

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
Dpartement D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2025

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955 - سكيكدة
كلية العلوم
قسم علوم الفلاحة
رقم : / ق ع ف / 2025

Skikda le :



Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné : Laib djamel eddine

Certifie que :

L'étudiant(e) : **Chidouh ibtihel**

Spécialité : **Sciences agronomiques, amélioration des plantes**

Intitulé : **Etude de l'effet de l'application du thé de vermicompost sur certaines fleurs**

A apporter les corrections relatives à son travail de mémoire.

L'encadrant

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
Dpartement D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2025

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955 - سكيكدة
كلية العلوم
قسم علوم الفلاحة
رقم : / ق ع ف / 2025

Skikda le :



Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné : **Laib djamel eddine**

Certifie que :

L'étudiant(e) : **Djefel ikram**

Spécialité : **Sciences agronomiques, amélioration des plantes**

Intitulé : **Etude de l'effet de l'application du thé de vermicompost sur certaines fleurs**

A apporter les corrections relatives à son travail de mémoire.

L'encadrant

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
Dpartement D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2025

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955 - سكيكدة
كلية العلوم
قسم علوم الفلاحة
رقم : / ق ع ف / 2025

Skikda le :



Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné : **Laib djamel eddine**

Certifie que :

L'étudiant(e) : **Hayouni chourouk**

Spécialité : **Sciences agronomiques, amélioration des plantes**

Intitulé : **Etude de l'effet de l'application du thé de vermicompost sur certaines fleurs**

A apporter les corrections relatives à son travail de mémoire.

L'encadrant



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la

Recherche Scientifique

Faculté des sciences

Département de Sciences Agronomiques

En Vue de l'obtention du Diplôme de Master

En Sciences Agronomiques

Spécialité : Amélioration des plantes

Thème



Etude de l'effet de l'application du thé de vermicompost sur certaines fleurs

Présenté par:

-Chidouh ibtihel

-Djefel ikram

-Hayouni chourouk

Soutenu devant le jury:

Président : Loubna bechiri

M.C.A

UNIV SKIKDA

Encadreur : Laib Djamel eddine

M.C.B

UNIV SKIKDA

Examineur : Boulechfar Mohamed M.A.A

UNIV SKIKDA

Année Universitaire :2024-2025

Remerciements

Je remercie tout d'abord Dieu tout puissant et miséricordieux de m'avoir donné santé, force, courage, volonté et patience pour réaliser ce travail.

*J'adresse mes plus vifs remerciements à **Mr Laib djamel eddine** qui m'a proposé cet intéressant thème de travail. J'ai beaucoup apprécié ses qualités scientifiques, humaines et surtout son optimisme tout le long du parcours. Je la remercie pour son aide, sa disponibilité, ses précieux conseils. Ce fut un plaisir et une chance de travailler avec lui.*

*Je tiens également à exprimer ma reconnaissance à **Dr.Loubna Bechiri** qui a accepté la lourde charge d'être examinateur de ce travail :*

*Et **Mr.Boulechfar Mohamed** qui nous a fait l'honneur de présider le jury de la soutenance.*

Dédicaces

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers,

A MA CHERE MERE

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours .

A MON TRES CHER PERE

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier pour tes encouragements, ton soutien, surtout pour ton amour et ton sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études ,

Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

A MA SCEUR CHERIE

à ma sœur chérie, à l'unique sœur que j'ai au monde **Ines** , Merci énormément pour ton soutien plus que précieux, Merci pour ton grand cœur toutes vos qualités qui seraient trop longues à énumérer. Ma vie ne serait pas aussi magique sans ton présence et ton amour.

A MES CHERS AMIS

En souvenir de nos éclats de rire et des bons moments, en souvenir de tout ce qu'on a vécu ensemble, j'espère de tout mon coeur que notre amitié durera éternellement.

A tout ma famille paternelle et maternelle , source d'espoir et de motivation.

En fin, je remercie mon Trinôme, **Ibtihel et Chourouk** , qui ont contribué à la réadisation de ce modeste travail .

Ikram

Dédicaces

Je tiens à dédier ce modeste travail avec une profonde gratitude à :

Ma chère mère et mon cher père,

Qui n'ont jamais cessé de formuler des prières en ma faveur, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

À mes sœurs, Chams El-Assil et Chahd, ainsi qu'à mon frère Mouhamed, Pour leur soutien moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

À mon cher grand-père,

Je lui souhaite une excellente santé.

À mes chères partenaires, Chidouh ibtihel et Djeffel Ikram,

Pour leur collaboration et leur soutien.

À mes collègues, dont le soutien indéfectible m'a accompagné tout au long de ce parcours,

À mes chers amis, maissem et Rayen, pour leur aide précieuse et leur soutien dans les moments difficiles,

À tous les membres de ma famille et à toutes les personnes qui portent le nom Hayouni, dont l'amour et l'encouragement ont été inestimables.



Dédicaces

Je dédie ce travail :

Mes parents

leurs sacrifices ..leurs soutiens.. leurs encouragement et leurs amours qui ont la raison de ma réussite
(QUE DIEU LEUR PRESENT UNE BONNE SANTE ET UNE LONGUE VIE)

Mes frères

(Chems et mahyou) Pour leur disponibilité entendre mes frustrations et les sources de mon stress et à m'apporter un soutien financier et moral
Avec mes souhaits de bonheur et de réussite dans leur vie
Je prie pour la miséricorde pour l'Ame de (moutaz)

Mes amis et mes cousine

Merci d'être toujours là pour moi, je souhaite partager tout ce bonheur avec toi, tu sais être présente en toute circonstances , je sais que je peux compter sur toi et tu ne me laisseras jamais tomber



Remerciements

Dédicaces

Liste de figures

Liste d'abréviations

Introduction	1
Chapitre1 :Les tulipes.....	2
1.Origine et distribution géographique.....	2
2.éxigeances	2
2.1. Sols.....	2
2.2. Nutrition	2
2.3. Eau.....	6
2.4. Intensité lumineuse et photopériodisme	7
2.5 . Température	8
3.Classification.....	9
4. Cycle de vie des tulipes.....	10
Chapitre 2 :Le vermicompost.....	12
1. Historique.....	12
2. Le vermicompost.....	12
2.1. Le stockage du vermicompost.....	12
2.2. Doses d'application de vermicompost	13
3. Le thé de vermicompost	13
4.Le vermicompostage.....	13
4.1. Définition.....	13
4.2. Le processus de vermicompostage.....	14
4.2.1. Phase de pré-compostage initiale.....	14
4.2.2. Phase mésophile.....	14
5.Systèmes de vermicompostage.....	15
5.1.Vermicompostage en bac ou en silos.....	15
5.2. Vermicompostage en andain.....	16
5.3.Vermicompostage en lit.....	16
6. Facteurs influençant le vermicompostage.....	16
6.1.La température.....	17
6.2.L'humidité.....	17
6.3.le PH.....	17
6.4.Aération.....	18
6.5.Teneur en ammoniac.....	18
6.6. Le rapport C/N.....	18

6.7. La conductivité électrique.....	19
7. Intérêt écologique du vermicompostage.....	19
8. Les vers de terres.....	20
8.1. Biologie des vers de terre.....	20
8.2.Écologie des vers de terre.....	21
8.2.1.Les vers épigés	21
8.2.2.Les vers anéciques	21
8.2.3.Les vers endogés	21
8.3.Vers de terre appropriés pour le vermicompostage.....	21
9. Rôles bénéfiques du vermicompost.....	25
9.1. Teneur élevée en matière organique, humus et acides humiques.....	25
9.2. Amélioration de la conductivité électrique et du pH.....	25
9.3. Apport en nutriments directement assimilables par les plantes.....	25
9.4. Effets bénéfiques sur la santé humaine.....	26
9.6. Présence d'une microflore bénéfique.....	27
9.7. Lutte contre les agents pathogènes.....	27
10. Composition du thé de vermicompost.....	28
11. Effets bénéfiques du thé de vermicompost.....	28
1.Matériel et Méthodes.....	30
1.1. Semis et entretien des tulipes.....	30
1.2. Préparation du vermicompost (vermicompostage).....	30
1.3. La préparation de thé de vermicompost.....	32
1.4. L'effet de l'emploi de bio fertilisant (thé de Vermicompost) sur la culture de tulipes.....	32
1.5.Extraction et mesure du taux de chlorophylle.....	34
2. Analyse des données statistiques.....	35
Résultats et discussion.....	36
1.Résultat.....	36
2.Discussion.....	38
Conclusion.....	41
Références bibliographiques.....	43

Liste d'abréviations

% : Pourcentage

µm : micromètre

C° : Celsius

Cm : Centimètre

FAO : food and agriculture organization

g :gramme

Ha : hectare

Kg : kilogramme

L :litre

m : mètre

mg : milligramme

ml : millilitre

mm : millimètre

Ppm :Partie par million

Figure 1. Semis des tulipes.....	30
Figure 2 . Etapes de Préparation de vermicompost.....	31
Figure 3. Préparation du thé de vermicompost.....	32
Figure 4. Préparation des doses.....	33
Figure 5. Application foliaire.....	33
Figure 6. Application racinaire.....	33
Figure 7. Extraction et Mesure du taux de chlorophylle.....	35
Figure 8. Effet de l'application de thé de vermicompost sur la longueur des feuilles (AF :application foliaire,AR :application racinaire).....	36
Figure 9. Effet de l'application de thé de vermicompost sur la largeur des feuilles (AF :application foliaire,AR :application racinaire).....	37
Figure 10. Effet de l'application de thé de vermicompost sur le taux de chlorophylle totale (AF :application foliaire,AR :application racinaire).....	37

Liste de tableaux

Tableau 1. Les deux sous-genres de tuipes: <i>Tulipa</i> et <i>Eriostemones</i>	9
Tableau 2. Ecologie de différentes espèces de verres de terres.....	24
Tableau 3. Concentration des nutriments présents dans le vermicompost	26
Tableau 4 . Doses de thé de vermicompost appliquées aux plants de pois par voies foliaire et racinaire.....	34
Tableau 5 . Analyse ANOVA des paramètres étudiés.....	36

Introduction

Les fleurs occupent une place primordiale dans notre quotidien et sont étroitement liées à certains des événements les plus significatifs de la vie humaine, notamment les célébrations (Roberts, 2000).

Apprécies tant pour leur attrait esthétique que pour leurs propriétés médicinales, elles comptent parmi les 422 000 plantes à fleurs recensées dans le monde, dont plus de 50 000 sont exploitées à des fins médicinales (Parmesan, 2006 ; Govaerts, 2001).

Afin d'optimiser la productivité, d'améliorer les propriétés physico-chimiques des sols, de garantir des rendements élevés et de répondre à la demande croissante en plantes ornementales, l'usage d'engrais de synthèse s'est révélé à la fois efficace et économiquement avantageux. Toutefois, une application excessive de ces fertilisants entraîne une accumulation de substances toxiques dans l'eau et les tissus végétaux, réduit la biodiversité microbienne, altère la capacité de rétention d'eau et compromet la fertilité des sols, menaçant ainsi la durabilité des productions agricoles et la santé des écosystèmes (Lori *et al.*, 2017 ; Surekha *et al.*, 2010 ; Hartmann *et al.*, 2015 ; Ekholm *et al.*, 2007 ; Nygaard Sorensen et Thorup-Kristensen, 2011 ; Nosheen *et al.*, 2021).

Face à ces impacts négatifs et à l'augmentation constante de la demande en plantes ornementales, l'agriculture biologique apparaît comme une alternative incontournable. Ce mode de production vise à cultiver des végétaux tout en améliorant la qualité des aliments, sans recourir aux produits chimiques. Il repose sur l'utilisation de ressources naturelles, notamment les biofertilisants et les engrais organiques non toxiques et facilement assimilables, afin de préserver la structure et la fertilité des sols, de maintenir la biodiversité, d'assurer l'équilibre environnemental, de garantir la durabilité écologique, de préserver les ressources non renouvelables et de protéger la santé humaine (Behera *et al.*, 2022 ; Roos *et al.*, 2018 ; Yadav *et al.*, 2022 ; Jaipaul *et al.*, 2011 ; Ramesh *et al.*, 2005 ; Ramakrishnan *et al.*, 2021 ; Thomas et Singh, 2019 ; Nosheen *et al.*, 2021).

Le thé de vermicompost se présente comme une alternative prometteuse aux engrais chimiques en raison de sa richesse en nutriments, en micro-organismes bénéfiques et en enzymes (Atiyeh *et al.*, 2001 ; Edwards et Arancon, 2004).

Dans ce cadre, la présente étude vise à évaluer l'impact de l'application du thé de vermicompost sur la culture des tulipes.

1. Origine et distribution géographique

Les tulipes sont souvent associées aux Pays-Bas, mais leur centre génétique principal se trouve dans les chaînes montagneuses du Pamir Alai et du Tien Shan en Asie centrale (Hoog, 1973).

Leur aire de répartition naturelle s'étend de la région méditerranéenne jusqu'à l'Asie, atteignant la Corée et le Japon (Bailey, 1949 ; Botschantzeva, 1982).

À partir de cette région d'origine, la diversification du genre *Tulipa* s'est étendue vers l'ouest, du Maroc à l'Europe occidentale, et vers l'est jusqu'à l'ouest de la Chine. Un centre génétique secondaire a également été identifié dans le Caucase.

Les tulipes ont été introduites en Europe depuis la Turquie et ont fleuri pour la première fois aux Pays-Bas en 1594. Dès les années 1630, elles ont connu une immense popularité. Grâce à leur culture et à une sélection prolongée, une grande diversité s'est développée en termes de floraison, de croissance, de vigueur et de forme des fleurs (Le Nard et De Hertogh, 1993).

2. Exigences

2.1. Sols

Les tulipes peuvent pousser dans une grande variété de types de sols. Toutefois, en culture commerciale, elles sont principalement cultivées sur des sables de dunes, des argiles lourdes et des sols argileux ou argilo-limoneux, souvent appelés « champs de rizières ». L'exigence essentielle pour ces sols est un bon drainage, condition indispensable à leur développement optimal (Van der Meer, 1952 ; Van der Valk et Schoneveld, 1964 ; Van Ouwerkerk, 1969).

2.2. Nutrition

Sur les sols sableux et limoneux dont la teneur en matière organique est inférieure à 3,57 %, l'incorporation de fumier de vache bien décomposé avant le labour est recommandée. La quantité ajoutée dépend de la teneur initiale en matière organique du sol et varie généralement entre 50 et 75 t/ha (Anon., 1966 ; Fodor et al., 1976 ; Min. Agric. Fish. Food, 1977a).

Aux Pays-Bas, d'autres amendements organiques sont également utilisés, notamment du fumier de poulet bien composté, du lisier (mélange de fumier de porc ou de vache, d'urine et d'eau), ainsi que du compost de champignons usagé (Anon., 1981a).

L'élément nutritif le plus déterminant pour la culture des tulipes est l'azote (N), dont la disponibilité est également influencée par le moment d'application des amendements organiques.

Contrairement à d'autres cultures, les rotations avec des prairies ne sont généralement pas pratiquées pour les tulipes. Les engrais minéraux sont ainsi utilisés en complément des amendements organiques et peuvent être appliqués individuellement ou sous forme de mélange.

Chapitre 1 : Les tulipes

Les tendances générales d'absorption saisonnière des éléments NPK dans les champs de tulipes ont été étudiées par Hagiya et Amaki (1966a), tandis que Bernhardt (1981) et Tissot (1980) ont synthétisé les données relatives à la nutrition des bulbes et des feuilles de tulipes cultivées en plein champ.

L'azote est un élément essentiel à la croissance optimale des tulipes en champ, et un programme d'apport équilibré favorise également le forçage des bulbes (De Munk et al., 1980 ; Mulder, 1956).

L'application d'azote est généralement fractionnée entre l'automne et le printemps. En octobre, on privilégie le $\text{NH}_4\text{-N}$ (ammonium) en tant qu'apport unique, car il est moins sujet au lessivage que le $\text{NO}_3\text{-N}$ (nitrate) (Hagiya et Amaki, 1966b ; Tsutsui, 1975). Lorsqu'il est combiné avec du phosphore (P) et du potassium (K), un mélange de $\text{NH}_4\text{-N}$ et de $\text{NO}_3\text{-N}$ est généralement utilisé.

Pendant les mois d'hiver, une absorption faible mais mesurable de l'azote (N) a lieu (Algera 1944 ; Benkenstein et al. 1978). De plus, la nitrification du $\text{NH}_4\text{-N}$ est minimale en raison de l'inactivation des agents nitrifiants causée par les basses températures du sol (Benkenstein et al. 1978 ; Tsutsui 1975).

Peu après l'émergence des pousses, l'azote est généralement appliqué sous forme de $\text{NO}_3\text{-N}$, car son absorption augmente considérablement après l'apparition des pousses (Algera 1944 ; Hagiya et Amaki 1966a ; Hansen 1976). Cette augmentation est corrélée avec la hausse des températures de l'air et de la transpiration (Van der Boon 1972).

Un apport d'azote en surface en avril n'a pas eu d'effet sur le rendement (Benkenstein et al. 1978 ; Tsutsui 1975), mais a entraîné une augmentation significative du pourcentage d'azote dans les bulbes récoltés (Tsutsui 1975).

Un excès d'azote (>250 kg/ha) entraîne généralement une diminution du rendement (Rasmussen 1974 ; Van der Boon 1973 ; Nehl et Benkenstein 1978). Amaki et Hagiya (1960a) ne sont pas d'accord avec cette conclusion, mais les conditions de sol et les taux de lessivage dans leurs expériences étaient différents.

De plus, un retard de floraison a été observé, ainsi qu'une possibilité d'augmentation du Botrytis lorsque des niveaux excessifs d'azote sont utilisés (Tsutsui 1975).

Seules de faibles augmentations de la quantité totale d'azote (N) ont été observées dans la plante de tulipe entre la plantation et le mois de mars (Algera 1944 ; Benkenstein et al. 1978 ; Mulder 1956). L'azote disponible dans le bulbe mère a été principalement transloqué vers la pousse (Benkenstein et al. 1978) et vers les racines. Dans les racines des tulipes cultivées en plein champ, seules des traces de $\text{NO}_3\text{-N}$ étaient détectables. Après l'émergence de la pousse, une

Chapitre 1 : Les tulipes

forte augmentation de la teneur en azote de celle-ci a été observée (Benkenstein et al. 1978 ; Hansen 1976 ; Skalska 1964). Cette augmentation se poursuit jusqu'à ce que la pousse atteigne son poids maximal. Par la suite, l'azote est transloqué des feuilles vers les bulbes filles (Schmalfeld et Carolus 1965).

Les analyses foliaires de l'azote et d'autres éléments peuvent révéler des carences. Ainsi, un apport supplémentaire en azote après la floraison peut favoriser la croissance rapide des bulbes filles (Tsutsui 1975), ce qui peut avoir un effet bénéfique sur la forçage des bulbes lors des cycles de culture suivants (De Munk et al. 1980). Lors de la récolte, les bulbes filles doivent avoir une teneur moyenne en azote comprise entre 1 et 2 % du poids sec (Hansen 1976). Ce niveau exact dépend du cultivar. Benschop (observations non publiées) a relevé des valeurs aussi faibles que 0,6 % à la fin mai et au début juin, mais celles-ci dépassaient 1 % au moment de la récolte. Après la mi-avril, la quantité totale d'azote dans les bulbes filles est en accord avec l'augmentation de leur poids sec (Benkenstein et al. 1978 ; Hagiya et Amaki 1966a ; Skalska 1964). En comparant différentes tailles de bulbes, les petits bulbes ont montré un ratio d'absorption d'azote plus élevé que les gros bulbes (Hagiya et Amaki 1966a ; Hansen 1976).

