

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

FACULTE DES SCIENCES

CENTRE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN
SCIENCES DE LA VIE, SANTE ET
ENVIRONNEMENT

UNITE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN
SCIENCES DE LA VIE

DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE

DEPARTMENT OF BIOCHEMISTRY

LABORATOIRE DE PHYTOBIOCHIMIE ET D'ETUDE DES PLANTES MEDICINALES

LABORATORY OF PHYTOBIOCHEMISTRY AND STUDY OF MEDICINAL PLANTS

UNITE DE TRAITEMENT DES SEMENCES ET PROMOTION DE CROISSANCE DES CULTURES

SEED HEALTH AND GROWTH CROP PROMOTION UNIT

THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

FACULTY OF SCIENCE

CENTRE FOR RESEARCH AND
TRAINING IN GRADUATE
STUDIES IN LIFE, HEALTH AND
ENVIRONMENTAL SCIENCES

RESEARCH AND DOCTORATE
TRAINING UNIT IN LIFE
SCIENCES

Evaluation des qualités nutritionnelle et organoleptique de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) produite biologiquement

Mémoire rédigé en accomplissement partiel en vue de l'obtention du diplôme de Master en Biochimie

Option : Biotechnologie et Développement

Rédigé par :

MAHAMAT Adoum Mahamat

Matricule : 19V2042

Licencié ès Biosciences

Sous la direction de :

DAKOLE DABOY Charles, Ph. D

Maître de Conférences

Université de Yaoundé I



Année académique : 2024 - 2025

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

FACULTE DES SCIENCES

CENTRE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN
SCIENCES DE LA VIE, SANTE ET
ENVIRONNEMENT

UNITE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN
SCIENCES DE LA VIE



THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

FACULTY OF SCIENCE

CENTRE FOR RESEARCH AND
TRAINING IN GRADUATE
STUDIES IN LIFE, HEALTH AND
ENVIRONMENTAL SCIENCES

RESEARCH AND DOCTORATE
TRAINING UNIT IN LIFE
SCIENCES

DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE

DEPARTMENT OF BIOCHEMISTRY

LABORATOIRE DE PHYTOBIOCHIMIE ET D'ETUDE DES PLANTES MEDICINALES

LABORATORY OF PHYTOBIOCHEMISTRY AND STUDY OF MEDICINAL PLANTS

UNITE DE TRAITEMENT DES SEMENCES ET PROMOTION DE CROISSANCE DES CULTURES

SEED HEALTH AND GROWTH CROP PROMOTION UNIT

Evaluation des qualités nutritionnelle et organoleptique de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) produite biologiquement

Mémoire rédigé en accomplissement partiel en vue de l'obtention du diplôme de Master en Biochimie

Option : Biotechnologie et Développement

Rédigé par :

MAHAMAT Adoum Mahamat

Matricule : 19V2042

Licencié ès Biosciences

Sous la direction de :

DAKOLE DABOY Charles, Ph. D

Maître de Conférences

Université de Yaoundé I

Année académique : 2024 - 2025

DEDICACE

Je dédie ce travail à
MON PERE.



REMERCIEMENTS

La réalisation de ce mémoire bien qu'ancrée dans un effort personnel, est également le fruit d'un encadrement académique rigoureux, d'un accompagnement bienveillant et d'un soutien multiforme, sans lesquels ce travail n'aurait pu aboutir.

Je rends avant tout grâce à **ALLAH**, Seigneur de l'univers et Créateur de toute chose, dont la volonté, la bienveillance et la miséricorde m'ont permis de bénéficier de la santé, de la force mentale et des ressources nécessaires pour mener ce travail à son terme.

J'adresse mes sincères remerciements au **Pr. DAKOLE DABOY Charles**, encadreur principal de ce travail, pour sa disponibilité, son suivi rigoureux, ses orientations précieuses et la richesse de ses conseils. Sa rigueur scientifique et son humilité constituent pour moi un modèle d'excellence.

J'exprime également ma profonde gratitude au **Pr. NJAYOU Frédéric Nico**, Chef actuel du Département de Biochimie, pour son engagement et son dévouement, ainsi qu'au **Pr. MOUNDIPA FEWOU Paul**, ancien Chef du Département de Biochimie, pour son appui constant à notre formation académique et scientifique

Je remercie également au **Pr. FEKAM BOYOM Fabrice**, Chef du Laboratoire de Phyto-biochimie et d'Étude des Plantes Médicinales.

À l'ensemble des enseignants du Département de Biochimie de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I, je témoigne ma gratitude pour la qualité de la formation, la richesse des enseignements et l'encadrement scientifique tout au long de ces années.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mes aînés chercheurs et collaborateurs, en particulier **M. LEKINI Gérard** et **Mme OKALA Manuela**, pour leur soutien technique, leurs conseils judicieux et leurs remarques constructives à chaque étape de ce travail.

Je n'oublie pas ma famille en particulier mon frère aîné **M. MAHAMAT LAMINE Adoum**, dont le soutien financier constant, la sollicitude, l'attention fraternelle et l'engagement indéfectible ont été essentiels tout au long de mon parcours universitaire. Je souligne également l'apport de **MM. MOUSSA Adoum**, **MOUSTAPHA Adoum** et **SALEH Adoum**, dont les conseils, les encouragements et le soutien moral ont toujours été un grand appui dans mes efforts.

Enfin, à toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué à ce travail sans être citées ici, je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères et profonds.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	i
REMERCIEMENTS	ii
TABLE DES MATIERES	iii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES ANNEXES	ix
RESUME	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCTION	1
1. HYPOTHESE DE RECHERCHE	2
2. OBJECTIFS	2
2.1. Objectif général.....	2
2.2. Objectifs spécifiques	2
CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE	3
I.1. GENERALITES SUR LA TOMATE	3
I.1.1. Origine et taxonomie	3
I.1.2. Description botanique et écologique	4
I.1.3. Cycle végétatif et exigences agroécologiques	5
I.1.4. Les variétés de tomate	7
I.1.5. Tomate et qualité des fruits	9
I.1.6. Importance et utilisation	9
I.1.7. Contraintes liées à la production.....	10
I.2. GENERALITES SUR LES SOLS ET LA FERTILITE DU SOL	11
I.2.1. Les sols	11
I.2.1.1. Définition	11
I.2.1.2. Les sols du Cameroun	11
I.2.1.3. Les activités enzymatiques du sol	13
I.2.2. La fertilité du sol.....	14
I.2.2.1. Définition	14
I.2.2.2. Problèmes de fertilité des sols.....	14
I.2.3. Les fertilisants du sol	15

I.2.3.1. Définition et types de fertilisants	15
I.2.3.2. Effets des engrais chimiques sur l'environnement et la santé	16
I.3. GENERALITES SUR LE COMPOSTAGE ET LE COMPOST	17
I.3.1. Compostage	17
I.3.1.1. Définition	17
I.3.1.2. Les étapes du compostage.....	18
I.3.1.3. Les facteurs affectant le compostage	19
I.3.2. Compost.....	20
I.3.2.1. Définition	20
I.3.2.2. Caractéristiques d'un compost mature.....	20
I.3.2.3. Propriétés physico-chimiques du compost.....	20
I.3.2.4. Effets potentiels du compost sur les sols	21
I.3.2.5. Effets potentiels du compost sur les plantes	21
I.4. GENERALITES SUR LES INTRANTS	22
1.4.1. <i>Millettia laurentii</i>	22
1.4.1.1. Origine et taxonomie	22
1.4.1.2. Description botanique et écologique	23
1.4.1.3. Importance et utilisation.....	23
1.4.2. Coquilles d'œufs.....	24
1.4.2.1. Généralités	24
1.4.2.2. Importance et intérêts de l'utilisation des coquilles d'œufs.....	24
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES.....	26
II.1. MATERIEL.....	26
II.1.1. Matériel de base utilisé pour la conduite de l'étude.....	26
II.1.2. Autres matériels et équipements.....	26
II.1.3. Lieu d'expérimentation	26
II.2. METHODES.....	26
II.2.1. Préparation du compost.....	26
II.2.2. Caractérisation des composts produits et des mélanges compost/sol.....	29
II.2.2.1. Détermination des paramètres physico-chimiques	29
II.2.2.2. Détermination de la biomasse microbienne et des activités enzymatiques	34
II.2.3. Préparation du macérât aqueux à base de feuilles de <i>Millettia laurentii</i>	39
II.2.4. Criblage phytochimique du macérât aqueux de <i>Millettia laurentii</i>	40

