

Belabiod aya



RÉSUMÉ

Français

Ce mémoire étudie l'effet de l'amendement et de la fertilisation sur les traits morphologiques et l'analyse biochimique du blé dur (variété Simeto). L'essai, mené en blocs complets randomisés à la ferme expérimentale de Hassi Mameche (Mostaganem), compare trois traitements : engrais NPK 30-10-10 (150 kg/ha), déchets ménagers, et poudre de Retama monosperma (genêt blanc, 500 kg/ha). Résultats clés : les déchets ménagers ont eu un effet notable sur la croissance du blé (longueur de tige, diamètre de chaume, matière sèche) le NPK stimule racines, chlorophylle et protéines, la poudre de Retama monosperma améliore la surface foliaire et les sucres totaux. Le recyclage des déchets ménagers contribue également à l'assainissement environnemental.

English

This thesis examines the effect of soil amendment and fertilization on the morphological traits and biochemical composition of durum wheat (Simeto variety). Conducted in a randomized complete block design at the Hassi Mameche experimental farm (Mostaganem), it compares three treatments: NPK 30-10-10 fertilizer (150 kg/ha), household waste, and Retama monosperma powder (white broom, 500 kg/ha). Key findings: household waste had a notable effect on wheat growth (stem length, culm diameter, dry matter) NPK boosted root growth, chlorophyll, and protein content; Retama monosperma powder increased leaf area and total sugars. Household waste recycling also supports environmental.

العربية

تدرس هذه المذكرة تأثير التعديل والتسميد على الصفات المورفولوجية والتركيب الكيميائي الحبيوي للقمح الصلب (صنف simento) أجريت التجربة وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة في المزرعة التجريبية بحاسي ماماش مستغانم ومقارنة ثلاث معاملات: سماد NPK (150 كغ/هكتار)، النفايات المنزلية، ومسحوق نبات الرتم الأبيض retama monosperma (500 كغ/هكتار).

أظهرت النتائج أن للنفايات المنزلية تأثيراً ملحوظاً على نمو القمح (طول الساق، قطر الساق، المادة الجافة)، بينما حفّز سماد NPK نمو الجذور والكلوروفيل والبروتينات، وحسّن مسحوق الرتم مساحة الأوراق والسكريات الكلية. كما يساهم تدوير النفايات المنزلية في التحسين البيئي.



SOMMAIRE

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicace

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations.

Introduction générale	1
Chapitre I : Recherche bibliographique	
1.1. Généralité sur le blé dur	3
1.2. Classification botanique du blé dur	4
1.3. Description morphologique du blé dur	5
1.3.1. Appareil végétatif	5
❖ Système aérien	7
❖ Système racinaire	7
❖ Appareil reproducteur	7
❖ Grain de blé	8
1.4. Physiologie et cycle de développement du blé	8
1.4.1. Période végétatif.....	9
• Phase germination – levée	9
• Phase levée – tallage	11
• Phase tallage – montaison	11
1.4.2. Période reproductrice.....	12
• Phase montaison – gonflement	12
• Phase épiaison – floraison	12
• Phase floraison – fécondation	12
1.4.3. Formation et maturation du grain	13
1.5. Engrais	15

1.5.1 Définition de la fertilisation	15
1.5.2. Définition des engrais	15
1.5.3. Engrais NPK	16
1.5.4. Type d'engrais.....	16
1.5.4.1. Engrais minérales.....	16
1.5.4.2. Engrais azotés	17
1.5.4.3. Engrais phosphatés	18
1.5.4.4. Engrais potassiques	19
1.5.4.5 Engrais organiques	19
1.6. Déchets ménagers	21
1.6.1. Déchets fermentescibles	22
1.6.2. Valorisation des déchets	23
1.6.3. Valorisation organique	23
1.7. Engrais verts	24
1.7.1. Les avantages des engrais verts	24
Chapitre II : Matériels et méthodes	
2.1. Objectif de l'essai	26
2.2. Présentation du site expérimental	26
2.2.1. Caractéristiques climatiques	27
2.2.2. Caractéristiques pédologiques	27
2.3. Matériel végétal	27
2.4. Dispositif expérimental	28
2.4.1. Caractéristiques des traitements utilisés	29
2.4.1.1. <i>Retama monosperma</i> (L.) Boiss	29
○ Préparation.....	30
2.4.1.2. Engrais chimique NPK	30
2.4.1.3. Déchets ménagers	31
○ Préparation.....	31

2.5. Conduite de l'essai	31
▪ Préparation du sol	31
▪ Application des engrais	31
▪ Semis	31
2.5.1. Irrigation	32
2.6. Étude morphologique	33
2.7. Détermination de la teneur en matière sèche	33
2.8. Dosage de la chlorophylle	34
2.9. Dosage des protéines	35
2.10. Dosage des sucres	36
Chapitre III : Résultats et discussion	
3.1. Effet des traitements sur les caractères morphologiques	37
3.1.1. Longueur de la tige	37
3.1.2. Distance entre les nœuds	38
3.1.3. Nombre de talles	39
3.1.4. Longueur des racines	40
3.1.5. Nombre des racines	41
3.1.6. Surface foliaire	41
3.1.7. Diamètre de la chaume	42
3.2. Analyse chimique du blé dur	43
3.2.1. Teneur en matière sèche (%)	43
3.2.2. Teneur en chlorophylle	44
3.2.3. Teneur en sucres totaux	45
3.2.4. Teneur en protéines	46
3.2.5 Discussion.....	47
Conclusion	51
Références bibliographiques	



LISTE DES FIGURES

Figure 01 : Morphologie de la plante de la famille Poaceae.....	6
Figure 02 : Morphologie du blé dur.....	6
Figure 03 : Fleurs et graine (caryopse) de blé.....	7
Figure 04 : Anatomie du grain de blé dur.....	8
Figure 05 : La germination du blé	10
Figure 06 : Les étapes de la germination d'une graine.....	11
Figure 07 : Cycle de développement du blé.....	14
Figure 08 : Profondeur d'enracinement des plantes avec et sans fertilisation.....	15
Figure 09 : Cycle de l'azote.....	18
Figure 10 : Cycle du phosphore.....	19
Figure 11 : Principe du processus de compostage.....	22
Figure 12 : Carte de situation de la ferme expérimentale.....	26
Figure 13 : Germination du blé dur variété Siméto.....	28
Figure 14 : Schéma du dispositif expérimental.....	29
Figure 15 : Dispositif expérimental appliqué en blocs.....	29
Figure 16 : Poudre de la plante <i>Retama monosperma</i>	30
Figure 17 : Engrais NPK (30.10.10).....	30
Figure 18 : Poudre des déchets ménagers.....	31
Figure 19 : Mise en culture du blé dur : semis en ligne.....	32
Figure 20 : Application d'irrigation avec un arrosoir.....	33
Figure 21 : Protocole expérimental du dosage de chlorophylle.....	34
Figure 22 : Protocole expérimental du dosage des protéines.....	35
Figure 23 : Protocole expérimental du dosage des sucres.....	36
Figure 24 : Variation de la longueur de la tige selon les traitements.....	37
Figure 25 : Variation de la distance entre nœuds selon les traitements.....	38
Figure 26 : Variation du nombre de talles selon les traitements.....	39
Figure 27 : Variation de la longueur des racines selon les traitements.....	40

Liste des figures

Figure 28 : Variation de la teneur en matière sèche (%) selon les traitements.....	43
Figure 29 : Variation de la teneur en chlorophylle des feuilles selon les traitements.....	44
Figure 30 : Teneur en sucres totaux des feuilles de blé dur selon les traitements.....	45
Figure 31 : Teneur en protéines des feuilles de blé dur selon les traitements.....	46



LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux

Tableau 01 : Composition qualitative pour 100 g de grains entiers du blé dur	4
Tableau 02 : Classification botanique de blé dur.....	4
Tableau 03 : Les périodes des phases de développement	9
Tableau 04 : Comparaison des avantages et inconvénients des engrais minéraux.....	17
Tableau 05 : Récapitulatif des effets des engrais organiques sur le sol	21
Tableau 06 : Récapitulatif des avantages et limites des engrais verts.....	25
Tableau 07 : Caractères climatiques de la ferme	27
Tableau 08 : Caractères pédologiques de la ferme	27
Tableau 09 : Variation du nombre des racines selon les traitements	41
Tableau 10 : Variation de la surface foliaire (cm ²) selon les traitements	41
Tableau 11 : Variation du diamètre de la chaume	42



LISTE DES ABRÉVIATIONS

Liste des abréviations

- **APG III** : Angiosperm Phylogeny Group III
- **ATP** : Adénosine Triphosphate
- **Chl a** : Chlorophylle a
- **Chl b** : Chlorophylle b
- **Chl (a+b)** : Chlorophylle totale
- **cm** : Centimètre
- **FAO** : Organisation des Nations Unies pour l’Alimentation et l’Agriculture
- **g** : Gramme
- **ha** : Hectare
- **K** : Potassium
- **K₂O** : Oxyde de potassium
- **L** : Litre
- **MF** : Matière fraîche
- **mg** : Milligramme
- **mg/ml** : Milligramme par millilitre
- **ml** : Millilitre
- **MS** : Matière sèche
- **N** : Azote
- **NH₄⁺** : Ion ammonium
- **NO₃⁻** : Ion nitrate
- **NPK** : Azote – Phosphore – Potassium
- **P** : Phosphore
- **P₂O₅** : Anhydride phosphorique
- **pH** : Potentiel hydrogène
- **qx/ha** : Quintaux par hectare
- **SF** : Surface foliaire
- **T0** : Témoin
- **T1** : Engrais NPK
- **T2** : Déchets ménagers
- **T3** : Poudre de *Retama monosperma*
- **°C** : Degré Celsius



INTRODUCTION GÉNÉRALE

A travers le monde, les céréales ont une importance impérative pour les disponibilités consommation des produits céréaliers et indirectement à travers la production animale. A cet égard, dans les pays de l'Afrique du nord, le régime alimentaire est composé de 206 Kg de céréale par tête d'habitant en Tunisie contre 200 Kg en Algérie et 175 Kg au Maroc (Kamel *et al.*, 2017).

La production céréalière mondiale a atteint 839 millions de tonnes, en revanche le blé dur a estimé 30 et 37 million de tonnes (FAO,2026),il considère comme le premier plan des cultures assurant la sécurité alimentaire des populations d'Afrique du Nord, dont l'Algérie où le blé dur (*Triticum durum*) est la culture la plus importante en termes de surface cultivée et de consommation locale. Toutefois, la production nationale ne couvre qu'une partie de la demande, ce qui conduit l'Algérie à dépendre des importations pour satisfaire ses besoins (FAO, 2021).

La productivité du blé dur est liée à plusieurs facteurs environnementaux et techniques, tels que la quantité de précipitations, la qualité des sols et l'application de pratiques agricoles améliorées comme la fertilisation et l'irrigation (USDA, 2024).

La fertilisation joue un rôle vital dans l'amélioration de la production de blé dur, particulièrement en milieu sec, en compensant le déficit en éléments minéraux indispensables à la croissance des plantes. Elle favorise une gestion intégrée des nutriments qui améliore durablement la fertilité des sols et soutient la sécurité alimentaire en augmentant le rendement des cultures (FAO,2019).

Le blé a besoin d'éléments essentiels pour un bon développement et bonne croissance notamment l'azote, le phosphore, et le potassium, et les amendements organiques qui ont un rôle crucial dans l'amélioration de la structure du sol et sa rétention en eau.

Le terme "déchet ménager" fait référence aux déchets générés par les activités quotidiennes des ménages. Il englobe une variété de matériaux et de substances résultant des routines domestiques, notamment les restes de cuisine, les emballages, les produits jetables, et d'autres déchets courants produits dans le cadre de la vie quotidienne(Anonyme,2023)

Les engrais verts sont une culture intermédiaire qui permet d'occuper une zone pendant une période donnée afin de profiter de nombreux avantages agronomiques apportés par cette espèce.

Cette culture est enfouie dans le sol ou fauchée à un moment précis de son cycle et de la saison qui varient en fonction de l'espèce choisie (Anonyme, 2024)

Les engrais verts sont une culture intermédiaire qui permet d'occuper une zone pendant une période donnée afin de profiter de nombreux avantages agronomiques apportés par cette espèce. Cette culture est enfouie dans le sol ou fauchée à un moment précis de son cycle et de la saison qui varient en fonction de l'espèce choisie (Anonyme, 2024)

Dans ce contexte, nous avons mené un essai en plein champ au cours de la campagne agricole 2025–2026 dans la région de Mostaganem Daira de Hassi Mameche afin d'évaluer l'effet de trois types de fertilisants (*Retama monosperma*, déchets ménagers et NPK) sur le comportement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) alimentaires. Elles représentent l'aliment de base de toute l'humanité à leur contribution essentielle à l'alimentation humaine et animal.

Ce travail est structuré en 3 chapitre :

Chapitre I : Recherche bibliographique

Chapitre II : Matériels et méthodes

Chapitre III : Résultats et discussion



Chapitre I : *Recherche bibliographique*

1.1. Généralités sur le blé dur

Le blé dur (*Triticum durum*. Desf.) est l'une des principales ressources alimentaires de l'humanité (Roudart, 2006) à raison de 75 % de la production, destiné aussi à l'alimentation des animaux à raison de 15 % de la production et à des usages non alimentaires (Feillet, 2004).

Le terme « grandes cultures » désigne les productions agricoles réalisées à grande échelle pour répondre à différents besoins, notamment l'alimentation humaine et animale, la fabrication de biocarburants ainsi que diverses utilisations industrielles. Elles occupent une place essentielle dans l'approvisionnement alimentaire mondial et dans le développement de l'économie agricole. Ces cultures assurent une part importante de l'alimentation de base des populations à travers le monde. Des produits comme la pomme de terre et les céréales telles que le blé, le riz, le maïs, l'orge ou encore le sorgho constituent des sources majeures de glucides, de fibres et de certaines minéraux (Dahilia, 2024).

En Algérie, la production nationale en blé dur est encore faible (Allaya, 1998). La cause principale de cette faiblesse est le bas niveau de productivité (le rendement) obtenu, soit 9 à 11 qx/ha (Hamadache et al, 2002)

Le blé dur (*Triticum durum*) est une plante annuelle, monocotylédone qui appartient à la famille Poaceae qui comprend plus de 10000 espèces différentes. Ce dernier est un allo tétraploïde $2n=28=AABB$ (Huang et al, 2002).

Le blé dur a une grande valeur nutritionnelle due à sa richesse en protéines et à la présence du gluten qui a la propriété unique de former après hydratation une masse cohérente. Il renferme en plus des acides aminés, des lipides, des glucides, quelques sels minéraux et des vitamines (Huang et al, 2002)

Depuis sa découverte et sa domestication par les cultivateurs des premières civilisations, le blé a toujours été au cœur d'enjeux politiques, économiques et sociaux de premier rang (Roudart, 2006).

On distingue deux espèces cultivées de blé : Le blé tendre (*Tritium aestivum*) (AA BB DD, $2n = 42$), dont le grain après broyage et tamisage fournit une farine panifiable et le blé dur (*Triticum durum* Desf.) (AA BB, $2n = 28$), qui est une culture d'hiver typiquement méditerranéenne, essentiellement cultivé pour la semoulerie, en vue de la fabrication des pâtes alimentaires, couscous et pain (Bataillon et al, 2006).

Les céréales à pailles sont des monocotylédones de la famille des graminacées par ordre d'importance, le riz, le blé, le maïs et les pommes de terre sont les principaux aliments de base dans le monde (Walter, 1984).

La paille est utilisée comme litière et comme aliment pour les animaux (Doré et Varoquaux, 2006). Le blé dur a une grande valeur nutritionnelle, suite à sa richesse en protéines et la présence du gluten, qui donne aux pâtes alimentaires un meilleur terme à la cuisson (Hébrard, 1996)

Tableau 01: Composition qualitative pour 100 g de grains entiers du blé dur (Hébrard, 1996).

Constituants.	Quantité.	Constituants.	Quantité.
Eau (g)	13	Ca (mg)	35
Energie (kj)	1383	Mg (mg)	100
Energie (kcal)	331	P (mg)	390
Glucides (g)	63	Na (mg)	5
Lipides (g)	2,5	K (mg)	-
Protides (g, N x 6, 25)	14	Fe (mg)	4,5
Fibres alimentaires (g)	9,5	Vit B1 (mg)	0,5
Vit B2 (mg)	0, 09	Vit PP (mg)	6
Vit E (mg)	3	Biotine (mg)	0,01
Acide folique (mg)	0,04		

1.2. Classification botanique du blé dur (*Triticum durum*)

Le blé dur est une plante herbacée, appartenant au groupe des céréales à paille. Il est une monocotylédone classée de la manière suivante (Naville, 2005).

Tableau 02 : Classification botanique de blé dur Selon Cronquist, (1981) et APG III, (2009)

	Cronquist, (1981)	APG III, (2009)
Règne	Plantae	
Sous règne	Tracheobionta	
Division	Magnoliophyta	
Classe	Liliopsida	
Sous classe	Commelinidae	
Ordre	Cyperales	Poales
Famille	Graminées	Poacées
Tribu	Triticeae	
Genre	<i>Triticum</i>	
Espèce	<i>Triticum durum</i> (Desf.)	

Les espèces de *Triticum* sont annuelles, principalement des herbes appartenant à la famille de gramineae (Poaceae) qui compte plusieurs espèces répondues pratiquement sur toute la surface des continents (Caligari, et Brandham, 2001) ; comprenant les récoltes de céréales comme l'orge, le blé, le maïs et le riz, celles-ci ont plutôt une récente ascendance (Donnars, et Sarazin, 2007). A l'intérieur de la famille d'herbe, le blé est placé dans la sous-famille de Poideae et la tribu de triticeae.

Les *Triticum L.* montrent de différents niveaux de ploïdie : diploïdes ($n = 7$, $n = 14$), Tétraploïdes ($2n = 28$) et hexaploïdes ($2n = 42$), les deux derniers sont des allopolyploïdes (Goncharov, 2005).

Selon (Mori et al, 1997), Le genre *Triticum L.* est classé en quatre groupes : « Engrain » (AA, $2n = 14$), « Amidonnier » (AA BB, $2n = 28$), *T. timopheevie* (AA GG, $2n = 28$) et *T. aestivum* (blé tendre) (AA BB DD, $2n = 42$) (Yamane et Kawahara, 2005).