Comparativement à l'azote, beaucoup moins de recherches ont été publiées sur le phosphore (P) et le potassium (K). La plupart des chercheurs ont utilisé des plantes cultivées en pots (Cheal et Hewitt 1962, 1963, 1964 ; Cheal et Winsor 1966a, 1966b, 1968 ; Hewitt et Miles 1954). Hagiya et Amaki (1966b) ont montré que le lessivage du phosphore était faible, tandis que la perte de potassium atteignait environ 3 % dans les sols limoneux et 80 % dans les sols sableux. Une carence en phosphore se manifeste par de petites feuilles (Cheal et Winsor 1966a) et par des bulbes filles ayant tendance à être plus légers (Cheal et Winsor 1966b ; Amaki et Hagiya 1960a). La taille des fleurs n'a pas été significativement affectée par les différentes sources d'engrais phosphatés (Tissot 1980), mais la floraison pouvait être retardée (Hewitt et Miles 1954). Aux Pays-Bas, les carences en phosphore sont inconnues en raison de l'utilisation abondante d'engrais phosphatés (Van der Boon 1979).

Le bulbe de tulipe réagit peu, voire pas du tout, à la fertilisation potassique (Van der Boon 1979). Dans certaines régions des Pays-Bas, l'utilisation d'engrais potassiques est réduite afin d'éviter le risque d'une carence en magnésium (Mg). Rasmussen (1976) a obtenu une augmentation du rendement avec une fertilisation potassique sur des sols pauvres en potassium. Bernhardt (1981) et Tissot (1980) n'ont cependant pas pu démontrer de carence en potassium dans des conditions de culture en plein champ en Caroline du Nord.

Chapitre 1 : Les tulipes

Il existe une interaction entre le potassium et l'azote (Cheal et Winsor 1969 ; Tissot 1980). Lorsqu'ils sont appliqués à des niveaux élevés, ils exercent un effet synergique sur l'absorption de l'un et de l'autre (Tissot 1980).

Les concentrations de N, P et K dans le bulbe principal varient. Des études en plein champ révèlent qu'à la récolte, la teneur en nutriments, sur une base de poids sec, devrait être de 1 à 2 % pour l'azote (N), 0,7 % pour le potassium (K) (Hansen 1976 ; Tissot 1980) et de 0,1 à 0,5 % pour le phosphore (P) (Tissot 1980 ; Hansen 1976). Il a été conclu que le phosphore et le potassium peuvent être appliqués en une seule fois à l'automne, tandis que l'azote devrait être réparti en deux ou trois applications au cours de la saison de croissance.

Le magnésium (Mg) peut avoir un effet bénéfique sur le rendement des tulipes (Cheal et Winsor 1969). Sur les sols sableux, il est appliqué avec du fumier bovin, mais son effet sur le rendement est minime (Van der Boon 1979). Sur les sols argileux et limoneux, le magnésium peut être appliqué après la floraison, soit en une seule fois, soit en deux applications sous forme de $MgCl_2$ (Anon. 1980a). Une augmentation positive du rendement a été observée après une pulvérisation de $MgSO_4$ juste après l'effeuillage ou après un trempage des bulbes avant la plantation (Mugge et Richter 1980b). Il ne doit être utilisé que lorsque la concentration du sol est inférieure à 30 ppm et que le pH du sol est supérieur à 5,8. Ses effets sur la couleur des feuilles et le rendement des bulbes sont généralement faibles. À la récolte, la teneur en magnésium des bulbes filles ne dépasse généralement pas celle du bulbe mère (Schmalfeld et Carolus 1965).

Le calcium (Ca) a une faible mobilité et il n'y a pas de translocation des feuilles vers les bulbes filles en fin de saison de croissance (Schmalfeld et Carolus 1965). Les racines absorbent le calcium disponible, mais seule une partie est transportée vers les bulbes filles. La pousse constitue le principal site d'accumulation (Skalska 1964).

Une carence en cuivre (Cu) est souvent observée dans les cultures de plein champ des sols du sud-est des États-Unis. Cependant, Tissot (1980) n'a pas pu démontrer une carence en cuivre dans la variété 'Paul Richter' cultivée pendant deux ans dans un sol limoneux Cecil, connu pour être pauvre en cuivre. Les bulbes d'origine contenaient 3 ppm de Cu, et les bulbes récoltés à la fin de la première année en contenaient 2 ppm. La seconde récolte contenait également 2 ppm de Cu. Ainsi, la tulipe semble être efficace dans l'accumulation du cuivre.

Les carences en bore (B) sont fréquentes dans certaines régions du Japon et entraînent une diminution du rendement en bulbes (Ikarashi et Baba 1977 ; Ikarashi 1980). Parmi les autres symptômes figurent une réduction de la croissance des racines, des tiges courtes, des cassures transversales de la partie supérieure de la tige (« Kubiore ») et la disparition des pigments anthocyaniques des fleurs (« Ironuke »). Les symptômes de carence en bore étaient visibles dès

4 ppm dans les racines, la tige et la fleur, et dès 2 ppm dans le bulbe principal. Une application de bore à libération lente a permis une augmentation remarquable du rendement.

2.3. Eau

Un approvisionnement adéquat en eau est nécessaire tout au long de la saison de croissance. Dabrowski (1971) a résumé les effets d'un déficit hydrique, qui incluent un ralentissement de la croissance, une diminution du nombre de plantes en floraison, une réduction de la hauteur des tiges et de la taille des fleurs, une réduction de la surface foliaire, une période végétative plus courte et une baisse du rendement en bulbes.

Lorsqu'elles étaient cultivées sur des sols sablonneux de dunes, Blaauw (1938) a observé que le niveau de la nappe phréatique devait se situer entre 55 et 60 cm sous la surface pour une production optimale. Un vieillissement précoce, une réduction de la surface foliaire et une baisse du rendement étaient observés lorsque la nappe phréatique se situait à des niveaux plus bas. Depuis que la production de tulipes aux Pays-Bas s'est déplacée vers d'autres types de sols, des niveaux spécifiques de la nappe phréatique ont dû être déterminés pour eux (Van der Valk et Schoneveld 1964). Pour les sols sableux limoneux légers, un niveau de nappe phréatique d'au moins 100 cm sous la surface donnait les rendements les plus élevés. Pour les sols argileux lourds, le niveau devait se situer entre 40 et 60 cm. Une enquête menée dans les zones de production de bulbes en Pologne a montré que les régions avec un niveau de nappe phréatique stable de 60 à 65 cm et des précipitations bien réparties au cours de la saison de croissance produisaient les rendements les plus élevés (Szlachetka 1969).

Après l'émergence, la tulipe transpire en continu (Kraaijenga 1960). Les facteurs environnementaux influençant la transpiration sont la vitesse du vent, la température de l'air et l'humidité relative, en combinaison avec le rayonnement global et la vitesse d'évaporation (Van der Valk 1975). Un champ avec une couverture végétale complète et une transpiration normale s'évapore presque comme une surface d'eau libre. L'évaporation d'une culture couvrant partiellement le sol est proportionnelle au pourcentage de sol couvert (Van der Valk 1982). Aux Pays-Bas, Van der Valk et Schoneveld (1963) ont calculé une évaporation moyenne de 3,0 à 3,5 mm par jour pour une culture de tulipes couvrant presque 100 % du sol, soit un total de 30 cm pour toute la saison de croissance.

Le rayonnement a un impact important sur le rendement des bulbes et la transpiration. Pour produire 1 kg de bulbes en poids frais, environ 92 litres d'eau étaient nécessaires (Van der Valk 1982).

Pendant la période de croissance maximale des bulbilles (Fig. 2.21), la disponibilité en eau dans la zone racinaire de la tulipe est cruciale. Une sénescence précoce des parties aériennes due à

la sécheresse entraîne une diminution du rendement en bulbes (Dabrowski 1971 ; Van der Valk 1982). Sur un sol sableux ou une argile sableuse légère avec une succion matricielle d'environ 200 mbar, une infiltration ou une irrigation par aspersion est nécessaire (Strietman et Oud 1978 ; Toussaint 1968). Les argiles et les limons sableux peuvent se dessécher jusqu'à environ 600 mbar (Van der Valk 1982). L'irrigation par aspersion peut augmenter le rendement (Toussaint 1968 ; Strietman et Oud 1978). Cela peut être en partie dû à un retard dans la sénescence (Thompson et Taylor 1977, 1978, 1979). Cependant, un retard de la sénescence dû à l'irrigation peut augmenter la sensibilité de la tulipe au **Botrytis tulipae** (Toussaint 1968 ; Anon. 1980) et, en cas de températures du sol élevées, à une infection par **Fusarium oxysporum** (Schenk 1971). Ainsi, l'irrigation par aspersion doit être arrêtée sur les argiles et limons sableux dès les premiers signes de sénescence, tandis que sur les sables dunaires, l'irrigation peut se poursuivre jusqu'à ce que 50 % des feuilles soient sénescentes. La quantité moyenne d'eau appliquée annuellement sur les sols argileux par les cultivateurs aux Pays-Bas est de 50 mm, avec un rendement de 50 kg de bulbes/mm/ha (Van der Valk 1982).

Un niveau de sel trop élevé dans l'eau du sol peut réduire le rendement des tulipes et entraîner les mêmes symptômes que la sécheresse. Strietman (1971) a observé une sénescence précoce due à l'accumulation de sel au-dessus des drains d'un système d'infiltration. Les tulipes peuvent tolérer 130 ppm d'ions chlorure tout au long de la saison de croissance (Ploegman 1977, 1978). Étant donné que l'irrigation par aspersion est généralement appliquée sur une courte durée, les risques d'accumulation de sel dans la zone racinaire sont faibles et la concentration en sel dans l'eau du sol reste généralement inférieure à celle de l'eau d'irrigation. Dans les conditions climatiques des Pays-Bas, la concentration maximale recommandée en ions chlorure dans l'eau d'aspersion est de 600 ppm pour les sols sableux et de 1500 ppm pour les sols argileux.

2.4. Intensité lumineuse et photopériodisme :

Peu d'expériences ont été menées sur les effets de l'intensité lumineuse sur les tulipes cultivées en plein champ. Des changements ont été observés dans la forme des feuilles (Wassink 1965), la longueur de la tige florale (Wassink 1965 ; Coccozza 1968), le diamètre de la tige florale (Wassink 1965) et la taille des fleurs (Coccozza 1968). À des niveaux de lumière réduits, le nombre de fleurs commercialisables a diminué et la floraison a été retardée (Coccozza 1968). Une augmentation du poids des bulbilles a été corrélée avec l'intensité lumineuse (Wassink 1965 ; Coccozza 1968 ; Nishiuchi et al. 1975). Cependant, la plante de tulipe n'a montré aucun changement anatomique observable en réponse aux différentes intensités lumineuses (Wassink 1965). Le nombre de faisceaux vasculaires dans la tige florale semble indépendant de l'intensité

lumineuse, bien que le diamètre de la tige florale soit modifié. La teneur en chlorophylle des feuilles dépend de l'intensité lumineuse et de la température nocturne (Wassink et Wassink-Van Lummel 1952).

Le photopériodisme a été observé comme influençant le développement des bulbilles. Wassink (1965) a constaté un poids plus élevé des bulbilles sous une photopériode de 10 heures. Cependant, après « pelage », seuls les bulbes latéraux et la bulbille externe « H » (Fig. 2.1) ont montré une augmentation de rendement. Nishiuchi et al. (1975) ont également observé que la croissance du bulbe principal était inhibée sous des jours courts. Pendant les expériences de forçage, les conditions de jours courts ont moins influencé le développement du bourgeon principal que le poids total des bulbes. Le facteur principal était la température de forçage (Hanks et Rees 1979). Ainsi, en ce qui concerne la croissance des bulbilles, les effets photopériodiques semblent faibles.

2.5 . Température :

Pour la production de bulbes de tulipes, il faut prendre en compte à la fois les températures du sol et de l'air. Les parties aériennes de la tulipe nécessitent une température plus élevée (17°-20°C) pour leur développement, tandis que les bulbilles ont un optimum entre 12° et 15°C (Schenk 1969). La température du sol joue un rôle dans la croissance des racines (Benschop 1980a ; Jennings et De Hertogh 1977), la croissance des bulbes (Rees 1972), la nitrification (Benkenstein et al. 1978) et le développement des maladies du sol (Schenk 1971). Certains processus influencés par la température de l'air sont le développement de la tige (Schenk 1969), la photosynthèse et la respiration (Benschop 1980b), la transpiration (Van der Valk 1975) et la durée globale de la saison de croissance (Cocozza 1968 ; Hansen 1976 ; Rees 1966b ; Richter 1974 ; Schenk 1969). Il n'est toutefois pas possible de séparer totalement les effets des températures du sol et de l'air. Kraaijenga (1960) a trouvé une corrélation positive entre la croissance des bulbilles et les températures du sol et de l'air jusqu'au début du mois de mai. Plus tard dans la saison, cette corrélation devenait négative.

Le Nard et Cohat (1968) ont identifié deux processus dans la production de tulipes influencés par la température. L'induction du bulbage nécessite des températures basses, tandis que le remplissage des bulbes est favorisé par des températures plus élevées. Le Nard (1972, 1980) a résumé l'influence des différentes températures sur le cycle de vie de la tulipe. Des températures élevées après la récolte stimulent les bulbilles à acquérir la capacité de différencier leurs organes. Une fois ce processus induit, des températures basses sont nécessaires pour initier les processus de croissance, à savoir l'élongation et le bulbage. Lorsque ces conditions ne sont pas remplies, des stades intermédiaires de bulbage peuvent apparaître.

3. Classification

La tulipe est une plante monocotylédone appartenant à la famille des Liliacées. Selon Cronquist (1968), cette famille est classée dans la division *Magnoliophyta*, la classe *Liliopsida*, la sous-classe *Liliidae* et l'ordre *Liliales*.

Le nombre d'espèces du genre *Tulipa* varie selon les sources, allant d'environ 45 (Stork, 1984) à plus de 100 (Hall, 1940 ; Botschantzeva, 1962).

Selon la classification taxonomique de Van Raamsdonk et De Vries (1992, 1995), ce genre est divisé en deux sous-genres : *Tulipa* et *Eriostemones* (Boissier), chacun regroupant plusieurs espèces (Tableau 1)

Tableau 1. Les deux sous-genres de tulipes: *Tulipa* et *Eriostemones*

Sous-genre <i>Tulipa</i>	Sous-genre <i>Eriostemones</i>
<i>Tulipa Eichleres</i> (Hall) Van Raamsdonk	<i>T. australis</i> Link
<i>Tulipanum</i> de Reboul, <i>T. gesneriana</i> L.	<i>T. humilis</i> Herb.
<i>T. ingens</i> Hoog	<i>T. turkestanica</i> Regel
<i>T. agenensis</i> DC.	<i>T. primulina</i> Baker
<i>T. armena</i> Boiss.	<i>T. pulchella</i> Fenzl.
<i>T. lanata</i> Regel	<i>T. polychroma</i> Stapf
<i>T. systola</i> Stapf	<i>T. biebersteiniana</i>
<i>T. hungarica</i> Borbas	<i>T. saxatilis</i> Sieb.
<i>T. tubergeniana</i> Hoog	<i>T. biflora</i> Pallas Schultes ex Sprengel
<i>T. kuschkensis</i>	<i>T. sogdiana</i> Bunge
<i>T. suaveolens</i> Roth	<i>T. sylvestris</i> L.
<i>T. eichleri</i> Regel B. Fedtschenko	<i>T. bakeri</i> A.D. Hall
<i>T. didieri</i> Jord.	<i>T. neustrueva</i> Pob.
<i>T. fosteriana</i> Hoog ex W. Irving	<i>T. whittalii</i> (Dykes)
<i>T. julia</i> C. Koch	<i>T. aucheriana</i> Baker
<i>T. aleppensis</i> Boiss.	<i>T. tarda</i> Stapf A.D. Hall
<i>T. greigii</i> Regel ex Regel	<i>T. dasystemon</i> Regel
<i>T. albertii</i> Regel, <i>T. praecox</i> Tenore	<i>T. ophanidea</i> Boiss. Ex Heldr.
<i>T. sosnovskyi</i> Akhverdov et Mirzojeva	<i>T. hageri</i> Heldr.
<i>T. praestans</i> Hoog	
<i>T. kaufmanniana</i> Regel	
<i>T. tschimganica</i> Bochantzeva	

<i>T. dubia</i> Vvedensky <i>T. subpraestans</i> Vvedensky <i>Kolpakowskiana</i> Clusiana Baker (Hall) Van Raamsdonk <i>T. altaica</i> Pall. Ex <i>T. clusiana</i> DC. Sprengel <i>T. montana</i> Lindley, <i>T. lehmanniana</i> <i>T. linifolia</i> Regel Mercklin <i>T. tetraphylla</i> Regel	
---	--

4. Cycle de vie des tulipes

Chaque fleur de tulipe possède généralement un pistil et six étamines, bien que des variations existent chez les cultivars doubles. Le pistil comprend un stigmate, un style court et un ovaire contenant trois carpelles, chacun avec deux rangées d'ovules.

Après une pollinisation compatible, un faisceau de tubes polliniques se développe dans la cavité ovarienne, atteignant les premiers ovules entre 1 et 3 jours à 15°C, température optimale pour la fécondation (Kho et Baër, 1971).

Les ovules inférieurs sont atteints en 7 à 11 jours, et 68 à 83 % des ovules sont pénétrés par un tube pollinique (Van Creij et al., 1997a). Cependant, plusieurs ovules fécondés ne subissent pas de fertilisation (Van Creij et al., 1997b).

Le développement embryonnaire des tulipes diffère de celui des autres monocotylédones. Après la première division du zygote, la cellule basale forme un complexe cellulaire proembryonal, tandis que la cellule apicale participe à la formation du suspensor et de l'embryon (Ernst, 1901 ; Haccius et Hausner, 1972 ; Wafai et Koul, 1982).

Trois semaines après la pollinisation à 15°C, une masse cellulaire proembryonale est visible. Entre 3 et 6 semaines, le suspensor se forme, suivi de l'embryon globulaire à partir de six semaines. L'embryon s'allonge ensuite en fuseau, stade majoritaire à neuf semaines. Vers 12 semaines, les graines matures peuvent être récoltées (Van Creij et al., 1997b)

Les bulbes de tulipe proviennent de graines, qui sont issues de la capsule fructifère et peuvent atteindre un nombre de 200 à 300 graines triangulaires et aplaties (Botschantzeva, 1982).

Après la récolte, ces graines contiennent un embryon immature en dormance, nécessitant une période de 40 à 50 jours à 4°C pour compléter son développement (Niimi, 1978, 1980). Une

Chapitre 1 : Les tulipes

phase supplémentaire de 30 jours à 4°C est ensuite essentielle pour déclencher la germination et assurer le développement initial du plantule.

Après le semis, une exposition prolongée à de basses températures est nécessaire pour induire la germination et initier un primordium de bulbe (Niimi, 1978). L'embryon produit alors une feuille cotylédonaire, une racine primaire et un diverticule creux appelé *trompe*.

Le primordium du bulbe se forme à l'extrémité de cette trompe et, au fur et à mesure qu'elle s'enfonce dans le sol, un petit bulbe commence à se développer à son extrémité (Taillandier et Rivière, 1981).

Ce bulbe juvénile nécessite entre 4 et 5 ans de croissance avant d'atteindre la taille minimale critique pour la floraison. Cette taille dépend du génotype, mais en général, les bulbes de tulipe doivent atteindre une circonférence comprise entre 6 et 8 cm pour être aptes à fleurir.

La multiplication des tulipes se fait par la formation de bulbes-filles à partir des bourgeons situés dans l'aisselle des écailles du bulbe, permettant ainsi la propagation végétative. Le taux moyen de propagation de la plupart des cultivars de tulipes est de deux à trois bulbes par an (Le Nard et De Hertogh, 1993).