II.2.5. Evaluation de l'effet du compost et du macérât aqueux sur les paramètres de croissance, la production, les qualités nutritionnelle et organoleptique de la tomate.....	42
II.2.5.1 Culture de la tomate.....	42
II.2.5.2. Evaluation des paramètres de croissance et de production des plants.....	44
II.2.5.3. Evaluation des qualités nutritionnelle et organoleptique de la tomate	45
II.2.6. Evaluation de la conservation des fruits de tomate	56
II.2.7. Analyse statistique.....	56
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	57
III.1. RESULTATS.....	57
III.1.1. Différentes variantes du compost produit	57
III.1.2. Caractérisation des paramètres physico-chimiques, de la biomasse microbienne et des activités enzymatiques des composts produits et des mélanges compost-sol.....	58
III.1.2.1. Caractérisation des paramètres physico-chimiques des composts produits ...	58
III.1.2.2. Caractérisation de la biomasse microbienne et des activités enzymatiques des composts produits.....	59
III.1.2.3. Caractérisation des paramètres physico-chimiques des mélanges compost-sol	61
III.1.3. Criblage phytochimique du macérât aqueux de <i>Millettia laurentii</i>	64
III.1.4. Evaluation de l'effet du compost et du macérât aqueux sur les paramètres de croissance, la production, les qualités nutritionnelle et organoleptique de la tomate.....	65
III.1.4.1. Evaluation de l'effet du compost et du macérât aqueux sur les paramètres de croissance et la production des plants de tomate.....	65
III.1.4.2. Evaluation de l'effet du compost et du macérât aqueux sur les qualités nutritionnelle et organoleptique de la tomate	75
III.1.5. Conservation des lots de tomates	78
III.2. DISCUSSION.....	79
CONCLUSION.....	87
PERSPECTIVES.....	88
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	89
ANNEXES.....	a

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

%COT	: Pourcentage du carbone organique totale
%MOT	: Pourcentage de la matière organique totale
C/N	: Rapport carbone azote
C1	: Compost 100% de <i>Millettia laurentii</i> + 0% de coquilles d'œufs (m/m)
C2	: Compost 75% de <i>Millettia laurentii</i> + 25% de coquilles d'œufs (m/m)
C3	: Compost 50% de <i>Millettia laurentii</i> + 50% de coquilles d'œufs (m/m)
C4	: Compost 25% de <i>Millettia laurentii</i> + 75% de coquilles d'œufs (m/m)
Ca²⁺	: Ion calcium
CE	: Conductivité électrique
CEC	: Capacité d'échange cationique
EAG	: Equivalent acide gallique
EDTA	: Acide éthylène-diamine-tétra acétique
EGTA	: Acide éthylène glycol-bis (2- aminoéthyléther) -N, N, N', N'-tétra acétique
FAO	: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
IRAD	: Institut de Recherche Agricole pour le Développement
IUCN	: Union Internationale pour la Conservation de la Nature
JAS	: Jours Après Semis
K⁺	: Ion potassium
m/m	: Rapport masse sur masse
MF	: Matière fraîche
Mg²⁺	: Ion magnésium
MINADER	: Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural
MS	: Matière sèche
Na⁺	: Ion sodium
N_t	: Azote total
P_t	: Phosphore total
Sol T	: Sol témoin
T-	: Sol non amendé
T+	: Sol amendé avec l'engrais chimique de synthèse (NPK)
UFC	: Unité formant colonies

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Différentes variétés de tomate selon la forme et l'usage	7
Tableau II : Procédure du dosage des sucres totaux de tomates	48
Tableau III : Procédure du dosage des composés phénoliques de tomates	50
Tableau IV : Protocole du dosage de la vitamine C de tomates.....	53
Tableau V : pH, CE, C organique, N total, C/N, P total, concentrations en ions échangeables (Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺) et des métaux lourds (Pb, Zn, Cu) des variantes du compost.....	58
Tableau VI : Biomasse microbienne et activités enzymatiques des variantes du compost.....	60
Tableau VII : pH, CE, C organique, N total, C/N et P total des mélanges compost-sol.....	61
Tableau VIII : Concentrations en ions échangeables (Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺) et des métaux lourds (Pb, Zn, Cu) dans les mélanges compost-sol	63
Tableau IX : Composition en métabolites secondaires de <i>Millettia laurentii</i>	64
Tableau X : Caractéristiques physico-chimiques et nutritionnelles de trois lots de tomate....	75
Tableau XI : Composition en minéraux des trois lots de tomate	76

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte illustrant l'origine sud-américaine de la tomate et sa diffusion vers l'Europe, l'Afrique et l'Asie après sa domestication au Mexique	3
Figure 2 : Vue d'ensemble d'un plant de tomate et détails des organes reproducteurs.....	5
Figure 3 : Diagramme du cycle de vie de la tomate.....	7
Figure 4 : Quelques variétés de tomates.....	8
Figure 5 : Courbe théorique d'évolution de température et du pH au cours du compostage..	18
Figure 6 : Photographie des feuilles de <i>Millettia laurentii</i>	23
Figure 7 : Dispositif expérimental des pots au cours du compostage.	27
Figure 8 : Protocole général de l'analyse des composts.....	28
Figure 9 : Différentes concentrations du macérât de <i>Millettia laurentii</i> préparées	40
Figure 10 : Disposition expérimentale des pots après sélection des jeunes plantules.....	43
Figure 11 : Dispositif expérimental des pots au cours de la culture de la tomate.	44
Figure 12 : Photographie des plants de tomate pendant la production.....	45
Figure 13 : Photographies des variantes du compost obtenu	57
Figure 14 : Variation du nombre de feuilles (A) et de la hauteur des plants (B) de tomate en fonction des proportions de mélanges compost/sol et du temps.	65
Figure 15 : Variation de la longueur (A), de la largeur (B) de feuilles et de la surface foliaire (C) en fonction des proportions de mélanges compost/sol et du temps.	67
Figure 16 : Variation du nombre de fleurs (A) et du nombre total de fruits (B) en fonction des proportions de mélanges compost/sol et du temps.....	68
Figure 17 : Variation du nombre de fruits mûrs (A) et de la masse des fruits mûrs (B) en fonction des proportions de mélanges compost/sol et du temps.	69
Figure 18 : Variation du nombre de feuilles (A) et de la hauteur des plants (B) de tomate en fonction des proportions (m/v) du macérât aqueux et du temps.	70
Figure 19 : Variation de la longueur (A), de la largeur (B) de feuilles et de la surface foliaire (C) en fonction des proportions (m/v) du macérât aqueux et du temps.	72
Figure 20 : Variation du nombre de fleurs (A) et du nombre total de fruits (B) en fonction des proportions (m/v) du macérât aqueux et du temps.	73
Figure 21 : Variation du nombre de fruits mûrs (A) et de la masse des fruits mûrs (B) en fonction des proportions (m/v) du macérât aqueux et du temps.....	74
Figure 22 : Caractéristiques organoleptiques des lots de tomate	77
Figure 23 : Durée de conservation des différents lots de tomate	78

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Quelques photographies des expérimentations dans cette recherche.....	a
Annexe 2 : Protocole du dénombrement des microorganismes (Bactéries)	c
Annexe 3 : Protocole du dénombrement des microorganismes (Champignons).....	d
Annexe 4 : Fiche d'analyse sensorielle descriptive et hédonique de la tomate.....	e
Annexe 5 : Droites d'étalonnage pour le dosage des sucres totaux, des composés phénoliques totaux et de la vitamine C.....	f