1.3. Description morphologique du blé dur (*Triticum durum*)

1.3.1. Appareil végétatif

Le système aérien de la plante se développe en produisant un certain nombre de talles, qui se développent en tiges cylindriques formées par des nœuds séparés par des entre-nœuds. Chaque tige porte à son extrémité une inflorescence

Il s'agit d'une graminée annuelle de hauteur moyenne dont la structure morphologique générale est la suivante (Figure 1)

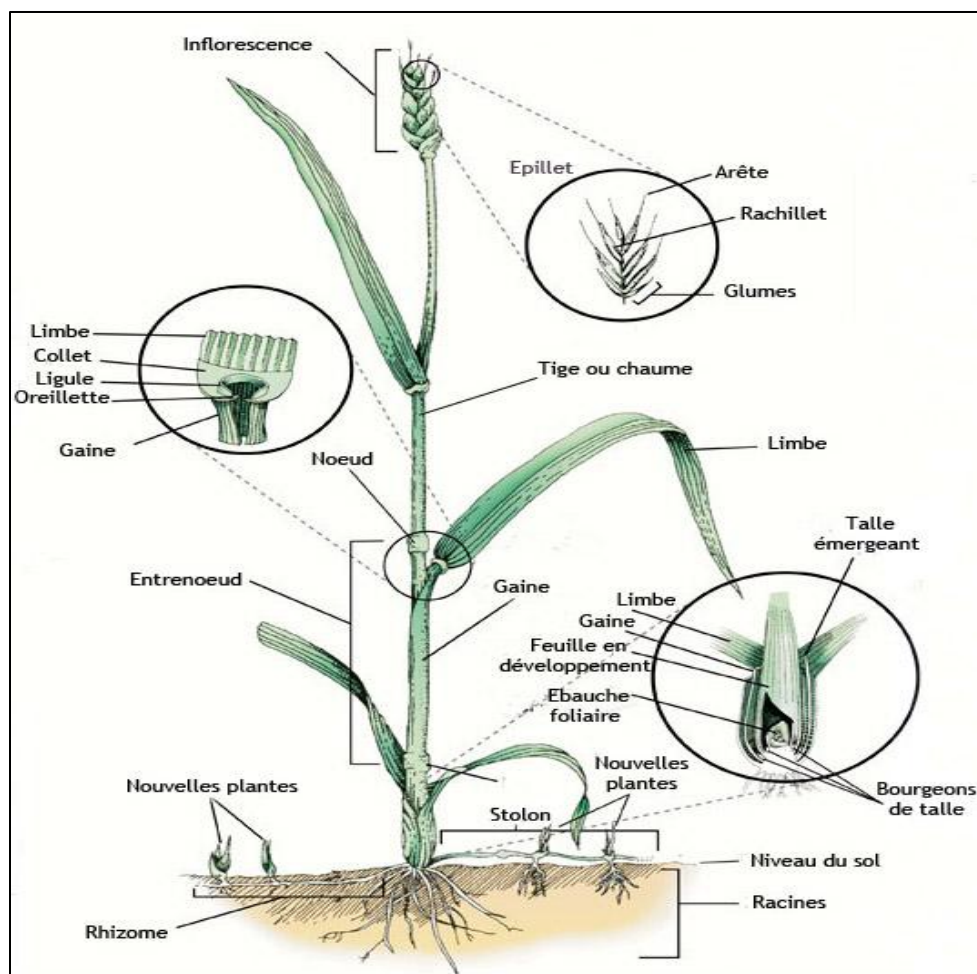


Figure 01: Morphologie de la plante de la famille *Poaceae* (anciennement *Graminées* (<http://botarela.fr.com>))

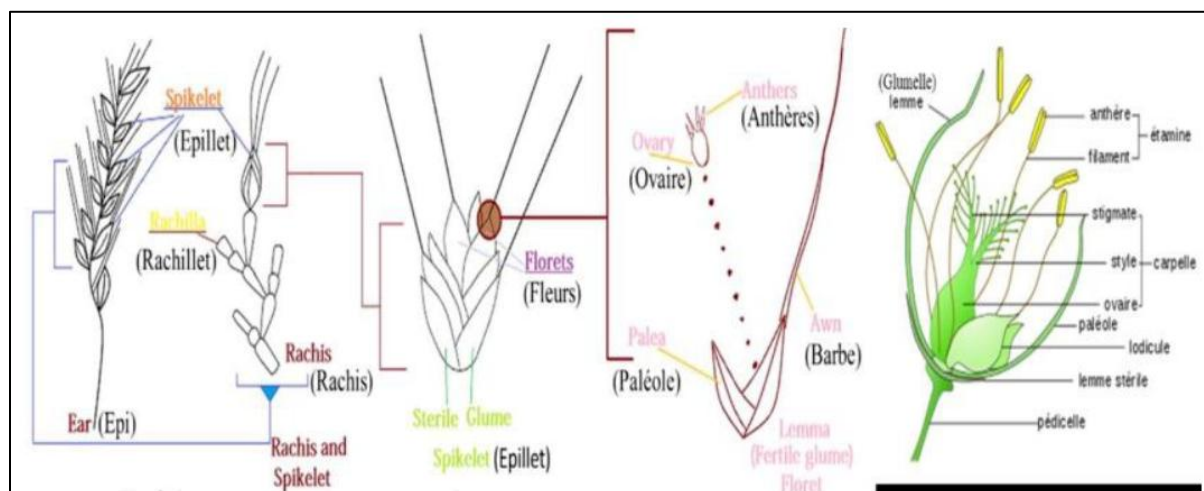


Figure 02 : Morphologie du blé dur (Setter et Carlton, 2000).

1.3.2. Système aérien

La tige est cylindrique, séparée par des nœuds (Belaid, 1996). La tige principale appelée le maître brin et des tiges secondaires appelées talles qui naissent à la base de la plante (Gate, 1995). Les feuilles sont à nervures parallèles et formées en deux parties (Inférieure et supérieure).

1.3.3. Système racinaire

Le système racinaire est de type fasciculé. En cours de développement. Selon (Belaid, 1996), deux systèmes se forment, à savoir, le système racinaire séminal (primaire) qui fonctionne de la germination au tallage et le système racinaire coronaire (secondaire) qui apparaît au stade tallage.

1.3.4. Appareil reproducteur

Les fleurs sont groupées en inflorescences de type épi (Figure.02). Ce dernier est constitué d'un axe appelé le rachis sur lequel sont fixés les épillets (Belaid, 1996). Le blé est une plante monoïque à fleurs parfaites (Cook et *al.* 1991). Elle se reproduit par voie sexuée et par l'autofécond¹ation (espèce autogame) (Soltner, 1999).

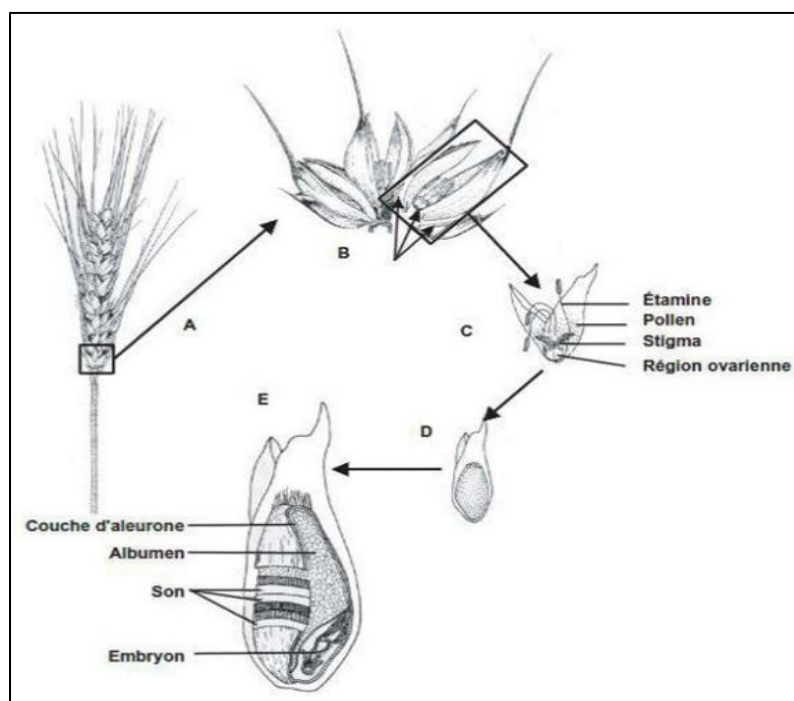


Figure 03: Fleurs et graine (caryopse) de blé (Heiser, 1990).

1.3.5. Grain de blé

Sur le plan morphologique, le grain a une forme ovoïde de coloration blanchâtre à brunâtre avec un sillon sur la face ventrale, il est de taille de 6.5 à 8.5 mm de long et son diamètre de 3 à 4mm. Histologiquement, le grain de blé dur est formé de trois types de tissus le germe (3% du poids du grain), les enveloppes (17%) et l'albumen (80%) (Fredot, 2005) (Figure 03).

Un grain de blé est formé de trois régions :

- Albumen : constitué de l'albumen amylicé (au sein duquel subsistent des cellules remplies de granules d'amidon dispersés au milieu d'une matrice protéique et dont les parois cellulaires sont peu visibles) et de la couche à aleurone (80- 85% du grain).
- Enveloppes de la graine et du fruit : formées de six tissus différents : épiderme
- Du nucelle, tégument séminal ou testa (enveloppe de la graine), cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe (13-17%).
- Germe (3%) : composé d'un embryon (lui-même formé de la coléoptile, de la
- Gemmule, de la radicule, du coléorhize et de la coiffe) et du scutellum (Leslie Jacquemin, 2012).

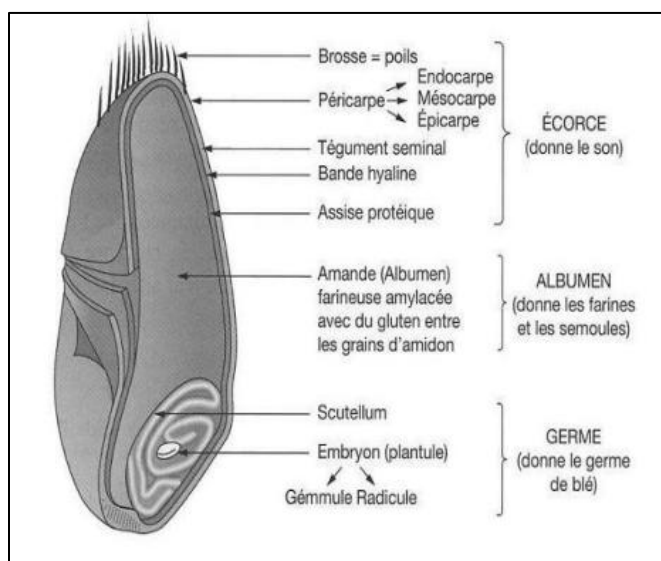


Figure 04: Anatomie du grain de blé (Fredot, 2005)

1.4. Physiologie et cycle de développement du blé :

Le cycle biologique du blé est divisé en deux périodes, végétative et reproductrice, qui sont subdivisées en phases délimitées par des stades (Soltner, 2016). La maturation constitue une troisième période, relative à l'accumulation dans les grains des produits issus de la photosynthèse

qui s'étaient auparavant accumulés dans la tige, les racines et la rafle (Gautier, 1991 ; Yu *et al*, 2015).

Tableau03 : Les périodes et phases de développement du blé

Période	Les phases	Description
1 / La période végétative	a. La phase germination – levée b. La phase levée – tallage c. La Phase Tallage – Montaison	
2/ La Période reproductrice	a. La phase montaison – gonflement b. La phase épiaison – floraison c. La Phase Floraison – Fécondation	
3/ La période de formation et de maturation du grain	a. Maturité Laitieuse b. Maturité Pâteuse c. Maturité Complète	

1.4.1.Période végétative

- **La phase germination – levée**

La germination d'une graine est définie comme étant la somme des événements qui commencent avec l'imbibition et se termine par l'émergence d'une partie de l'embryon, généralement la radicule, à travers les tissus qui l'entourent (Bewley et Black, 1994).

La germination est un stade physiologique qui correspond à la transition de la phase de vie latente de la graine sèche à la phase du développement de la plantule, elle commence dès que la graine sèche est hydratée (Anzala, 2006 cités par Labdali et Benarfa,2022).

Cette phase peut être accomplie dès que la semence soit capable de germer et que le sol peut lui fournir l'humidité, la chaleur et l'oxygène nécessaire. La teneur minimale en eau qui permet la germination est de l'ordre de 35 à 40%. Lorsque la graine a absorbé de 20 à 25% de son poids d'eau. La température optimale de la germination se situe entre 5 à 22°C, avec un minimum de 0°C et un maximum de 35° C. Durant la phase semis-levée, l'alimentation de la plante dépend uniquement de son système racinaire primaire et de réserve de la graine (Eliard, 1979).

Au cours de cette phase la colorise s'épaissit en une masse blanche et brise le tégument de la graine au niveau du germe, c'est le début de l'émission des racines primaires, garnis de poils absorbants. En même temps, la coléoptile, gainant la première vraie feuille, s'allonge vers la surface, où il laisse percer la première feuille, c'est la levée. La deuxième et la troisième feuille suivent bien après (Bahlouli, 2008).

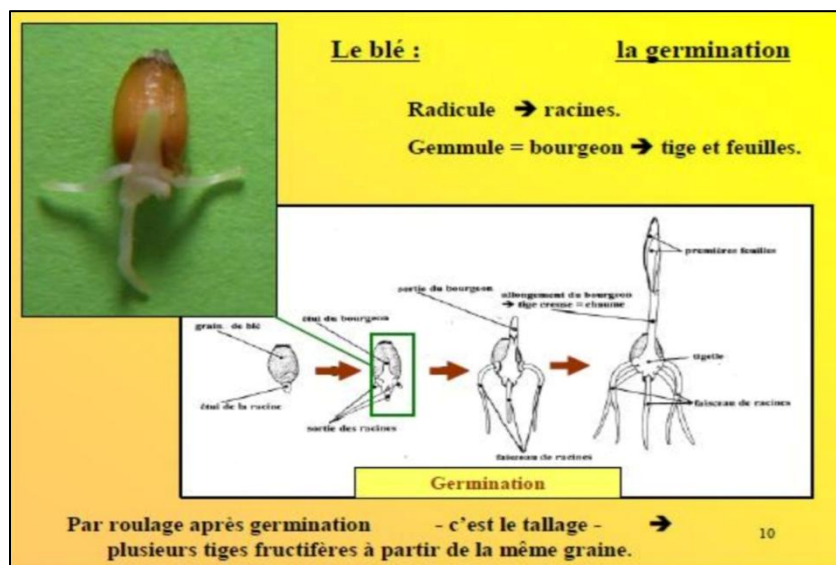


Figure 05 : La germination du blé (Clerget,2011)

La graine se réhydrate et consomme de l'oxygène pour oxyder ses réserves en vue d'acquies l'émergence nécessaire. Selon (Michel 1997 cités par Labdali et Benarfa,2022), la perméabilité du tégument et le contact avec les particules du sol conditionnent l'imbibition et la pénétration de l'oxygène. Les réserves de toute nature sont digérées.

La germination comprend trois phases successives (Figure 06) :

- Phase d'imbibition. C'est un phénomène d'entrée rapide et passive d'eau. Elle pénètre par capillarité dans les enveloppes (Chaussant et Deunff, 1975 cités par (Labdali et Benarfa,2022)

- Phase de germination (*stricto sensu*). C'est une phase très importante car elle conditionne la croissance ultérieure (Côme, 1982).
- Phase de croissance. Elle est caractérisée par une augmentation de la respiration et l'entrer d'eau. (Chaussant et Deunff, 1975 cités par (Labdali et Benarfa, 2022)).

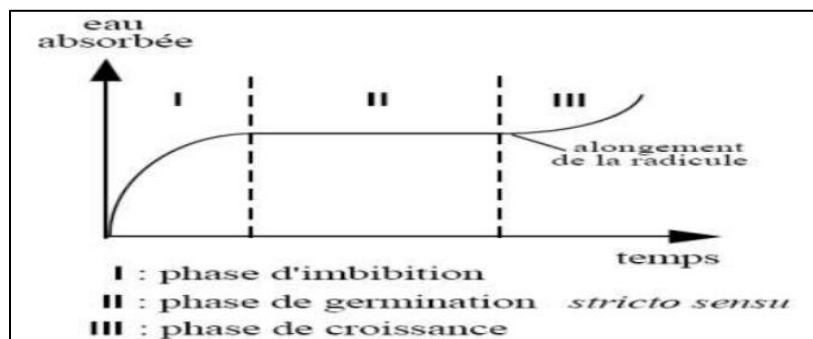


Figure 06 : Les étapes de la germination d'une graine (Meyer, *al.* 2004).

- **La phase levée – tallage**

Selon Soltner (1988) c'est un mode de développement propre aux graminées, caractérisé par la formation du plateau du tallage, l'émission de talles et la sortie de nouvelles racines. La durée de cette période varie de 31 à 89 jours pour des températures moyennes de 09 à 32° C respectivement (Mekliche, 1983).

Sitôt émise la troisième feuille émise, le deuxième entre-nœud qui porte le bourgeon terminal s'allonge à l'intérieur de la gaine de la feuille étendard, l'épi émerge ensuite de cette gaine ; c'est le stade épiaison, au cours duquel la formation des organes floraux se termine. La floraison débute 4 à 5 jours plus tard. Durant la floraison, les fleurs demeurent généralement fermées (fleurs cléistogames), et les trois anthères éclatent et libèrent le pollen (anthèse).

Les fleurs s'ouvrent rarement avant la libération du pollen. La floraison dure de trois à six jours, selon les conditions météorologiques. Elle débute au centre de l'épi, puis se poursuit vers les deux extrêmes de l'épi. La durée de réceptivité du stigmate de blé dépend de la variété et des conditions du milieu, mais se situe entre 3 à 13 jours. Une fois fécondée, l'ovaire grossit rapidement (Lounis, 2017).

- **La Phase Tallage – Montaison**

Elle est caractérisée par la formation de talles et l'initiation florale qui se traduit par l'apparition de la future ébauche de l'épi ; tout déficit hydrique durant cette période se traduit par une diminution du nombre de grains par épi (Martin- Prevel, 1984).

1.4.2.Période reproductrice

- **La phase montaison – gonflement**

La montaison débute à la fin du tallage. Elle est caractérisée par L'élongation du dernier entre-nœud assure l'élévation de l'épi au-dessus de la dernière feuille et la différenciation des pièces florales. A cette phase, un certain nombre de talles herbacées commence à régresser alors que, d'autres se trouvent couronnées par des épis. Pendant cette phase de croissance active, les besoins en éléments nutritifs notamment en azote sont accrus (Clement-Grancourt *et al.*, 1971). Le stade gonflement du grain est marqué par une photosynthèse intense pour l'élaboration des substances de réserve, l'amidon migre vers l'albumen, ainsi le grain grossit tandis que l'embryon se forme.