Les bulbes-mères sont plantés en automne, lorsque la température du sol diminue. Les racines du bulbe-mère se développent rapidement jusqu'en novembre-décembre. En parallèle, la tige entièrement différenciée s'allonge lentement et les bulbes-filles commencent une légère croissance. Pendant cette période, les écailles du bulbe-mère commencent à se faner progressivement. Une période de basse température (2-9 °C) est requise pour favoriser le développement du bulbe (Le Nard et De Hertogh, 1993).

Au début du printemps, lorsque les températures augmentent après une longue période de froid, la croissance des plantes devient très active. Une élongation rapide de la tige et des boutons floraux précède la floraison. Après la floraison, les tulipes développent deux ou plusieurs feuilles, tandis que le taux de croissance des bulbes-filles atteint son maximum. Parallèlement, les écailles des bulbes-mères se ratatinent et disparaissent progressivement. Une élongation optimale de la tige florale et un bon développement de la fleur nécessitent des températures plus élevées (14-20 °C) (Le Nard et De Hertogh, 1993).

À la fin du printemps, les organes aériens (tige, feuilles et fleurs) des bulbes-mères se fanent, et la croissance des bulbes-filles cesse. Durant cette période, les bulbes-filles initient et différencient leurs bourgeons floraux et végétatifs ainsi que leurs primordia racinaires. À la fin de l'été, ces structures sont entièrement formées à l'intérieur des bulbes-filles, préparant ainsi la prochaine phase de croissance. Une température relativement élevée (17-23 °C ou plus) est nécessaire pour l'initiation florale (Le Nard et De Hertogh, 1993).

1. Historique

Le ver de terre a suscité l'intérêt de nombreux penseurs, parmi lesquels Pascal et Thoreau (Adhikary, 2012). Son rôle dans l'amélioration des sols a été reconnu par plusieurs civilisations, notamment la Grèce et l'Égypte. Les anciens Égyptiens furent les premiers à lui attribuer un statut bénéfique. Cléopâtre (69-30 av. J.-C.), convaincue de son importance, déclarait : « Les vers de terre sont sacrés. » Elle soulignait leur rôle essentiel dans la fertilisation des terres agricoles de la vallée du Nil après les crues annuelles. À cette époque, retirer des vers de terre d'Égypte était un crime passible de la peine de mort. De plus, les agriculteurs n'étaient pas autorisés à les toucher, par crainte d'offenser le dieu de la fertilité.

Les anciens Grecs accordaient également une grande importance aux vers de terre pour l'amélioration des sols. Aristote (384-322 av. J.-C.) les qualifiait d'« intestins de la terre » en raison de leur rôle fondamental dans le cycle naturel (Medany, 2011). Plus tard, au Xe siècle, l'ancien scientifique indien Sir Surpala préconisait d'introduire des vers de terre dans les sols pour améliorer le rendement de certaines cultures, comme les grenades (Sinha, 2014b).

Leur importance a été réaffirmée des siècles plus tard par Charles Darwin, qui voyait en eux de véritables « soldats méconnus de l'humanité » et « amis des agriculteurs ». Selon lui, aucune autre créature n'aurait eu un impact aussi déterminant sur l'histoire de la vie sur Terre (Sinha et al., 2014a).

2. Le vermicompost

Le vermicompost est un engrais biologique naturel, à la fois riche en nutriments et respectueux de l'environnement. Il se présente sous une forme similaire à l'humus ou à la tourbe finement fragmentée (Celik et al., 2020). Sa composition lui confère une grande capacité de rétention d'eau et une porosité optimale, offrant ainsi un environnement favorable au développement des micro-organismes et à la rétention des nutriments essentiels (Ahmad et al., 2021a). De plus, il contient des minéraux et des éléments nutritifs directement assimilables par les plantes, favorisant ainsi leur croissance et leur développement (Aslam et al., 2020).

2.1. Le stockage du vermicompost

La qualité du vermicompost peut être altérée par un stockage prolongé. En effet, lorsqu'il est conservé au-delà de 10 semaines, une diminution de la biomasse microbienne, de la concentration en hormones végétales et de l'activité enzymatique est observée. Ce déclin concerne notamment quatre enzymes essentielles : la β -glucosidase, la cellulase, la protéase et la phosphatase alcaline (Aira et al., 2007 ; Barik et al., 2011).

Le processus de vieillissement du vermicompost se déroule en deux étapes distinctes. La première est marquée par une baisse progressive de la population microbienne, ce qui entraîne une réduction de la production de nouvelles enzymes. La seconde étape correspond à la dégradation des enzymes encore présentes, entraînant une perte d'efficacité du vermicompost (Aira et al., 2007).

Ainsi, afin de garantir son efficacité en tant qu'engrais biologique, il est essentiel de prendre en compte la durée de stockage du vermicompost. Une gestion rigoureuse de sa conservation permet de préserver ses propriétés nutritives et d'assurer ses bénéfices pour les sols et les cultures.

2.2. Doses d'application de vermicompost

Le vermicompost peut être appliqué à n'importe quelle culture et à n'importe quel stade de la culture, mais en cas d'application à grande échelle, il devrait être mélangé avec le sol par épandage (Korav et al., 2021). Ainsi, il s'agrégera bien avec les particules de sol et libérera des nutriments.

- Les cultures de champs nécessitent 5 à 6 t/ha.
- Les légumes nécessitent 10-12 t/ha.
- Les plantes à fleurs nécessitent 100 à 200 g par plante ou par pied carré.
- Les arbres fruitiers ont besoin de 5 à 10 kg par arbre.

3. Le thé de vermicompost

Est un biofertilisant liquide utilisé par pulvérisation foliaire, biologiquement active, sans odeur, obtenu après une macération et filtration d'une faible quantité de vermicompost dans l'eau en présence d'aération et l'ajout de mélasse (Edward et al., 2010 ; Delisle, 2011 ; Natchavaththong et al., 2019).

4. Le vermicompostage

4.1. Définition

Le vermicompostage est une biotechnologie innovante, durable et respectueuse de l'environnement, permettant la transformation rapide des matières biodégradables en produits à forte valeur ajoutée. Ce procédé repose principalement sur l'action des vers de terre et des micro-organismes mésophiles, qui transforment la matière organique en un compost de haute qualité, connu sous le nom de vermicompost. Il se distingue du compostage traditionnel par l'absence de phase thermophile, ce qui permet un traitement plus doux des matières organiques. Le vermicompost se caractérise par une structure granulaire optimale, améliorant la biodisponibilité des éléments nutritifs, la structure et la fertilité du sol, ce qui en fait un amendement de choix en agriculture biologique (Nagavallema et al., 2004 ; Gajalakshmi et

Abassi, 2004 ; Ismail, 2005 ; Aira et al., 2007 ; Garg et Gupta, 2009 ; Devi et Prakash, 2015 ; Olle, 2019 ; Aslam et al., 2020 ; Aslam et Ahmad, 2020 ; Ahmad et al., 2021a).

4.2. Le processus de vermicompostage

Le processus de vermicompostage se déroule en plusieurs phases distinctes (Garg et Gupta, 2009).

4.2.1. Phase de pré-compostage initiale

Le pré-compostage suivi du vermicompostage permet de réduire le temps total du processus et d'accélérer la dégradation des déchets ligno-cellulosiques (Singh et Sharma, 2002). Cette étape est essentielle pour assurer une efficacité optimale du vermicompostage, car l'activité des vers de terre et la décomposition des déchets organiques sont fortement influencées par les paramètres environnementaux (Dominguez, 2004).

Les déchets organiques sont soumis à un précompostage d'environ 15 jours avant d'être introduits dans le système de vermicompostage. Pendant cette période, la température est maintenue entre 45 et 65 °C, ce qui favorise la réduction de la masse des déchets, l'élimination des substances volatiles potentiellement toxiques pour les vers de terre, la gestion de l'humidité, ainsi que la destruction des germes pathogènes et des graines de mauvaises herbes (Dominguez et al., 1997 ; Nair et al., 2006).

4.2.2. Phase mésophile

Durant cette phase, les vers de terre jouent un rôle crucial dans la fragmentation, l'homogénéisation et le mélange de la matière organique avec les micro-organismes présents dans leur intestin (Bajal et al., 2019). Ces matières organiques sont exposées à l'action d'enzymes digestives telles que la protéase, la lipase, l'amylase, la cellulase et la chitinase, qui facilitent la dégradation des biomolécules complexes en composés plus simples.

Une grande partie de la matière organique ingérée (90 à 95 %) est ensuite excrétée sous forme de moulée, un produit partiellement digéré dont les particules mesurent moins de 2 microns. Cette moulée est particulièrement propice à une dégradation ultérieure par l'action microbienne (Aslam et al., 2020 ; Ahmad et al., 2021b). Dans des conditions environnementales adéquates, les vers de terre peuvent consommer et réduire de 40 à 60 % le volume des déchets agricoles (Barik et al., 2011).

4.2.3. Phase de maturation et de stabilisation

La stabilité et la maturité du vermicompost sont des critères essentiels pour son utilisation en agriculture. Un compost immature peut avoir des effets négatifs sur la croissance des plantes et sur l'équilibre écologique du sol (Wu et al., 2000).

Pour garantir une valorisation agricole optimale, il est important d'analyser la composition du vermicompost en éléments fertilisants majeurs et mineurs, ainsi que sa teneur en métaux lourds toxiques (Cd, As, Hg, Cu, Zn, Pb, Ni, Cr) et en agents pathogènes (salmonelles, entérocoques, E. coli, œufs d'helminthes) (Jemali et al., 1996). Le suivi des variations de pH et de conductivité électrique, dus à la décomposition des acides organiques, constitue également un bon indicateur de la maturité du compost. Un pH compris entre 7 et 9 est généralement un signe de compost mature et stable (Avnimelech et al., 1996).

Le rapport carbone/azote (C/N) est un autre paramètre clé permettant d'évaluer la maturité du vermicompost. Une diminution de ce rapport dans le produit final traduit une minéralisation efficace et une décomposition avancée de la matière organique initiale (Garg et Gupta, 2011 ; Singh et al., 2014). La nitrification, mesurée par le rapport $N-NH_4^+ / (N-NO_3^- + N-NH_4^+)$, est également un indicateur fiable de la maturation : la conversion progressive du NH_4^+ en NO_3^- durant cette phase signale un compost stable et prêt à l'usage agricole (Raj et Singh, 2012 ; Gomez-Brandon et al., 2008).

Des tests biologiques, tels que le test de germination, permettent également d'évaluer la phytotoxicité du vermicompost. Une baisse du taux de germination indique la présence de substances phytotoxiques dans le compost, tandis qu'une augmentation traduit leur disparition progressive (Antil et al., 2013). Zucconi (1981) a ainsi établi qu'un compost présentant un taux de germination supérieur à 80 % est exempt de phytotoxines et considéré comme mature (Sellami et al., 2008).

La durée de la phase de maturation varie en fonction de l'efficacité de la phase active du processus, elle-même influencée par l'espèce et la densité des vers de terre présents dans le compost (Dominguez et al., 2010). Un suivi attentif de ces paramètres est donc essentiel pour garantir la qualité et l'efficacité du vermicompost.

5. Systèmes de vermicompostage

5.1. Vermicompostage en bac ou en silos

Le vermicompostage pratiqué à petite échelle se fait dans de petits ou de grands composteurs cylindriques et des conteneurs à quatre ou trois unités (Zazouli et al., 2009).

Cette technique est utilisée pour le compostage domestique, dans la cuisine ou dans le garage. Il permet de répondre au problème de la masse critique que rencontrent fréquemment les jardiniers amateurs avec leurs composts et qui freine le démarrage du compostage (Grattepanche, 2005).

Le bac peut être fait de divers matériaux, mais le bois et le plastique sont populaires.

Les bacs en plastique, en raison de leur légèreté, sont plus appréciés dans le compostage domestique. Un bac de vermicompost peut être de différentes tailles et formes, mais sa hauteur dépasse généralement 30 cm.

Les bacs d'une hauteur de 30 à 50 cm et pas plus sont parfaits (Rostami, 2011).

Pour la réalisation du bac, il est important de percer des trous dans le fond, sur les côtés et sur le couvercle pour l'aération et le drainage du jus de compost.

Environ 10 trous de 1-1,5 cm de diamètre est un bon choix.

Avant de nourrir les vers avec des déchets, il est nécessaire d'appliquer un lit de ver d'une hauteur de 20-25 cm composé d'un mélange de papier déchiqueté, de compost mûr, de vieux fumier de vache ou de cheval et de la terre (Rostami, 2011).

5.2. Vermicompostage en andain

La méthode de vermicompostage en andain est utilisée à grande échelle plutôt que la méthode en bac (Zazouli et *al.*, 2009).

Le vermicompostage est le moyen choisi pour traiter une grande quantité de déchets, par conséquent, l'utilisation des andains est plus rentable. Les piles de compost peuvent être faites sous abris comme une serre ou à un étage avec certaines installations pour le drainage dans les climats chauds. Bien que la largeur et la longueur de la pile soient si variables, elles ne peuvent toutefois pas être très hautes.

Il est préférable de suivre la méthode de hauteur du bac (Rostami, 2011).

5.3. Vermicompostage en lit

Le vermicompostage en lit peut se faire à grande échelle sous serre ou à l'extérieur. Pour sa réalisation, il est important de construire des lits de 40 cm de profondeur, de 1 à 2 m de largeur sur la longueur nécessaire, à l'aide de planches ou de béton.

La surface inférieure du lit doit être isolée du sol pour empêcher les taupes, prédateurs des vers, de pénétrer dans le système.

Dans le fond du lit, une première couche de matières organiquesensemencées de vers est déposée et la matière organique à composter est apportée régulièrement (Grattepanche, 2005).

Pour préparer du vermicompost dans un anneau de ciment de 90 cm de diamètre sur 30 cm de haut, environ 2 kg de phosphate de roche et 500 à 750 vers de terre doivent être ajoutés à 50 kg de déchets organiques secs et 15 kg de lisier de vache.

Il faut également environ cinq litres d'eau à arroser une fois tous les trois jours pendant 60 à 75 jours, moment où le vermicompost sera prêt à être utilisé (Nagavallema et *al.*, 2004).

Chaque système précédemment décrit présente un certain nombre de variantes : en systèmes continus ou discontinus:

Dans le système continu, les vers de terre sont introduits dans la litière sur laquelle on ajoute de manière progressive et régulière de la nourriture fraîche et aussi une nouvelle couche de litière. Tandis que dans le **système discontinu** : la litière et la nourriture sont mélangées avant l'ajout des vers. Ainsi, plus aucun travail n'est fait sauf celui des vers de terre jusqu'à la fin du processus (Munroe, 2004).

6. Facteurs influençant le vermicompostage

Les paramètres du vermicompostage doivent respecter les conditions de vie des vers de terre. Ce sont principalement, les paramètres influençant l'activité des lombrics au cours du processus.

La distribution des vers de terre dans l'unité de vermicompostage dépend principalement du pH, de la CE, de la matière organique, de la température, de l'humidité, etc. (Edwards et Bohlen, 1996).

6.1.La température

En vermicompostage, la température est cruciale car elle affecte l'activité du ver de terre, son métabolisme, sa respiration et sa reproduction (Reinecke et *al.*, 1992 ; Dominguez, 2004 ; Rostami, 2011).

Les températures élevées favorisent les processus chimiques et microbiens dans le substrat, mais l'intensité de l'activité microbienne consomme l'oxygène disponible, entraînant des effets négatifs sur la survie des lombrics. donc, une plage de température d'environ 15-25 °C est plus appropriée pour le vermicompostage (Dominguez, 2004).

6.2.L'humidité

La teneur en humidité des déchets organiques est étroitement liée à la croissance des vers de terre, car ces derniers respirent à travers leur peau et ont besoin d'une certaine humidité pour survivre. L'excès d'humidité peut entraîner une baisse de la concentration en oxygène dans le substrat, ce qui nuit à la respiration des vers et des microorganismes aérobies impliqués dans la dégradation de la matière organique (Sierra et al, 2011).

De plus, environ 75 à 90% du poids corporel des vers de terre est constitué d'eau, et ils ont besoin d'un environnement humide pour se déplacer (Ansari et Ismail, 2012).

La gestion de l'humidité est donc cruciale pour la survie et la croissance des vers de terre dans les systèmes de vermicompostage. La plage optimale de la teneur en humidité dans le vermicompost pour la plupart des espèces se situe entre 50 et 90% (Dominguez, 2004).

Il est recommandé de maintenir l'humidité entre 60 et 70% pour éviter un taux de mortalité élevé des vers. En cas d'excès d'humidité, un apport de matière brune sèche peut corriger le niveau d'humidité, tandis qu'en cas de substrat sec, un arrosage est nécessaire (Chaoui, 2010).

Il est important également de noter que la teneur en eau du substrat est considérée comme le principal facteur abiotique qui influence la croissance et la reproduction des vers de terre, car une humidité inadéquate peut entraîner une perte d'efficacité et une diminution des processus biologiques internes des vers (Hallatt, 1992).

6.3.le PH

Le pH initial des substrats est un facteur déterminant dans la distribution, le nombre, l'activité des vers et la durée totale de la vermicompostage (Singh *et al.*, 2005).

La plupart des espèces de vers de terre nécessitent un pH neutre (Singh 1997; Narayan, 2000; Pagaria et Totwat 2007; Suthar 2008; Panday et Yadav, 2009 ;Rostami, 2011).

Une corrélation positive est trouvée entre l'abondance saisonnière de juvéniles et d'adultes et le pH (Reddy et Pasha, 1993).

Les légères augmentations d'acidité causées par l'ajout de déchets frais sur le lit de vermicompostage peuvent être neutralisées par les sécrétions intestinales de calcium des vers de terre et d'ammoniac excrété. La chaux ou les coquilles d'œufs sont couramment ajoutées au lombricompost pour pallier à ce problème d'acidité (Dominguez, 2004).

Les vers migrent dans le mélange de déchets agricoles, ayant un pH neutre de 7,0, seulement après deux jours. Les excréments des vers de terre qui composent environ 90% du compost de bonne qualité sont également neutres (Edwards et Bohlen, 1996; Mitchell, 1997).

6.4.Aération

Les vers de terre n'ont pas d'organes respiratoires spécialisés ; ils obtiennent de l'oxygène par diffusion à travers la paroi du corps et perdent du dioxyde de carbone par le même mécanisme. Par ailleurs, ils sont très sensibles aux conditions anaérobies et leur fréquence respiratoire est réduite lorsque la concentration en oxygène est faible (entre 55 et 65 %). Leurs activités d'alimentation pourraient également être réduites dans ces conditions non optimales (Dominguez, 2004).

Le processus de dégradation de la matière nécessite par conséquent un bon apport en oxygène. Pour cela, un meilleur échange d'air de l'intérieur vers l'extérieur de la compostière est nécessaire (Morin, 2004).

50% de l'aération doivent être maintenus à partir de l'espace total des pores. Si elle est inférieure à la quantité requise, les vers peuvent se sentir étouffés, ce qui conduit à leur mort (Korav *et al.*, 2021).

6.5.Teneur en ammoniac

Les vers de terre sont très sensibles à l'ammoniac. C'est le principal facteur de salinité du compost. Ces invertébrés ne peuvent pas survivre dans les matières organiques contenant un

taux élevés de cations ; leur limite de tolérance est de 5 mg/g (Chaoui, 2010). Ils trouvent la mort également dans les déchets riches en sels inorganiques (Dominguez, 2004)..

Toutefois, les déchets organiques contenant de grandes quantités d'ammoniac peuvent devenir acceptables par les vers après leur élimination par une période de pré-compostage (Dominguez, 2004).