RESUME

L'utilisation de fertilisants chimiques de synthèse en agriculture constitue une menace pour l'environnement et la santé publique. Le recours à des intrants biologiques représente une alternative écologique et durable pour l'amélioration des cultures vivrières. La présente étude visait à évaluer les qualités nutritionnelle et organoleptique de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) produite à l'aide d'un compost et d'un macérât aqueux. Le compost a été élaboré à partir de feuilles de *Millettia laurentii* et de coquilles d'œufs selon différentes proportions (masse/masse) : 100/0 (C1), 75/25 (C2), 50/50 (C3) et 25/75 (C4). Le macérât aqueux a été préparé à partir de *Millettia laurentii* aux concentrations de 3 %, 6 % et 9 % (masse/volume). L'expérimentation en pots pour la culture de la tomate a été réalisée selon un dispositif en blocs complètement randomisés avec 3 répétitions pour chaque traitement et 3 proportions compost/sol (5 %, 10 % et 15 %). Les paramètres physico-chimiques, la flore microbienne et les activités enzymatiques des composts et des sols amendés, le criblage phytochimique du macérât, les paramètres de croissance et de production des plants, les qualités nutritionnelle et organoleptique des fruits de tomate ainsi que la conservation des fruits ont été évalués à l'aide de méthodes analytiques normalisées et scientifiquement reconnues, adaptées à chaque type d'analyse. Les résultats ont montré que les différentes variantes du compost présentent un rapport C/N compris entre 15,39 (C1) et 26,12 (C2), des valeurs significativement supérieures ($p \leq 0,05$) à celui du sol témoin (13,36), et leur pH a été basique. Elles ont été riches en ions échangeables (Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Na^+) et pauvres en métaux lourds (Pb, Zn, Cu). La flore microbienne et les activités enzymatiques ont été significativement supérieures ($p \leq 0,05$), avec des valeurs maximales obtenues avec la variante C2. Dans les sols amendés, le pH, la CE, le rapport C/N, la concentration en phosphore et les teneurs en ions échangeables étaient significativement supérieurs ($p \leq 0,05$) à ceux des témoins (T^+ et T^-). Le criblage phytochimique du macérât aqueux a révélé la présence de plusieurs métabolites secondaires. La production de tomates a été significativement ($p \leq 0,05$) plus élevée avec le compost C3 à 15 % (66 fruits, soit 4 fois plus que le T^+) et le macérât à 6 % (51 fruits, soit 3 fois plus que le T^+) comparativement au témoin positif (T^+) qui n'a produit que 16 fruits. Les tomates issues des intrants biologiques ont été plus riches en lycopène, vitamine C, composés phénoliques et minéraux, et ont une odeur agréable, une apparence plus attractive, un goût sucré plus prononcé et une texture améliorée que celles produites avec les intrants chimiques. Les tomates biologiques ont été conservées le plus longtemps, soit 42 jours à température ambiante et 72 jours au réfrigérateur, contre 23 et 46 jours pour les tomates chimiques et 12 et 32 jours pour les tomates du marché. Ces résultats montrent que le compost et le macérât aqueux pourraient contribuer au développement d'engrais verts pour enrichir le sol et stimuler la synthèse des métabolites secondaires, améliorant la production ainsi que les qualités nutritionnelle et organoleptique de la tomate.

Mots-clés : Tomate ; compost ; *Millettia laurentii* ; coquilles d'œufs ; macérât aqueux ; qualité nutritionnelle ; qualité organoleptique

ABSTRACT

The use of synthetic chemical fertilizers in agriculture poses a threat to the environment and public health. The use of organic inputs represents an ecological and sustainable alternative for improving food crops. The present study aimed to evaluate the nutritional and organoleptic qualities of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) produced using compost and an aqueous macerate. The compost was made from *Milletia laurentii* leaves and eggshells in different proportions (mass/mass) : 100/0 (C1), 75/25 (C2), 50/50 (C3) and 25/75 (C4). The aqueous macerate was prepared from *Milletia laurentii* at concentrations of 3%, 6% and 9% (mass/volume). The experiment in pots for growing tomatoes was carried out using a completely randomized block design with 3 repetitions for each treatment and 3 compost/soil proportions (5%, 10% and 15%). The physicochemical parameters, microbial flora and enzymatic activities of the composts and amended soils, the phytochemical screening of the macerate, the growth and production parameters of the plants, the nutritional and organoleptic qualities of the tomato fruits as well as the conservation of the fruits were evaluated using standardized and scientifically recognized analytical methods, adapted to each type of analysis. The results showed that the different variants of the compost had a C/N ratio between 15.39 (C1) and 26.12 (C2), values significantly higher ($p \leq 0,05$) than that of the control soil (13.36), and their pH was basic. They were rich in exchangeable ions (Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Na^+) and poor in heavy metals (Pb, Zn, Cu). Microbial flora and enzymatic activities were significantly higher ($p \leq 0,05$), with maximum values obtained with the C2 variant. In amended soils, pH, EC, C/N ratio, phosphorus concentration and exchangeable ion contents were significantly higher ($p \leq 0,05$) than those of controls (T^+ and T^-). Phytochemical screening of the aqueous macerate revealed the presence of several secondary metabolites. Tomato production was significantly ($p \leq 0,05$) higher with C3 compost at 15% (66 fruits, i.e. 4 times more than T^+) and macerate at 6% (51 fruits, i.e. 3 times more than T^+) compared to the positive control (T^+) which only produced 16 fruits. Tomatoes from organic inputs were richer in lycopene, vitamin C, phenolic compounds and minerals, and had a pleasant smell, a more attractive appearance, a more pronounced sweet taste and an improved texture than those produced with chemical inputs. Organic tomatoes were kept the longest, 42 days at room temperature and 72 days in the refrigerator, compared to 23 and 46 days for chemical tomatoes and 12 and 32 days for market tomatoes. These results show that compost and aqueous macerate could contribute to the development of green manures to enrich the soil and stimulate the synthesis of secondary metabolites, improving production as well as the nutritional and organoleptic qualities of the tomato.

Keywords : Tomato ; compost ; *Milletia laurentii* ; eggshells ; aqueous macerate ; nutritional quality ; organoleptic quality

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) est un fruit, couramment considéré comme un légume, et constitue l'une des cultures les plus répandues après la pomme de terre, jouant un rôle essentiel dans l'alimentation humaine (Salhi et al., 2017). Originaires d'Amérique du Sud, la tomate a été domestiquée et répandue à travers le globe, devenant un aliment de base dans de nombreuses cuisines (Andel et al., 2022). Sa popularité s'explique par sa polyvalence culinaire, son goût savoureux, sa valeur nutritionnelle élevée et de ses effets bénéfiques sur la santé humaine (Douakha, 2013). Elle est consommée sous diverses formes : fraîche, cuite, ou transformée en jus, purée ou sauces. Elle constitue une source importante de constituants essentiels, notamment de minéraux, de vitamines (A, C, E et K), de fibres alimentaires et d'acides aminés indispensables. Elle est également riche en composés bioactifs, en particulier les caroténoïdes tels que le lycopène et le β -carotène. Le β -carotène protège la peau contre les rayons du soleil, tandis que le lycopène est associé à des effets potentiels dans la prévention de certains cancers (Perveen et al., 2015). Bien plus, la consommation régulière de tomates contribue à atténuer la toxicité du plomb, réduire le risque d'accidents vasculaires cérébraux et de maladies cardiovasculaires, et à améliorer la régulation de la glycémie chez les personnes atteintes de diabète de type 2 (Bhowmik et al., 2012).

Sur le plan économique, la tomate représente l'une des cultures maraîchères les plus stratégiques à l'échelle mondiale. En 2023, la production globale était estimée à environ 192 millions de tonnes, réparties dans plus de 170 pays (FAO, 2024). Au Cameroun, cette culture occupe une place prépondérante dans l'agriculture et l'alimentation, avec une production annuelle avoisinant 1,248 millions de tonnes par an, plaçant le pays parmi les principaux producteurs d'Afrique subsaharienne (Tridge, 2023). Toutefois, le rendement moyen national reste faible (12,6 t/ha) comparativement à plus de 50 t/ha dans les pays disposant de technologies agricoles avancées (Titti et al., 2024). Cette faible productivité est attribuée à divers facteurs tels que les conditions climatiques défavorables, la dégradation des sols, la sécheresse, ainsi que les pertes liées aux maladies et ravageurs (Krishna et al., 2019).

Pour surmonter ces défis, les producteurs recourent souvent à l'utilisation d'engrais et des pesticides chimiques. Bien que ces intrants soient efficaces à court terme, ils génèrent des effets secondaires notables tels que la pollution des sols, la réduction de la biodiversité, l'accumulation de résidus toxiques dans les produits alimentaires, ainsi que des impacts sanitaires sur les agriculteurs et les consommateurs (Naamane et al., 2020). Ces pratiques augmentent également les coûts de production, remettant en question leur durabilité. Dans cette

optique, il devient impératif de promouvoir des systèmes agricoles plus durables, capables d'améliorer les rendements tout en préservant la fertilité des sols et la santé environnementale (Coulibaly et al., 2022). Plusieurs études ont démontré l'efficacité des fertilisants organiques (composts, fumiers et extraits végétaux) dans l'amélioration des propriétés du sol et des performances agricoles. Dakole et al. (2023) ont notamment mis en évidence l'intérêt agronomique d'un compost à base de fientes de poulet et d'arêtes de poisson pour la culture de la tomate. De même, Wassom et al. (2023) ont rapporté des effets positifs d'un compost à base de *Tithonia diversifolia* sur la croissance d'*Ocimum basilicum* L. La présente étude s'inscrit dans une démarche visant à promouvoir des méthodes alternatives respectueuses de l'environnement tout en contribuant à l'amélioration durable de la production des cultures.