Cette migration nécessite une circulation d'eau, il peut y avoir échaudage en cas de stress hydrique (Madeline *et al.*, 2019). Le grain subit trois stades, du grain laiteux au pâteux au grain dur. Entre les stades laiteux et pâteux, la quantité d'eau contenue dans le grain est stable, c'est le palier hydrique (Houssa *et al.*, 2017).

- **La phase épiaison – floraison**

Cette période commence dès que l'épi apparaît hors de sa graine foliaire et se termine quand l'épi est complètement libéré (Maume, 1936). La durée de cette phase est de 7 à 10 jours, elle dépend des variétés et des conditions du milieu. C'est la phase où la culture atteint son maximum de croissance (Martin- Prevel, 1984).

Durant l'épiaison, les épis émergent à l'extérieur des tiges. Ce stade s'achève lorsque l'épi du maître-brin est entièrement sorti de la gaine. Il est suivi par la floraison, dont la durée varie généralement de trois à six jours selon les conditions météorologiques. Celle-ci débute habituellement au-dessus du centre de l'épi, puis se propage progressivement vers l'apex et la base de l'épi (Rorat, 2006).

Le stade de l'épiaison–floraison se réalise au stade méiose pollinique, la gaine de la dernière feuille s'écarte progressivement suite à l'allongement des derniers entre-nœuds de la tige, la gaine s'écarte et le sommet de l'épi sort de la dernière gaine (Sadeghi *et al.*, 2017).

- **La Phase Floraison – Fécondation**

Elle est déterminée par la sortie des étamines hors des épillets, la fécondation est accomplie lorsque les anthères sortent des glumelles. Le nombre de fleurs fécondées dépend de la nutrition azotée et d'une évapotranspiration pas trop élevée (Soltner, 1988).

1.4.3.Période de formation et de maturation du grain

Cette phase est caractérisée par le grossissement du grain, l'accumulation de l'amidon et les pertes de l'humidité des graines qui marque la fin de la maturation (Soltner, 1988).

Le remplissage et la maturation du grain, Après la fécondation, l'évolution du poids du grain se déroule en trois étapes.

La première correspond à une phase de multiplication cellulaire du jeune grain encore vert, caractérisé par une forte teneur en eau. Elle est suivie par une phase de remplissage actif, durant laquelle les assimilats issus de la photosynthèse de la feuille étendard ainsi que les hydrates de carbone non structuraux stockés dans le col de l'épi sont transférés vers le grain. Au cours de cette étape, la quantité d'eau contenue dans le grain tend à se stabiliser, ce qui correspond au palier hydrique.

Des températures élevées durant cette période peuvent provoquer l'arrêt du transfert des réserves des feuilles et de la tige vers le grain ; ce phénomène est appelé échaudage du grain. Enfin, la dernière étape correspond au dessèchement du grain, marqué par une diminution progressive de son humidité jusqu'à l'obtention de son poids sec final (Wardlaw, 2000 ; Hamadouche, 2015).

Cette phase de maturation dure en moyenne 45 jours. Les graines vont progressivement se remplir et passer par différents stades :

❖ Maturité Laiteuse

Ce stade est caractérisé par la migration des substances de réserves vers le grain et la formation des enveloppes. Le grain est de couleur vert clair, d'un contenu laiteux et atteint sa dimension définitive (Soltner, 1988).

❖ Maturité Pâteuse

Durant cette phase les réserves migrent depuis les parties vers jusqu'aux grains. La teneur en amidon augmente et le taux d'humidité diminue. Quand le blé est mûr le végétal est sec et les graines des épis sont chargées de réserves (Soltner, 1988).

❖ Maturité Complète

Après le stade pâteux, le grain mûrit, se déshydrate. Il prend une couleur jaune, durcit et devient brillant. Ce stade est sensible aux conditions climatiques et à la condition de récolte (Soltner, 1988).

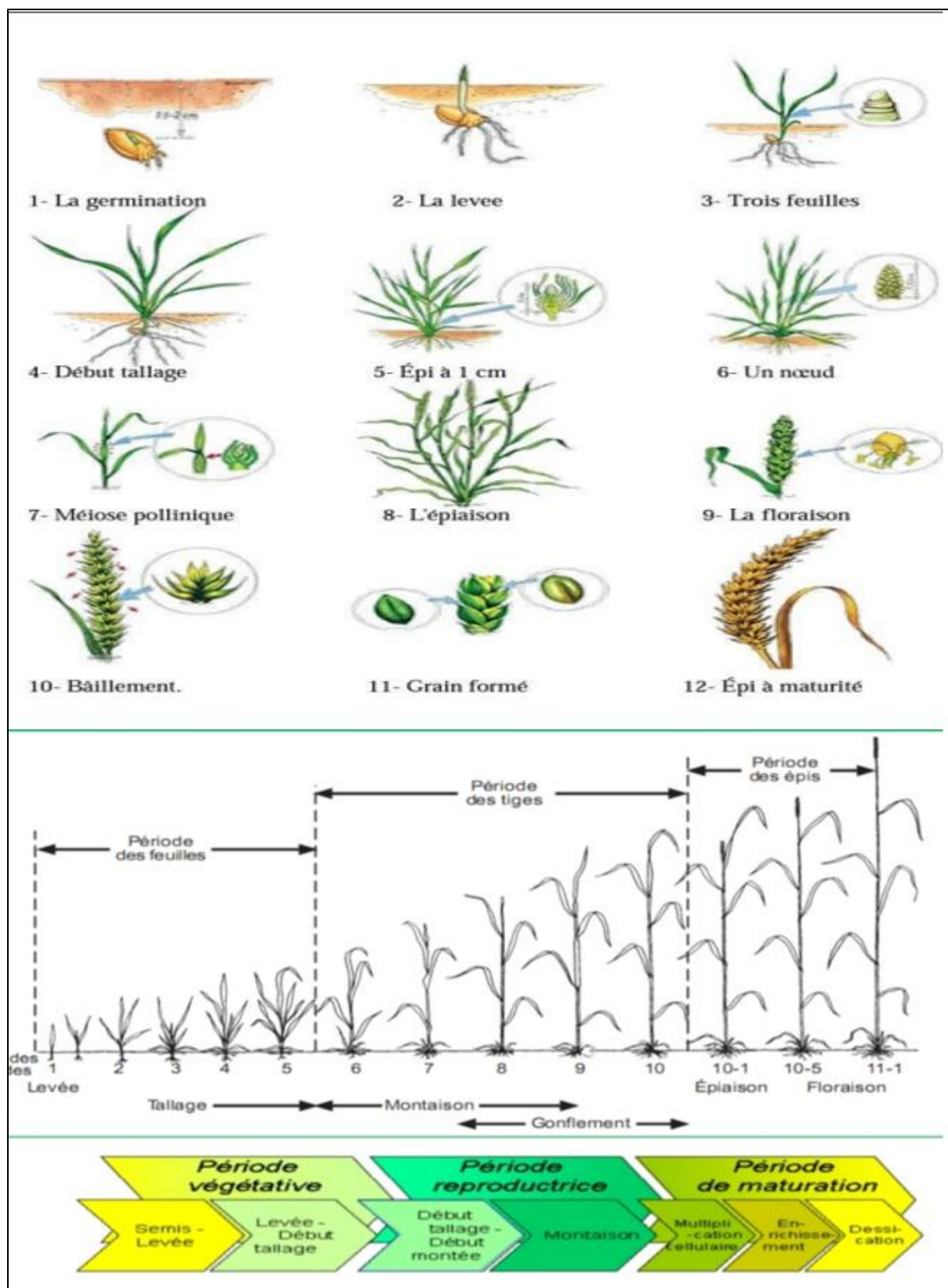


Figure 07: Cycle de développement du blé (Zadoks et al,1974)

1.5. Engrais

1.5.1. Définition de la fertilisation :

La fertilité des sols peut être définie comme : « La capacité d'un sol à assurer la croissance des plantes en fournissant des éléments nécessaires essentiels aux plantes et des caractéristiques chimiques, physiques et biologiques favorables en tant qu'habitat pour la croissance des plantes (FAO, 2019).

La fertilisation est un ensemble de pratiques culturelles coordonnées ayant pour objectif d'assurer aux plantes cultivées une alimentation correcte en éléments nutritifs par des apports en matières fertilisantes (Sangaré, 2008)

1.5.2. Définition engrais :

Généralement, les engrais sont des substances, (le plus souvent des mélanges d'éléments minéraux), destinées à apporter aux plantes des compléments d'éléments nutritifs, de façon à améliorer leur croissance et augmenter le rendement et la qualité des cultures (Zodomé, 2012).

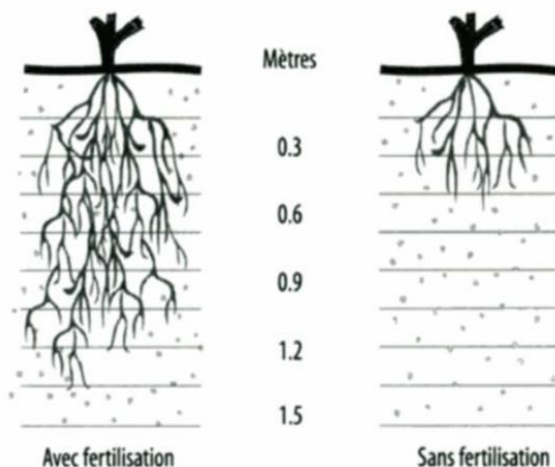


Figure 8 : la profondeur d'enracinement des plantes, avec et sans fertilisation (FAO, 2003).

Les apports de matière organique permettent de maintenir ou de reconstituer la réserve en matière organique du sol (Segda *et al.*, 2014). Ainsi les fertilisants organiques et minéraux sont une excellente source de nutriments apportant des macronutriments essentiels à la croissance des plantes (Garba et Oyinlola, 2014). En effet, des études menées sur la fertilisation des sols et l'importance de la matière organique ont montré que les éléments minéraux sont présents dans le sol et de leur bon entretien dépendra de leur disponibilité pour la plante (Hubert et Schaub, 2011).

1.5.3. Engrais NPK :

Les engrais minéraux visent à suppléer les insuffisances des sols en nutriments inorganiques, azote tout particulièrement, mais aussi phosphore et potassium. Les plus courants sont les engrais ternaires NPK, constitués de nitrate d'ammonium, de phosphates et de sels de potassium.

L'ingestion volontaire d'un engrais liquide concentré peut provoquer une intoxication sévère, du fait de la présence de fortes concentrations de potassium dans ces préparations

Les engrais sont caractérisés d'une façon usuelle par les teneurs des 3 éléments fertilisants NPK exprimées de la façon suivante :

N : azote exprimé en pourcentage massique d'azote contenu dans la formule de l'engrais.

P₂O₅ : phosphore exprimé en pourcentage massique d'anhydride phosphorique ; il faut noter que P₂O₅ devrait être en toute rigueur représentée par la formule P₄O₁₀.

K₂O : potassium exprimé en pourcentage massique d'oxyde de potassium ; là encore on utilise souvent le terme impropre de teneur en (potasse) (Robert, Jean-Pierre , 2002).

Par réaction entre matières premières et produits intermédiaires, phosphates naturels, Ammoniac, acides nitrique, sulfurique et phosphorique, chlorure et sulfate de potassium, on obtient sous forme de granules; les engrais NPK sont des fertilisants génériques qui agissent sur le développement de toutes sortes de plantes. En revanche, ils n'agissent pas sur la fertilité du sol. (Abbaz-Imen-BELKACEMI,2023).

1.5.4.Types d'engrais:

1.5.4.1.Engrais minérales :

Engrais d'origine minérale destinés à favoriser la croissance des plantes cultivées, produit par synthèse chimique, ou par l'exploitation de gisements naturels de phosphate et de potasse. La notion d'engrais minéral s'oppose à celle d'engrais organique, produits à base de matière organique d'origine animale ou végétale (CNA Bio, 2013).

Des effets bénéfiques de la fertilisation minérale au moyen de l'agriculture ont été prouvés par de nombreuses études (Bationo *et al*,2004 ; Coulibaly *et al*, 2017)

Tableau 4 : Comparaison des avantages et inconvénients des engrais minéraux (*Francisco et al*, 2023)

Avantages	Inconvénients
- Teneur élevée en éléments nutritifs - Facile à manipuler - Facile à utiliser - Agissent plus rapidement (effet immédiat) - Répartition uniforme des éléments nutritifs dans le champ	- Dégradation des sols : • acidification du sol; • perte de la biodiversité du sol (vers de terre, micro-organismes, insectes, etc.). - Pollution des cours d'eau et nappes phréatiques

1.5.4.2. Engrais azotée

Selon (Pousset, 2000), l'azote est un constituant très important des matières organiques.

Indispensable à la croissance et au développement des plantes, il est à la base de la synthèse des acides aminés et des acides nucléiques dans le sol (Boulal (2007). L'azote est utilisé pour la synthèse d'acides aminés et nucléiques dans la formation de protéines, dans la formation de la chlorophylle, d'enzymes et de vitamines (Christian *et al.*, 2005).

Il est le moteur de la croissance végétale. Il représente 1 à 4% de la matière sèche végétale. Il se combine aux composés du métabolisme des hydrates de carbone de la plante pour donner des acides aminés et des protéines (FAO, 2003).

Il joue un rôle dans presque tous les processus métaboliques des plantes. L'azote est une partie de la chlorophylle, le pigment vert de la plante responsable de la photosynthèse, Les aspects de croissance et de développement des plantes comme la germination des graines, le développement des feuilles, le développement des fleurs et des fruits, l'architecture des racines peuvent être affectée par la quantité d'azote fournie aux plantes (Hashem, 2013)

Il est prélevé dans le sol sous forme soit nitrique (NO_3^-) soit ammoniacale (NH_4^+) (FAO, 2003) ; mais principalement sous forme de nitrate. Les niveaux d'azote nitrate varient considérablement, d'un champ à l'autre et d'une année à l'autre en raison des différences dans les types de sols, les conditions climatiques et les pratiques de gestion (Mantitoba , 2007).

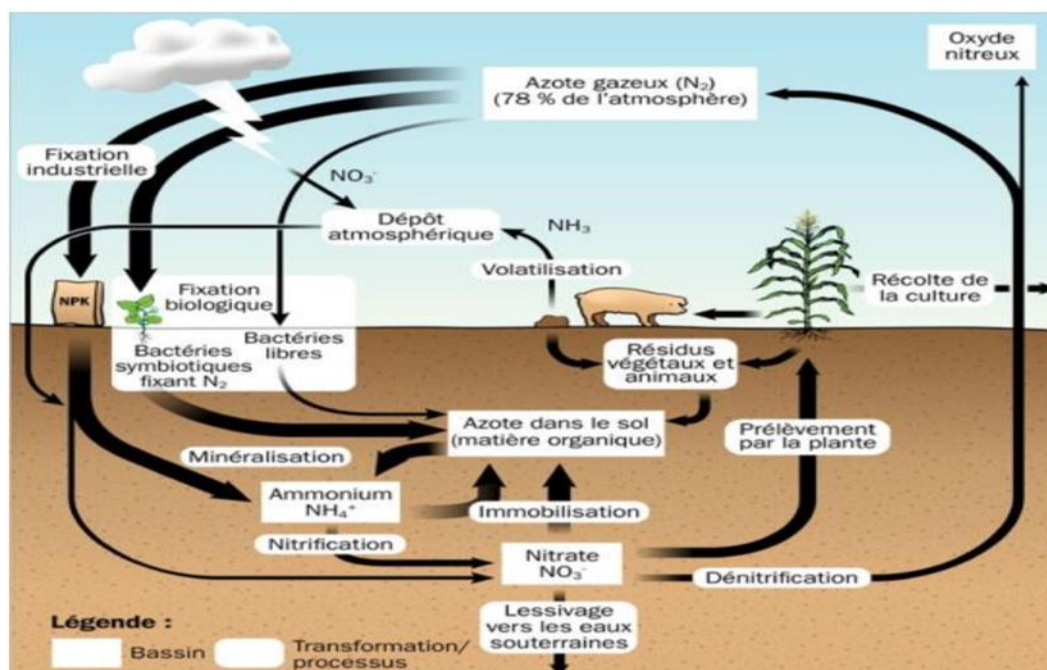


Figure 9 : Cycle de l'azote (Munroe, 2018).

1.5.4.3. Engrais phosphaté:

Le phosphore est un composant important de la membrane cellulaire des végétaux et intervient aussi dans le processus de transfert de l'énergie cellulaire (ATP). Une bonne fertilisation phosphatée stimule également l'enracinement et accélère la maturité (Abdelmadjid, 2013).

Les formes du phosphore dans le sol sont :

- Une forme ionique, libre dans la solution du sol et assimilable par la plante (Kamel *et al.*, 2017).
- Une forme moléculaire minérale ou organique plus ou moins assimilable par la plante. Le phosphore peut être piégé entre les feuilles d'argile avec un degré de fixation variable selon la teneur du calcaire dans le sol (Kamel *et al.*, 2017).

Le phosphore est le deuxième élément après l'azote qui limite la production des céréales. Le phosphore intervient dans de nombreux métabolismes physiologiques de la plante ; fixateur et transporteur dans le cycle de la photosynthèse, synthèse des protéines, ...etc. Au niveau du cycle de la culture, le phosphore favorise la croissance des plantes, le développement des racines et la résistance à la verse (Boulal 2007).

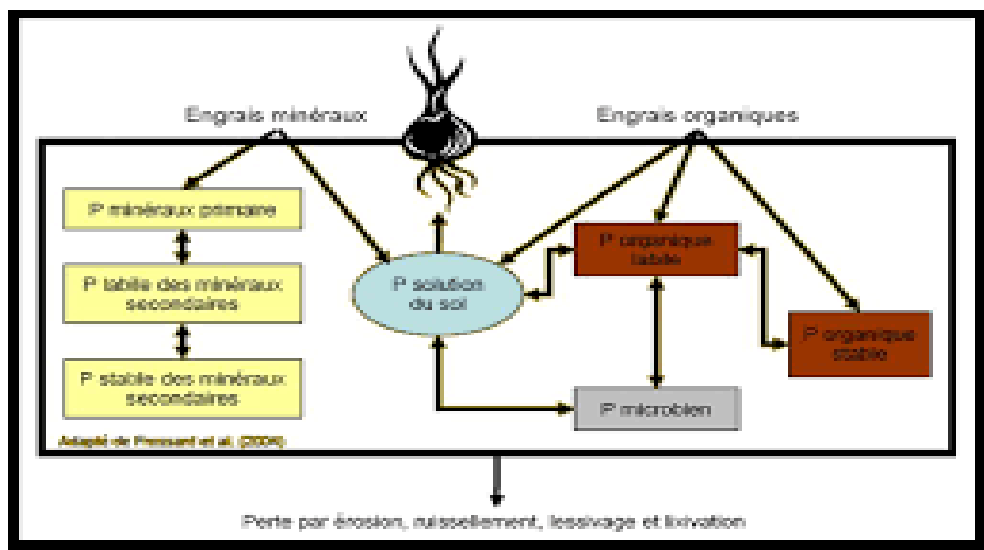


Figure 10 : Cycle de phosphore(Frossard *et al.*, 2004).