6.6. Le rapport C/N

Le rapport C/N, qui représente la proportion de carbone et d'azote disponible dans la matière organique, est un paramètre essentiel dans le processus de décomposition aérobie de la matière organique et la palatabilité de la litière chez les vers de terre (Hendriksen, 1990 ; Aboulam, 2005).

Si le rapport en C-N est faible, la matière première est très azotée, ce qui entraîne une perte d'azote dans l'atmosphère sous forme d'ammoniac par volatilisation (Graves et Hattemer, 2000 ; Aboulam, 2005).

Un rapport initial élevé contribue également à une perte considérable d'azote au cours des 28 premiers jours de vermicompostage grâce à une activité microbienne élevée (Bertoldi et al., 1984 et Edwards et Burrows, 1988). Il est recommandé que le matériau d'alimentation ayant un rapport C/N inférieur à 40 puisse être utilisé avec succès pour le vermicompostage. Un rapport C-N supérieur à 30-40 augmente le temps nécessaire pour le vermicompostage (Ismail, 1997).

Le rapport optimal initial C-N devrait se situer donc entre 25 et 30 pour éviter un pourcentage élevé de volatilisation de l'azote et une décomposition rapide par les microbes (Graves et Hattemer, 2000 ; Aboulam, 2005). Pour optimiser ce rapport C/N il est possible d'apporter de la sciure ou des copeaux de bois, de la paille, du papier carton (Bertoldi et al., 1984 ; Edwards et Burrows, 1988).

6.7. La conductivité électrique

Dépend principalement des minéraux et des ions générés pendant l'excrétion par les vers de terre (Garg et al., 2006) et de la matière première utilisée pour la vermiculture (Atiyeh et al., 2002).

L'augmentation de la CE dans la fosse est due à la perte de poids de la matière organique par la décomposition et à la libération de différents sels sous forme disponible (Wong et al. 1997; Kaviraj et Sharma 2003; Nath et al., 2009).

7. Intérêt écologique du vermicompostage

Le vermicompostage a été reconnu comme une alternative appropriée de stabilisation et d'élimination hygiénique et économique des déchets urbains (Achsah et Lakshmi Prabha, 2013 ; Olle,2019).

En effet, dans le système de gestion des déchets, le vermicompostage est durable, économiquement viable et sans effets néfastes pour la santé humaine ou pour l'environnement (Dominguez et Gomez-brandon, 2005 ; Pirsahab et *al.*, 2013).

Ainsi, cette technologie verte résout simultanément deux problèmes pesants de la société moderne. Il permet de réduire les coûts de transport des terres et des déchets liés à l'enfouissement et à l'incinération. Cela permet d'éviter les conditions d'insalubrité générées par les détritiques non triés (Silawat et *al.*, 2010).

8. Les vers de terres

Les vers de terre appartiennent taxonomiquement au phylum annelida. Ce sont des invertébrés de forme cylindrique, étroits, segmentés et symétriquement bilatéraux qui habitent le sol et ont un corps brun brillant recouvert d'une couche cuticulaire lisse Le poids des vers de terre varie de 1400 à 1500 mg après un mois .Leur corps est constitué de protéines (65%), de glucides et de graisses (14%) et de 3% de cendres(Ahmad et al., 2021a)..

8.1. Biologie des vers de terre

Les vers de terre sont des organismes macro-invertébrés terrestres appartenant à l'embranchement des Annélides, classe des *Clitellata*, sous-classe des *Oligochaeta* et à l'ordre des *Haplotaxida* (Pearce et *al.*, 1990).

Leurs cycle de vie des vers de terre varie de 3 à 7 ans selon les conditions écologiques (Ahmad et *al.*, 2021a). Ils vivent dans des habitats variés et font preuve d'une activité efficace dans la modification des propriétés physiques et chimiques du sol. Ils comprennent environ 3 700 espèces décrites, mais ce nombre ne représente probablement que la moitié de la diversité mondiale réelle du groupe (Decaëns et *al.*, 2013). Ce sont des animaux hermaphrodites dont la reproduction se fait par une fécondation croisée, à la suite de laquelle chacun des individus produit des cocons contenant de 1 à 20 ovules fertilisés. Les cocons résistants, minuscules et en forme de citron, de formes différentes selon les espèces, se déposent généralement près de la surface du sol, sauf par temps sec où ils sont posés à des couches plus profondes. Les cocons éclosent après une période d'incubation qui varie en fonction des espèces de ver de terre et des conditions environnementales (Dominguez et Edwards, 2010). Dans les conditions favorables, ils atteignent la maturité sexuelle plusieurs semaines après l'émergence (Dominguez et Edwards, 2010). L'un des caractères le plus visible qui permet de reconnaître

les vers adultes est un bourrelet tégumentaire appelée clitellum apparaissant à la maturité sexuelle (Razafindrakoto, 2012).

8.2.Écologie des vers de terre

En fonction de leurs modes d'alimentation et de fouissage, ils sont classés en trois catégoriesécologiques : épigés, anéciques et endogés (Bouché, 1972).

8.2.1.Les vers épigés sont constitués d'espèces de petites tailles (1-5 cm) et vivent en surface (lespremiers centimètres) dans les amas de matières organiques à l'occurrence le fumier, la litière de forêt, les déchets verts etc... (Pères et *al.*, 2011) ; Ils font peu ou pas de galerie dans le sol et participent ainsi à la dégradation de la matière organique morte (Peres et *al.*, 2012).

8.2.2.Les vers anéciques sont caractérisés par une grande taille (10 à 110 cm) et une couleur allant du rouge au brun, avec généralement un gradient de couleur de la tête vers la queue. Les espèces de ce groupe occupent la couche supérieure du sol autour de 25 cm, ils creusent des galeries verticales et ouvertes à la surface du sol favorisant l'infiltration de l'eau. Leur action consiste à enfouir et à brasser la matière organique avec le sol ingéré (Peres et *al.*, 2012).

8.2.3.Les vers endogés sont caractérisés par une taille comprise entre 1 à 20 cm et sont très peu colorés ou apigmentés (gris, rose ou vert). Ils vivent dans les couches plus profondes (30 cm) du sol. Ils creusent des galeries temporaires horizontales à subhorizontales et se nourrissent essentiellement de matières organiques intégrées à la matière minérale. Ces vers influencent la rétention et l'infiltration de l'eau dans le sol par la création d'une structure grumeleuse (Peres et *al.*, 2012).

8.3.Vers de terre appropriés pour le vermicompostage

Il existe des espèces de vers de terre appropriées pour le vermicompostage : ce sont les espèces épigées. Celles-ci sont caractérisées par la capacité naturelle à coloniser les déchets organiques, avec un taux de consommation, de digestion et d'assimilation de la matière organique élevé ; une tolérance à un large éventail de facteurs environnementaux ; des cycles de vie courts et un taux de reproduction élevé.Leur endurance et la tolérance à la manipulation montrent leur bon potentiel pour le vermicompostage (Dominguez et Edwards, 2010). Toutefois très peu d'espèces de vers de terre possèdent toutes ces caractéristiques. On compte seulement cinq d'entre elles qui ont été largement utilisées pour le vermicompostage. Il s'agit de *Eisenia andrei* (Savigny), *Eisenia faetida* (Bouché), *Dendrobaena veneta* (Savigny) et dans certains cas, *Perionyx excavatus* (Perrier) et *Eudrilus eugeniae* (Kinberg) (Francis et *al.*, 2003 ; Dominguez et Edwards, 2010). Ces espèces sont réparties dans le monde en fonction des régions et des conditions climatiques qui y règnent.

Dans les régions tempérées, les espèces appropriées pour le vermicompostage sont entre autres :

Eisenia faetida (Savigny, 1826) et *E. andrei* (Bouché 1972) caractérisés par leur cycle de vie court, leur large plage de tolérance à la température et à l'humidité. Ce sont des vers de terre résilients et faciles à manipuler. La température optimale pour la croissance des deux espèces est de 25 °C bien qu'elles puissent tolérer une large gamme de conditions d'humidité, la teneur en eau optimale pour ces espèces est de 85 % (Dominguez et Edwards, 2010)

Lumbricus rubellus (Hoffmeister, 1843) se trouve généralement dans les sols humides, en particulier ceux auxquels du fumier animal ou des solides d'égouts ont été appliqués. Ce ver est connu pour sa préférence des conditions humides et pour sa survie à des températures froides. La température optimale pour sa croissance est de 18 °C.

L. rubellus a un cycle de vie relativement long (120 à 170 jours) avec un taux de croissance lent et une longue période de maturation (74 à 91 jours). A ces espèces on peut aussi ajoutée *Dendrodrilus rubidus* (Savigny 1826) et *D.veneta* (Rosa 1886). Quelques espèces sont également retrouvées en régions tropicales. Parmi les plus utilisées, il y a :

Eudrilus eugeniae (Kinberg 1867) est originaire d'Afrique, c'est un grand ver de terre qui est raisonnablement prolifique et dans des conditions optimales, peut être considéré comme idéal pour la production de protéines pour l'alimentation animale (Dominguez et Edwards, 2010). Ses principaux inconvénients sont : sa faible tolérance à la température et sa sensibilité à la manipulation. Son taux de reproduction est élevé et il est capable de décomposer rapidement de grandes quantités de déchets organiques et de les incorporer dans la terre arable (Edwards, 1988). Il montre une préférence pour les températures élevées, avec une production maximale de biomasse entre 25 et 30 °C, alors que les taux de croissance sont très faibles à 15 °C (Dominguez et al., 2001). Malgré la grande taille de *E. eugeniae* qui facilite sa manipulation et sa récolte par rapport aux espèces couramment utilisées telles que *E. faetida* et *P. excavatus*, elle est beaucoup plus sensible aux perturbations et à la manipulation et peut parfois migrer des aires de reproduction (Dominguez et al., 2001)

- *Perionyx excavatus* (Perrier 1872) est couramment rencontré dans une grande partie de l'Asie du Sud tropicale (Gates, 1972), bien qu'il ait également été transporté en Europe et en Amérique du Nord. Il s'agit d'une espèce épigée qui vit uniquement dans les déchets organiques. Une teneur élevée en humidité et des quantités adéquates de matière organique appropriée sont nécessaires pour que les populations s'établissent pleinement et pour traiter efficacement les déchets organiques. Ce lombric tropical est très prolifique et est presque aussi facile à manipuler qu'*E. faetida* et très facile à récolter.

Son principal inconvénient est son incapacité à résister aux basses températures, mais dans les conditions tropicales, il semble être une espèce idéale. Bien qu'il ait un temps de maturation et d'incubation plus court qu'*E. eugeniae*. L'espèce *P. excavatus*, ne prolifère pas beaucoup à basses températures, même s'il peut survivre à 4 °C. En revanche, il est moins sensible aux températures élevées de plus de 30 °C qu'*E. eugeniae* (Dominguez et Edwards, 2011).

Tableau 2. Ecologie de différentes espèces de vers de terres

Espèces de vers de terre	Classification écologique	Interaction écologique	Caractéristiques	Avantages écologiques
<i>D. octaedra</i> , <i>Bimastus minusculus</i> , <i>Dendrobaena veneta</i> , <i>Dendrodrilus rubidus</i> , <i>B. eiseni</i> , <i>Lumbricus spp</i> , <i>Eiseniella tetraedra</i> and <i>Eisenia foetida</i>	Espèces épigées	trouvées dans les couches superficielles du sol, le compost et les feuilles mortes.	Elles sont plus petites en taille, ont un corps uniformément pigmenté, un gésier actif, un cycle de vie court, un taux de reproduction élevé et une capacité de régénération, tolèrent les perturbations, sont phytophages.	Elles sont des productrices efficaces de compost, aident à la pulvérisation de la litière et à sa décomposition précoce, sont des biodégradeurs efficaces et libèrent des nutriments.
<i>Aporrectodea. rosea</i> , <i>A. caliginosa</i> , <i>A. trapezoids</i> and <i>Millsonia anomala</i>	Espèces endogées et polyhumiques	. Sol supérieur, type (A1)	Corps non pigmenté, de petite taille, se nourrissant abondamment du sol riche, creusant horizontalement dans le sol.	
<i>Allolobophora chlorotica</i> and <i>Pontoscolex corethrurus</i>	Espèces endogées et mésohumiques.	Couches de sol (horizons A et B).	Corps non pigmenté, de taille moyenne, créent des galeries horizontales intensives dans le sol, se nourrissent de la matière organique du sol (sol de type A1).	
<i>Aminthas</i> sp	Espèces endogées et oligohumiques.	Couches de sol (horizons B et C).	Très grandes en taille, non pigmentées, forment des galeries horizontales intensives, se nourrissent de sols pauvres et profonds.	
<i>A. longa</i> , <i>L. Polyphemus</i> and <i>L. terrestris</i> ,	Espèces anéciques.	Creusent de manière extensive dans le sol.	Pigmentées sur la partie dorsale du corps, plus grandes en taille, avec un taux de reproduction moins élevé, nocturnes, phyto-géophages, forment de manière extensive des trous de creusement permanents verticalement profonds dans le sol.	

9. Rôles bénéfiques du vermicompost

9.1. Teneur élevée en matière organique, humus et acides humiques

L'incorporation du vermicompost améliore significativement la teneur en matière organique du sol, tout en optimisant sa porosité, son aération, son drainage et sa capacité de rétention en eau (Joshi et al., 2015 ; Kilbacak et al., 2021).

L'humus favorise l'agrégation des particules du sol, facilitant ainsi la formation de canaux permettant la circulation de l'air et améliorant la rétention d'eau ainsi que la porosité du sol (Adhikary, 2012). Cette amélioration de la porosité résulte notamment de l'augmentation du nombre de pores dans les plages de tailles de 30-50 μm et 50-500 μm , ainsi que de la réduction des pores excédant 500 μm (Lunt et Jacobson, 1994 ; Nighawan et Kanwar, 1952).

Les acides humiques, constituants majeurs de l'humus issus de la biodégradation de la matière organique, jouent un rôle clé dans l'absorption des nutriments par les plantes. Ils augmentent la perméabilité des membranes cellulaires des racines, stimulent leur croissance et favorisent la prolifération des poils radiculaires (Pramanik et al., 2007). De plus, leur forte concentration dans le vermicompost contribue à la santé des plantes en stimulant la production de composés phénoliques tels que les anthocyanines et les flavonoïdes. Ces derniers améliorent non seulement la qualité des cultures, mais agissent aussi comme barrières naturelles contre les ravageurs et les maladies (Theusnissen et al., 2010).

9.2. Amélioration de la conductivité électrique et du pH

L'application du vermicompost au sol entraîne une augmentation significative de la conductivité électrique (CE) et permet de stabiliser le pH à un niveau neutre. Ces deux paramètres influencent directement le cycle des nutriments, réduisant ainsi la présence d'éléments nuisibles à la croissance des plantes. Ils renforcent également la résistance des végétaux face aux maladies et aux attaques de nématodes (Tiwari et al., 1989).

9.3. Apport en nutriments directement assimilables par les plantes

Le vermicompost constitue une source précieuse de nutriments sous des formes facilement assimilables par les plantes, notamment les phosphates, nitrates, calcium soluble et potassium (Jangra et al., 2019). Ces éléments nutritifs essentiels favorisent une croissance optimale des cultures et améliorent leur rendement. Les différentes teneurs en nutriments du vermicompost sont détaillées dans le Tableau 2.

Tableau 3. Concentration des nutriments présents dans le vermicompost (Garg et Gupta, 2009).

Nutriments	Quantité
S	128.0 à 548.0 mg kg ⁻¹
Zn	5.7 à 9.3 mg kg ⁻¹
Fe	2.0 à 9.3 mg kg ⁻¹
Cu	2.0 à 9.3 mg kg ⁻¹
Ca and Mg	22.67 à 47.6 (Meq/100 g)
Na	0.055 à 0.3 %
P	0.1 à 0.26 %
K	0.15 à 0.256 %
N	0.5 à 0.9 %
C	9.15 à 17.88 %

9.4. Effets bénéfiques sur la santé humaine

De nombreuses études ont démontré la capacité des vers de terre à accumuler ou à biodégrader efficacement divers composés chimiques organiques et inorganiques, notamment les métaux lourds, les pesticides organochlorés et les hydrocarbures aromatiques polycycliques présents dans leur environnement (Sinha et al., 2009).

Les fruits et légumes issus de l'agriculture biologique, notamment ceux cultivés avec l'application de vermicompost, sont particulièrement riches en nutriments. Comparés à ceux obtenus avec des engrais chimiques, ils contiennent des niveaux plus élevés de protéines, de minéraux, de vitamines et d'antioxydants. Ces composés jouent un rôle essentiel dans l'amélioration de la qualité nutritionnelle des aliments et peuvent avoir des effets bénéfiques sur la santé humaine (Sinha, 2012 ; Olle, 2019).

9.5. Lutte contre les ravageurs des cultures

Le vermicompost joue un rôle important dans la protection des cultures en agissant comme un répulsif naturel contre certains ravageurs à exosquelette rigide (Arancon, 2004). Des études ont montré que son application permet de réduire de manière significative les populations d'insectes nuisibles tels que les pucerons, les cochenilles farineuses et les acariens. En effet, Edwards et Arancon (2004) ont observé une diminution notable des dégâts sur des plants de tomates, poivrons et choux après l'application de vermicompost à des doses variant de 20 % à 40 %.

L'activité insecticide du vermicompost est attribuée aux chitinases produites par les vers de terre et présentes dans le compost. Ces enzymes agissent en dégradant la chitine, constituant

principal de l'exosquelette des insectes, ce qui limite leur prolifération et réduit les dommages aux cultures (Munroe, 2007).

9.6. Présence d'une microflore bénéfique

L'application de vermicompost en tant qu'amendement organique contribue à la préservation et à la restauration de la fertilité des sols. En plus d'améliorer la structure du sol, il favorise l'augmentation de la biomasse microbienne et de la biodiversité, éléments essentiels à un écosystème agricole durable (Kumar et al., 2013 ; Passarini et al., 2014 ; Hernandez et al., 2014).

La microflore associée aux vers de terre et au vermicompost comprend une grande diversité de microorganismes bénéfiques, tels que des bactéries et des actinomycètes, qui jouent un rôle clé dans la nutrition et la protection des plantes (Frankenberger et Arshad, 1995 ; Raimi et al., 2022). Ces bactéries agissent de manière directe en fixant l'azote, en solubilisant les nutriments et en produisant des hormones de croissance comme les auxines, gibbérellines, cytokinines, éthylène, acide ascorbique et l'aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) déaminase. Elles interviennent également de façon indirecte en limitant le développement des champignons pathogènes grâce à la production de sidérophores, de chitinases, de β -1,3-glucanases, d'antibiotiques, de pigments fluorescents et de cyanure (Frankenberger et Arshad, 1995 ; Han et al., 2005 ; Raimi et al., 2022).

Suhane (2007) a rapporté que le vermicompost contient plus de 10^{10} bactéries par gramme, incluant des actinomycètes, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Nitrobacter* et des bactéries solubilisant le phosphate, dont la concentration varie entre 10^2 et 10^6 par gramme. Ces microorganismes jouent un rôle fondamental dans l'amélioration de la fertilité des sols et la croissance des plantes, renforçant ainsi l'intérêt du vermicompost en tant qu'amendement organique durable.

9.7. Lutte contre les agents pathogènes

Le vermicompost est efficace contre les champignons phytopathogènes *Colletotrichum coccodes*, *Fusarium moniliforme*, *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora capsici* et *Pythium ultimum* (Yasir et al., 2009) *Rhizoctonia solani* (Tuitert et al., 1998 ; Vinale et al., 2009), *Fusarium oxysporum* (Sinha et al., 2010), *Sclerotinia sclerotiorum* (Vinale et al., 2009),

Les vers de terre consomment des rhizobactéries antagonistes et promoteurs de la croissance des plantes tels que *Bacillus*, *Pseudomonas* et *Streptomyces* et les champignons mycorrhiziens ainsi que le sol de la rhizosphère. Ces microorganismes peuvent être activés ou amplifiés par le microenvironnement favorable de l'intestin des vers et libérés dans le sol favorisant indirectement la croissance des plantes en inhibant les maladies fongiques et bactériennes grâce à la sécrétion d'antibiotiques, de sidérophores, de chitinases et de glucanases qui

dégradent les parois cellulaires des champignons et des bactéries pathogènes (Ananthakrishnasamy, 2019).