1. HYPOTHESE DE RECHERCHE

L'utilisation d'un compost à base de *Millettia laurentii* et de coquilles d'œufs, et du macérât aqueux de *Millettia laurentii* améliore la production, les qualités nutritionnelle et organoleptique de la tomate.

2. OBJECTIFS

2.1. Objectif général

L'objectif général de ce travail était d'évaluer les qualités nutritionnelle et organoleptique de la tomate produite biologiquement.

2.2. Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques sont les suivants :

- ❖ Produire un compost à base de *Millettia laurentii* et de coquilles d'œufs, ainsi qu'un macérât aqueux de *Millettia laurentii* ;
- ❖ Caractériser les composts produits et les mélanges compost/sol à travers l'analyse de leurs paramètres physico-chimiques (pH, CE, C organique, N total, C/N, P total, concentrations en ions échangeables : Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Na^+ et en métaux lourds : Pb, Zn, Cu), de la biomasse microbienne (flore fongique et bactérienne) et quelques activités enzymatiques, ainsi que de la composition en quelques métabolites secondaires du macérât aqueux de *Millettia laurentii* ;
- ❖ Évaluer l'effet du compost et du macérât aqueux sur la production (nombre de fleurs, nombre total de fruits, nombre et masse des fruits mûrs), les qualités nutritionnelle (teneurs en macronutriments, micronutriments et composés bioactifs) et organoleptique (odeur, apparence, goût et texture) de la tomate.

CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTÉRATURE

CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTÉRATURE

I.1. GENERALITES SUR LA TOMATE

I.1.1. Origine et taxonomie

La tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) est une plante originaire des zones montagneuses de l'ouest de l'Amérique du Sud, incluant le sud du Pérou, le nord du Chili, l'Équateur, et la Bolivie (Peralta et Spooner, 2007). Ces régions abritent plusieurs espèces sauvages apparentées qui ont probablement contribué au patrimoine génétique des variétés cultivées aujourd'hui (Razifard et al., 2020). La domestication initiale aurait eu lieu dans les Andes, mais la forme moderne de la tomate consommée actuellement s'est surtout développée au Mexique où les premières traces de culture datent de plus de 2500 ans (Blanca et al., 2015). La tomate a été introduite en Europe au début du XVI^e siècle après la conquête de l'Empire aztèque par Hernán Cortés en 1519. Les Espagnols ont adopté le terme nahuatl *tomatl*, qui est devenu *tomate* en espagnol. Les premières graines ont été cultivées dans les jardins aristocratiques italiens dès les années 1540, attirant l'attention des naturalistes de la Renaissance (Andel et al., 2022). En Europe, elle fut d'abord utilisée comme plante ornementale à cause de sa ressemblance avec certaines espèces toxiques de la famille des Solanacées, avant d'être pleinement intégrée dans l'alimentation notamment dans les pays méditerranéens (Bergougnoux, 2014). Elle s'est ensuite diffusée dans le monde entier pour devenir aujourd'hui l'un des légumes les plus produits et consommés globalement (FAO, 2024).

La Figure 1 ci-contre présente l'origine de la tomate et sa diffusion à travers le monde.

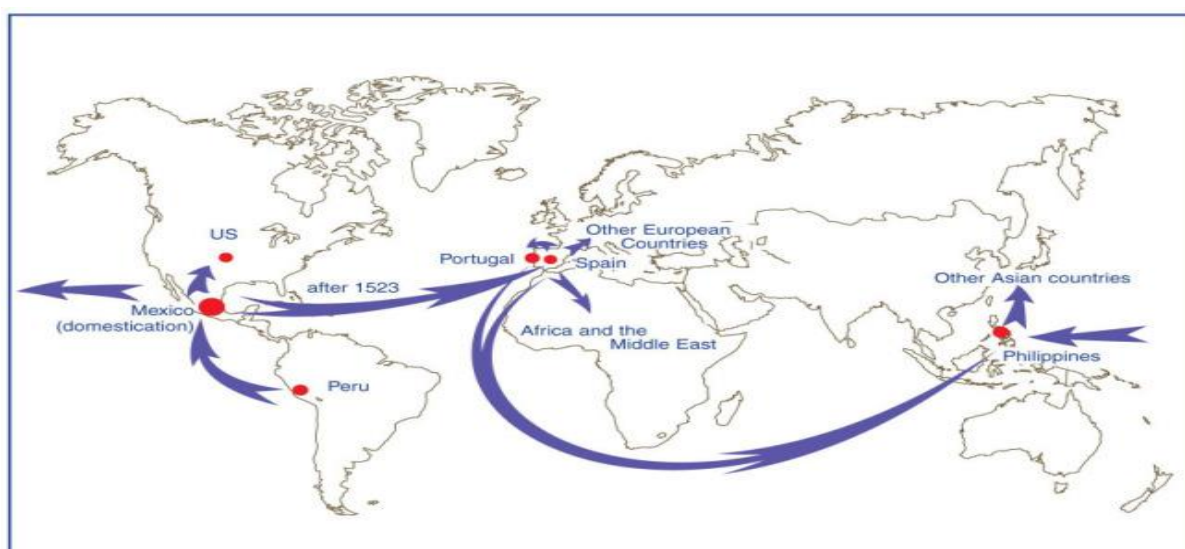


Figure 1 : Carte illustrant l'origine sud-américaine de la tomate et sa diffusion vers l'Europe, l'Afrique et l'Asie après sa domestication au Mexique (Blancard, 2012).

La tomate appartient à la famille des Solanacées, qui comprend également des plantes comme la pomme de terre, le piment et l'aubergine. Sa classification botanique détaillée est la suivante (**The Plant List, 2013 ; ITIS, 2024**) :

Règne	:	Plantae
Sous- règne	:	Tracheobionta
Division	:	Magnoliophyta
Classe	:	Magnoliopsida
Ordre	:	Solanales
Famille	:	Solanaceae
Genre	:	<i>Solanum</i> L.
Espèce	:	<i>Solanum lycopersicum</i>
Nom scientifique	:	<i>Lycopersicon esculentum</i>

I.1.2. Description botanique et écologique

La tomate est une plante caractérisée par la présence de deux cotylédons à la germination et un système vasculaire disposé en anneau (**Shankara et al., 2005**). Il s'agit d'une plante herbacée, au cycle de vie principalement annuel en culture, bien qu'elle possède un potentiel pérenne en conditions tropicales et subtropicales où les températures clémentes permettent une croissance continue sur plusieurs cycles (**Harry et Denise, 2013**). Son port est dressé ou semi-dressé selon les variétés et les conditions de culture. Les tiges parfois rampantes lorsqu'elles ne sont pas tuteurées, sont pubescentes et riches en trichomes glandulaires, sécrétant des substances volatiles aux propriétés de défense contre les herbivores (**Dorais et al., 2008**). Les feuilles sont alternes, composées imparipennées, avec 5 à 9 folioles aux bords dentelés, disposées de manière alterne le long de la tige. Les fleurs de couleur jaune sont actinomorphes, à cinq pétales soudés à la base, regroupées en inflorescences de type cyme (**Dorais et al., 2008**). Le fruit est une baie charnue, de forme et de couleur variables selon les cultivars, contenant de nombreuses graines entourées d'un mucilage (**Heuvelink et Dorais, 2005**). La tomate pousse à l'état sauvage dans des habitats variés. Elle préfère les climats tempérés à chauds avec une température optimale de croissance comprise entre 20 et 28°C (**Jones, 2007**). La plante nécessite une exposition ensoleillée et un sol bien drainé, riche en matière organique, avec un pH compris entre 5,5 et 6,8 (**Jones, 2007**). La pollinisation est principalement autogame, bien

que des insectes tels que les abeilles puissent contribuer à la pollinisation croisée, améliorant ainsi la diversité génétique (Rick, 1976).