1.5.4.4. Engrais potassique :

Le potassium est un élément essentiel pour la vie sur terre. Il est nécessaire en grandes quantités pour toutes les plantes et les animaux et il est absorbé par les plantes depuis le sol (French, 2013). Le potassium est un élément présent dans diverses roches comme les feldspaths potassiques, il se fixe facilement sur les argiles (Joseph, 2000).

Dans une proportion de 1 % à 2 %, le potassium du sol est immédiatement assimilable et est retenu dans la solution du sol ou se présente sous une forme échangeable avec la matière organique ou les argiles du sol. Dans la solution de sol, le potassium conserve un équilibre dynamique.

Les ions potassium prélevés par les plantes sont rapidement remplacés par le potassium échangeable. L'apport d'engrais à base de potassium a augmenté énormément la teneur en potassium de la solution. L'adsorption du potassium sur l'argile et la matière organique rétablit rapidement l'équilibre (Munroe, 2018)

1.5.4.5. Engrais organique :

Ils sont obtenus à partir de matières vivantes ou autrefois vivantes tels que les déchets animaux (fumier), les résidus de culture (comme les feuilles, tiges), le compost, et de nombreux autres produits dérivés d'organismes vivants (Draft, 2012). Proviennent de la transformation de déchets végétaux et surtout animaux. Ils apportent sous des formes organiques, non seulement N-P-K

mais aussi S, Mg, Ca, Na et la plupart des oligo-éléments. Ils peuvent donc être considérés comme des engrais composés (Soltner, 2003).

Les fertilisants organiques améliorent la fertilité du sol en agissant sur les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol (Kowalczyk et Mazzarino, 2007).

Les engrais organiques sont issus de matière biologique ou vivante. Ils incluent, entre autres, la corne broyée, le fumier de bétail, des fientes déshydratées, le purin, les résidus de récolte, les déchets ménagers et le compost. Leur application peut influencer la composition et la diversité des communautés microbiennes, protéger le sol contre l'érosion et augmenter la teneur du sol en macroéléments, microéléments, oligo-éléments et matière organique (Sankar Ganesh *et al.*, 2017; Jiangwei *et al.*, 2020; Özdemir *et al.*, 2007).

L'ajout de matière organique tend à améliorer la structure, l'aération, la rétention d'eau et la capacité d'échange cationique du sol (Ozores-Hampton *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2022).

L'utilisation de fertilisants organiques peut aussi améliorer l'utilisation de l'azote par les végétaux et réduire les pertes de NH₃ par volatilisation (He *et al.*, 2002).

Leur application mène donc généralement à un meilleur rendement des cultures (Wortman *et al.*, 2017). Toutefois, contrairement aux fertilisants inorganiques, les nutriments présents dans les fertilisants organiques doivent être libérés de la matière organique par l'activité des microorganismes du sol.

Ce processus étant principalement influencé par les conditions climatiques et les propriétés édaphiques du sol, l'efficacité des engrais organiques est difficile à prédire et dépendante des saisons (Cannavo *et al.*, 2022; Grzyb *et al.*, 2020; Sradnick et Feller, 2020). La libération lente des nutriments

limite toutefois les risques de lessivage et de contamination des eaux avoisinantes (Elbl *et al.*, 2020; Kirchmann et Bergström, 2001).

Les fertilisants organiques ont aussi une plus faible teneur en éléments nutritifs que les fertilisants inorganiques, ils doivent donc être appliqués en plus grande quantité, ce qui, en l'absence de production locale, augmente l'impact environnemental dû au transport (Garbowsky *et al.*, 2023)

Tableau 5 : Récapitulatif des effets des engrais organiques sur le sol (Francisco *et al* ,2023)

Nature de la propriété du sol	Effet des engrais organiques	Bénéfices
Biologique	- Stimule l'activité biologique du sol (vers de terre, biomasse microbienne)	- Dégradation - Minéralisation - Réorganisation - Humification - Aération du sol - Croissance des racines - Augmentation de la biodiversité
Chimique	- Dégradation, minéralisation	- Fourniture d'éléments minéraux (N, P, K, oligo-éléments)
	- Rétention des micropolluants organiques et des pesticides	- Qualité de l'eau
Physique	- Améliore la structure et la porosité - Limite à l'érosion	- Infiltration de l'eau - Stockage de l'eau - Limitation du ruissellement - Limitation de l'érosion - Limitation du tassement/compactage - Réchauffement
	- Augmente la rétention d'eau	- Meilleure alimentation hydrique du sol

1.6. Déchets ménagers :

Un déchet est défini sur le plan économique comme étant une matière ou un objet dont la valeur économique nulle ou négative, pour son détenteur à un moment et dans un lieu donné et pour que s'en débarrasser ce dernier doit se faire tout seul ou payer quelqu'un pour faire le travail. Bien que cette définition ne soit pas exhaustive elle exclut une bonne part des déchets recyclables, qui possèdent une valeur économique et qui peuvent servir comme de matières premières ou secondaire pour la production d'autres produits voir même des bien pour la communauté aussi bien dans les pays développés ou industrialisés que ceux en développement (Maystre, 1994).

les déchets ménagers et assimilés sont les déchets produits par les ménages, les commerçants, les artisans et même les entreprises et industries quand ils ne présentent pas de caractère dangereux ou polluant à savoir: papiers, cartons, bois, verre, textiles, emballages (Gillet, 1985).

La décomposition contrôlée de déchet améliore nettement les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, le compost fournit au sol de l'humus issus de la décomposition de la matière organique et peut agir comme une « colle » naturelle du sol, retenant les particules ensemble ce qui améliore la structure de, leur résistance à l'érosion ainsi que la capacité de sol à retenir l'humidité.

Les amendements organiques comme le compost agissent positivement sur la qualité du sol en améliorant à la fois sa fertilité, sa structure et son activité biologique, ce qui contribue aussi à réduire les pertes liées aux ravageurs et à augmenter les rendements des cultures. Des travaux récents confirment que ces apports augmentent la teneur en matière organique du sol, la capacité d'échange cationique ainsi que la biomasse microbienne et son activité (Atakpama *et al.*, 2024)

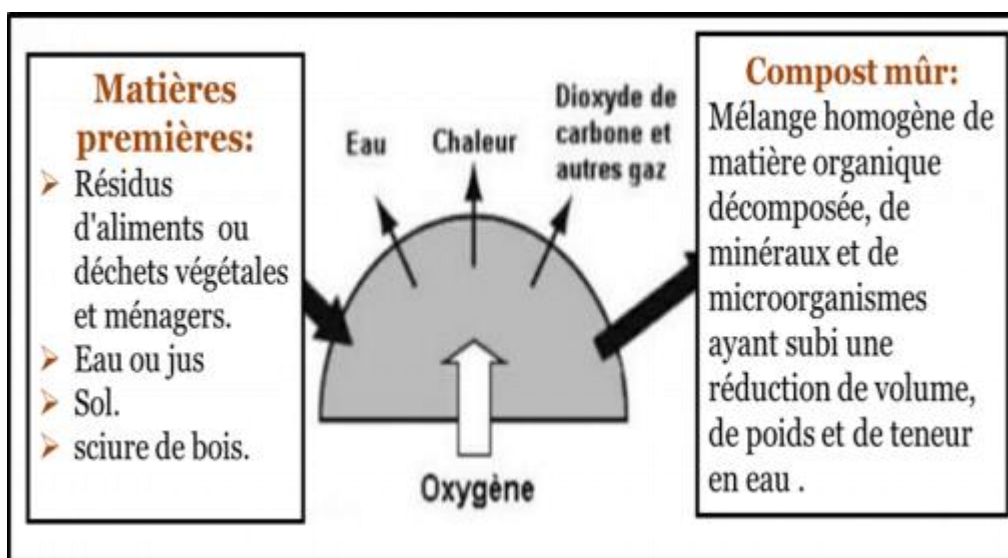


Figure 11 : Principe de processus du compostage (Hieronymus et Yulipriyanto, 2001)

1.6.1. Les déchets fermentescibles : ces déchets sont constitués essentiellement par la matière organique d'origine végétale ou animale à des différents stades de fermentation aérobie ou anaérobie, on site : tonte de gazon, épluchures de fruits, déchets de viande, de charcuterie, les papiers et cartons, le bois et les textiles naturels.

Les matières plastiques, bien que se décomposant à long terme, en sont exclus. Vu leurs compositions chimiques ils peuvent également subir un phénomène biologique appelée fermentation et de ce fait ces déchets sont putrescibles c'est-à-dire sont capables d'une dégradation spontanée due à leurs capacités fermentescibles intrinsèque et donc sont des déchets biodégradables (Chauvin, 2004).

1.6.2. La valorisation des déchets

La valorisation est partielle, spécifique ou local, c'est également le réemploi, le recyclage ou toute autre action a pour but d'obtenir à partir de sous-produit de déchets, des matériaux réutilisables, de l'énergie ou bien de constituer un ingrédient d'un autre processus de production en vue de la fabrication d'autres produits finis. Tous les types de valorisation des déchets permettent de ménager les ressources, en effet on distingue trois modes de valorisation (Proot, 2002) :

- Valorisation de matière
- Valorisation énergétique
- Valorisation biologique (organique)

On procède la valorisation des déchets lorsque l'opération est économiquement acceptable et écologiquement justifiée, de plus elle est considérée écologique si elle est moins polluante que l'élimination ou bien une nouvelle production. La majorité des déchets ne peuvent être éliminés au niveau de leurs apparitions et de ce fait il faut les acheminer vers un lieu de traitement et comme le traitement des déchets couteux et délicat, les techniques qui conduisent à diminuer la masse suscite beaucoup d'intérêt sont : la récupération et la valorisation.

La récupération permet de valoriser les matériaux ou l'énergie contenue dans les déchets, de limiter leur apport dans les installations de traitement, ou de leur faire suivre une filière de traitement spécifique tel que le recyclage, le réemploi, la régénération ou la réutilisation (Couturier, 2001)

1.6.3. La valorisation organique

La matière organique possède la propriété de la biodégradation de ce fait une action bactérienne, naturelle ou induite peut la décomposer rapidement en molécules simples utilisables par les plantes, cette dégradation peut se faire de deux manières : le compostage ou la méthanisation, comme elle peut être aussi maîtrisée industriellement et appliquée aux déchets ménagères. Donc l'élimination des déchets est réduite au profit de la valorisation et peut-être utilisé en tant que engrais par les agriculteurs. Ce type de valorisation permet une réduction de 40- 50% du volume de déchets (Askri, 2015)).

Les principaux déchets concernés par le traitement biologique sont :

- Déchets des collectivités (voirie, marchés, boues...)
- Déchets d'agriculture et de sylviculture (élevage, culture, forêt)
- Ordures ménagers (la fraction fermentescible de l'ordure ménagère est constituée essentiellement de déchets alimentaire, déchets vert et de papier/carton)
- Certain encombrants de déchets verts

1.7. Engrais vert :

Thorup-Kristensen *et al* (2003) utilisent le terme engrais vert pour désigner plus précisément une culture de couverture qui est mise en place dans le but d'améliorer la nutrition des cultures subséquentes. Puisque le présent projet explore l'aspect de la fertilité associé à ces cultures, c'est le terme engrais vert qui sera utilisé ici.

En effet, ces cultures ne sont pas récoltées, mais sont plutôt destinées à demeurer sur place après l'arrêt de leur croissance, pour servir d'amendement au sol et ainsi améliorer les rendements de la culture subséquente de différentes façons. L'engrais vert pourra soit y participer directement en contribuant à améliorer leur nutrition, soit indirectement, en améliorant les aspects de qualité du sol.

Engrais verts - Plantes fertilisantes

Il s'agit de toute plante utilisée en couverture du sol et ayant des propriétés fertilisantes.

L'engrais vert constitue un élément important en agriculture biologique. En plus de la fonction fertilisante, il présente de nombreux intérêts agronomiques vis-à-vis du sol et des aspects phytosanitaires. Les engrais verts les plus connus sont entre autres, le niébé, le soja, le haricot mungo, l'arachide, le voandzou, le haricot, le mucuna, etc.

Ils peuvent être utilisés en précédent cultural (rotation et jachère) ou en association avec d'autres spéculations(*Francisco et al* ,2023).

L'Engrais vert c'est une culture à croissance rapide enfouie sur place et destinée avant tout à améliorer le sol. Ce type d'engrais a un effet important sur la protection du sol, on le considère comme une source de matières organiques jeunes; source d'éléments nutritifs pour les plantes essentiellement en azote (Soltner, 2003).

1.7.1. Les avantages des engrais verts :

- protègent la surface du sol et améliorent la structure du sol.
- assimilent les éléments nutritifs du sol autrement lessivés qui seront disponibles pour la culture suivante.

- fournissent l'azote (cas des légumineuses).
- accroissent l'activité microbienne du sol.
- Action mécanique de leurs racines améliore l'aération du sol. (Chafi, 2010):

Tableau 6 : Récapitulatif des avantages et limites des engrais verts (Francisco *et al* ,2023)

Avantages	Limite et inconvénients
- Stimulation de l'activité biologique du sol. - Améliore la structure des sols. - Protection du sol contre l'érosion et le lessivage. - Accélération de la minéralisation de l'humus et fourniture de l'humus jeune. - Fourniture des éléments fertilisants au sol. - Production des substances stimulantes. - Contribution à la destruction des mauvaises herbes. - Enrichissement en substances gommeuses et mucilagineuses. - Refuge pour de nombreux insectes auxiliaires. - Semences paysannes reproductibles. - Possibilité d'association avec une culture de rente.	- Difficile à installer en saison sèche. - Semences parfois coûteuses. - Risques de concurrence pour l'eau. - Attirance des limaces. - Technicité variable selon l'engrais verts (enfouissement, fauchage, Repousses, etc.).



Chapitre II : *Matériels et méthodes*

2.1. Objectif de l'essai:

L'objectif de notre étude est d'évaluer l'effet de la fertilisation minérale et organique sur les caractères biométriques et l'analyse chimique d'une culture de blé *Triticum durum*, afin de déterminer la croissance de cette espèce et les pratiques de fertilisation les plus efficaces pour améliorer la productivité de manière durable.

2.2. Présentation du site :

Cette étude a été menée à la ferme expérimentale située à Hassi mameche wilaya de Mostaganem (Algérie). La superficie de la ferme est de 63 hectares elle est située à une attitude 133m La ferme de Hassi Mameche est une zone connue pour ses activités agricoles et d'élevage.

- Coordonnées géographiques

La ferme se situe au nord de la wilaya de Mostaganem, commune de Mazeghran avec les coordonnées suivants : 35°, 53'01"N 0° 04' 53"E, elle est

La ferme est limitée :

Du nord par la route nationale de Hassi Mameche

-Au sud par le chemin de fer-A l'est et à l'ouest par exploitation agricole collective.



Figure 12 : Carte de situation (Google earth,2025)

2.2.1. Caractéristiques climatiques :

Tableau 7 : Caractéristiques climatiques de la ferme (Ali yahia et Belabiod ,2026)

Caractères	Températures	Vents	Pluviométrie
Données climatiques	Entre 12°C et 23°C, avec des journées souvent ensoleillées.	Modérés parfois forts.	durant février à mai est 36;25 mm

2.2.2. Caractéristiques pédologique :

Tableau 8 : Caractéristiques pédologiques de la ferme (Ali yahia et Belabiod ,2026)

Calcaire totale(%)	pH	CE(μS/cm)	Teneur en eau
Sol Non calcaire (2.08%)	Sol légèrement acide (6)	Sol non salin (0.6)	Sol moyen limoneux ; une bonne rétention d'eau (22.8%)

2.3.Matériel végétal:

L'espèce étudiée est une nouvelle variété introduite en Algérie de blé dur *Triticum Durum* variété Siméto) d'origine Italienne (sicile) c'est une variété alternative résulte d'un croisement entre deux variétés Capeitx et Valnova .

Elle a été choisie pour sa résistance à la verse et sa productivité selon le centre régional de protection des végétaux (2004).l'espèce est caractérisée par une bonne faculté germinative (98%) et un poids de 1000 grain est généralement 49.6g



Figure13 : Germination du blé dur *Triticum durum* variété (Siméto)

2.4.Dispositif expérimental:

Le dispositif expérimental adopté est en blocs aléatoires complets avec 03 traitements et 03 Répétitions l'essai présente au total 12 parcelles élémentaires espacées de 20 cm, chaque parcelle mesure 1m de long sur 1 m de large soit une superficie de 1m²

Ces parcelles ont été amendées avec :

Un engrais NPK 30-10-10 à la dose de 150 kg/ha .

Déchets ménagers (déchets végétaux).

Engrais vert plante de Genêt blanc (*Retama monosperma*)(500kg/ha)

Avec un témoin sans amendement ce dispositif expérimental .

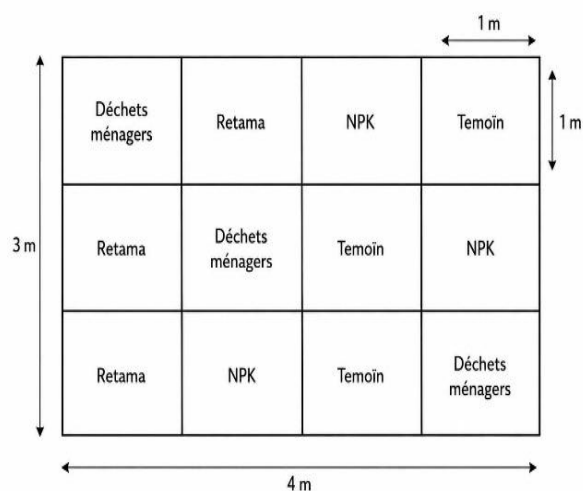


Figure 14 : Schéma du dispositif expérimental **Figure 15 :** Dispositif expérimental appliqué (en blocs)

2.4.1. Caractéristiques des Traitements utilisés :

2.4.1.1. *Retama monosperma* (L.) Boiss (Genêt blanc) :

Retama monosperma (L.) Boiss est un arbuste buissonnant de la famille des Fabaceae,

L'espèce est bien adaptée aux conditions climatiques extrêmes, notamment à la sécheresse et aux sols pauvres (Boubaker *et al*, 2015).