10. Composition du thé de vermicompost

Les nutriments et les microorganismes se transfèrent du vermicompost dans la solution liquide, communément appelée thé de vermicompost, ce qui la rend applicable sur les cultures (Ingham 2005; Pant *et al.*, 2009).

Le thé de vermicompost contient des macroéléments nutritifs N.P.K sous forme NO_3 , PO_4 . Il contient 2 à 3% d'azote, 1,85 à 2,25% de potassium et 1,55 à 2,25% de phosphore, des oligo-éléments, des microorganismes bénéfiques au sol comme les bactéries fixatrices d'azote et les champignons mycorhiziens (Singh *et al.*, 2008), et des micronutriments qui présentent des effets bénéfiques sur la croissance et le rendement des plantes, disponibles sous forme de Ca, K, Mg et S. Il contiennent une grande proportion des substances humiques sous forme des acides fulviques et humiques qui fournissent de nombreux sites de réaction chimique aux organismes microbiens, connus d'améliorer la croissance des plantes et la suppression des maladies par les activités des bactéries (*Bacillus*), des levures (*Sporobolomyces* et *Cryptococcus*) et des champignons (*Trichoderma*), ainsi que des antagonistes chimiques tels que des phénols et des acides aminés (Nagavalemma *et al.*, 2004).

Il est également riche en régulateurs de croissance (comme l'acide indole acétique, les gibbérellines et les cytokinines) (Arancon *et al.*, 2005)

11. Effets bénéfiques du thé de vermicompost

Le thé de vermicompost contient des microorganismes bénéfiques, des nutriments et des promoteurs de croissance des plantes, et son application a montré une amélioration de la germination des graines, de la croissance et de l'amélioration des rendements, ainsi que la suppression des maladies des plantes à la fois par application foliaire ou racinaire (Keeling *et al.*, 2006; Arancon *et al.*, 2007; Simsek-Ersahin *et al.*, 2009; Pajot, 2010; Khattiyaphutthimet *et al.*, 2020; Arancon *et al.* 2020).

Les thés de vermicompost ont également un potentiel significatif pour le contrôle des ravageurs en raison de la présence de substances phénoliques qui rendent les tissus végétaux non appétissants (Pathma et Sakthivel, 2012). Il constitue ainsi un bon insecticide à action préventif (Sloane, 2003). Il contient également l'acide humique qui peut améliorer la qualité du sol (Atiyeh *et al.*, 2001).

Les propriétés physico-chimiques des nutriments et des substances humiques présentes dans le thé de compost peuvent améliorer la teneur nutritionnelle des plantes, induire une résistance

systematique contre le pathogènes et/ou être directement toxiques pour les pathogènes des plantes (Kone et *al.*,2010).

L'application foliaire du thé de vermicompost favorise la croissance de micro-organismes bénéfiques, agissant ainsi comme agent de biocontrôle des pathogènes (Dianez et *al.*, 2007).

1. Matériel et Méthodes

1.1. Semis et entretien des tulipes

La culture des tulipes (Figure 1) a débuté par la plantation des bulbes, réalisée le 15 octobre 2024. Ces derniers ont été enterrés à une profondeur de 10 à 15 cm, soit environ deux à trois fois leur hauteur, afin de garantir une bonne implantation. Les tulipes ont été placées sous serre dans un emplacement bien ensoleillé à légèrement ombragé, sur un sol léger, bien drainé et modérément humide, pour éviter les risques de pourriture.

L'entretien de la culture s'est révélé relativement simple. Un léger arrosage après la plantation a suffi à assurer l'humidité nécessaire à la reprise. Un désherbage régulier a été effectué pour limiter la concurrence des mauvaises herbes et maintenir une bonne aération du sol.

La floraison des tulipes est intervenue entre mars et mai, selon les variétés cultivées. Après la floraison, les feuilles ont été laissées sur pied jusqu'à leur jaunissement complet, afin de permettre aux bulbes de reconstituer leurs réserves pour la saison suivante, avant d'être coupées au moment opportun.

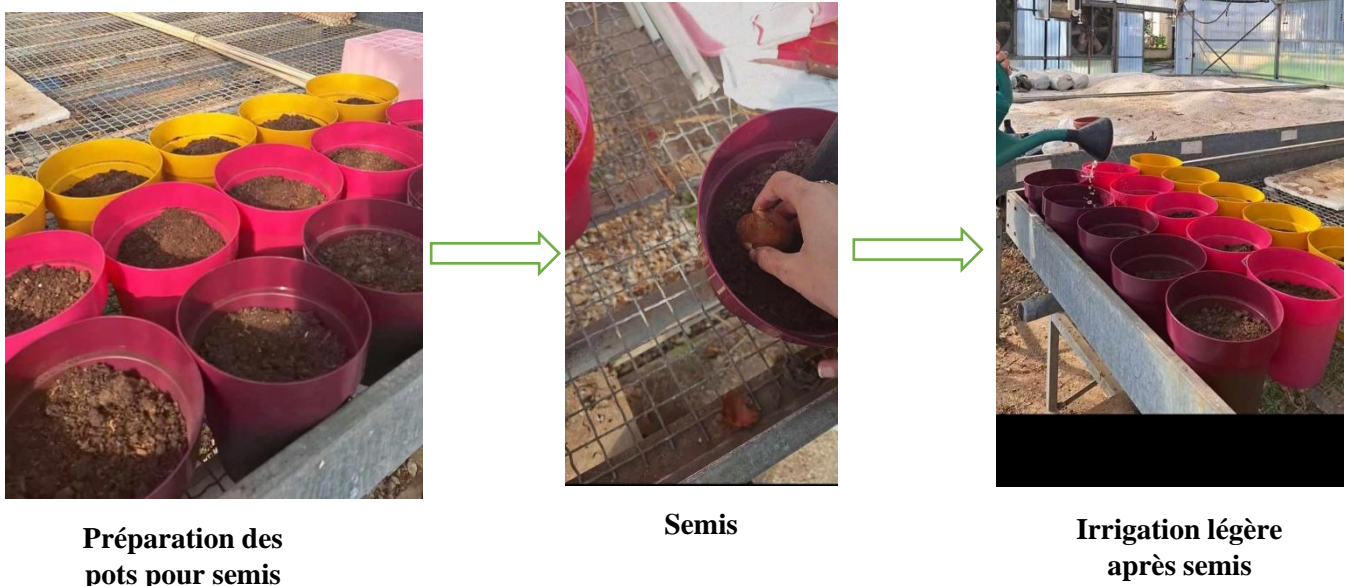


Figure 1. Semis des tulipes

1.2. Préparation du vermicompost (vermicompostage)

Le vermicompostage à petite échelle est généralement réalisé à l'aide d'un composteur à trois compartiments (Zazouli et *al.*, 2009).

Ce processus suit plusieurs étapes successives permettant la transformation des déchets organiques en un compost stable et riche en nutriments (Figure 2)

La première étape est la phase de précompostage initiale, qui dure environ 15 jours. Durant cette période, les déchets organiques sont soumis à une température comprise entre 45 et 65 °C,

Matériel et méthodes

favorisant plusieurs transformations essentielles. Ce processus permet une réduction de la masse des déchets, l'élimination des substances volatiles potentiellement toxiques pour les vers de terre, ainsi qu'une gestion optimale de l'humidité. De plus, cette phase joue un rôle clé dans la destruction des germes pathogènes et des graines de mauvaises herbes, réduisant ainsi les risques de contamination du compost final (Domínguez et al., 1997 ; Nair et al., 2006). La phase mésophile marque le début de l'intervention des vers de terre et des microorganismes. Les vers fragmentent, homogénéisent et mélangent la matière organique avec les microorganismes présents dans leur tube digestif. Lors de son passage à travers leur gésier, la matière organique est exposée à diverses enzymes digestives, telles que la protéase, la lipase, l'amylase, la cellulase et la chitinase, qui facilitent la décomposition des biomolécules complexes en composés plus simples (Bajal et al., 2019). À l'issue de ce processus, 90 à 95 % de la matière ingérée est rejetée sous forme de granulats biologiques, appelés "moulées", d'un diamètre inférieur à 2 microns. Ces moulées constituent un substrat propice à l'action microbienne, favorisant la poursuite de la décomposition et la stabilisation du compost (Aslam et al., 2020 ; Ahmad et al., 2021).

Enfin, la phase de maturation et stabilisation permet d'obtenir un compost stable et mature, prêt à être utilisé comme amendement organique. Un vermicompost de qualité se caractérise par plusieurs indicateurs, dont un pH compris entre 7 et 9, signe de sa stabilité (Avnimelech et al., 1996). La réduction du rapport C/N indique une décomposition avancée de la matière organique, tandis qu'une concentration en nitrates (NO_3^-) supérieure à celle des ammoniums (NH_4^+) confirme une bonne minéralisation des composés azotés (Singh et al., 2014 ; Gomez-Brandon et al., 2008). De plus, un vermicompost mature doit garantir un taux de germination d'au moins 80 %, preuve de l'absence de phytotoxines et de son innocuité pour les cultures (Sellami et al., 2008).

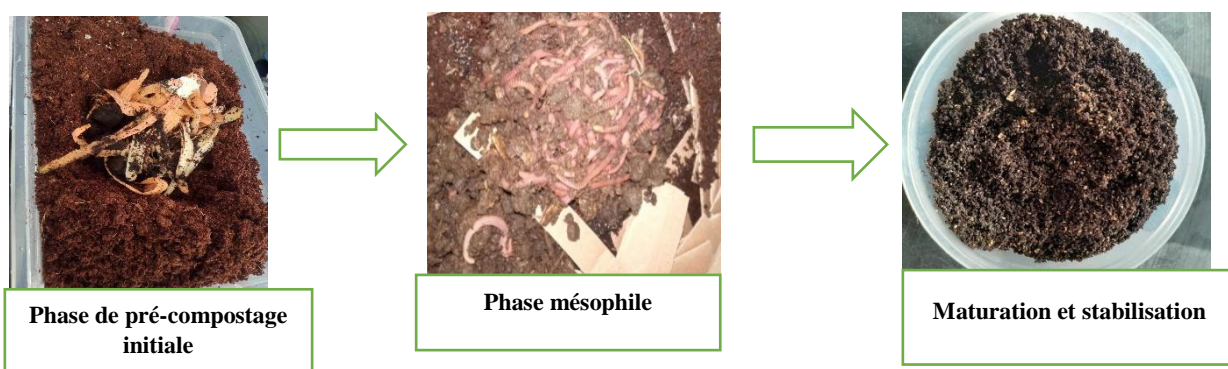


Figure 2 . Etapes de Préparation de vermicompost

1.3. La préparation de thé de vermicompost

Le thé de vermicompost est un biofertilisant liquide utilisé par pulvérisation foliaire, biologiquement active, sans odeur, obtenu après une macération et filtration d'une faible quantité de vermicompost dans l'eau en présence d'aération et l'ajout de mélasse (Natchavatthon et *al.*,2019).(Figure 3)

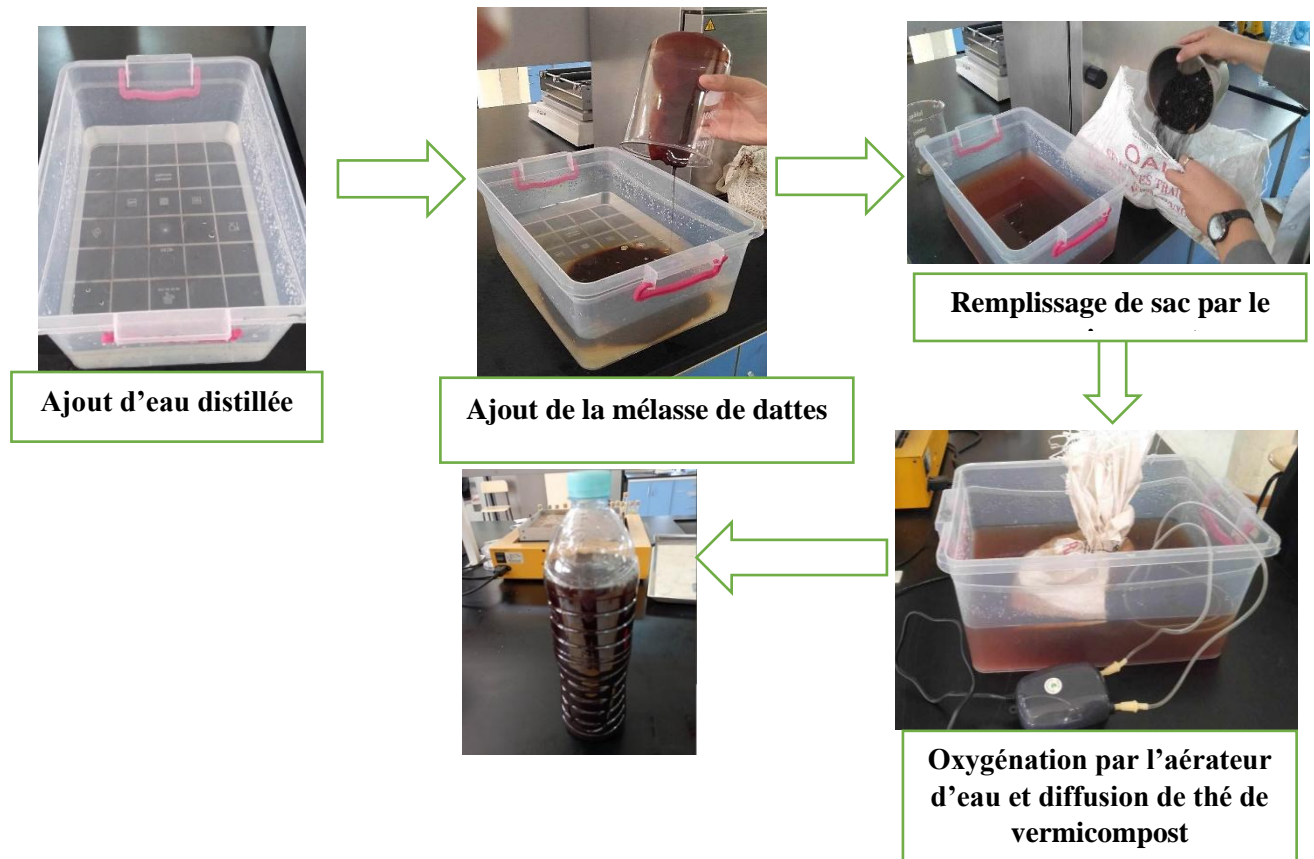


Figure 3. Préparation du thé de vermicompost

1.4. L'effet de l'emploi de bio fertilisant (thé de Vermicompost) sur la culture de tulipes

Pour tester l'effet de thé de vermicompost préparé préalablement en tant que engrais liquide sur la culture de tulipes.

Plusieurs doses préparés (figure 4) sont mentionnées dans le Tableau 4 sont appliquées par voies foliaire (figure 5) et racinaire (figure 6).

5 répétitions pour chaque type d'application et cinq répétitions arrosées avec de l'eau distillée et considérées comme témoins.

Plusieurs paramètres après l'application de ces différentes doses sont mesurés, incluant longueur de la tige, longueur de feuilles.

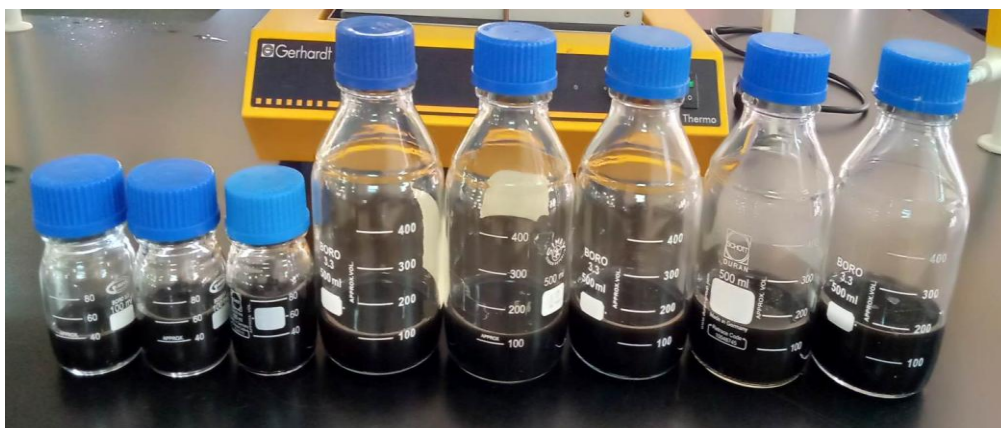


Figure 4. Préparation des doses



Figure 5. Application foliaire



Figure 6. Application racinaire

Tableau 4 .Doses de thé de vermicompost appliquées aux plants de pois par voies foliaire et racinaire.

Application foliaire (ml/L)	Application racinaire (ml/L)
10	10
15	15
20	20
25	25
30	30

1.5.Extraction et mesure du taux de chlorophylle.

Cette étape est effectuée selon la méthode de Porra (2002) avec quelques modifications mineures. On commence par collecter 1 g de feuilles des plantes en question, qui sont ensuite minutieusement hachées. Ces feuilles hachées sont broyées dans un mortier stérile à l'aide d'un pilon pour obtenir une pulpe fine. Cette pulpe est transférée dans un bocal et immergée dans de l'éthanol pendant une durée de 15 minutes. Pour la phase de filtration, un entonnoir est positionné au-dessus d'un second bocal en verre, et un papier filtre est installé dans l'entonnoir. L'extrait obtenu du premier bocal est alors versé dans l'entonnoir, permettant ainsi la filtration de l'extrait.