La Figure 2 ci-dessous illustre la morphologie générale du plant de tomate ainsi que la structure de ses organes reproducteurs.

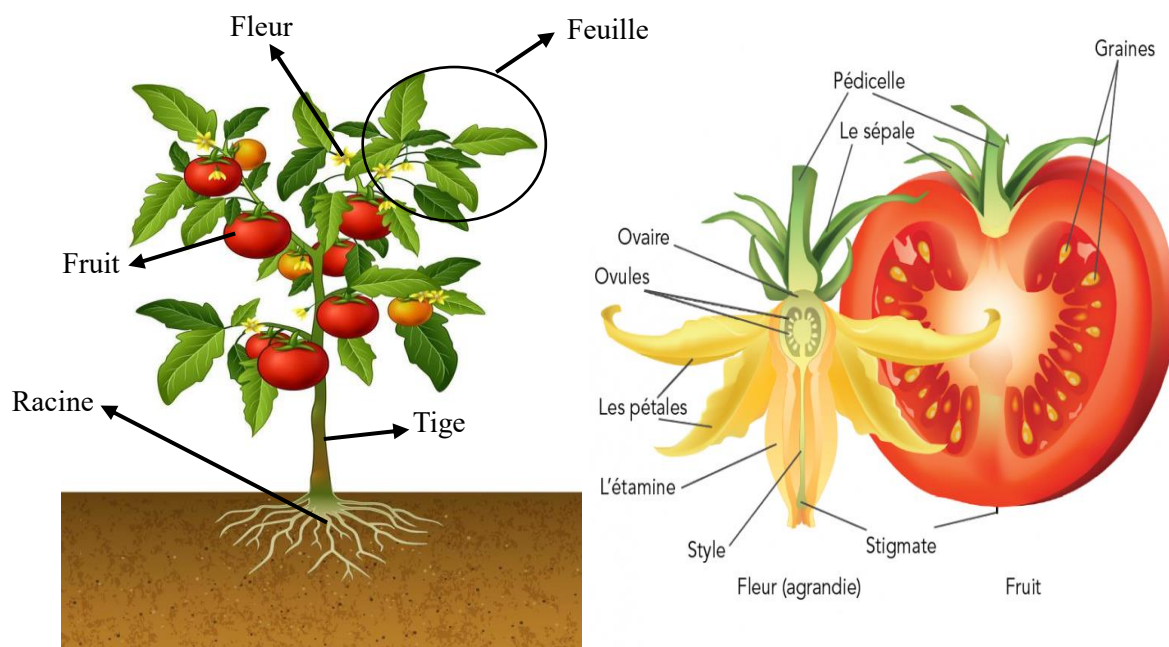


Figure 2 : Vue d'ensemble d'un plant de tomate et détails des organes reproducteurs (Parlons sciences, ©2020).

I.1.3. Cycle végétatif et exigences agroécologiques

Selon Gallais et Bannerot (1992), la durée totale du cycle végétatif de la tomate, de la graine jusqu'à la production de nouvelles graines, varie en fonction de plusieurs facteurs, notamment la variété cultivée, la période de culture et les conditions environnementales (Renaud, 2003). Toutefois, ce cycle s'étale généralement sur une période moyenne de 3,5 à 4 mois du semis, jusqu'à la dernière récolte (7 à 8 semaines de la graine à la fleur et 7 à 9 semaines de la fleur au fruit). Ce cycle peut être subdivisé en six étapes majeures :

- **Germination :** la germination constitue la première phase du développement au cours de laquelle la graine donne naissance à une plantule capable de se développer de manière autonome (Corbineau et Core, 2006). Chez la tomate, ce processus est de type épigé. Pour une germination optimale, une température ambiante avoisinant 20°C et une humidité relative de 70 à 80 % sont nécessaires (Chaux et Foury, 1994a).

- **Croissance** : la croissance se définit comme l'accroissement des dimensions de la plante. D'après **Laumonier, (1979)**, celle-ci s'opère en deux phases distinctes dans des milieux différents :
 - En pépinière : de la levée à l'apparition de la sixième feuille, les racines initiales non fonctionnelles et des pré-feuilles se forment.
 - En pleine terre : à partir de la formation des feuilles pleinement fonctionnelles et des racines absorbantes, la plante continue à croître avec un épaissement progressif de la tige et un développement accru du feuillage.
- **Floraison** : la floraison correspond à la transformation du méristème apical végétatif en structures florales, marquant ainsi le début de la reproduction (**Chaux et Foury, 1994b**). Elle intervient après une période de croissance d'environ 1 mois. La transition vers la floraison dépend fortement de la photopériode, de la température ambiante ainsi que d'un apport nutritif équilibré, en particulier sous serre.
- **Pollinisation** : la pollinisation chez la tomate repose sur des facteurs externes comme le vent ou certains insectes, notamment les bourdons, qui provoquent la libération du pollen par vibration des anthères. Cependant, les conditions climatiques influencent fortement l'efficacité de ce processus. Si la température nocturne chute en dessous de 13°C, la viabilité du pollen est compromise et une humidité insuffisante peut également dessécher les stigmates, rendant difficile la réception du pollen (**Pesson et Louveaux, 1984**).
- **Fructification et nouaison** : la nouaison désigne l'ensemble des processus allant de la formation des gamètes à la fécondation des ovules suivie du développement du fruit. Ce processus est favorisé par des températures comprises entre 13°C et 15°C, tandis que des températures nocturnes élevées autour de 22°C peuvent entraver la pollinisation et compromettre la nouaison des fruits (**Adams et al., 2001**).
- **Maturation des fruits** : au cours de cette phase, les fruits augmentent de volume et changent de couleur, passant du vert au rouge. Une lumière intense stimule la production de matières organiques qui sont transférées aux fruits en développement. Des températures idéales sont estimées à 18°C pendant la nuit et 27°C durant la journée (**Renaud, 2003**).

La Figure 3 suivante montre le diagramme du cycle de vie de la tomate.

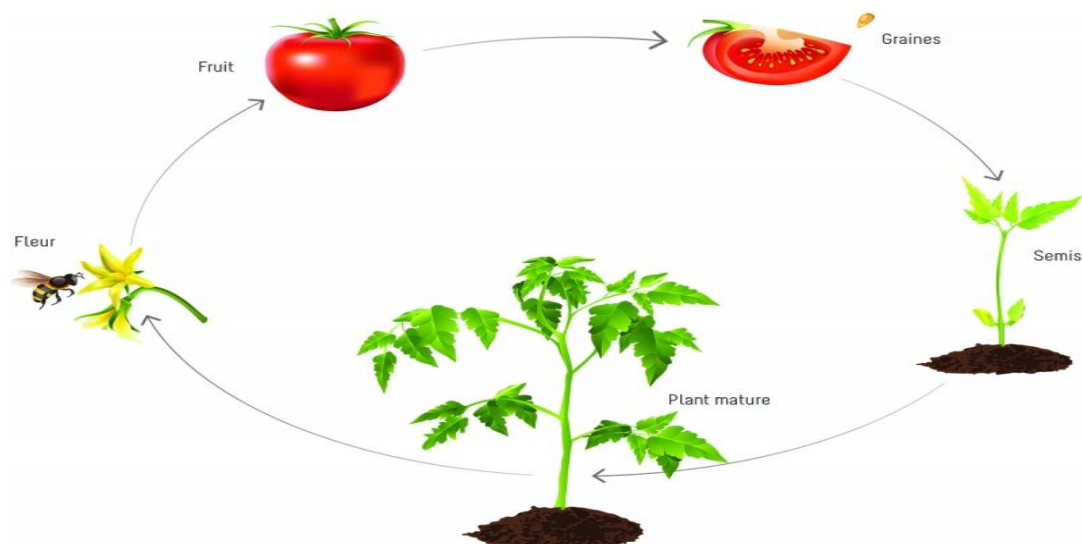


Figure 3 : Diagramme du cycle de vie de la tomate (Parlons sciences, ©2020).

I.1.4. Les variétés de tomate

La tomate présente une grande diversité variétale résultant de la domestication, de la sélection naturelle et des programmes modernes d'amélioration génétique (Peralta et al., 2008). Les variétés se distinguent par leur morphologie, leur port de croissance, leur cycle de production, leur résistance aux maladies et leur adaptation aux conditions agro-climatiques.