Figure 16 : Poudre de la plante *Retama monosperma*

○ Préparation :

Les feuilles sont collectées dans des sachets propre et étiqueté sur terrain, un fois au laboratoire les feuilles sont nettoyée des impuretés et séchez dans une étuve a une température de 80°C durant 24heures une fois sèches les feuilles sont brayées et utilisées comme engrais vert.

La quantité de *Retama monosperma* utilisée dans notre expérimentation est de 50g pour chaque parcelle selon le protocole de Mekila Mbaikoubou *et al*, (2025)

2.4.1.2. Engrais chimique NPK :

On a utilisé un engrais chimique Ferti d'Or , 15g de NPK 30.10.10. +MgO+SO₃

Pour chaque parcelle



Figure 17 : Engrais NPK (30.10.10)

2.4.1.3 Déchets ménagers (à base végétale)



Figure18 : Poudre des déchets ménagers

○ **Préparation :**

Les déchets ménager (type végétale) de la maison sont collectés et séchés dans un étuve pendant 24h avec 80C°, après séchage les déchets sont broyés et utilisés comme engrais.

La dose utilisée de déchets ménager (type végétale est de50g par parcelle.

2.5. Conduite de l'essai:

▪ **Préparation du sol:**

Le sol a été préparé avec un disque à soc un labour profond.

▪ **Application des engrais :**

La poudre a été épandue dans chaque parcelle puis incorporée au sol à l'aide d'un râteau avec un léger arrosage pour une bonne pénétration.

Pour L'engrais NPK a été appliqué avec l'irrigation (Fertigation)

▪ **Semis:**

Les graines de blé ont été semées en lignes



Figure 19 : Mise en culture du blé dur (*Triticum durum*) semis en ligne

2.5.1. Irrigation:

L'irrigation des parcelles expérimentales de blé a été réalisée de manière régulière et homogène pour l'ensemble des traitements afin de répondre aux besoins hydriques de la culture. Les apports en eau ont été effectués manuellement selon l'état d'humidité du sol et les conditions climatiques durant la période expérimentale.

Chaque parcelle expérimentale, d'une superficie de 1 m², a reçu une quantité moyenne de 10 à 15 L d'eau par irrigation afin d'assurer des conditions hydriques favorables à la croissance et au développement des plantes et de garantir l'uniformité des conditions expérimentales. Toutefois, durant certaines périodes, l'irrigation n'a pas été réalisée en raison des précipitations enregistrées, lesquelles ont contribué à maintenir l'humidité du sol.



Figure20 :Application d'irrigation avec un arrosoir.

2.6.Étude morphologique:

Les mesures morpho métriques sont réalisées sur :

- Longueur tige
- Longueur et largeur des feuilles
- Longueur de racine
- Nombre des racines
- Nombre des talles
- La surface foliaire SF (cm²)
- Distance entre les nœuds.

2.7. Détermination de la teneur en matière sèche (%MS):

La teneur en matière sèche d'un échantillon, consiste à le sécher dans une étuve dont la température est de 105°C et jusqu'à un poids constant.

L'échantillon est ainsi placé dans des plateaux identifiés et préalablement tarés pour être pesé et séché à l'étuve jusqu'à poids constant. Les plateaux contenant l'échantillon sec seront pesés après quelques minutes de refroidissement à l'air.

La teneur en matière sèche de l'échantillon est calculée comme suit :

$$\%MS = (P2 - P0) / (P1 - P2) * 100$$

P0 : poids du plateau vide (g)

P1 : poids du plateau avec la matière fraîche (g)

P2 : poids du plateau avec la matière sèche (g).

2.8.Dosage de chlorophylle (Méthode de Rao et le blanc ,1965).

- On broyé 0,5g de matière fraîche provenant de chaque feuille, ainsi que du sable (pour faciliter le broyage).

-On ajoute 20ml d'acétone. Il est nécessaire de filtrer la solution obtenue à l'abri de la lumière afin d'éviter l'oxydation de ce composé.

Les mesures spectrophotométriques (JENWA6300) sont ensuite effectuées à deux longueurs d'onde ($\lambda_1 = 645$ et $\lambda_2 = 663$ nm). La formule suivante est utilisée pour calculer la qualité de la chlorophylle

Chl a: $12,7 (DO_{663}) - 2,69 (DO_{645})$.

***Chl b:** $22,9 (DO_{645}) - 4,86 (DO_{663})$.

***Chla+b:** $8,02 (DO_{645}) + 20,20 (DO_{663})$.

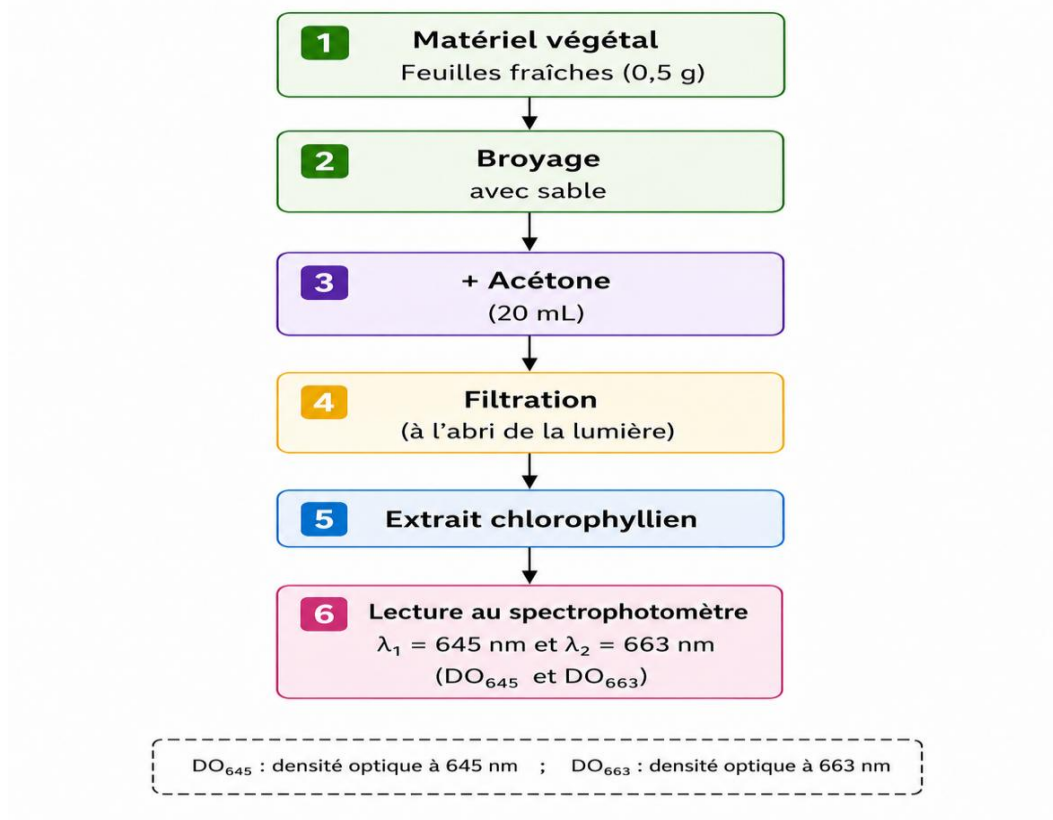


Figure 21 : Protocol du dosage de chlorophylle (a,b et ab) (Rao et le blanc ,1965).

2.9. Dosage de protéines :

- On Broye 100mg matière fraîche avec un peu d'eau distillée.
- On récupère dans des tubes à essai un peu d'eau de chaque prélèvement broyé (0,1ml) auquel on ajoute 5 gouttes d'eau distillée.
- Dans des tubes à essai propre on Prélève 0.2ml de la solution précédente et 1.6ml d'eau distillée (à l'aide d'une micropipette).
- 5 minutes avant la lecture on ajoute 0,2ml du réactif de Bradford.

Préparation de réactif de BRADFORD :,

- On met 100mg de bleu brillant de Coomacie + 50ml d'éthanol a 95%.
- On agite pendant 2 heures.
- On ajoute 100ml d'acide ortho phosphorique à 85%.
- On complète avec l'eau distillée jusque 1litre.
- Le dosage se fait au spectrophotomètre a la longueur d'onde 595nm après étalonnage de l'appareil par une solution témoin contenant 108ml d'eau distillée +0.2 ml du réactif de Bradford.

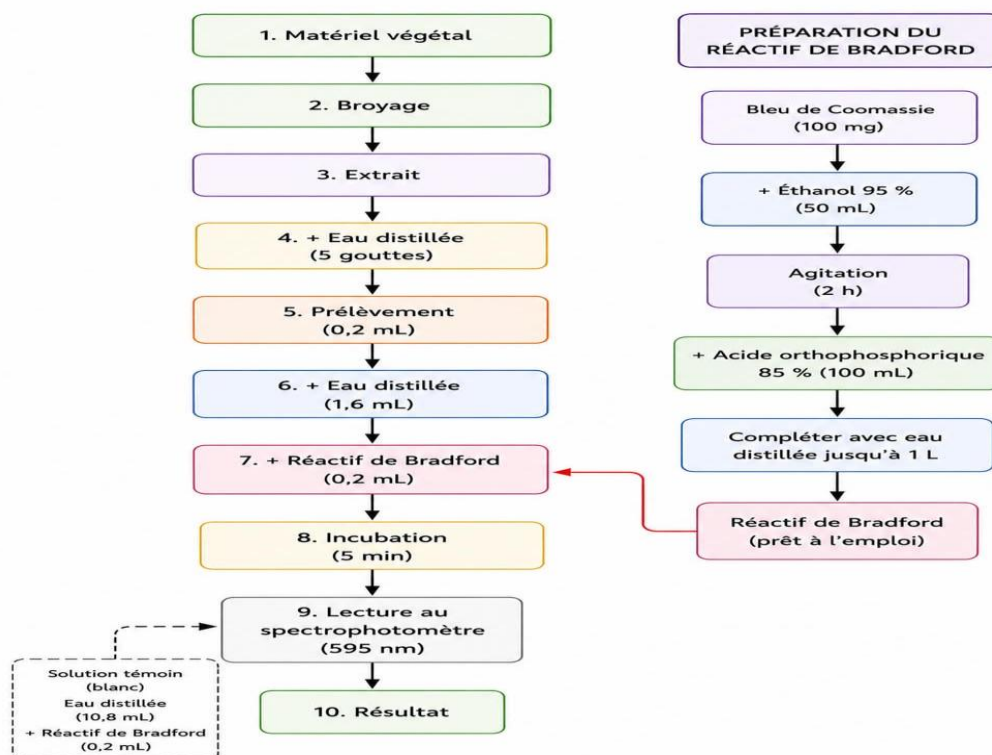


Figure 22 : Protocole expérimental du dosage des protéines (Bradford,1976).

2.10. Dosage de sucre (Dubois *et al*,1956)

- On prend 100 mg de matière fraîche, placées dans des tubes à essais.
- On ajoute 3 ml d'éthanol à 80% pour faire l'extraction des sucres. On laisse à température ambiante pendant 48h à l'obscurité. Au moment du dosage on les place dans l'étuve à 80°C pour faire évaporer l'alcool.
 - Après dans chaque tube on ajoute 20ml d'eau distillée à l'extrait.
 - On met 2ml de la solution à analyser dans des tubes à essais.
 - On ajoute 1ml de phénol à 5% on ajoute rapidement 5ml d'acide sulfurique concentré 96% tout en évitant de verser de l'acide contre les parois du tube. On obtient, une solution jaune orange à la surface.
 - On passe au vortex pour homogénéiser la couleur de la solution.
 - On laisse les tubes pendant 10mn et on les place au bain-marie pour 10 à 20mn à une température de 30°C
 - Les mesures d'absorbances sont effectuées à une longueur d'ondes de 485 nm

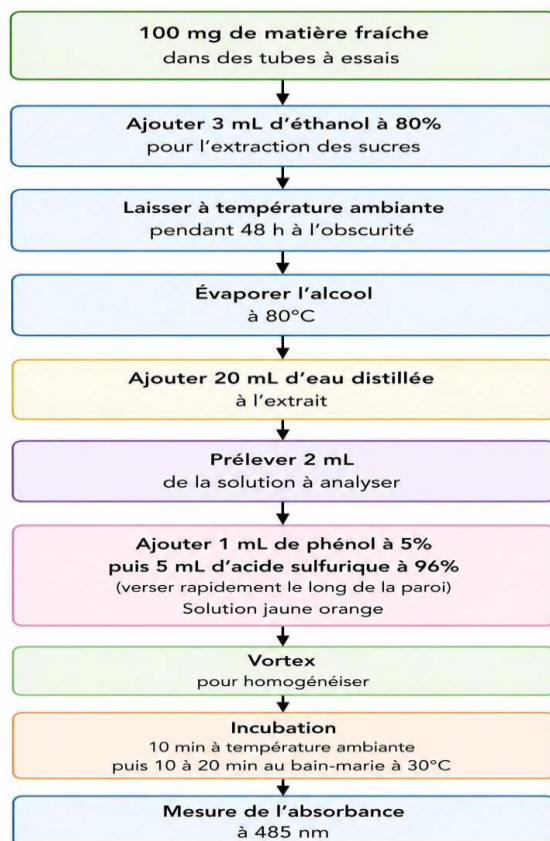


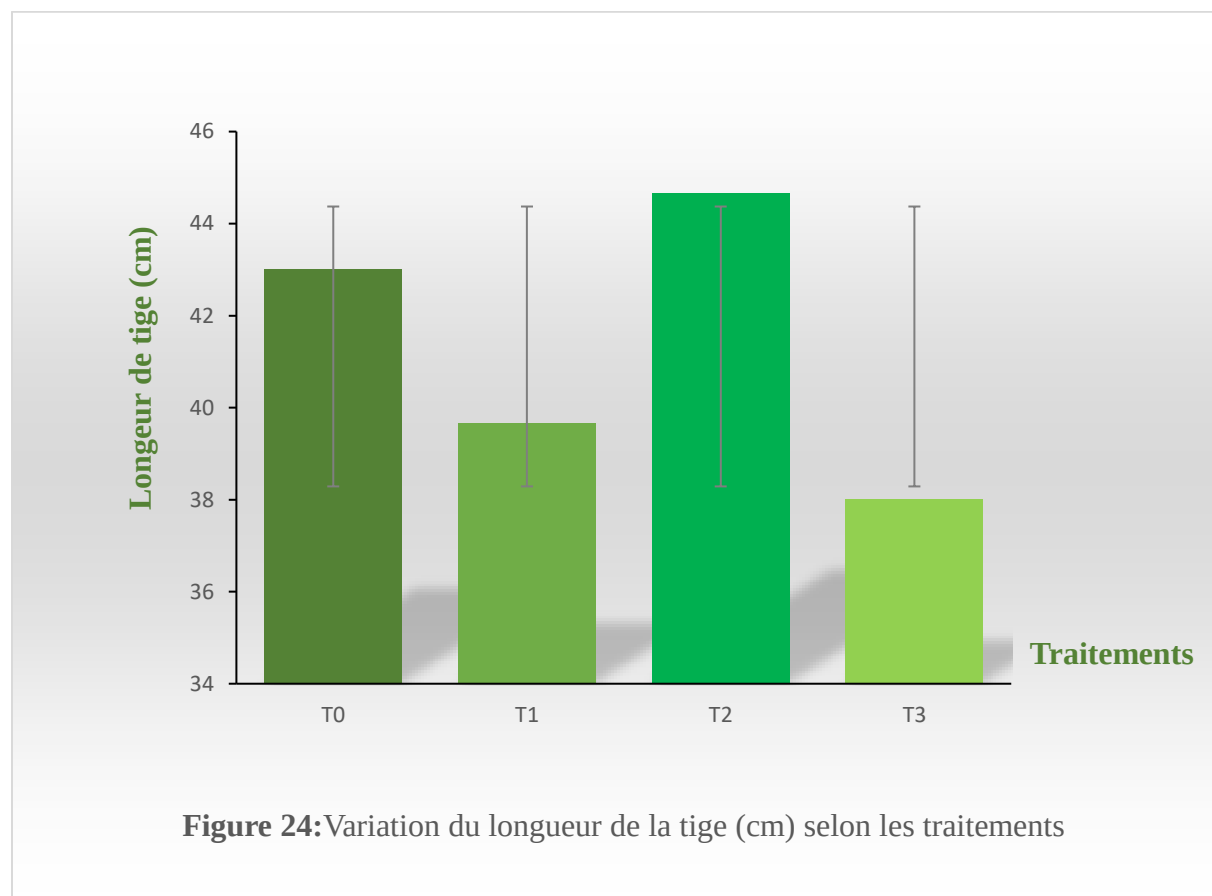
Figure 23 : Protocole du dosage des sucres (Dubois *et al*,1956)



Chapitre III : *Résultats et discussions*

3.1.Effet des engrais NPK, la poudre de *Retama monosperma* et déchets ménagers sur la morphologie du blé dur (*Triticum durum*)

3.1.1.Effet des engrais NPK, la poudre de *Retama monosperma* et déchets ménagers sur la longueur de la tige

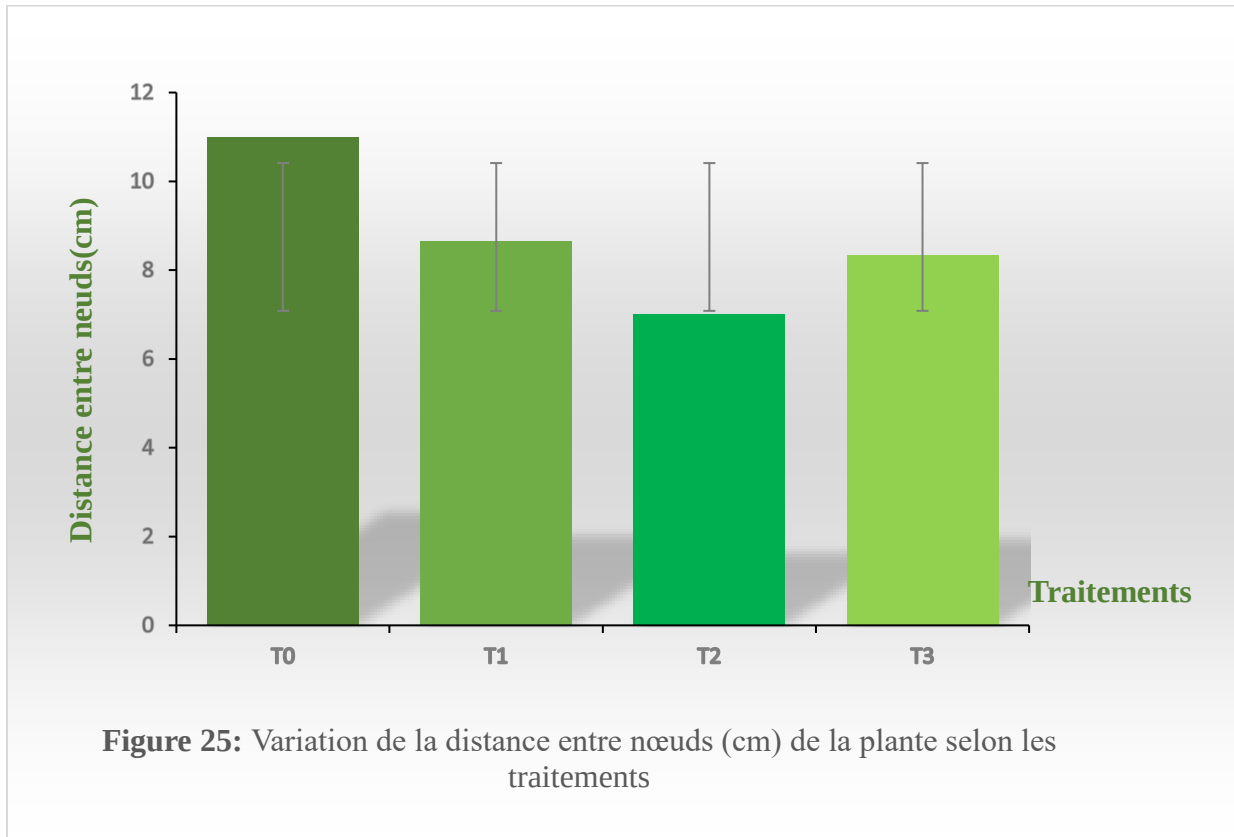


T0 : Témoin T1 : Engrais NPK T2 : déchets ménagers T3 : Poudre de plante *Retama monosperma*

La longueur de la tige du blé dur varie beaucoup selon les traitements appliqués. Le traitement T2 (déchets ménagers) , marque une valeur plus élevée, avec une longueur de de 44,66 cm par rapport aux autres traitements, d’après les résultats obtenus on enregistre un longueur de tige la moins élevé chez le traitementT3 a base de poudre de *Retama monosperma*.