L'analyse spectrophotométrique a été réalisée aux longueurs d'onde de 663 nm (pic d'absorption de la chlorophylle "a") et 645 nm (pic d'absorption de la chlorophylle "b") en utilisant une solution blanc(témoin) de 95 % d'éthanol. Les concentrations de chlorophylle "a" et "b" ont été calculées à l'aide des équations suivantes :

$$\text{Concentration de chlorophylle "a" } (\mu\text{g/mL}) = (12.7 * A_{663} - 2.69 * A_{645}) * V / W$$

$$\text{Concentration de chlorophylle "b" } (\mu\text{g/mL}) = (22.9 * A_{645} - 4.68 * A_{663}) * V / W$$

où : A₆₆₃ = Absorbance à 663 nm ; A₆₄₅ = Absorbance à 645 nm ; V = Volume du solvant d'extraction (en mL, généralement 10 mL) ; W = Poids de l'échantillon (en g).Le contenu total en chlorophylle a été déterminé en additionnant les concentrations des deux types de chlorophylle (Figure 7)

Matériel et méthodes

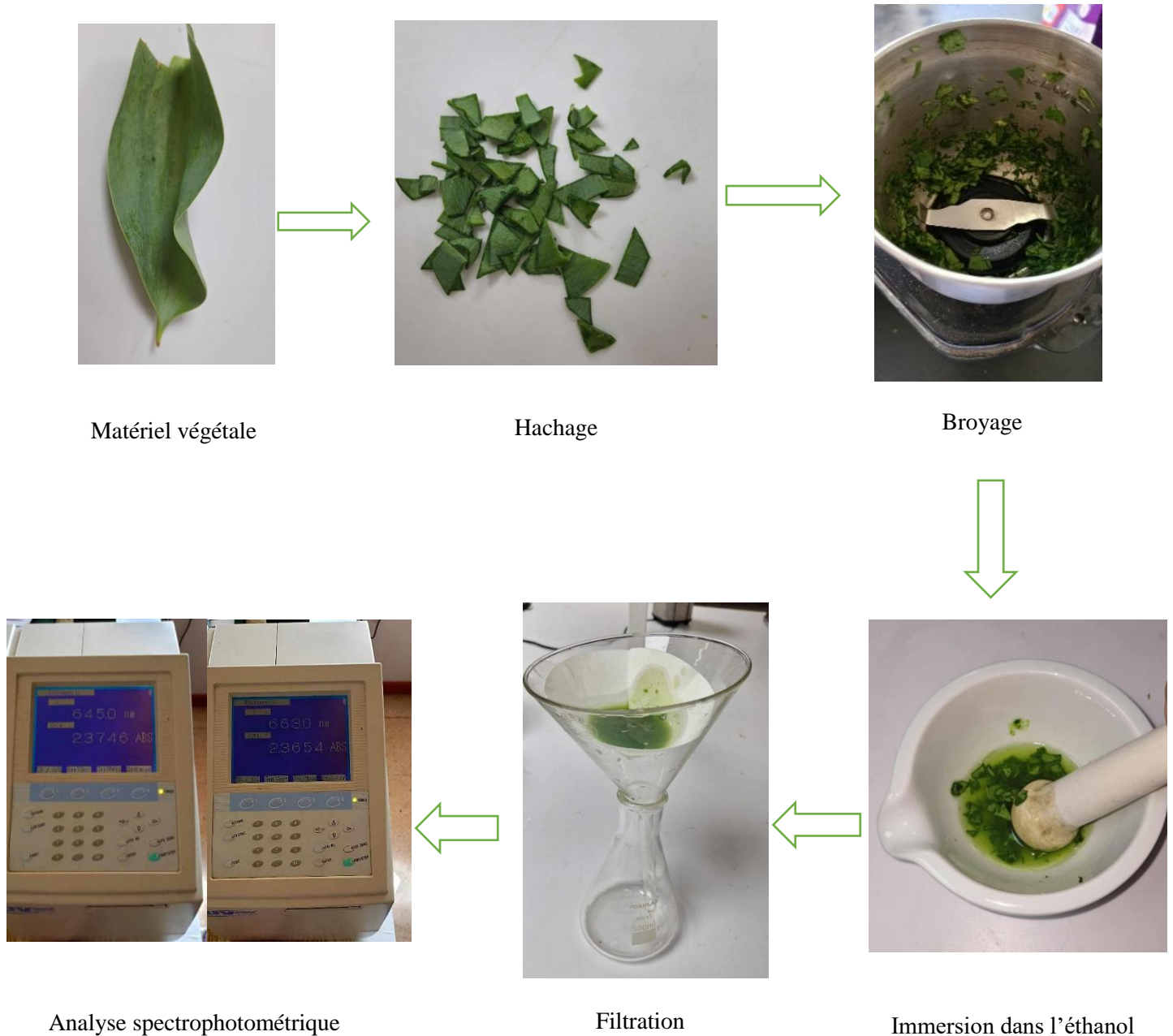


Figure 7. Extraction et Mesure du taux de chlorophylle

2. Analyse des données statistiques.

Une analyse de variance (ANOVA) suivie du test de Tukey (HSD) avec un intervalle de confiance de 95 % a été réalisée afin de comparer les valeurs obtenues pour les différents paramètres étudiés et de les regrouper en classes homogènes. L'ensemble des analyses statistiques a été effectué à l'aide du logiciel XLSTAT 2019 (Addinsoft, 2019, XLSTAT Statistical Data Analysis Solution, Paris, France).

Résultats et discussion

Résultats et discussion

1.Résultat

Tableau 5 . Analyse ANOVA des paramètres étudiés

Paramètre	Source de variation	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F-value	p-value	Conclusion
Longueur feuille	Traitements	5	12.86	2.57	85.21	< 0.001	Différences très significatives
	Résidus	24	0.72	0.03	-	-	-
Largeur feuille	Traitements	5	0.58	0.12	92.34	< 0.001	Différences très significatives
	Résidus	24	0.03	0.001	-	-	-
Ch total	Traitements	5	4,876,543.21	975,308.64	120.45	< 0.001	Différences très significatives
	Résidus	24	194,321.78	8,096.74	-	-	-

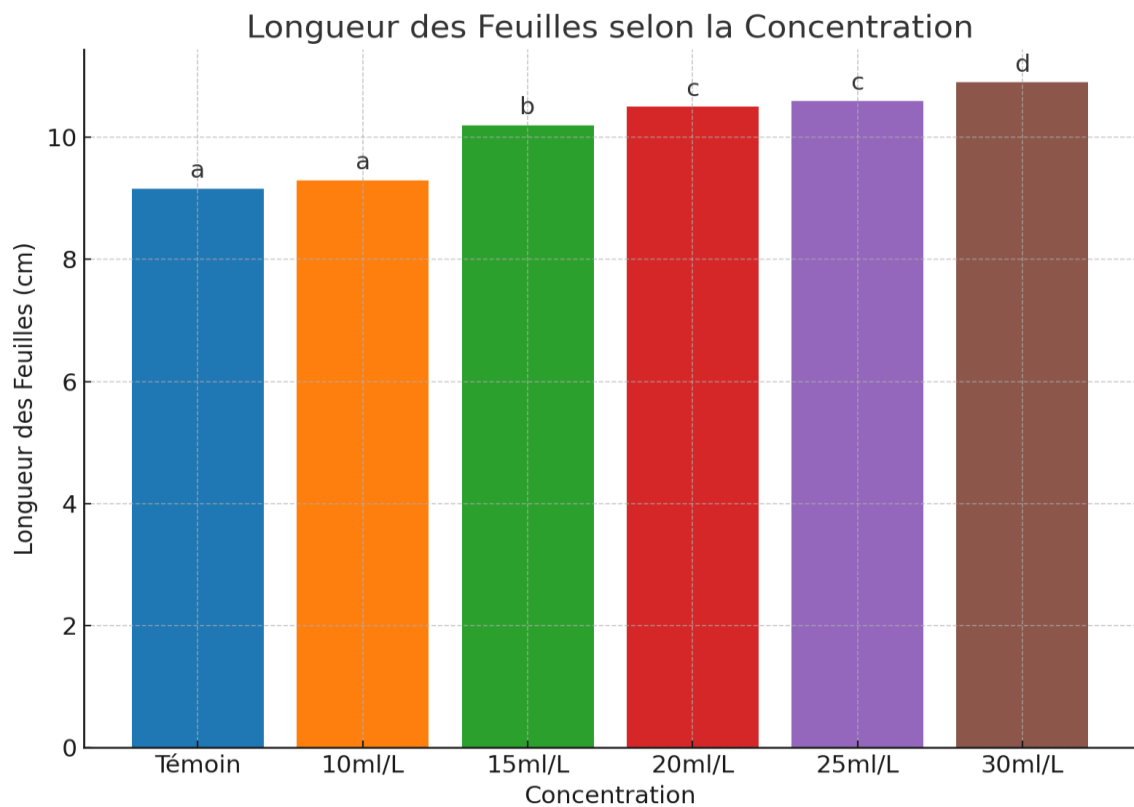


Figure 8. Effet de l'application de thé de vermicompost sur la longueur des feuilles
(AF :application foliaire,AR :application racinaire)

Résultats et discussion

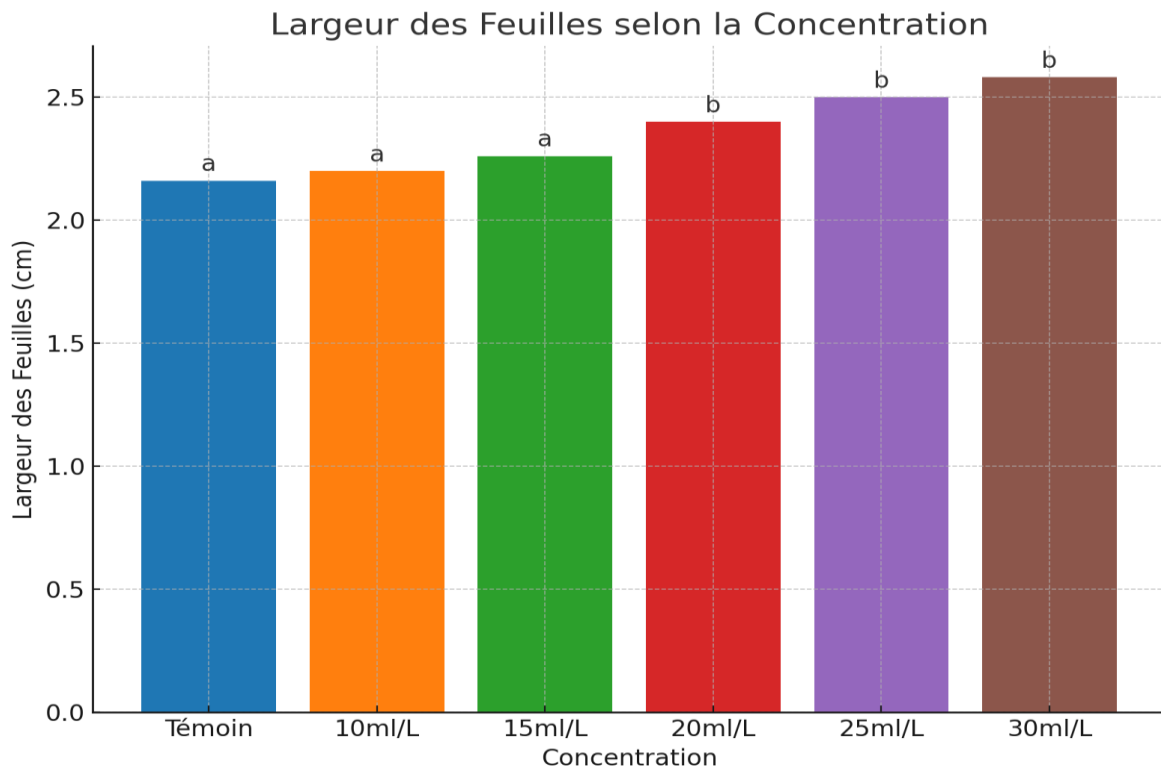


Figure 9. Effet de l'application de thé de vermicompost sur la largeur des feuilles (AF : application foliaire, AR : application racinaire)

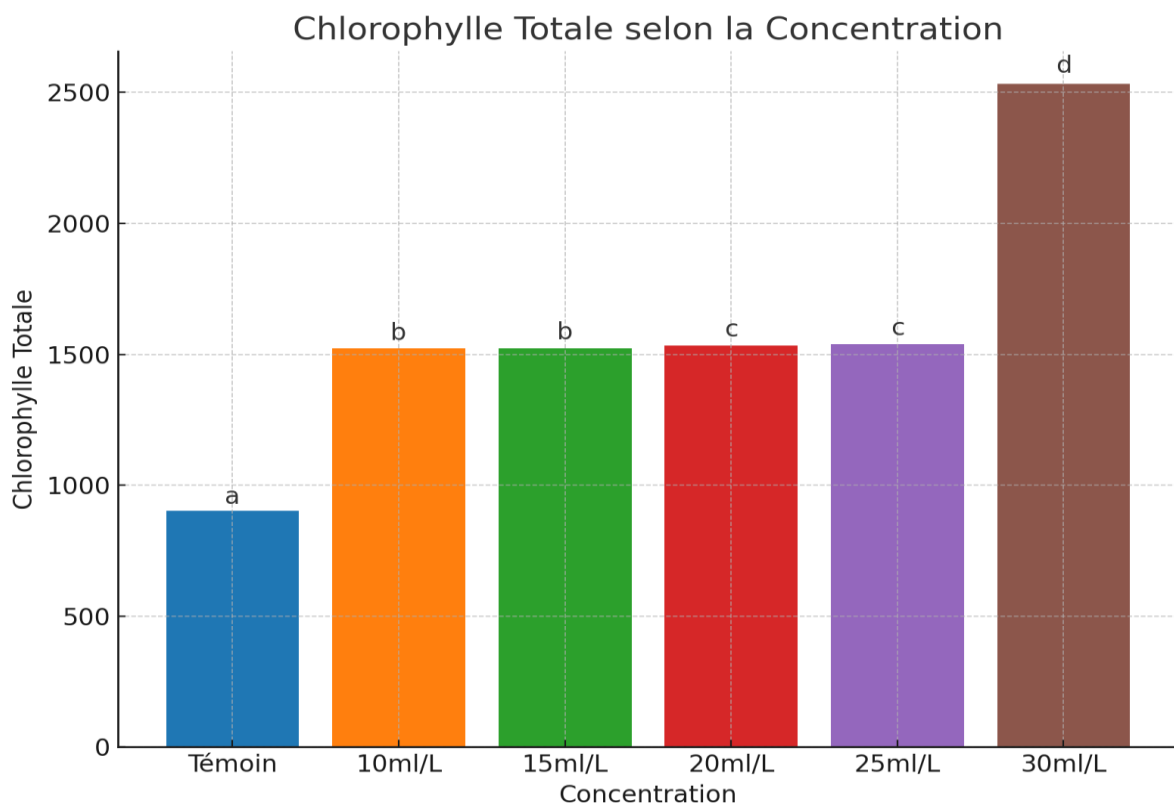


Figure 10. Effet de l'application de thé de vermicompost sur le taux de chlorophylle totale (AF : application foliaire, AR : application racinaire)

Résultats et discussion

L'étude sur les tulipes montre que l'application du produit a un effet dose-dépendant sur la longueur et la largeur des feuilles ainsi que sur la valeur "Ch Total" (probablement la chlorophylle totale). Pour la longueur des feuilles, les concentrations à partir de 15 ml/L (10,20 cm, groupe "b") entraînent une augmentation significative par rapport au témoin (9,16 cm, groupe "a"), avec un maximum à 30 ml/L (10,90 cm, groupe "d"). La largeur des feuilles ne présente une différence significative qu'à partir de 20 ml/L (2,40 cm, groupe "b"), sans variation notable entre 20, 25 et 30 ml/L. En ce qui concerne la valeur "Ch Total", une hausse marquée est observée dès 10 ml/L (1521,81, groupe "b"), avec une progression jusqu'à 30 ml/L (2531,87, groupe "d"), où l'effet est le plus prononcé. Ces résultats suggèrent que le produit, particulièrement à haute concentration (30 ml/L), améliore significativement la croissance foliaire et potentiellement la capacité photosynthétique des tulipes.

2. Discussion

Les biofertilisants sont des produits riches en nutriments qui jouent un rôle fondamental dans l'amélioration de l'activité biologique du sol, la stimulation de la croissance et du développement des plantes, ainsi que la protection contre les maladies et les ravageurs (Reganold, 1995 ; Rivera et al., 2012 ; Bozsik, 1996 ; Dabrowski et al., 2007 ; Godlewska et al., 2019 ; Abdalla, 2013 ; Hayat, 2018). Parmi ces biofertilisants, le thé de vermicompost se distingue par son efficacité et sa polyvalence. Il peut être appliqué soit en pulvérisation foliaire, soit en traitement racinaire, offrant ainsi une flexibilité d'utilisation selon les besoins des cultures.

Le thé de vermicompost est un liquide organique riche en nutriments, produit par la décomposition de la matière organique grâce à l'activité des vers de terre (Edwards & Arancon, 2004). Il est largement utilisé comme fertilisant en raison de sa teneur élevée en micro-organismes bénéfiques, en enzymes et en éléments nutritifs essentiels qui favorisent la croissance des plantes et améliorent la qualité du sol (Atiyeh et al., 2001). De nombreuses études ont démontré que son utilisation permet d'augmenter significativement les rendements agricoles, d'améliorer la qualité des fruits et légumes et de réduire l'incidence des maladies végétales (Kavitha & Kumar, 2013). Grâce à son origine organique et à sa capacité à recycler les matières naturelles, le thé de vermicompost constitue une solution écologique et durable pour l'agriculture.

L'analyse de la composition minérale du thé de vermicompost révèle une diversité d'éléments nutritifs indispensables à la croissance des plantes. Ces éléments peuvent être classés en macronutriments et en micronutriments, selon les quantités requises par les végétaux. Parmi les

Résultats et discussion

macronutriments, on retrouve l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le magnésium (Mg), le calcium (Ca) et le soufre (S), qui jouent un rôle fondamental dans le métabolisme et le développement des plantes.

L'azote est un élément clé dans la synthèse des protéines, des enzymes et des vitamines. Il est indispensable à la formation des acides aminés et intervient dans la production de chlorophylle, essentielle à la photosynthèse. Il favorise également la division cellulaire et le développement des tissus végétaux. Le phosphore, bien que peu mobile dans le sol, joue un rôle central dans le stockage et le transfert d'énergie sous forme d'ADP et d'ATP. Il est également impliqué dans la photosynthèse, la respiration cellulaire, ainsi que dans la synthèse des acides nucléiques et des phospholipides. Ce macronutriment est essentiel à la germination des graines, à la croissance des racines et à la maturation des fruits et des graines.

Le potassium, sous forme d'ions K^+ , est crucial pour la régulation de nombreuses fonctions physiologiques des plantes. Il intervient dans la synthèse des protéines, la croissance cellulaire et la photosynthèse. De plus, il améliore la résistance des plantes aux conditions environnementales défavorables, notamment les maladies, le froid et la sécheresse, en contribuant à la formation de parois cellulaires robustes. Il régule également la transpiration et facilite le transport des nutriments à travers le xylème et le phloème.

Le magnésium, absorbé sous forme d'ions Mg^{2+} , est un élément essentiel à la croissance des plantes. Il constitue un composant fondamental du chloroplaste et participe à la synthèse des pigments chlorophylliens, indispensables à la photosynthèse. En outre, il joue un rôle clé dans la synthèse des protéines et des acides nucléiques, ainsi que dans le métabolisme des sucres et de l'amidon. Le calcium, quant à lui, est un nutriment immobile disponible sous forme d'ions Ca^{2+} . Il est impliqué dans le développement des parois cellulaires et des racines, la synthèse des protéines et des enzymes, ainsi que dans la résistance des plantes aux maladies.

Le soufre est un élément indispensable à la structure et à la fonction des protéines végétales. Il est intégré dans des acides aminés soufrés tels que la cystéine et la méthionine, qui sont essentiels à la formation des protéines. De plus, il joue un rôle structurel dans les sulfolipides, qui participent à la stabilité des membranes des chloroplastes et influencent la photosynthèse. Certains facteurs environnementaux, tels que la salinité et la carence en phosphore, peuvent moduler l'accumulation de sulfolipides, suggérant une adaptation des plantes aux conditions de stress (Ramania et al., 2004 ; Maathuis & Diatloff, 2013).

Les micronutriments, bien que nécessaires en faibles quantités, sont tout aussi essentiels au développement des plantes. Le fer (Fe), par exemple, est un élément immobile présent sous forme de Fe^{2+} ou Fe^{3+} dans les tissus végétaux, avec une concentration moyenne de 100 ppm. Il

Résultats et discussion

joue un rôle crucial dans la pigmentation des feuilles, la respiration cellulaire, la synthèse et le maintien de la chlorophylle, ainsi que dans l'activation enzymatique (Uchida, 2000 ; Ronen, 2007 ; Hamdani, 2020). Le silicium (Si), quant à lui, favorise la santé des sols en réduisant la sorption du phosphore, en particulier dans des conditions de pH acide, augmentant ainsi sa disponibilité pour les plantes (Koski-Vähälä et al., 2001 ; Owino-Gerroh & Gascho, 2004).

Les résultats de cette étude confirment que le thé de vermicompost constitue un excellent biostimulant et fertilisant pour la culture de tulipes , Son utilisation représente une approche durable et écologique pour l'amélioration de la productivité agricole, tout en préservant la santé des sols et en réduisant la dépendance aux engrais chimiques.