Les variétés de tomates sont classées selon leur port de croissance :

- **Croissance déterminée** : les plantes cessent de croître après la formation de quelques grappes florales. Elles ont un port compact, sont adaptées à la culture en plein champ et permettent une récolte groupée, utile pour la transformation industrielle (Jones, 2007).
- **Croissance indéterminée** : la croissance est continue avec une production prolongée des fruits. Ces variétés nécessitent un palissage mais offrent un rendement cumulé plus élevé, souvent en culture sous serre ou en maraîchage intensif (Jones, 2007).

Tableau I : Différentes variétés de tomate selon la forme et l'usage

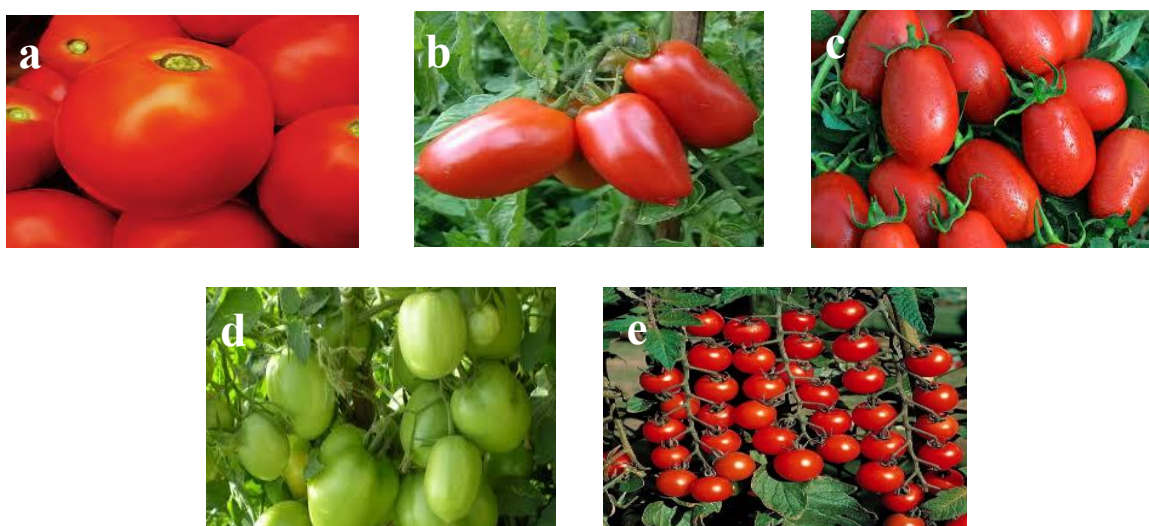
Tomates rondes classiques	Polyvalentes pour la consommation fraîche
Tomates allongées	Idéales pour la transformation
Tomates cerises	Petites, sucrées, très prisées pour le frais
Tomates anciennes/côtelées	Fruits charnus et aromatiques.
Tomates colorées	Influencent la composition en antioxydants.

Au Cameroun, Rio Grande et Roma VF sont deux des variétés les plus populaires notamment dans les régions de l'Ouest et du Centre.

- ✚ **Rio Grande** : variété à croissance déterminée, adaptée aux zones chaudes et sèches. Elle produit des fruits allongés, fermes et rouges, très prisés pour la transformation (purée, séchage, concentré) mais aussi commercialisés à l'état frais. Elle est tolérante au mildiou, au fusarium et au verticillium. Son rendement est très élevé avec un cycle de 100 jours (Agbaji et al., 2022).
- ✚ **Roma VF** : également à croissance déterminée, cette variété hybride est reconnue pour sa résistance au verticillium (V) et au fusarium (F), d'où son nom. Elle donne des fruits ovoïdes à chair épaisse, très recherchés pour la transformation. Elle est rustique, performante en climat tropical et donne des rendements stables en cultures de saison sèche (Luna-Guevara et al., 2014).

Ces deux variétés sont recommandées par les centres de recherche tels que l'IRAD pour leur robustesse, leur adaptation au climat camerounais et leur compatibilité avec les systèmes agricoles intensifs et biologiques. Il existe d'autres variétés comme Floradade, Marmande, Heinz 1370, le type calypso, olivettes, hybride F1 Nadira, hybride F1 Lindo, hybride F1 Sumo, l'hybride F1 Jaguar. Les critères pour le choix des variétés par les producteurs sont la résistance aux maladies, la durée de récolte, la grosseur du fruit et la durée de conservation.

La Figure 4 ci-dessous présente quelques variétés de tomates.



Légende : a) Hybride F1 Lindo ; b) Rio Grande ; c) Roma VF ; d) Hybride F1 Nadira ; e) Tomate cerise

Figure 4 : Quelques variétés de tomates (CDDR, 2011).

I.1.5. Tomate et qualité des fruits

La qualité des fruits de tomate est un concept multidimensionnel englobant des attributs intrinsèques et extrinsèques qui déterminent leur acceptabilité par le consommateur et leur aptitude à différents usages (Ranc, 2010). Les attributs intrinsèques incluent la composition nutritionnelle, les caractéristiques sensorielles : couleur, saveur, texture, arôme et les propriétés physico-chimiques, et quant aux attributs extrinsèques elles concernent l'apparence : taille, forme, uniformité, absence de défauts, la sécurité sanitaire et les aspects liés à la commodité d'utilisation : conservation, emballage (Dorais et al., 2008).

- **Qualité nutritionnelle :** la tomate est une source importante de macronutriments, de vitamines (C, A, et E), de minéraux et d'antioxydants, notamment le lycopène, le β -carotène (Dorais et al., 2008). Le lycopène, un caroténoïde responsable de la couleur rouge de la tomate, est associé à de nombreux bénéfices pour la santé. La teneur en vitamines et minéraux peut varier en fonction de la variété, du stade de maturité et des conditions de culture (Davies et Hobson, 1981).
- **Qualité organoleptique :** cette qualité de la tomate est déterminée par l'équilibre entre la saveur (sucrosité, acidité, salé, umami), la texture (fermeté, jutosité, farineux) et l'arôme (Zhang et al., 2023). L'accumulation de sucres et d'acides organiques durant la maturation influence la perception de la saveur (Baldwin et al., 2000). La texture des tomates est un autre facteur important qui influence leur qualité. Les tomates fermes et juteuses sont généralement préférées aux tomates molles et farineuses. L'arôme est un facteur complexe résultant de la combinaison de nombreux composés volatils (Tieman et al., 2012).
- **Autres qualités :** outre les aspects nutritionnels et organoleptiques, d'autres critères de qualité sont importants pour la tomate, notamment la résistance aux maladies, la capacité de conservation post-récolte et l'aptitude à la transformation. La sélection variétale vise à améliorer ces différents attributs afin de répondre aux exigences du marché et des consommateurs (Dorais et al., 2008).

I.1.6. Importance et utilisation

La tomate occupe une place centrale parmi les cultures maraîchères les plus cultivées et consommées dans le monde. Elle se distingue par sa polyvalence, sa grande adaptabilité aux différentes zones climatiques ainsi que par son rôle clé dans l'alimentation, la santé et l'économie (Yang et al., 2023). Sur le plan alimentaire, elle est largement consommée à l'état frais sous forme de salades, sauces, jus ou accompagnements. Pauvre en calories mais riche en eau, fibres, vitamines (A, C, E), sels minéraux et oligo-éléments, elle contribue à une

alimentation équilibrée et à la prévention de diverses carences nutritionnelles (**Raiola et al., 2014**). La transformation industrielle représente une autre voie importante d'utilisation, car une grande partie de la production est destinée à l'élaboration de concentrés, sauces, purées, ketchup, jus et conserves. Ces produits, consommés localement ou exportés, génèrent d'importants revenus et permettent de prolonger la durée de conservation des fruits tout en limitant les pertes post-récolte (**Shankara et al., 2005**). La tomate est également valorisée en pharmacologie grâce à sa richesse en lycopène et en autres composés antioxydants, reconnus pour leurs effets protecteurs contre certaines maladies chroniques comme le cancer, les affections cardiovasculaires, le diabète ou les troubles respiratoires (**Wahyuni et al., 2013**). Son importance économique et sociale est aussi considérable, car sa culture crée de nombreux emplois le long de la chaîne de valeur, depuis la production jusqu'à la commercialisation, tout en contribuant à l'autonomie alimentaire des populations. Au Cameroun, une part de la production est exportée vers les pays voisins comme le Tchad, la République Centrafricaine ou le Gabon, renforçant ainsi son poids dans l'économie agricole (**MINADER, 2009**).