Une bonne croissance de la tige a été obtenue avec le traitement T2, déchets ménagers, a donné la longueur de la tige est de 44,66 cm.

3.1.2. Effet des engrais NPK, la poudre de *Retama monosperma* et déchets ménagers sur la distance entre les nœuds



T0 : Témoin T1 : Engrais NPK T2 : déchets ménagers T3 : Poudre de plante *Retama monosperma*

D'après la figure 25 on remarque que la distance entre les nœuds varie entre 7cm et 8.66cm selon les traitements, la distance la moins élevée a été enregistré pour le traitement T2 (déchets ménagers).

3.1.3. Effet des engrais NPK, la poudre de *Retama monosperma* et déchets ménagers sur le nombre de talles

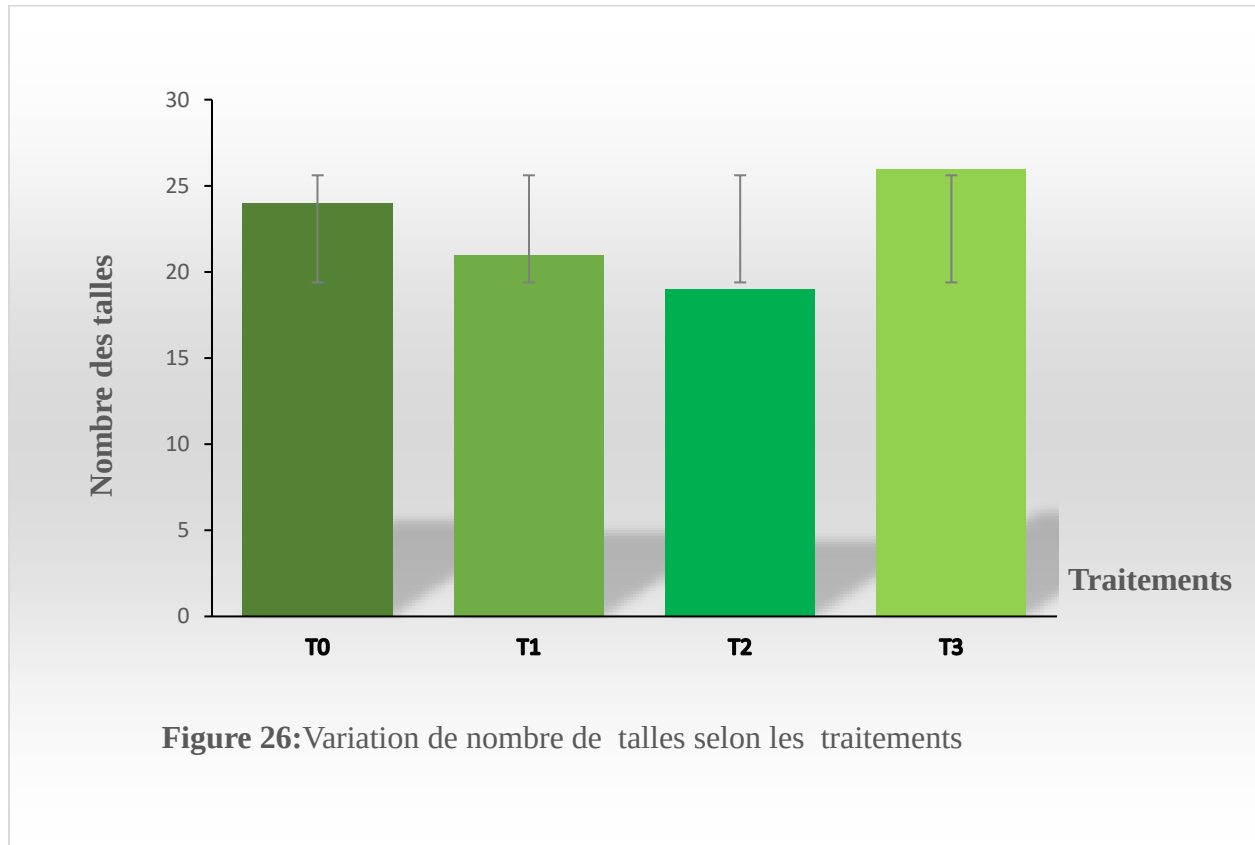


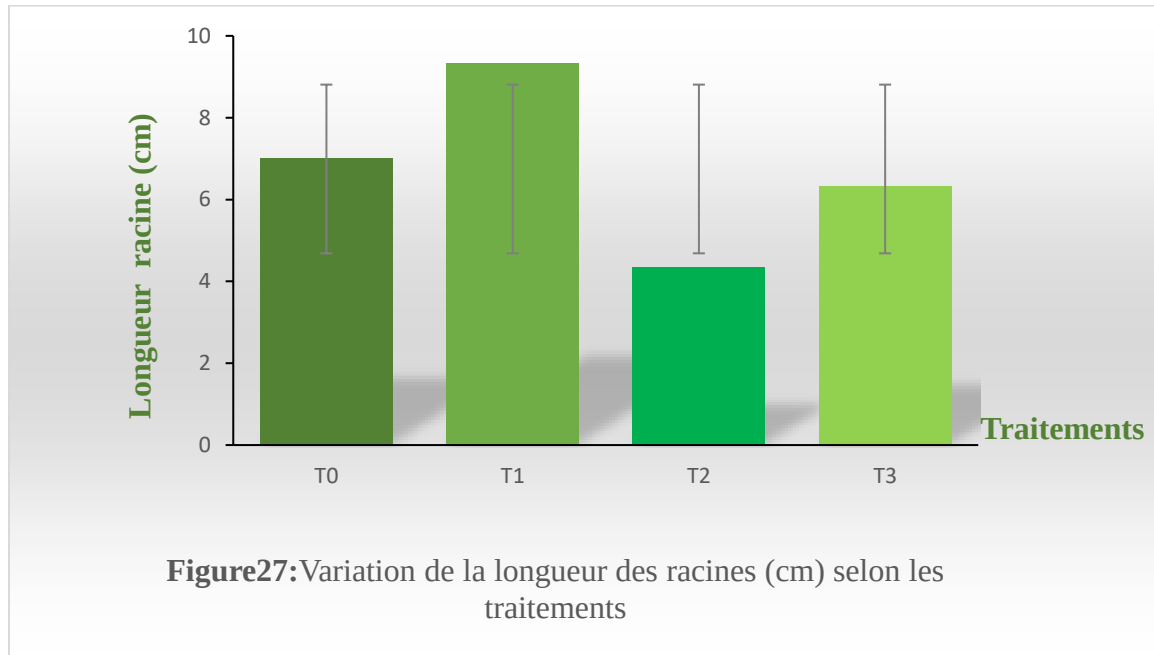
Figure 26: Variation de nombre de talles selon les traitements

T0 : Témoin T1 : Engrais NPK T2 : déchets ménagers T3 : Poudre de plante *Retama monosperma*

Le nombre de talles émises varie d'un minimum de 19 talles pour le traitement T2 déchets ménagers à 26 talles pour traitement T3 avec *Retama monosperma*. Les résultats indiquent que le nombre de talles varie largement selon le traitement appliqué.

La plante présente un tallage plus abondant en ce qui concerne le traitement T3 le poudre de *Retama monosperma*. , on compte 26 talles par plante.

3.1.4. Effet des engrais NPK, la poudre de *Retama monosperma* et déchets ménagers sur la longueur de la racine (Cm)



T0 : Témoin T1 : Engrais NPK T2 : déchets ménagers T3 : Poudre de plante *Retama monosperma*

Les résultats montrent que le traitement T1 à l'engrais NPK, a stimulé nettement la longueur de la racine ou on enregistre une longueur de 9,33 cm. La longueur de la racine la moins élevée est de 4.33cm pour le traitement T2 déchets ménagers.

Les résultats montrent une bonne croissance racinaire avec le traitement NPK, la racine présente une longueur de 9,33 Cm.

3.1.5. Effet des engrais NPK, la poudre de *Retama monosperma* et déchets ménagers sur le nombre des racines

Tableau 9 : Variation du nombre des racines selon les traitements

Traitements /nombres des racines	T0	T1	T2	T3
Nombre des racines	13	16	13	13

T0 : Témoin T1 : Engrais NPK T2 : déchets ménagers T3 : Poudre de plante *Retama monosperma*

Les fertilisants minéraux ont un effet positif sur la façon dont les racines se développent et sur la capacité de la plante à absorber l'eau et les nutriments.

Les plantes traitées avec T2 l'engrais NPK présente un nombre racinaire plus élevé de 16 racines par plante, donc une bonne surface absorbante de l'eau et des sels minéraux.

3.1.6. Effet des engrais NPK, la poudre de *Retama monosperma* et déchets ménagers sur la surface foliaire

Tableau 10 : Variation de la surface foliaire (Cm²)selon les traitements

Traitements /Surface foliaire	T0	T1	T2	T3
Longueur de la feuille(Cm)	20.83	15.66	17.16	19.33
Largueur de la feuille(Cm)	1.33	1	0.96	0.83
Surface foliaire(Cm²)	41.5	31.12	34.37	38.42

T0 : Témoin T1 : Engrais NPK T2 : déchets ménagers T3 : Poudre de plante *Retama monosperma*

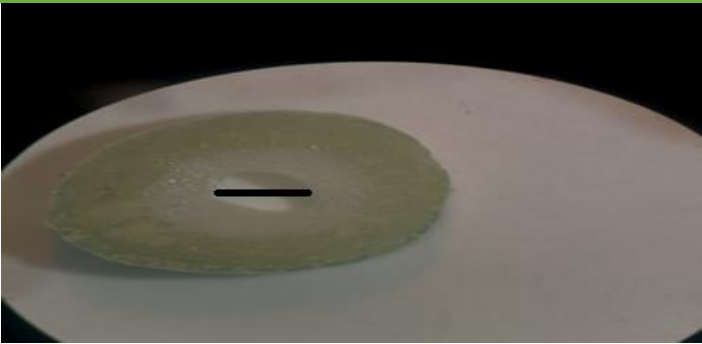
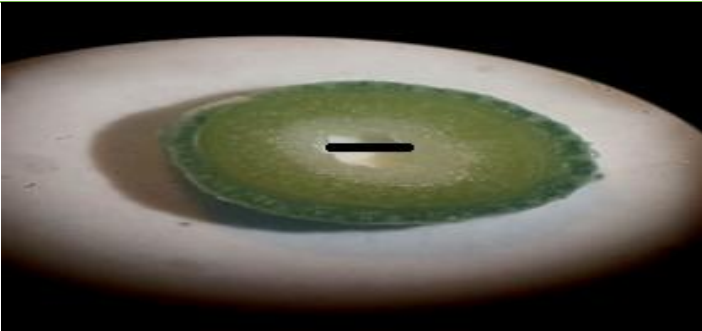
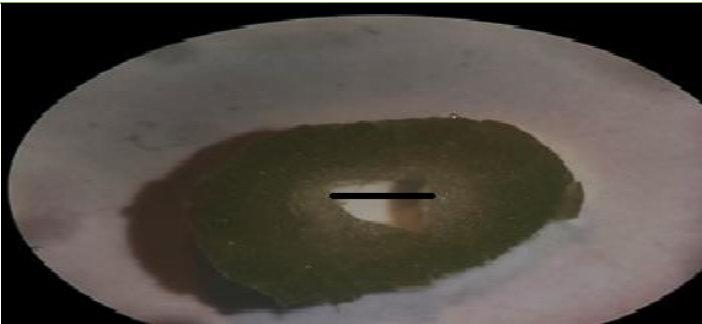
D'après le tableau on remarque que la surface foliaire varie entre 31.12 Cm² et 38.42 Cm²

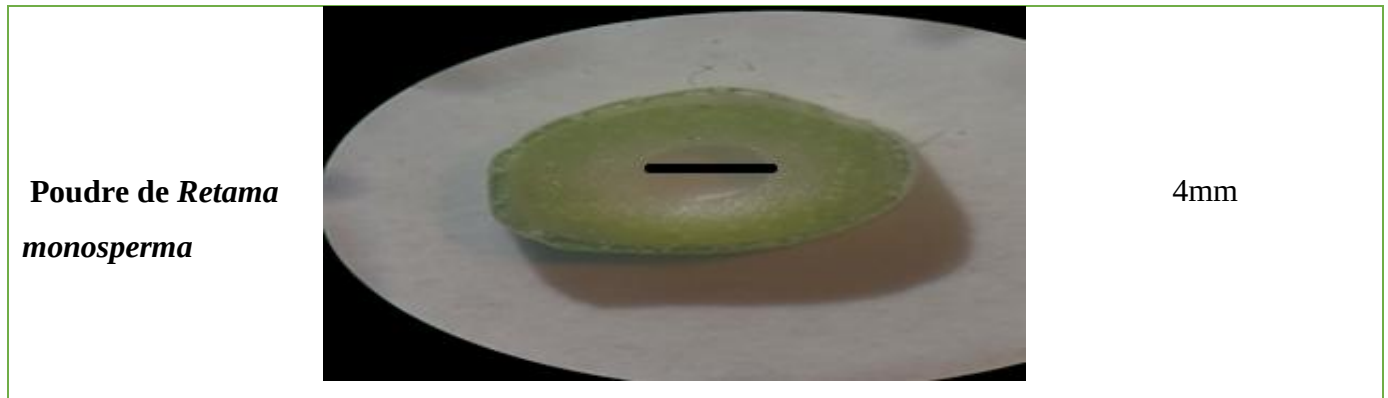
Le traitement T3 avec la poudre de *Retama monosperma* a stimulé nettement le développement de la feuille avec une surface de 38.42 Cm² par rapport aux autres traitements T1 et T2 (31,13 Cm², 34,38 Cm²)

Le traitement T3 poudre de plante *Retama monosperma* a stimulé nettement le développement de la surface foliaire avec une surface de feuilles de 38, 43 Cm²,

3.1.7. Effet des engrais NPK, la poudre de *Retama monosperma* et déchets sur le diamètre de la chaume

Tableau 11 : Variation du diamètre de la chaume

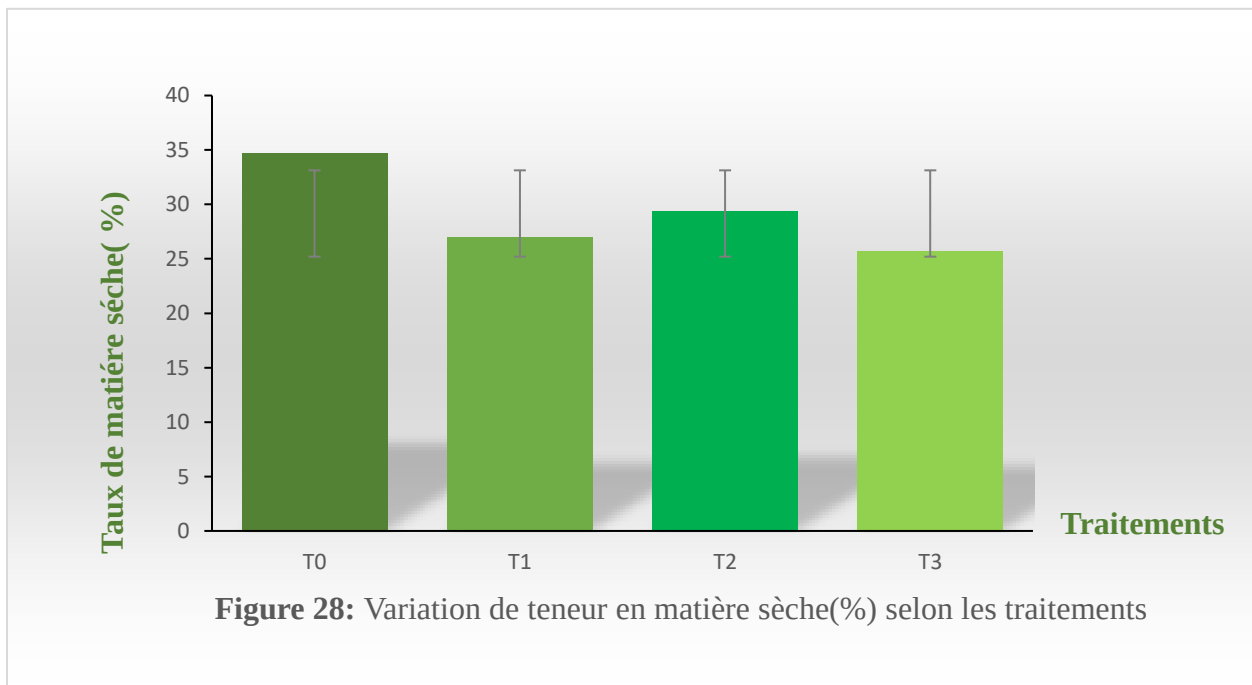
Traitements	coupe transversale de la chaume	Diamètre (mm)
Témoin		3mm
Engrais NPK		3 mm
Déchets ménagers		4mm



L'observation au binoculaire nous a permis de distinguer une différence entre le diamètre de chaume des différents traitements, la mesure du diamètre de la chaume montre que les traitements T2 déchets ménagers et T3 poudre de *Retama monosperma* marque un diamètre de 4mm par rapport au témoin 3mm.