Conclusion

Conclusion

Cette étude met en évidence les effets positifs du thé de vermicompost sur différents paramètres de croissance chez les tulipes.

L'analyse des résultats révèle une influence dose-dépendante particulièrement marquée sur trois indicateurs clés : la longueur des feuilles, leur largeur et le taux de chlorophylle totale. Concernant la longueur foliaire, on observe une augmentation progressive depuis les 9,16 cm du groupe témoin jusqu'à 10,90 cm pour la concentration maximale testée (30 ml/L), avec des différences statistiquement significatives entre les différents paliers de concentration.

L'impact sur la largeur des feuilles, bien que présent, apparaît moins prononcé. Une augmentation notable n'est détectée qu'à partir de 20 ml/L (2,40 cm contre 2,16 cm pour le témoin), sans progression supplémentaire significative aux concentrations supérieures.

Le paramètre le plus sensible semble être la teneur en chlorophylle totale, qui connaît une augmentation spectaculaire, passant de 901,02 unités pour le témoin à 2531,87 unités à la concentration de 30 ml/L, avec une progression régulière à chaque palier de concentration.

Cette étude démontre clairement les effets bénéfiques du thé de vermicompost sur la croissance et le développement des tulipes. Les résultats montrent une amélioration significative et dose-dépendante des principaux paramètres de croissance. La longueur des feuilles augmente progressivement pour atteindre +19% à la concentration maximale testée (30 ml/L), tandis que leur largeur s'accroît de 11% dès 20 ml/L. Le paramètre le plus sensible apparaît être la teneur en chlorophylle, qui connaît une augmentation remarquable de 181% à la plus forte concentration, suggérant une nette amélioration de la capacité photosynthétique des plantes traitées.

Ces résultats démontrent clairement le potentiel du thé de vermicompost comme alternative efficace aux engrais chimiques traditionnels. Son application permet non seulement d'améliorer significativement la croissance des plantes, mais représente également une approche plus respectueuse de l'environnement.

La flexibilité des modes d'application constitue un atout supplémentaire, offrant aux cultivateurs diverses options d'utilisation selon leurs contraintes techniques et leurs ressources disponibles.

Les perspectives de recherche et de développement qui découlent de ces résultats sont particulièrement prometteuses. D'un point de vue agronomique, l'optimisation des protocoles d'application pour différentes variétés ou fleurs et conditions de culture représente une piste importante à explorer.

Conclusion

Les applications pratiques potentielles sont nombreuses et variées. Le développement de formulations adaptées aux différents systèmes de culture, y compris l'agriculture urbaine et les productions hors-sol, pourrait considérablement élargir le champ d'utilisation de ce produit. L'intégration du thé de vermicompost dans les filières de production biologique constituerait une avancée significative pour une floriculture plus durable. L'évaluation de son impact sur la qualité des sols à long terme et l'analyse de son cycle de vie complet permettraient d'en affiner les bénéfices environnementaux.

Sur le plan économique, des études de rentabilité précises pourraient encourager son adoption par les producteurs professionnels. Le développement de marques et certifications spécifiques ajouterait de la valeur à cette approche écologique. Enfin, l'intégration de cette technique dans les programmes de développement agricole pourrait faciliter sa diffusion à plus large échelle. Ces différentes pistes ouvrent des perspectives enthousiasmantes pour le développement d'une floriculture à la fois performante et respectueuse de l'environnement, combinant qualité de production et durabilité écologique.

Références bibliographiques

- Aboulam, S. (2005). *Recherche d'une méthode d'analyse du fonctionnement des usines de tricompostage des déchets ménagers. Fiabilité des bilans matière* (ENSAT, Ed.). Toulouse: Thèse de Doctorat.
- Achsah, R. S., & Lakshmi Prabha, M. (2013). Potential of vermicompost produced from banana waste (*Musa paradisiaca*) on the growth parameters of *Solanum lycopersicum*. *International Journal of ChemTech Research*, 5(5), 2141–2153.
- Adhikari, K., Bhandari, S., & Acharya, S. (2020). An overview of *Azolla* in rice production: A review. *Food and Agriculture*, 2, 04-08.
- Ahmad, A., Aslam, Z., Bellitürk, K., Iqbal, N., Idrees, M., Nawaz, M. Y., Nawaz, M., Munir, M. K., Kamal, A., Ullah, E., Jamil, M. A., Akram, Y., Abbas, T., & Aziz, M. M. (2021a). Earthworms and vermicomposting: A review on the story of black gold. *Journal of Innovative Sciences*, 7(1), 167-173. <https://dx.doi.org/10.17582/journal.jis/2021/7.1.167.173>
- Ahmad, A., Aslam, Z., Bellitürk, K., Iqbal, N., Naeem, S., Idrees, M., Kaleem, Z., Nawaz, M. Y., Nawaz, M., Sajjad, M., Rehman, M. U., Ramzan, H. N., Waqas, M., Akram, Y., Jamal, M. A., Ibrahim, M. U., Baig, H. A. T., & Kamal, A. (2021b). Vermicomposting methods from different wastes: An environment friendly, economically viable and socially acceptable approach for crop nutrition: A review. *International Journal of Food Science and Agriculture*, 5(1), 58-68. <https://doi.org/10.26855/ijfsa.2021.03.009>
- Aira, M., Monroy, F., & Domínguez, J. (2007). *Eisenia fetida* (Oligochaeta: Lumbricidae) modifies the structure and physiological capabilities of microbial communities improving carbon mineralization during vermicomposting of pig manure. *Microbial Ecology*, 54(4), 662–671. <https://doi.org/10.1007/s00248-007-9223-4>
- Algera, L. (1944). Over de opname van voedingsstoffen uit den bodem door de tulp. *Landb. Tijdschrift*, 56, 432-438.
- Amaki, W., & Hagiya, K. (1960a). Studies on fertilizer supply to tulips. I. The effects of varied amounts of three nutrient éléments on the growth of plants and the yield of bulbs. *Journal of the Horticultural Association of Japan*, 29, 157-162.
- Anonymous. (1966). *Tips voor de Bloembollenkweker, 2edeel*. Vereniging 'Proeftuin voor de Bloembollencultuur te Lisse, Rijkstuinbouwconsulentschap, Lisse, The Netherlands.
- Ansari, A. A., & Ismail, S. A. (2012). Earthworms and Vermiculture Biotechnology. In S. Kumar (Ed.), *Management of Organic Waste* (p. 11). INTECH.
- Antil, R. S., Raj, D., Narwal, P. R., & Singh, J. P. (2013). Evaluation of maturity and stability parameters of composts prepared from organic wastes and their response to

Références bibliographiques

- wheat. *Waste and Biomass Valorization*, 4, 95–104. <https://doi.org/10.1007/s12649-012-9141-7>
- Aslam, Z., & Ahmad, A. (2020). Effects of vermicompost, vermi-tea and chemical fertilizer on morpho-physiological characteristics of maize (*Zea mays* L.) in Suleymanpasa District, Tekirdag of Turkey. *Journal of Innovative Sciences*, 6, 41–46. <https://doi.org/10.17582/journal.jis/2020/6.1.41.46>
- Aslam, Z., Ahmad, A., Bellitürk, K., Iqbal, N., Idrees, M., Rehman, W. U., Akbar, G., Tariq, M., Raza, M., Riasat, S., & Rehman, S. (2020). Effects of vermicompost, vermi-tea and chemical fertilizer on morphophysiological characteristics of tomato (*Solanum lycopersicum*) in Suleymanpasa District, Tekirdag of Turkey. *Pure and Applied Biology*, 9, 1920–1931. <https://doi.org/10.19045/bspab.2020.90205>
- Atiyeh, R. M., Edwards, C. A., Subler, S., & Metzger, J. D. (2001). Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: Effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource Technology*, 78(1), 11–20. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00172-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00172-5)
- Atiyeh, R. M., Lee, S. S., Edwards, C. A., Arancon, N. Q., & Metzger, J. (2002). The influence of humic acid derived from earthworm-processed organic waste on plant growth. *Bioresource Technology*, 84, 7–14. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(02\)00017-2](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(02)00017-2)
- Avnimelech, Y., Bruner, M., Ezrony, I., Sela, R., & Kochba, M. (1996). Stability indexes for municipal solid waste compost. *Compost Science and Utilization*, 4(2), 13–20. <https://doi.org/10.1080/1065657X.1996.10701825>
- Bailey, L. H. (1949). *Manual of cultivated plants*. Macmillan.
- Bajal, S., Subedi, S., & Baral, S. (2019). Utilisation des déchets agricoles comme substrats pour le vermicompostage. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 12(8), 79–84.
- Barik, T., Gulati, J. M. L., Garnayak, L. M., & Bastia, D. K. (2011). Production of vermicompost from agricultural wastes. *Agricultural Reviews*, 31(3), 172–183.
- Behera, S., Jyotirmayee, B., Mandal, U., Mishra, A., Mohanty, P., & Mahalik, G. (2022). Effect of organic fertilizer on growth, yield and quality of *Pisum sativum* L.: A review. *Ecology, Environment and Conservation*, 28, 233–241. <https://doi.org/10.3923/sjsres.2020.327.335>
- Benkenstein, H., Nehl, H., Peschke, H., & Richter, P. (1978). Zur Stickstoffdüngung von Tulpen. 2. Mitteilung: Einfluss des Zeitpunktes der Stickstoffgabe. *Archiv für Gartenbau*, 26, 323–332.

Références bibliographiques

- Benschop, M. (1980a). Growth and development of tulip cv. Apeldoorn from planting until emergence. *Acta Horticulturae*, 109, 189-196.
- Benschop, M. (1980b). Photosynthesis and respiration of *Tulipa* sp. cultivar 'Apeldoorn.' *Scientia Horticulturae*, 12, 361-375.
- Bertoldi, M., et al. (1984). In: *Composting of Agricultural Wastes* (J. K. R. Gasser, Ed.). Elsevier, London, pp. 27-40.
- Blaauw, A. H. (1938). De beteekenis van den grondwaterstand voor de Bloembollencultuur. *Verhandelingen Koninklijke Akademie van Wetenschappen (Amsterdam)*, 2(37), 1-91.
- Botschantzeva, Z. P. (1982). *Tulips: Taxonomy, morphology, cytology, phytogeography, and physiology* (Trans. and ed. by H. Q. Varekamp). A. A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- Bouché, M. B. (1972). *Lombriciens de France, écologie et systématique*. INRA, Paris.
- Celik, A., Belliturk, K., & Sakin, E. (2020). Agriculture friendly bio fertilizers in waste management: Vermicompost and biochar. In M. F. Baran (Ed.), *New Approaches and Applications in Agriculture* (pp. 19-44). Iksad Publications.
- Chaoui, H. (2010). Vermicompostage (ou lombricompostage): Le traitement des déchets organiques par les vers de terre. *Fiche Technique*, Vol. 10-010, p. 8. Ontario: Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires.
- Cheal, W. F., & Hewitt, E. J. (1962). Effects of major nutrients on two varieties of tulip grown in sand culture. *Journal of Horticultural Science*, 37, 134-140.
- Cheal, W. F., & Hewitt, E. J. (1963). Effects of mineral nutrition on the production of tulip bulbs. *Annals of Applied Biology*, 52, 493-502.
- Cheal, W. F., & Hewitt, E. J. (1964). The effects of rates of supply of nitrogen, phosphorus, potassium and magnésium on leaf and stem growth, flowering and 'topple' of Golden Harvest and Elmus tulip. *Annals of Applied Biology*, 53, 477-484.
- Cheal, W. F., & Winsor, G. W. (1966a). The effects of nitrogen, phosphorus, potassium and magnésium on the growth of tulips during the second season of treatment and on the Chemical composition of the bulbs. *Annals of Applied Biology*, 57, 287-299.
- Cheal, W. F., & Winsor, G. W. (1966b). The residual effect of previous nutritional treatments on the growth and composition of tulips supplied with complété nutrients in sand culture. *Annals of Applied Biology*, 57, 379-388.
- Cheal, W. F., & Winsor, G. W. (1968). The response of tulips (variety Elmus) to nitrogen and potassium. Part I: Sand culture. *Experimental Horticulture*, 18, 88-100.

Références bibliographiques

- Cheal, W. F., & Winsor, G. W. (1969). Response of tulips (variety Elmus) to nitrogen and potassium. Part II: Field-grown crops. *Experimental Horticulture*, *19*, 61-70.
- Cocozza, M. (1968). Effetti dell'ombreggiamento sulla produzione del tulipano con particolare riferimento alla lunghezza dello stelo. *Annali della Facoltà di Agraria, Università di Bari*, *22*, 387-401.
- Cronquist, A. (1968). *The evolution and classification of flowering plants*. Houghton Mifflin.
- Dabrowski, J. (1971). Influence of soil moistures on the yield of tulip bulbs (in Polish). *Acta Agrobotanica*, *24*, 171-204.
- Decaëns, T., Porco, D., Rougerie, R., Brown, G. G., & James, S. W. (2013). Potential of DNA barcoding for earthworm research in taxonomy and ecology. *Applied Soil Ecology*, *65*, 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.01.001>
- De Munk, W. J., Hoogeterp, P., & Sloothaak, G. (1980). Effects of nitrogen dressing on flower-bud blasting in tulips during forcing. *Acta Horticulturae*, *109*, 81-87.
- Delisle, S. (2011). *Les secrets d'une entreprise biologique durable*. Édition de printemps de Québec Vert.
- Dominguez, J., Edwards, C. A., & Subler, S. (1997). A comparison of vermicomposting and composting. *BioCycle*, *38*, 57–59.
- Dominguez, J., Edwards, C. A., & Dominguez, J. (2001). The biology and population dynamics of *Eudrilus eugeniae* (Kinberg) (Oligochaeta) in cattle waste solids. *Pedobiologia*, *45*(4), 341–353.
- Domínguez, J. (2004). State-of-the-art and new perspectives on vermicomposting research. In *Earthworm Ecology* (2nd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420039719>
- Domínguez, J., & Gómez-Brandón, M. (2005). Vermicomposting: Composting with Earthworms to Recycle Organic Wastes. In *Management of Organic Waste* (p. 20).
- Dominguez, J., Aira, M., & Gomez-Brandon, M. (2010). Chapter 5: Vermicomposting: Earthworms Enhance the Work of Microbes. In *Microbes at Work: From Wastes to Resources* (pp. 1–329). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-04043-6>
- Dominguez, J., & Edwards, C. A. (2011). Chapter 3: Biology and Ecology of Earthworm Species Used for Vermicomposting.
- Edwards, C. A., & Burrows, I. (1988). *The Potential of Earthworms in Composting Organic Wastes*. SPB Academic Publishing.
- Edwards, C. A. (1998). In: *Earthworm Ecology* (C. A. Edwards, Ed.). CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 327-354.

Références bibliographiques

- Edwards, C. A., & Bohlen, P. J. (1996). *Biology and Ecology of Earthworms* (3rd ed.). Chapman and Hall, London.
- Edwards, C. A., & Arancon, N. Q. (2004). *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management*. CRC Press.
- Ekholm, P., Reinivuo, H., Mattila, P., Pakkala, H., Koponen, J., Happonen, A., Hellstrom, J., & Ovaskainen, M. L. (2007). Changes in the mineral and trace element contents of cereals, fruits and vegetables in Finland. *Journal of Food Composition and Analysis*, *20*, 487-495. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2007.02.007>
- Fodor, B., Márta, K., & Zsoldos, L. (1976). Effect of manuring in tulip bulbs as to crop (Hungarian). *Kertészeti Egyetem Közleményei*, *40*, 387-394.
- Francis, F., Haubruge, E., Thang, P. T., Van Kinh, L., Lebailly, P., & Gaspar, C. (2003). Technique de lombriculture au Sud Vietnam. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, *7*(3-4), 1-10.
- Gajalakshmi, S., & Abassi, S. A. (2004). Earthworms and Vermicomposting. *International Journal of Biotechnology*, *3*, 486-494. <http://hdl.handle.net/123456789/5894>
- Garg, P., Gupta, A., & Satya, S. (2006). Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. *Bioresource Technology*, *97*, 391-395. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.03.009>
- Garg, V. K., & Gupta, R. (2009). Vermicomposting of agro-industrial processing waste. In *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation* (pp. 431-456). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9942-7_24
- Garg, V. K., & Gupta, R. (2011). Optimization of cow dung spiked pre-consumer processing vegetable waste for vermicomposting using *Eisenia fetida*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *74*(1), 19-24. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.09.015>
- Gates, G. E. (1972). *Burmese Earthworms: An Introduction to the Systematics and Biology of Megadrile Oligochaetes with Special Reference to Southeast Asia*. Transactions of the American Philosophical Society, *62*, 1-326.
- Gerber, H. S. (1983). *Major Insect and Allied Pests of Vegetables in British Columbia*. British Columbia Ministry of Agriculture and Food Publication, 83-7, 69pp.
- Gomez-Brandon, M., Lazcano, C., & Domínguez, J. (2008). The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. *Chemosphere*, *70*, 436-444. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.06.065>
- Govaerts, R. (2001). How many species of seed plants are there? *Taxon*, *50*, 1085-1090.

Références bibliographiques

- Grattepanche, N. (2005). Le lombricompostage: principe et applications. *Echo-MO*, 55, 3–6.
- Graves, R. E., & Hattemer, G. (2000). Chapter 2: Composting. In *USDA National Engineering Handbook* (p. 88).
- Hagiya, K., & Amaki, W. (1966a). Nutritional studies on tulips. III. Seasonal changes in the absorption of three major éléments and water. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 35, 170-176.
- Hagiya, K., & Amaki, W. (1966b). Nutritional studies on tulips. IV. The leaching of three major éléments from the soil during the growing season. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 35, 309-316.
- Hallatt, L. (1992). Moisture requirements in the life cycle of *Perionyx excavatus* (Oligochaeta). *Soil Biology and Biochemistry*, 24(12), 1333-1340.
- Hanks, G. R., & Rees, A. R. (1979). Photoperiod and tulip growth. *Journal of Horticultural Science*, 54, 39-46.
- Hansen, H. (1976). Studies on the growth pattern of tulip (Danish). *Tidsskrift for Planteavl*, 80, 869-892.
- Hartmann, M., Frey, B., Mayer, J., Mäder, P., & Widmer, F. (2015). Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. *ISME Journal*, 9, 1177-1194. <https://doi.org/10.1038/ismej.2014.210>
- Hendriksen, N. B. (1990). *Biological Fertility Soils*, 10, 17-21.
- Hewitt, E. J., & Miles, P. (1954). The effects of deficiencies and excesses of some mineral nutrients on the growth of tulip and daffodil bulbs in sand culture. *Journal of Horticultural Science*, 29, 237-244.
- Hoog, M. H. (1973). On the origin of *Tulipa*. In *Lilies and other Liliaceae* (pp. 47-64). Royal Horticultural Society, London, England.
- Ikarashi, T. (1980). Studies on the physiological disorder, so-called 'Iron-uke' and 'Kubiore' in tulip plants (Japanese). *Memoirs of the Faculty of Agriculture, Niigata University*, 17, 1-92.
- Ikarashi, T., & Baba, A. (1977). Studies on the physiological disorder, so-called 'Iron-uke' and 'Kubiore' in tulip plants. V. Diagnosis of boron deficiency in field tulip by soil testing and plant analysis (Japanese). *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 46, 81–90.
- Ismail, S. A. (1997). *Vermicology: The Biology of Earthworms*. Orient Longman, India.