L'importance de la tomate incite continuellement les agriculteurs à rechercher des stratégies pour améliorer la production, bien que les résultats escomptés ne soient pas toujours optimaux en raison de diverses contraintes.

I.1.7. Contraintes liées à la production

La production de la tomate est fortement affectée par un ensemble de contraintes d'origine abiotique et biotique susceptibles d'altérer significativement le rendement et la qualité des fruits.

➤ Contraintes abiotiques

Elles sont principalement liées à des déséquilibres nutritionnels (en eau ou en éléments fertilisants) ainsi qu'à des facteurs environnementaux défavorables, tels que la sécheresse, les températures extrêmes, une salinité excessive, une forte irradiation ultraviolette, ou encore la présence de composés toxiques dans le sol (**Krishna et al., 2019**). Ces stress abiotiques peuvent induire l'apparition de désordres physiologiques non pathogènes, dont les plus fréquents incluent la pourriture apicale, le fendillement des fruits, l'asphyxie racinaire, la formation de tiges boursouflées et les fentes de croissance. L'impact du stress abiotique dépend du stade phénologique de la plante ainsi que de la durée d'exposition au facteur de stress, pouvant engendrer une réduction du rendement allant jusqu'à 70 % (**Krishna et al., 2019**).

➤ **Contraintes biotiques**

Elles sont causées par divers agents pathogènes ou ravageurs, capables de compromettre jusqu'à 90 % du rendement de la culture (Yapo et al., 2019). Les pathogènes fongiques, bactériens, viraux et nématodes infectent principalement les feuilles, les fruits et les racines de la plante. Parmi les maladies les plus répandues figurent la fusariose, l'alternariose, le flétrissement bactérien, les fontes des semis ainsi que la virose *Tomato Yellow Leaf Curl Virus*. Par ailleurs, la tomate est également vulnérable à de nombreux ravageurs, notamment *Helicoverpa armigera*, *Tuta absoluta*, *Bemisia tabaci*, *Tetranychus urticae*, *Aculops lycopersici* et *Meloidogyne spp* qui occasionnent des dégâts significatifs sur l'appareil végétatif et reproducteur (Son et al., 2017).

I.2. GENERALITES SUR LES SOLS ET LA FERTILITE DU SOL

I.2.1. Les sols

I.2.1.1. Définition

Le sol constitue la couche superficielle et meuble de la lithosphère terrestre, dont l'épaisseur varie de quelques centimètres à plusieurs mètres. Il résulte d'un mélange complexe de composants minéraux et organiques, formant un support essentiel à la croissance des végétaux. Sa formation est le fruit de processus pédogénétiques influencés par divers facteurs, notamment la nature de la roche-mère, les conditions climatiques, le relief et la couverture végétale (Boulaine, 1989).

I.2.1.2. Les sols du Cameroun

Situé dans la zone tropicale de l'Afrique subsaharienne, le Cameroun présente une diversité pédologique remarquable, répartie en 9 grandes classes de sols selon un gradient géographique du Sud vers le Nord (Martin et al., 1966). Ces sols se caractérisent comme suit :

- **Sols minéraux bruts** : localisés en zones montagneuses, ces sols peu différenciés contiennent des fragments de roches désagrégées avec une faible teneur en matière organique. On distingue les régosols sur substrats meubles, et les lithosols développés sur roches dures.
- **Sols peu évolués** : issus de la transformation des sols minéraux bruts, ces sols présentent une altération plus avancée, une teneur accrue en matière organique et un début de formation d'argile. Ils peuvent aussi se former à partir de matériaux récents d'apport alluvial ou colluvial.

- **Andosols et sols bruns eutrophes** : ce sont des sols jeunes bien structurés, formés sur des substrats volcaniques basiques. Ils sont fréquemment associés aux sols minéraux bruts ou peu évolués.
- **Sols ferrallitiques** : riches en sesquioxydes de fer et d'aluminium, ces sols sont fréquents dans les zones tropicales humides. Lorsqu'ils présentent un horizon cuirassé, ils sont classés comme sols ferrallitiques cuirassés. Ils couvrent environ deux tiers du territoire camerounais, notamment dans les régions Sud, Centre et Ouest, jusqu'à la limite septentrionale marquée par la falaise de Ngaoundéré.
- **Sols ferrugineux tropicaux** : localisés au nord de la falaise de l'Adamaoua, ces sols prédominent dans les zones à climat tropical alternant saisons sèches et humides, autour du 8° au 9° parallèle nord.
- **Sols fersiallitiques (ou "sols rouges")** : présents essentiellement au nord de Garoua jusqu'à Mora, ces sols se développent sur des terrains métamorphiques variés. On les retrouve dans les zones de Bibemi, Boula-Ibib, Guider, Figuil et au nord de Maroua.
- **Vertisols** : occupant une superficie d'environ 30 000 km², ces sols argileux, sujets à des phénomènes de gonflement et de retrait, sont localisés dans les régions soudaniennes et soudano-sahéliennes entre 8° et 13° de latitude Nord et 12° à 16° de longitude Est.
- **Sols lessivés, planosoliques et solonetz** : les sols lessivés présentent un horizon de surface sableux surmontant des couches plus argileuses. Les planosols se caractérisent par un horizon argileux compact peu perméable. Les solonetz, quant à eux, sont enrichis en sodium, élément phytotoxique. Ces types de sols se rencontrent notamment à l'Est et au Nord des Monts Mandara sur piémonts, pédiments ou alluvions anciennes de la cuvette tchadienne.
- **Sols hydromorphes et halomorphes** : ils ont une extension non négligeable dans le Nord-Cameroun et certains paysages du Sud-Cameroun. Leur genèse est influencée par un excès d'eau, ce qui limite leur évolution. Dans la plaine du lac Tchad, ces sols argileux sont souvent vertiques, tandis que dans le Sud, ils sont riches en matière organique (humiques). Les sols de mangrove de type gley évoluant en milieu salin, se retrouvent dans les estuaires du Wouri et du Rio Del Rey.

La tomate peut s'adapter à une grande diversité de types de sols, à condition que ceux-ci soient bien aérés et assurent un bon drainage. Un apport hydrique régulier est nécessaire pour maintenir une humidité constante du sol. Toutefois, un excès d'eau peut induire le développement de maladies fongiques, tandis qu'un déficit hydrique est susceptible de

provoquer des désordres physiologiques tels que la nécrose apicale (Djidji et al., 2010). Pour obtenir des rendements satisfaisants, il est recommandé que le sol contienne entre 2 et 3 % de matière organique. Il est essentiel que la couche supérieure du sol soit perméable pour faciliter la croissance des racines. Une profondeur de sol comprise entre 15 et 20 cm est jugée optimale pour soutenir une croissance saine. Dans le cas des sols argileux lourds, un labour en profondeur s'impose afin de permettre une meilleure implantation du système racinaire (Karaca et al., 2022).

I.2.1.3. Les activités enzymatiques du sol

Les déterminations quantitatives de nombreuses activités enzymatiques sont possibles sur des échantillons de sol. La présence et l'activité d'êtres vivants dans le sol se traduit par la synthèse d'enzymes de toutes sortes, localisées à l'intérieur des cellules (intracellulaires) ou extracellulaires, adsorbées sur les parois des microbes ou sur les minéraux argileux ou encore formant des copolymères avec des substances humiques (Burns, 1982). Les mesures d'activités enzymatiques relativement simples et généralement peu coûteuses, sont utilisées depuis un demi-siècle pour évaluer la "fertilité" des sols (Hoffmann et Seegerer, 1951). Les activités les plus couramment mesurées sont les suivantes :

➤ Oxydo-réductases

Il s'agit d'enzymes de type "respiratoire" dont le plus courant est la déshydrogénase. Cette mesure est parfois incluse dans des tests écotoxicologiques pour une estimation rapide de l'activité globale du sol ; toutefois les résultats sont assez variables en fonction des conditions opératoires. L'activité catalase a été parfois aussi déterminée sur des échantillons de sol ; la mesure consiste à enregistrer la formation d'oxygène gazeux lors de la décomposition du peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée). Mais des réactions abiotiques sont fréquentes et peuvent sérieusement biaiser les résultats (activité physico-chimique des oxydes de manganèse). Les polyphénol-oxydases interviennent dans les processus d'humification à travers la dégradation de la lignine. Cette famille d'enzymes comprend les laccases.