3.2. Analyses biochimiques du blé dur (*Triticum durum*) sous effet des engrais NPK, la poudre de *Retama monosperma* et déchets ménagers .

3.2.1. Effet des engrais NPK, la poudre de *Retama monosperma* et déchets ménagers sur la teneur en matière sèche (%)

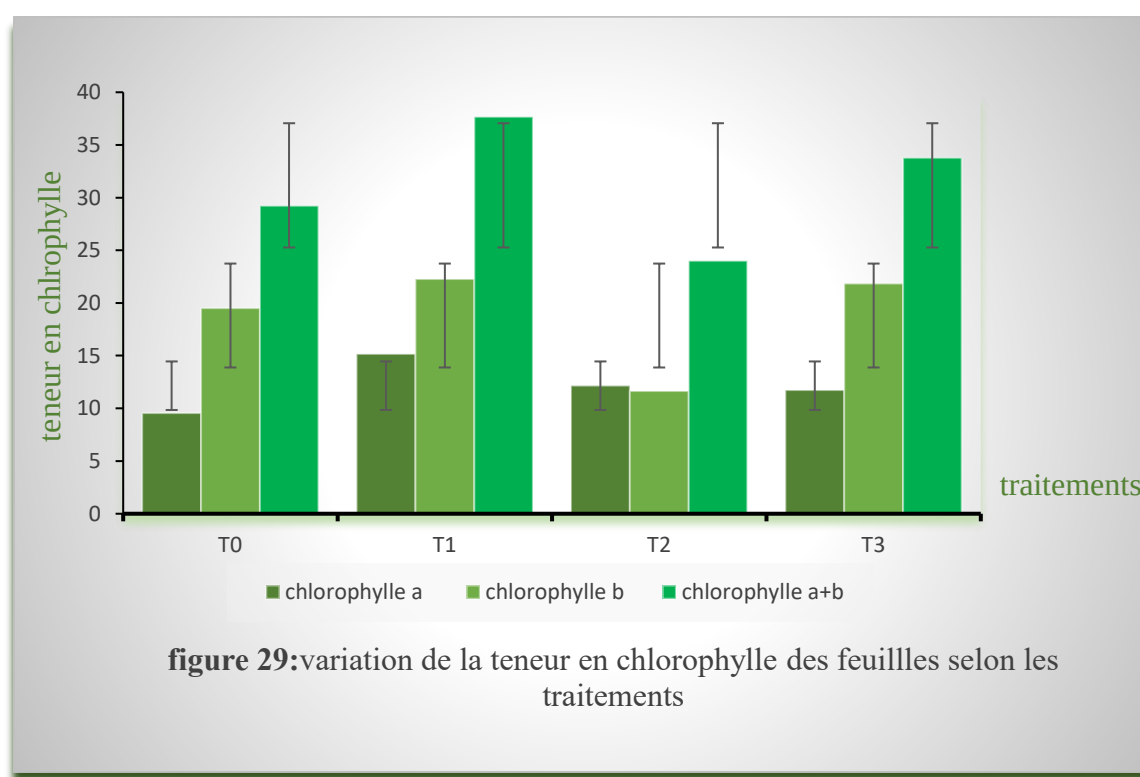


T0 : Témoin T1 : Engrais NPK T2 : déchets ménagers T3 : Poudre de plante *Retama monosperma*

La figure28 présente les différents résultats du poids sec ,la matière sèche affiche une supériorité de 29.33 % chez le traitements T2 déchets ménagers qui est la meilleure et la plus performante, elle exprime les poids les plus élevés par rapport au autres traitements tout de même le témoin présente un taux élevé de matière sèche avec34,66 %.

Le taux de matière sèche nous renseigne sur la croissance du végétale ,le traitement T2 déchets ménagers marque un taux de 29,33%, ce traitement favorise bien une benne croissance et une accumulation de biomasse végétale plus importante

3.2.2. Teneur en chlorophylle (mg/g de MF) des feuilles selon les traitements



T0 : Témoin T1 : Engrais NPK T2 : déchets ménagers T3 : Poudre de plante *Retama monosperm*

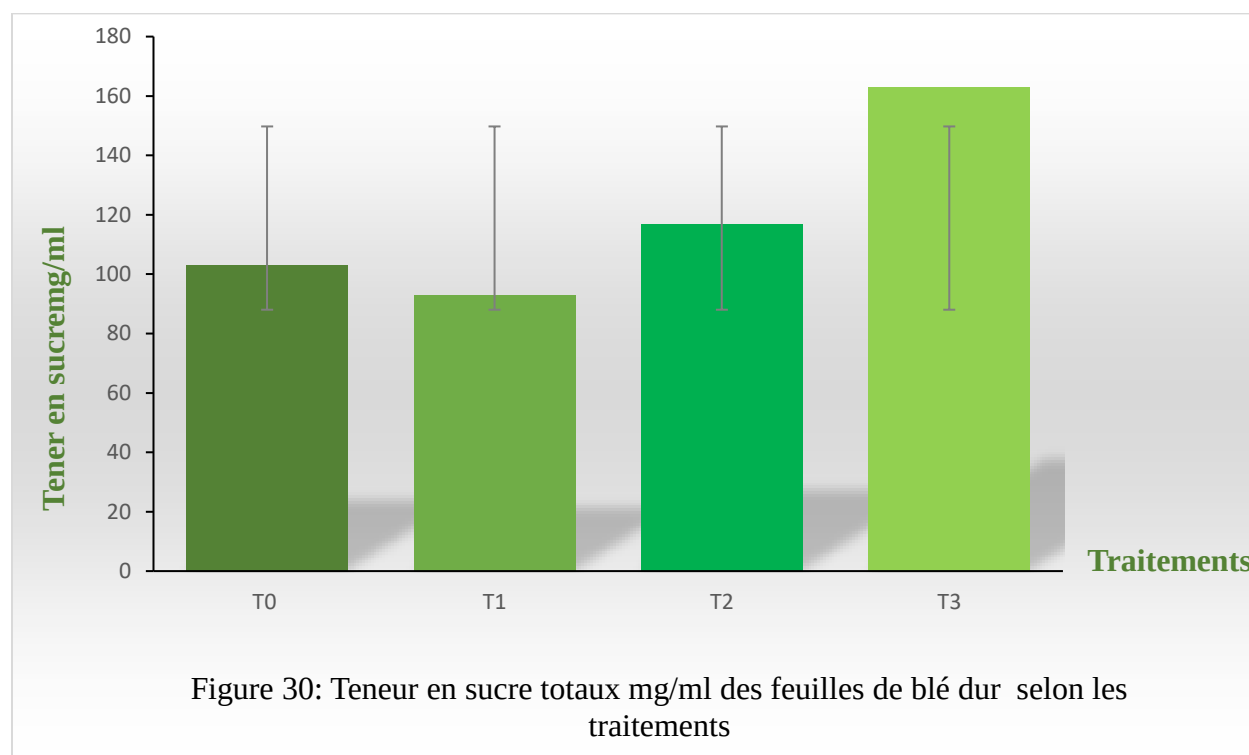
La teneur en chlorophylle (Figure29) révèlent une différence entre les moyennes enregistrées de CHl a ,b et (a+b),

Les parcelles amendées avec l'engrais NPK T1 et de la poudre de plante *Retama monosperma* T3 présente un taux de CHl (a+b) de37.66 et 33.77 mg/gMF.

Le traitements T1 Engrais NPK marque des taux élevés de CHla 15.15 mg/gMF et de CHlb 22.26 mg/gMF.

En ce qui concerne Les valeurs des teneurs en chlorophylles (a), (b), (a + b) pour le blé dur on constate que les parcelles amendées avec l'engrais NPK T1 et de la poudre de plante *Retama monosperma* T3 présente un taux de CHI (a+b) de 37.66 et 33.77 mg/gMF. Le traitement T1 engrais NPK marque des taux élevés de CHIa 15.15 mg/gMF et de CHIb 22.26 mg/gMF.

3.2.3. Teneur en sucre totaux mg/ml des feuilles de blé dur selon les traitements



T0 : Témoin T1 : Engrais NPK T2 : déchets ménagers T3 : Poudre de plante *Retama monosperma*

D'après la figure 30 Le dosage des sucres totaux chez le blé dur montre que sous l'effet du traitement T3 de poudre de *Retama monosperma*, on remarque une augmentation de la teneur en sucre avec une valeur de 162,81 mg/ml par rapport aux témoins 103,06 mg/ml.

Le traitement avec l'engrais NPK enregistré une teneur en sucre totaux la moins élevée 92,96 mg/ml par rapport aux autres traitements.

La teneur en sucres totaux était la plus élevée avec le traitement T3 *Retama*

monosperma, avec une valeur de 162,81 mg/ml. On peut déduire que l'ajout d'un engrais vert a stimulé l'activité métabolique de la plante et une bonne capacité à synthétiser et à stocker les assimilés carbonés.

3.2.4. Teneur en protéines (mg/ml) des feuilles de blé dur selon les traitements



T0 : Témoin T1 : Engrais NPK T2 : déchets ménagers T3 : Poudre de plante *Retama monosperma*

Le dosage des protéines chez le blé dur montre que sous l'effet du traitement T1 avec l'engrais NPK on remarque une augmentation dans la teneur en protéines avec 2,821 mg/ml, par rapport aux témoins 1.831 mg/ml.

L'utilisation de déchets ménagers a influencé négativement la teneur en protéines avec un taux de seulement 1,685 mg/ml.

L'apport de d'azote par l'engrais NPK a favorisé l'accumulation des protéines avec

une teneur de 2,821 mg/ml. Cette augmentation de la teneur en protéines sous l'effet de NPK s'explique par la disponibilité de l'azote. En effet, l'azote est un élément essentiel à la synthèse des protéines.

3.2.5. Discussion :

La plante a besoin de nutriments pour son développement. Ces nutriments sont transportés dans la plante sous forme dissoute dans l'eau.

Les principaux éléments minéraux essentiels pour le développement d'une plante sont : l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). Cependant, il y a aussi des éléments secondaires (Calcium, magnésium, soufre, etc.)

Les céréales expriment des besoins élevés en éléments fertilisants notamment aux stades croissance et formation des grains. Un bon itinéraire technique reposant sur un programme de fertilisation basé sur des engrais acidifiants, des formes chimiques offrant une bonne biodisponibilité, le fractionnement des apports et l'équilibre des formules, permettra d'optimiser la fertilisation pour atteindre des rendements élevés.

En effet, Alley et Vanlauwe (2009) ont préconisé qu'une gestion intégrée de la fertilité des sols devra s'appuyer sur l'utilisation des germoplasmes améliorés, l'utilisation des engrais minéraux, la bonne gestion de la matière organique du sol et les adaptations.

Les résultats de cette étude montrent l'intérêt de l'apport des engrais chimiques NPK, des déchets ménagers, la poudre à base de *Retama monosperma* sur la morphométrie et l'analyse du taux de la matière sèche, chlorophylle, sucres totaux et protéines d'une plante de la famille des graminées *Triticum durum*.

L'apport des déchets ménagers n'a pas permis d'accroître la longueur de la tige, la distance entre nœuds, le nombre de tiges et le poids sec des plantes (figure 24) (figure 25) (figure 26) par contre que le traitement T1 à l'engrais NPK, a stimulé nettement la longueur de la racine, le nombre de racines, la teneur en chlorophylle et en protéines (figure 27)

Le traitement T3 avec la poudre de *Retama monosperma* a stimulé nettement la surface de la feuille et la teneur en sucres totaux (tableau 10) (figure 30)

La longueur de la tige du blé dur varie beaucoup selon les traitements appliqués. Le traitement T2 (déchets ménagers), marque une valeur plus élevée, avec une longueur de 44,66 cm par rapport aux autres traitements (figure 24)

La distance entre les nœuds varie entre 7 cm et 8,66 cm selon les traitements, la distance

la moins élevé a été enregistré pour le traitement T2 (déchets ménagers).

Le nombre de talles émises varie d'un minimum de 19 talles pour le traitement T2 déchets ménagers à 26 talles pour traitement T3 avec *Retama monosperma*.

Ces résultats concordent avec celles de Manhou *et al* en 2026. Ils ont remarqué que les amendements organiques aident le blé dur à bien pousser.

D'après leurs explications, la matière organique améliore la structure du sol, l'aidant à retenir plus d'eau et à libérer petit à petit les nutriments.

Ce traitement a un effet positif sur le tallage.

Le tallage est important pour la formation des épis et pourrait améliorer le rendement, c'est un paramètre clé pour les épis et le rendement potentiel.

Selon des études menées par Boudjabi *et al* (2015), les amendements organiques ont un impact positif sur l'activité biologique du sol. Ils améliorent également l'absorption des nutriments par les plantes. Ceci stimule, en conséquence, la formation de talles. Les déchets organiques jouent un rôle important dans la gestion d'une meilleure fertilité du sol en améliorant sa structure (Mulaji, 2011).

Les résultats montrent que le traitement T1 à l'engrais NPK, a stimulé nettement la longueur de la racine ou on enregistre une longueur de 9,33 cm. La longueur de la racine la moins élevée est de 4,33 cm pour le traitement T2 déchets ménagers.

Le nombre de racines le plus élevé est remarqué pour le traitement T1 avec l'engrais NPK avec 16 racines par plante par contre aucune différence n'a été remarquée pour les autres traitements. (figure 27) (tableau 9)

Le développement des racines est plus important avec le traitement NPK vu que les éléments minéraux essentiels, comme le phosphore, sont disponibles tout de suite. Le phosphore est connu pour aider la croissance des racines.

Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par Gadaleta *et al* (2022).

Selon leurs recherches, le phosphore joue un rôle important dans la croissance et la ramification des racines. La ramification racinaire améliore la squelette du sol qui permet une meilleure absorption de l'eau et des éléments nutritifs.

Les résultats montrent que les doses et les modes d'application du phosphore augmentent la croissance des racines et l'absorption des nutriments chez le soja (Hansel *et al.* 2019). Une

grande surface foliaire permet aux plantes d'intercepter davantage de lumière et d'accroître leur activité photosynthétique.

Les résultats affichent que le traitement T3 avec la poudre de *Retama monosperma* a stimulé nettement le développement de la feuille avec une surface de 38.42 Cm² par rapport aux autres traitements T1 et T2 (31,13 Cm², 34,38 Cm²).

L'observation au binoculaire nous a permis de distinguer une différence entre le diamètre de chaume des différents traitements, la mesure du diamètre de la chaume montre que les traitements T2 déchets ménagers et T3 poudre de *Retama monosperma* marque un diamètre de 4mm par rapport au témoin 3mm.

Le taux de la matière sèche affiche une supériorité de 29.33 % chez le traitement T2 déchets ménagers qui est la meilleure et la plus performante, elle exprime les poids les plus élevés par rapport aux autres traitements tout de même le témoin présente un taux élevé de matière sèche avec 34,66 %.

Selon les recherches menées par Melash *et al* (2023), la fertilisation a souvent pour conséquence de favoriser la croissance des tissus qui contiennent beaucoup d'eau, ce qui peut alors entraîner une diminution du pourcentage de matière sèche dans la plante.

Les valeurs élevées de TMS dans les parcelles traitées avec du biofertilisant et de l'engrais indiqueraient une bonne stratégie de conservation des ressources comme le signale Grogan *et al.*, (2018). Cette stratégie permet aux plantes de synthétiser et d'accumuler plus de réserves dans les tissus foliaires (Reich *et al.*, 1997) et de minimiser les besoins nutritifs (Berendse et Aerts, 1987)

Les parcelles amendées avec l'engrais NPK T1 et de la poudre de plante *Retama monosperma* T3 présente un taux de CHI (a+b) de 37.66 et 33.77 mg/gMF.

Le traitement T1 Engrais NPK marque des taux élevés de CHIa 15.15 mg/gMF et de CHIb 22.26 mg/gMF.

Le dosage des sucres totaux chez le blé dur montre que sous l'effet du traitement T3 de poudre de *Retama monosperma*, on remarque une augmentation de la teneur en sucre avec une valeur de 162,81 mg/ml par rapport aux témoins 103,06 mg/ml.

Le dosage des protéines chez le blé dur montre que sous l'effet du traitement T1 avec l'engrais NPK on remarque une augmentation dans la teneur en protéines avec 2,821 mg/ml, par rapport aux témoins 1.831 mg/ml.

Ces résultats concordent avec ceux de Melash *et al* (2023), qui ont montré que l'azote est l'élément clé de la molécule de chlorophylle. En effet, une meilleure disponibilité de l'azote permet d'augmenter la capacité photosynthétique, ce qui améliore la croissance du blé dur. Globalement, ces résultats indiquent que les traitements qui favorisent l'apport d'azote encouragent l'accumulation de protéines dans les feuilles de blé dur. Ces résultats sont concordant avec celles de Stefanis *et al*(2012), ainsi que Melash *et al* (2023), lorsque l'azote est plus abondant, la synthèse protéique est directement favorisée.

Les études similaires conduites au Kenya par par Useni *et al* (2012) ont également montré que les traitements aux fertilisants organiques seuls procuraient les marges bénéficiaires les plus élevées que les traitements avec engrais minéraux seuls ou combinés aux fertilisants organiques.



CONCLUSION

Depuis la nuit des temps les céréales nourrissent l'humanité. Produire mieux et plus a été nécessaire pour répondre aux besoins d'une population grandissante.

Les céréales expriment des besoins élevés en éléments fertilisants notamment aux stades croissance et formation des grains. Un bon itinéraire technique reposant sur un programme de fertilisation basé sur des engrais acidifiants, des formes chimiques offrant une bonne biodisponibilité, le fractionnement des apports et l'équilibre des formules, permettra d'optimiser la fertilisation pour atteindre des rendements élevés.

Notre pays est aujourd'hui confronté à une problématique des sols algériens et une population en constante augmentation.

Les sols sont souvent très complexes, ils sont caractérisés par : Une faible teneur en matière organique, un pH élevé, une faible capacité d'échange cationique (essentiellement à cause de la faible teneur en matière organique), qui représente la taille du réservoir permettant de stocker de manière réversible les cations (potassium, magnésium, calcium, etc.) et de les échanger efficacement avec la plante.