Références bibliographiques

- Jaipaul, S. S., Dixit, A. K., & Sharma, A. K. (2011). Growth and yield of capsicum (*Capsicum annum*) and garden pea (*Pisum sativum*) as influenced by organic manures and biofertilizers. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 81(7), 637-642.
- Jennings, N. T., & De Hertogh, A. A. (1977). The influence of preplanting dips and postplanting temperatures on root growth and development of nonprecooled tulips, daffodils and hyacinths. *Scientia Horticulturae*, 6, 157–166.
- Kaviraj, & Sharma, S. (2003). Municipal solid waste management through vermicomposting employing exotic and local species of earthworm. *Bioresource Technology*, 90(2), 169-173. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00123-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00123-8)
- Korav, S., Malannavar, A. B., & Sharma, L. (2021). A review: Vermicomposting: An effective option for agriculture waste management. *Biological Forum – An International Journal*, 13(2), 211-219.
- Kraaijenga, D. A. (1960). Groeimetingen bij de tulpebol. *Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen*, 60, 1–53.
- Le Nard, M., & Cohat, J. (1968). Influence des températures de conservation des bulbes sur l'elongation, la floraison et la bulbification de la tulipe (*Tulipa gesneriana* L.). *Annales de l'Amélioration des Plantes*, 18, 181-215.
- Le Nard, M. (1972). Incidence de sequence de hautes et basses températures sur la differenciation des bourgeons, l'enracinement et la bulbification chez la tulipe. *Annales de l'Amélioration des Plantes*, 22, 39-59.
- Le Nard, M. (1980). Influence de differents traitements thermiques sur l'intensite de l'induction de la bulbification et sa suppression chez le bulbe de Tulipe. *Annales de l'Amélioration des Plantes*, 30, 455-468.
- Le Nard, M., & De Hertogh, A. A. (1993). *Tulipa*. In A. A. De Hertogh & M. Le Nard (Eds.), *The physiology of flower bulbs* (pp. 617–682). Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Lori, M., Symnaczik, S., Mäder, P., De Deyn, G., & Gattinger, A. (2017). Organic farming enhances soil microbial abundance and activity—A meta-analysis and meta-regression. *PLoS ONE*, 12(7), e0180442. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180442>
- Medany, M. (2011). *Vermiculture in Egypt: Current development and future potential*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for the Near East, Cairo, Egypt, 99pp.
- Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. (1977a). *Tulip bulb production*. Booklet B2298. Alnwick, England.

Références bibliographiques

- Mitchell, A. (1997). Production of *Eisenia fetida* and vermicompost from feed-lot cattle manure. *Soil Biology and Biochemistry*, 29, 763–766. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(96\)00022-3](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(96)00022-3)
- Morin, É. (2004). Le lombricompostage, une façon écologique de traiter les résidus organiques. In *Guide pratique* (pp. 1–20). Éditions P.-M. P.
- Mulder, D. P. Jax. (1956). Stikstofbemesting in de bloembollenteelt. *Mededelingen Directie Tuinbouw*, 19, 706-715.
- Munroe, G. (2004). *Guide du lombricompostage et de la lombriculture à la ferme*. Centre d'agriculture biologique du Canada (CRAAQ), 37pp.
- Nagavallema, K. P., Wani, S. P., Lacroix, S., Padmaja, V. V., Babu, Rao, M., & Sahrawat, K. L. (2004). Vermicomposting: Recycling wastes into valuable organic fertilizer. *Global Theme on Agrecosystems Report no. 8*. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 20pp.
- Nair, J., Mathew, K., & Goen, H. (2007). Earthworms and composting worms—Basics towards composting applications. Paper presented at ‘Water for All Life—A Decentralised Infrastructure for a Sustainable Future’, March 12-14, 2007, Marriott Waterfront Hotel, Baltimore, USA.
- Nath, G., Singh, K., & Singh, D. (2009). Chemical analysis of vermicomposts/vermiwash of different combinations of animal, agro and kitchen wastes. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(4), 3671–3676.
- Nehl, H., & Benkenstein, H. (1978). Zur Stickstoffdüngung von Tulpen. 1. Mitteilung: Einfluss steigender Stickstoffgabe auf den Zwiebelertrag. *Archiv für Gartenbau*, 26, 315-321.
- Niimi, Y. (1978). Influence of low and high temperatures on the initiation and the development of a bulb primordium in isolated tulip embryos. *Scientia Horticulturae*, 8, 361-371.
- Niimi, Y. (1980). Histological observations on the initiation of the vegetative apex in tulip seeds cultured under low temperatures. *Scientia Horticulturae*, 13, 161-171.
- Nosheen, S., Ajmal, I., & Song, Y. (2021). Microbes as biofertilizers, a potential approach for sustainable crop production. *Sustainability*, 13, 1868. <https://doi.org/10.3390/su13041868>
- Nygaard Sorensen, J., & Thorup-Kristensen, K. (2011). Plant-based fertilizers for organic vegetable production. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 174, 321-332. <https://doi.org/10.1002/jpln.200900321>

Références bibliographiques

- Olle, M. (2019). Vermicompost, its importance and benefit in agriculture. *Journal of Agricultural Science*, 2019, 93–98.
- Pagaria, P., & Totwat, K. L. (2007). Effects of press mud and spent wash in integration with phosphogypsum on metallic cation build-up in the calcareous sodic soils. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 55(1), 52-57.
- Panday, S. N., & Yadav, A. (2009). Effect of vermicompost amended alluvial soil on growth and metabolic responses of rice (*Oryza sativa* L.) plants. *Journal of Eco-friendly Agriculture*, 4(1), 35–37.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37, 637–669.
- Peres, G., Cluzeau, D., Hotte, H., & Delaveau, N. (2012). Fiche indicateur: les vers de terre. *ADEME*, 4.
- Pérès, G., Vandembulcke, F., Guernion, M., Hedde, M., Beguiristain, T., Douay, F., ... Cluzeau, D. (2011). Earthworm indicators as tools for soil monitoring, characterization and risk assessment. An example from the national Bioindicator programme (France). *Pedobiologia*, 54(SUPPL.), S77–S87. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2011.09.015>
- Pearce, T. G., Oates, K., & Carruthers, W. J. (1990). A fossil earthworm embryo (Oligochaeta) from beneath a Late Bronze Age midden at Potterne, Wiltshire. *Journal of Zoology*, 220(4), 537–542.
- Pirsaheb, M., Khosravi, T., & Sharafi, K. (2013). Domestic scale vermicomposting for solid waste management. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2(1). <https://doi.org/10.1186/2251-7715-2-4>
- Ploegman, C. (1977). Waterkwaliteit en bloembollenteelt. 1.C.W. Wageningen Nota 954.
- Ploegman, C. (1978). Het chloride-ion in de grond in relatie tot de opbrengst bij tulpen. *Landbouwkundig Tijdschrift*, 90, 40-43.
- Raj, D., & Singh, R. (2012). Evaluation of maturity and stability parameters of composts prepared from farm wastes. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58(8), 817–832. <https://doi.org/10.1080/03650340.2011.588598>
- Ramakrishnan, B., Maddela, N. R., Venkateswarlu, K., & Megharaj, M. (2021). Organic farming: Does it contribute to contaminant-free produce and ensure food safety? *Science of the Total Environment*, 769, 145079. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145079>
- Ramesh, P., Singh, M., & Rao, A. S. (2005). Organic farming: Its relevance to the Indian context. *Current Science*, 88(4), 561-568. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyaa018>

Références bibliographiques

- Rasmussen, E. (1974). Different nitrogenous fertilizers to tulips. 1966–1971 (in Danish). *Tidsskrift for Planteavl*, 78, 183-190.
- Rasmussen, E. (1976). The effects of nitrogen and phosphorus and of potassium as sulphate and chloride on the yield of forcing bulbs of tulip (in Danish). *Tidsskrift for Planteavl*, 80, 569-575.
- Razafindrakoto, M. (2012). *Etude des Annélides Oligochètes de Madagascar: Taxonomie, Distribution et Ecologie*. Thèse de Doctorat, Université d'Antananarivo.
- Reddy, M. V., & Pasha, M. (1993). Influence of rainfall, temperature and some soil physicochemical variables on seasonal population structure and vertical distribution of earthworms in two semi-arid tropical grassland soils. *International Journal of Biometeorology*, 37, 19-26. <https://doi.org/10.1007/BF01214364>
- Reinecke, A. J., Viljoen, S. A., & Saayman, R. J. (1992). The suitability of *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus* and *Eisenia fetida* (Oligochaeta) for vermicomposting in Southern Africa in terms of temperature requirements. *Soil Biology and Biochemistry*, 24(12), 1295–1307. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(92\)90147-B](https://doi.org/10.1016/0038-0717(92)90147-B)
- Roberts, M. J. (2000). *Edible and Medicinal Flowers*. Spearhead Publications, Claremont, United States of America.
- Roos, E., Mie, A., Wivstad, M., Salomon, E., Johansson, B., Gunnarsson, S., Wallenbeck, A., Hoffmann, R., Nilsson, U., Sundberg, C., & Watson, C. A. (2018). Risks and opportunities of increasing yields in organic farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(2), 1-21. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0489-3>
- Rostami, R. (2011). Vermicomposting. *Integrated Waste Management*, II(1), 13. <https://doi.org/10.2307/3964883>
- Schmalfeld, & Carolus. (1965). This section will review the occurrence of all Chemical constituents except endogenous hormones, which will be covered in the next section.
- Sellami, F., Hachicha, S., Chtourou, M., Medhioub, K., & Ammar, E. (2008). Maturity assessment of composted olive mill wastes using UV spectra and humification parameters. *Bioresource Technology*, 99, 6900–6907. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.01.055>
- Shanthi, K. (2018). Evaluation of maturity parameters of vermicomposts prepared from different biodegradable wastes. *International Journal of Life Sciences*, 6(2), 487–493.
- Sheridan, W. F. (1971). Studies on nuclear proteins of tulip: Nuclear isolation and protein fractionation. *Acta Horticulturae*, 23, 142-149.

Références bibliographiques

- Sierra, J., Loranger-Merciris, G., & Solvar, F. (2011). Le vermicompostage en Guadeloupe. *INRA*, 1–5.
- Silawat, N., Chouhan, S., Sairkar, P., Garg, R. K., Vijay, N., & Mehrotra, N. N. (2010). Estimation of bacterial diversity in soil and vermicompost using sole source carbon utilization (SSCU) profile. *African Journal of Microbiology Research*, 4(4), 255–266.
- Singh, J. (1997). Habitat preferences of selected Indian earthworm species and their efficiency in reduction of organic material. *Soil Biology and Biochemistry*, 29, 585–588. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(96\)00208-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(96)00208-9)
- Singh, N. (2006). Effect of initial substrate pH on vermicomposting using *Perionyx excavatus* (Perrier, 1872). *Applied Ecology and Environmental Research*, 4, 85-97.
- Singh, J., Kaur, A., & Vig, A. P. (2014). Bioremediation of distillery sludge into soil-enriching material through vermicomposting with the help of *Eisenia fetida*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 174(4), 1403–1419. <https://doi.org/10.1007/s12010-014-1116-7>
- Singh, A., & Sharma, S. (2002). Composting of crop residues through treatment with microorganisms and subsequent vermicomposting. *Bioresource Technology*, 85, 107–111. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00097-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00097-7)
- Sinha, R. K., Patel, U., Soni, B. K., & Li, Z. (2014a). Earthworms for safe and useful management of solid wastes and wastewaters, remediation of contaminated soils and restoration of soil fertility, promotion of organic farming and mitigation of global warming: A review. *Journal of Environment and Waste Management*, 1(1), 011–025.
- Sinha, R. K., Hahn, G., Soni, B. K., & Agarwal, S. (2014b). Sustainable agriculture by vermiculture: Earthworms and vermicompost can ameliorate soils damaged by agrochemicals, restore soil fertility, boost farm productivity and sequester soil organic carbon to mitigate global warming. *International Journal of Agricultural Research and Review*, 2(8), 99–114.
- Skalska, E. (1964). Etude de la nutrition des tulipes par la méthode des analyses de plantes. In: *Colloque européen sur la contrôle de la nutrition minérale et la fertilisation*. Institut Agronomique Méditerranéen, Montpellier, France.
- Strietman, H. (1971). De invloed van infiltratie met zout water op het chloride gehalte van het grondwater en de bolproductie. *Bedrijfsontwikkeling*, 2, 68-73.
- Strietman, H., & Oud, P. (1978). Berekening bij tulpen. *Bloembollencultuur*, 88, 1053-1054.

Références bibliographiques

- Surekha, K., Jhansilakshmi, V., Somasekhar, N., Latha, P. C., Kumar, R. M., Rani, N. S., Rao, K. V., & Viraktamath, B. C. (2010). Status of organic farming and research experiences in rice. *Journal of Rice Research*, 3(1), 23-35.
- Suthar, S., & Singh, S. (2008). Vermicomposting of domestic waste by using two epigeic earthworms (*Perionyx excavatus* and *Perionyx sansibaricus*). *International Journal of Environmental Science and Technology*, 5, 99–106. <https://doi.org/10.1007/BF03326002>
- Szlachetka, W. (1969). Effect of habitat on the crop tulip bulbs (*Tulipa gesneriana*) (Polish). *Acta Agrobotanica*, 22, 89-122.
- Thomas, L., & Singh, I. (2019). Microbial biofertilizers: Types and applications. In B. Giri, R. Prasad, Q. S. Wu, & A. Varma (Eds.), *Biofertilizers for Sustainable Agriculture and Environment* (pp. 1-19). Springer.
- Thompson, R., & Taylor, H. (1977). 23rd Annual Report 1976. *Scottish Horticultural Research Institute*, p. 33.
- Thompson, R., & Taylor, H. (1978). 24th Annual Report 1977. *Scottish Horticultural Research Institute*, pp. 40-41.
- Thompson, R., & Taylor, H. (1979). Field plots for the practical estimation of potential yield. *Scientia Horticulturae*, 10, 309-316.
- Tissot, R. E. (1980). Fertilization of *Tulipa gesneriana* cv. Paul Richter during forcing and field culture. MS Thesis, N.C. State University, Raleigh, N.C.
- Toussaint, C. G. (1968). Beregening bij tulpen op zandgrond. *Mededelingen Directie Tuinbouw*, 31, 212-222.
- Tsutsui, K. (1975). Nitrogen fertilization in tulip bulb production in Japan. *Acta Horticulturae*, 47, 347-352.
- Van der Boon, J. (1973). Stikstofbemestingsproeven bij tulp. *Rapport 1-1973*. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren, The Netherlands.
- Van der Boon, J. (1979). Magnesiumgebrek bij tulp op zandgrond. *Rapport 6-79*, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren, The Netherlands.
- Van der Meer, K. (1952). De bodemkartering van Nederland. XI. De Bloembollenstreek. *Verslagen Landbouwkundig Onderzoek Wageningen*, 582.
- Van der Valk, G. G. M. (1975). Hoeveel water gebruiken tulpen? *Bloembollencultuur*, 85, 1019–1020.
- Van der Valk, G. G. M. (1982). Beregenen. In: *Beregenen in de Bloembollenteelt*. Ministerie van Landbouw en Visserij; Consulentenschap Algemene Dienst Bloembollenteelt (in press).

Références bibliographiques

- Van der Valk, G. G. M., & Schoneveld, J. A. (1963). Watervoorziening bij de teelt van tulpen. *Mededelingen R.T.C. Hoorn*, 7, 70-73.
- Van der Valk, G. G. M., & Schoneveld, J. A. (1964). De reactie van tulpen op grondwaterdiepte en profielopbouw (English summary). *Mededelingen Directie Tuinbouw*, 27, 631-639.
- Van Ouwerekerk, C. (1969). Invloed van de relatieve boldiepte op de opbrengst van tulpen. *Tuinbouw Mededelingen*, 32, 398-403.
- Vanderboon, J. (1972). Tijdstip van stikstofopname door de tulp. *Stikstof*, 6, 459-465.
- Wassink, E. C., & Wassink-Van Lummel, L. E. A. (1952). The action of light intensity and night temperature on flowering of bulbous irises (Wedgwood) and tulips. *Report of the XIII International Horticultural Congress*, pp. 969-981.
- Wassink, E. C. (1965). Light intensity effects in growth and development of tulips in comparison with those in *Gladiolus*. *Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen*, 65(15), 1-21.
- Wong, J. M. C., Fang, M., Li, G. X., & Wong, M. H. (1997). Feasibility of using coal ash residue as composting materials for sewage sludge. *Environmental Technology*, 18, 563-568. <https://doi.org/10.1080/09593331808616572>
- Wu, L., Ma, L. Q., & Martinez, G. A. (2000). Comparison of methods for evaluating stability and maturity of biosolids compost. *Journal of Environmental Quality*, 29, 424-429. <https://doi.org/10.2134/jeq2000.00472425002900020007x>
- Yadav, S., Singh, S., & Gupta, C. (2022). Environmental benign synthesis of some novel biologically active 7-hydroxy and methyl coumarin derivatives. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 5, 100260. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2022.100260>
- Zazouli, M. A., Ardebilian, M. B., Ghahramani, E., & Alahabad, G. M. (2009). *Principles of Compost Production Technology*. Khaniran, Tehran.
- Zucconi, F., Forte, M., Monac, A., & De Beritodi, M. (1981). Biological evaluation of compost maturity. *Biocycle*, 22, 27-29.

Résumé

Cette étude démontre l'efficacité du thé de vermicompost comme biostimulant naturel pour la culture des tulipes. Les résultats révèlent une amélioration dose-dépendante significative des paramètres de croissance végétale, particulièrement marquée sur trois aspects clés. La longueur des feuilles montre une augmentation progressive atteignant +19% à la concentration maximale testée (30 ml/L). La largeur foliaire présente une croissance plus modérée (+11%) observable dès 20 ml/L. L'effet le plus spectaculaire concerne la teneur en chlorophylle totale (+181% à 30 ml/L), indiquant une nette stimulation de l'activité photosynthétique. Ces données confirment le potentiel de ce produit comme alternative durable aux engrais chimiques, ouvrant des perspectives pour l'optimisation des pratiques en floriculture écologique.

Mots-clés : thé de vermicompost, biostimulant naturel, tulipes, croissance végétale, photosynthèse, agriculture durable, alternatives aux engrais, floriculture écologique

Abstract

This study demonstrates the efficacy of vermicompost tea as a natural biostimulant for tulip cultivation. Results reveal significant dose-dependent improvements in plant growth parameters, with three key effects: leaf length showed progressive increase (+19% at 30 ml/L), leaf width exhibited moderate growth (+11% from 20 ml/L), and total chlorophyll content displayed remarkable enhancement (+181% at 30 ml/L), indicating boosted photosynthetic activity. These findings validate its potential as a sustainable alternative to chemical fertilizers, offering promising applications for ecological floriculture practices.

Keywords : vermicompost tea, natural biostimulant, tulips, plant growth, photosynthesis, sustainable agriculture, fertilizer alternatives, ecological floriculture

ملخص

تثبت هذه الدراسة فعالية شاي الكمبوست الدودي كمنشط حيوي طبيعي لزراعة زهور التوليب. تكشف النتائج تحسناً ملحوظاً في معايير النمو النباتي يعتمد على الجرعة، مع ثلاث تأثيرات رئيسية: زيادة تدريجية في طول الأوراق +19% عند 30 مل/لتر، نمو معتدل في عرض الأوراق +11% عند 20 مل/لتر، وارتفاع مذهل في محتوى الكلوروفيل الكلي +181% عند 30 مل/لتر، مما يشير إلى تحفيز واضح لنشاط البناء الضوئي. تؤكد هذه البيانات إمكانات هذا المنتج ك بديل مستدام للأسمدة الكيميائية، مفتوحة آفاقاً جديدة لتحسين ممارسات زراعة الأزهار البيئية.

الكلمات المفتاحية: شاي الكمبوست الدودي، منشط حيوي طبيعي، زهور التوليب، النمو النباتي، البناء الضوئي، الزراعة المستدامة، بدائل الأسمدة، زراعة الأزهار البيئية