Une salinité élevée et une faible réserve en phosphore, qui sont en plus faiblement disponibles. Tous ces critères contribuent à rendre la fertilisation complexe.

Une population en constante augmentation et des besoins qui sont chaque année plus conséquents. Une partie importante des céréales que nous consommons est importée. Pour ce qui nous concerne, nous continuerons à faire des efforts pour développer de nouveaux engrais, de nouveaux produits de traitement phytosanitaires et former des équipes pour être de plus en plus performantes.

Cette étude visait à évaluer l'effet de trois fertilisants un engrais chimique NPK(30-10-10) déchets ménagers et poudre de la plante *Retama monosperma* sur la croissance et la composition chimique du blé dur (*Triticum durum*, variété Simeto), au cours de la campagne 2025–2026 à Hassi Mameche (Mostaganem).

Les résultats montrent que le traitement à base de déchets ménagers s'est révélé le plus efficace globalement, avec la meilleure longueur de tige (44,66 cm), un diamètre de chaume plus élevé et une bonne accumulation de matière sèche, traduisant une amélioration notable de la structure du sol et une libération progressive des nutriments. L'engrais NPK s'est distingué surtout au niveau racinaire et protéique,

tandis que la poudre de *Retama monosperma* a favorisé le tallage et l'accumulation de sucres, sans toutefois égaler la performance d'ensemble des déchets ménagers.

Ces résultats confirment l'intérêt de valoriser les déchets ménagers comme amendement organique, alternative durable et économique à la fertilisation minérale pour la culture du blé dur. Il serait pertinent, en perspective, de poursuivre l'essai jusqu'à la récolte afin de confirmer cet effet sur le rendement et la qualité du grain.

Il s'avère aussi opportun de poursuivre les investigations en étudiant l'évolution de la salinité des différentes parcelles aménagées en rapport avec le type d'amendement et les traits fonctionnels de cette variété sur plusieurs saisons consécutives.



LES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abbaz-Imen BELKACEMI, 2023. Les engrais NPK et leur rôle dans la nutrition des plantes. Mémoire de fin d'études.
- Abdelmadjid, K., 2013. Fertilisation phosphatée et nutrition minérale des cultures. Éditions Universitaires.
- Allaya, M. (1998) Annuaire des économies agricoles et alimentaires des pays méditerranéens et arabes. MEDAGRI.CIHEMA-IAM, Montpellier, 455 pages.
- Alley M.M., Vanlauwe B., 2009. The role of fertilizer in integrated plant nutrient management, IFA and
- TSBF-CIAT, Paris, France, 59p
- Askri A, 2015. Valorisation des digestats de méthanisation : effets sur les cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote dans le sol et conséquences environnementales. Thèse de doctorat. Université de Paris- Saclay, pp 30-38.
- Askri, A., 2015. Valorisation organique des déchets ménagers. Mémoire de Master, Université de Constantine.
- Atakpama, W., Kokou, K. B., Issifou, A., Folega, F., Agbati, K., Douhadji, A. C. C. M., & Batawila, K. (2024). Approche agro-écologique, solution pour améliorer les rendements de maïs (*Zea mays* L.) au Togo. *Revue Écosystèmes et Paysages*, 4(1), 1-14
- Bataillon, T., Chantret, N., Cenci, A., Gautier, M. F., Joudrier, Ph., Haudry, A., Muller,
- Bationo A., Kimetu J., Ikera S., Kimani S., Mugenda D., Odendo M., Silver M., Swift MJ. & Sanginda N. (2004). The Africa Net Work for soil biology and fertility . New challenge and apport umites. Managing of nutriment cycles to sustain soil fertility in sub-saharan Africa. Academy Science Publishers, 1 :1-23.
- Bationo, A., Kihara, J., Vanlauwe, B., Waswa, B. & Kimetu, J., 2004. Soil organic carbon dynamics, functions and management in West African agro-ecosystems. *Agricultural Systems*, 94, pp.13-25.
- Bennasseur, A., (2003) Référentiel pour la conduite technique de la culture du blé dur (*Triticum durum* Desf). *Jour. Of Agronomy* N° 2, p. 450 – 455.
- Blum, A. (2011). *Plant Breeding for Water-Limited Environments*. Springer
- Boulal, H., 2007. Fertilisation azotée et phosphatée des céréales. Institut National Agronomique.
- Bozzini, A (1988) Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. In
- Bradford, M. M. (1976) A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. *Anal. Biochem.* 72 :248-254.
- Caligari, P. D. S. et Brandham, P. E. (2001) The wheat Taxonomy. *Annu. Wheat New*. N° 47, p. 110 – 115.

- Caligari, P. D. S. et Brandham, P. E. (2001) The wheat Taxonomy. Annu. Wheat New. N° 47, p. 110 – 115.(Repete)
- Cannavo, P., Michel, J.C. & Charpentier, S., 2022. Organic fertilizers and soil fertility management. Agronomy Journal, 114(2), pp.458-470.
- CAPM (Centre Agricole Polyvalent de Ratroukou). 46 p.
- Casals, M.L. (1996) Introduction des mécanismes de résistance à la sécheresse dans un modèle dynamique de croissance et de développement du blé dur. Doctorat de l'Institut National Agronomique, Paris-Grignon, France.
- Chafi M. (2010) : vicia faba L., un engrais pour la réhabilitation des zones marginalisées (zone arides et semi-arides) algériennes. Thèse de doctorat. Université d'Oran, 156p.
- Chafi, M., 2010. Les engrais verts et leur importance agronomique. Revue Agriculture Durable, 5(2), pp.35-42.
- Chauvin M, 2004. La réglementation française sur la valorisation agronomique des déchets organiques : Organisation et points principaux. ADEME Bretagne, pp 12.
- Chauvin, R., 2004. Gestion et traitement des déchets biodégradables. Paris : Lavoisier.
- Christian, F., Müller, T. & Schmidhalter, U., 2005. Nitrogen nutrition and plant growth. Plant and Soil, 274, pp.1-11.
- Clerget Y., 2011. Biodiversité des céréales : Origine et évolution. Montbéliard. 17p.(Photo germ)
- CNA Bio, 2013. Les engrais minéraux et organiques. Centre National d'Agriculture Biologique.
- Coulibaly D., Sissoko F. & Doumbia S. (2017). Evaluation de l'effet de la fertilisation minérale sur la production de variétés améliorées de maïs et le disponible fourrager en zone cotonnière du Mali-Sud (Mali). Agronomie Africaine, 2017, 29 (1) : 109-117.
- Coulibaly, K., Traoré, O. & Koné, B., 2017. Effets de la fertilisation minérale sur les rendements agricoles. Agronomie Africaine, 29(1), pp.45-53.
- Couturier C., Meiffren I, 2001. Valorisation du biogaz en Europe : Contexte réglementaire, fiscal, économique et politique. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. Edition SOLARGO, pp 55.
- Couturier, C., 2001. La valorisation des déchets. Paris : Dunod.
- Donnars, C., Sarazin, M. (2007) Les céréales jouent un rôle de premier plan dans l'équilibre alimentaire. Alimentation – INRA N° 7, p. 1 – 4, N°48, p.150 – 156.
- Donnars, C., Sarazin, M. (2007) Les céréales jouent un rôle de premier plan dans l'équilibre alimentaire. Alimentation – INRA N° 7, p. 1 – 4. (Repeté)
- Doré, C. et Varoquaux, F. (2006) Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Ed. INRA, 812 p.

- Draft, N., 2012. Organic Fertilizers and Soil Improvement. Springer. Elbl, J., Lošák, T. & Hlušek, J., 2020. Organic fertilizers and environmental sustainability. Sustainability, 12(5), pp.1-15.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., Smith, F. 1956. Colorimetric Method for determination of sugars and related substances. Analytical chemistry, 28 (3) : 350-356.
- Ezzahiri, B., (2001) Les maladies du blé : Identification, facteurs de développement et méthodes de lutte. Bulletin de transfert et technologique en agriculture N° 77, p. 4.
- Fabriani, G. et Lintas, C. (éd.) Durum : Chemistry and Technology. AACCC (American Association of Cereal Chemists), Inc. St. Paul, Minnesota, Etats-Unis. P.1 – 16.
- FAO, 2003. Les engrais et leur utilisation. Rome : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.
- FAO, 2019. Guide de la fertilité des sols. Rome : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.
- Feillet, P. (2004) Valeur d'utilisation des blés durs .C.R. Sem. D'études Céréales. Gembloux N° 85, p. 2598.
- Francisco Abdou Rachidi, Yarou Boni Barthélémy, De Troij Antoine, Touré Fatoumata, Koura Tatiana, Azagba Joël, Traoré Assista, Dagno Karim Aboubakar Souma Djibril. 2023. Comment réussir la fertilisation d'une culture maraîchère. Document Technique et d'Informations (DT&I). CIRAD/WorldVeg. Dépôt légal : N° 15334 du 9 Octobre 2023, 4ème trimestre, Bibliothèque Nationale du Bénin. ISBN : 978-99982-1-518-4. 17 pages
- Francisco, M., Rodriguez, J. & Perez, A., 2023. Fertilisation organique et minérale : avantages et limites. Revue Internationale d'Agronomie, 18(3), pp.112-126.
- French, R., 2013. Potassium in Agriculture. London : Academic Press.
- Frossard, E., Brossard, M., Hedley, M. & Metherell, A., 2004. Phosphorus dynamics in soils. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 68, pp.1-18.
- Garba J. & Oyinlola E.Y. (2014). Neem seed cake and inorganic fertilizer amendments for sustained productivity of maize (zea mays) on Nigerian savanna Alfisols. Journal of Agricultural Economics, Extension and Rural Development, 2(8): 146-155.
- Garba, M. & Oyinlola, E., 2014. Nutrient management and crop productivity. African Journal of Agricultural Research, 9(14), pp.1120-1128.
- Garbowsky, T., Martin, P. & Simon, R., 2023. Environmental impacts of organic fertilizers. Environmental Agriculture, 7(1), pp.55-67.
- Gillet R, 1985. Traité de gestion des déchets solides urbains : ordures ménagères, Nettoyage et élimination des déchets. Edition O.M.S. Vol. 1, pp397.
- Gillet, R., 1985. Traitement et valorisation des déchets ménagers. Paris : Masson.
- Goncharov, N. P. (2005) Comparative – Genetic Analysis – a Base for Wheat Taxonomy Revision. Jour. Genet. Plant Breed N° 41, p. 52 – 55.

- Grzyb, Z., Kowalczyk, W. & Mazur, K., 2020. Organic fertilization and soil quality. *Journal of Soil Science*, 45(4), pp.210-220.
- Hamadache, A., Abdellaoui, Z. et Aknine, M. (2002) F acteurs Agrotechniques
Damelioration de la Productivité du blé dur en Algerie. Cas de la zone sub-humide.
Recherche Agronomique N° 10, p.6.
- Hashem, A., 2013. Nitrogen effects on plant development. *Plant Physiology Review*, 8(2), pp.45-57.
- He, Z., Alva, A.K. & Calvert, D.V., 2002. Nitrogen utilization from organic fertilizers. *Soil Science Society of America Journal*, 66, pp.1234-1240.
- Huang, S., Sirikhachornkit, A., Su, X., Faris, J., Gill, B., Haselkorn, R. et Gornicki, P. (2002) Genes Encoding Plastid Acetyl – CoA Carboxylase and 3 – Phosphoglycerate Kinase of the Triticum / Aegilops Complex and the Evolutionary History of Polyploid Wheat. *PNAS* Vol. 99, N° 12, p. 8133 – 8138.
- Huber G. & Schaub C. (2011). La fertilité des sols : L'importance de la matière organique. *Agriculture et terroir, chambre d'agriculture Bas Rhin*.42p
- Hubert, B. & Schaub, A., 2011. La matière organique dans les sols agricoles. *INRA Éditions*.
- Hébrard, J.P. (1996) Blé dur : objectif qualité, Nutrition : des pates épatantes. Document édité à l'occasion du colloque : perspectives blé dur, Toulouse, Labège, 26
- Jiangwei, L., Wang, Y. & Zhao, H., 2020. Effects of organic amendments on soil microbial communities. *Applied Soil Ecology*, 147, pp.103-112.
- Joseph, P., 2000. Le potassium dans les sols agricoles. Paris : Tec & Doc.
- Kamel, M., Benyahia, N. & Hamdi, M., 2017. Phosphore et fertilisation des cultures. *Revue Algérienne d'Agronomie*, 12(1), pp.33-41.
- Kirchmann, H. & Bergström, L., 2001. Do organic farming practices reduce nitrate leaching? *Soil Use and Management*, 17(4), pp.255-263.
- Kowaljaw E. & Mazzarino M.J. (2007). Soil restoration in semiarid Patagonia : Chemical and biological response to different compost qualité. *Soil Biology and Biochemistry*, 39 (7) :1580-1588.
- Kowaljaw, E. & Mazzarino, M.J., 2007. Soil fertility improvements through organic amendments. *Soil Biology and Biochemistry*, 39, pp.123-131.
- M. H., Poncet, C., Prosperi, J., Roumet, P., Santoni, S., Thuillet, A.C. et David, J. (2006) Impacts d'événements démographiques et sélectifs sur la diversité des plantes cultivées : rapports de l'analyse du polymorphisme allié à la théorie de la coalescence. *Les Actes du BRG*, N° 6, p. 243 – 257
- Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press
- Maystre, 1994. Déchets urbains : naturel et caractérisation. *Presses polytechniques et universitaires Romandes Lausanne*, pp 1-2.

- Maystre, L.Y., 1994. Gestion des déchets urbains. Lausanne : Presses Polytechniques.
- Mori, N., Moriguchi, T., Nakamura, C. (1997) RFLP analysis of nuclear DNA for study of phylogénie and domestication of tétraploïd wheat. *Genes Genet. Syst.* N° 72, p. 153 – 161.
- Munroe, G., 2018. Nutrient Cycles in Agricultural Soils. New York : Springer.
- Mulaji K.C., 2011. Utilisation des composts de biodéchets ménagers pour l'amélioration de la fertilité des sols acides de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo). Thèse de doctorat, Gembloux Agro bio tech, 220p.
- Novembre 1996 organisé par : ITCF-ONIC-INRA-ITCF, p.6 – 7.
- Ozores-Hampton, M., Stall, W. & Bryan, H., 2011. Organic matter and soil improvement. *Horticultural Science*, 46(6), pp.822-829.
- Pousset, J., 2000. Guide pratique de la fertilisation. Paris : France Agricole.
- Proot J, 2002. Les technologies propres appliquées aux industries agroalimentaires, pp 12.
- Proot, J., 2002. Valorisation et recyclage des déchets. Paris : Lavoisier.
- Pypers et al., (2010) ont montré que les engrais chimiques augmentent de 40 à 100 % le rendement des cultures dans les sols
- Robert Perrin & Jean-Pierre Scharf, 2002. Les engrais minéraux NPK. Paris : Tec & Doc.
- Roudart, L.(2006) Terres cultivées et terres cultivables dans le monde. *Paleohistoria*
- Sangaré M. (2008). Effet de la fertilisation minérale sur la croissance et le développement de 25 variétés de riz pluvial. Rapport de stage de fin de cycle Technicien supérieur ;
- Sangaré, M., 2008. La fertilisation des cultures vivrières. Bamako : Institut d'Économie Rurale.
- Sankar Ganesh, K., Kumar, P. & Singh, R., 2017. Organic fertilizers and soil biodiversity. *Ecological Agriculture*, 14(2), pp.89-101.
- Schilling, A.S., Abaye, A.O., Griffey, C.A., Branna, D.E., Alleya, M.M., et Pridgena, T.H. (2003) « Adaptation and Performance of Winter Durum Wheat in Virginia. ». *Agron. Jour.* N° 95, p. 642 – 651.
- Segda Z., Bonzi M., Gnankambary Z., Lompo F., Sedogo P.S. (2014). Influence of soil fertility management on organic carbon mineralization in irrigated rice. *Journal of Agricultural and Crop Research*, 2(2) : 32-43
- Segda, Z., Ouattara, B. & Zombré, P., 2014. Matière organique et fertilité des sols. *Agronomie Tropicale*, 69(1), pp.25-34.
- Soltner, D., 2003. Les bases de la production végétale : Tome 1, Le sol. 23e éd. Paris : Sciences et Techniques Agricoles.
- Soltner. (2003) : Les bases des productions végétales. Ed 23ème T1 : le sol et son amélioration 464p.

- Sradnick, A. & Feller, C., 2020. Seasonal effects on organic fertilizer efficiency. *Soil Research*, 58(7), pp.620-629.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development* (6th ed.). Sinauer Associates.
- Thorup-Kristensen, K., Magid, J. & Jensen, L.S., 2003. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management. *Advances in Agronomy*, 79, pp.227-302.
- Useni S.Y, Baboy L.L., Nyembo K.L., Mpundu M.M., 2012. Effets des apports combinés de biodéchets et de fertilisants inorganiques sur le rendement de trois variétés de Zemays L.cultivées dans la région de Lubumbashi.*Journal of Applied Biosciences* 54: 3935–3943
- Walter (1984) Céréales et oléagineux. Manutention. Commerciales transformation N° 3, p. 350.
Walter, S. (1984) Céréales et oléagineux. Manutention. Commerciales transformation N° 3, p. 350.
- Wortman, S.E., Drijber, R.A. & Francis, C.A., 2017. Organic amendments and crop productivity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 236, pp.132-141.
- Yamane, K. et Kawahara, T. (2005) Intra – and Interspecific phylogenetic Relationships Among Diploid Triticum – Aegilops Species (Poaceae) Based on Base – Pair Substitutions, Indels, and Microsatellites in Chloroplast Non coding Sequences. *American Journal of Botany* Vol. 92, N° 11, p. 1887 – 1898.
- Zhang, X., Li, Y. & Chen, J., 2022. Long-term effects of organic fertilizers on soil quality. *Soil & Tillage Research*, 220, 105359.
- Zodomé, A., 2012. Les engrais et la production agricole. Université d'Abomey-Calavi.
Gadaleta et al. Durum Wheat Response to Organic and Mineral Fertilization with Different Phosphorus Sources. *Agronomy*, 12, 1861. Melash et al. Nutrient management as a panacea to improve the caryopsis quality and yield potential of durum wheat. De Stefanis et al. Effect of Cultivar and Nitrogen Fertilizer on Agronomic and Quality Traits of Durum Wheat. Boudjabi et al. Growth, physiology and yield of durum wheat treated with organic amendments. Manhou et al. Compost application enhances soil quality, growth and yield of durum wheat.