➤ Hydrolases

La plupart des enzymes du sol appartiennent à ce groupe et les activités qui s'y rattachent correspondent fréquemment à des transformations d'intérêt agronomique. Les cellulases sont en lien avec la dégradation des résidus de récolte, de nature essentiellement ligno-cellulosique. Les activités phosphatases (phosphatase acide, phosphatase alcaline, phosphodiesterases) séparent l'ion ortho-phosphate d'une molécule organique. La synthèse de l'enzyme est inhibée

par l'ion orthophosphate ; l'activité est donc dépendante de la concentration en ions PO_4^{3-} dans le sol. Un apport d'engrais phosphatés par exemple entraînera une diminution de cette activité indépendamment de l'abondance et des autres activités des populations microbiennes présentes. Les aryl-sulfatases séparent l'ion sulfate d'une molécule organique selon le même principe que les phosphatases.

I.2.2. La fertilité du sol

I.2.2.1. Définition

La fertilité du sol est la capacité d'un sol à soutenir une croissance végétale optimale en fournissant les nutriments essentiels, l'eau et l'oxygène nécessaires, ainsi qu'un environnement physique et biologique favorable (**Brady et Weil, 2017**). Elle est un concept complexe qui englobe des aspects chimiques, physiques et biologiques interdépendants. Un sol fertile est capable de maintenir une production végétale élevée et durable sans dégradation de l'environnement (**Lal, 2009**). La fertilité du sol n'est pas une propriété statique mais plutôt une condition dynamique influencée par les pratiques agricoles, les conditions climatiques et les processus naturels.

I.2.2.2. Problèmes de fertilité des sols

De nombreux sols dans le monde souffrent de problèmes de fertilité qui limitent la production agricole et menacent la sécurité alimentaire (**FAO, 2015**). Ces problèmes sont souvent liés à des pratiques agricoles non durables, à la déforestation, à l'érosion et à la pollution. La dégradation de la fertilité du sol peut entraîner une diminution des rendements agricoles, une augmentation des coûts de production et une dégradation de l'environnement (**Tang, 2024**). Les principaux facteurs qui contribuent aux problèmes de fertilité des sols sont d'ordre physique, biologique et physico-chimique (**Tejada et al., 2006**).

- **Facteurs physiques** : la structure du sol, notamment la porosité et la stabilité des agrégats, influence l'aération, la rétention d'eau et la pénétration des racines (**Tang, 2024**). Un tassement du sol, souvent causé par le passage répété d'engins agricoles lourds, réduit la porosité et limite la croissance des racines (**Mutuku et al., 2021**). L'érosion hydrique et éolienne entraîne la perte de la couche arable, riche en matière organique et en nutriments, réduisant ainsi la fertilité du sol. La texture du sol, c'est-à-dire la proportion de sable, de limon et d'argile, influence également la fertilité, car elle affecte la capacité de rétention d'eau et la disponibilité des nutriments (**Sofa et al., 2021**).
- **Facteurs biologiques** : la matière organique du sol (MOS) est un élément essentiel de la fertilité du sol, car elle améliore la structure du sol, augmente la capacité de rétention d'eau,

fournit des nutriments et sert de source d'énergie pour les microorganismes. La perte de MOS, souvent due à des pratiques agricoles intensives, réduit la fertilité du sol et sa capacité à stocker le carbone (Janzen, 2006). La diversité et l'activité des microorganismes du sol sont essentielles pour la décomposition de la MOS, la fixation de l'azote et la solubilisation des nutriments (Adal, 2023). Une perturbation de l'équilibre microbien, par exemple due à l'utilisation excessive de pesticides, peut affecter la fertilité du sol. La présence d'organismes bénéfiques, tels que les vers de terre, améliore la structure du sol, l'aération et le drainage, contribuant ainsi à la fertilité (Sofu et al., 2021).

- **Facteurs physico-chimiques** : le pH du sol influence la disponibilité des nutriments pour les plantes. Un pH trop acide ou trop alcalin peut rendre certains nutriments indisponibles, limitant ainsi la croissance végétale (Brady et Weil, 2017). La salinité du sol, c'est-à-dire la concentration élevée de sels solubles, peut inhiber la croissance des plantes et réduire la fertilité (Baraka et al., 2024). La capacité d'échange cationique (CEC) du sol, qui représente sa capacité à retenir les cations (nutriments chargés positivement), influence la disponibilité des nutriments pour les plantes (Mamouda et al., 2021). La carence en nutriments essentiels (azote, phosphore, potassium, etc.) est un problème courant qui limite la croissance végétale et réduit la fertilité du sol (Marschner, 2012).

I.2.3. Les fertilisants du sol

I.2.3.1. Définition et types de fertilisants

Un fertilisant, également appelé engrais est une substance naturelle ou synthétique ajoutée au sol pour fournir un ou plusieurs éléments nutritifs essentiels à la croissance des plantes (Khan et al., 2024). L'objectif principal de la fertilisation est d'améliorer la fertilité du sol et de compenser les pertes de nutriments dues à la récolte des cultures (Deru et al., 2023). Les fertilisants peuvent être classés en trois grandes catégories : les engrais minéraux (ou chimiques), les engrais organiques (ou biologiques) et les engrais organo-minéraux (ou mixtes).

- **Engrais minéraux (ou engrais chimiques)** : ce sont des composés inorganiques synthétisés industriellement, contenant des éléments nutritifs sous forme de sels solubles et directement assimilables par les plantes (Ahmet, 2016). Les engrais minéraux les plus courants sont les engrais azotés, les engrais phosphatés et les engrais potassiques. Ces engrais sont souvent formulés en engrais composés ou complexes, contenant plusieurs éléments nutritifs dans des proportions variables (Ahmet, 2016). Les engrais minéraux permettent un apport rapide et précis de nutriments, ce qui peut conduire à une augmentation significative des rendements agricoles (Deru et al., 2023).

- **Engrais organiques (ou engrais biologiques)** : les engrais organiques sont des matières d'origine biologique (animale ou végétale) qui, après décomposition, libèrent des éléments nutritifs pour les plantes (**Baraka et al., 2024**). Les engrais organiques comprennent le fumier, le compost, les déjections animales, les résidus de cultures et les engrais verts (**Zhou et al., 2024**). Contrairement aux engrais minéraux, les engrais organiques libèrent les nutriments progressivement, améliorent la structure du sol, augmentent la capacité de rétention d'eau et favorisent l'activité biologique du sol. L'utilisation d'engrais organiques contribue à la durabilité des systèmes agricoles tout en améliorant la fertilité du sol à long terme (**Khan et al., 2024**).
- **Engrais organo-minéraux (ou engrais mixtes)** : ce sont un mélange d'engrais organiques et d'engrais minéraux, combinant les avantages des deux types de fertilisants. Ils permettent un apport rapide de nutriments grâce à la composante minérale tout en améliorant la structure du sol et en favorisant l'activité biologique grâce à la composante organique. Les engrais organo-minéraux peuvent être formulés pour répondre aux besoins spécifiques des cultures et des sols, offrant ainsi une solution de fertilisation équilibrée et durable (**Jaja et Barber, 2017**).

I.2.3.2. Effets des engrais chimiques sur l'environnement et la santé

Bien que les engrais chimiques aient contribué à augmenter la production agricole mondiale, leur utilisation excessive et inappropriée peut avoir des conséquences néfastes sur l'environnement et la santé humaine.

- **Impacts environnementaux** : l'utilisation excessive d'engrais azotés et phosphatés perturbe la composition naturelle du sol. Elle peut provoquer l'acidification du sol, le déséquilibre des micro-organismes, l'accumulation de métaux lourds (**Tilman et al., 2002**). Et d'autre part l'excès d'engrais azotés peut entraîner aussi la pollution des eaux souterraines et de surface par les nitrates qui peuvent être toxiques pour les nourrissons et les animaux (**Hina, 2024**). Le lessivage des nitrates contribue également à l'eutrophisation des écosystèmes aquatiques, favorisant la prolifération d'algues et la diminution de l'oxygène dissous, ce qui peut nuire à la vie aquatique (**Lin et al., 2023**). Les émissions d'oxyde nitreux (N₂O), un gaz à effet de serre puissant, liées à l'utilisation d'engrais azotés contribuent au changement climatique. La production d'engrais chimiques nécessite une consommation importante d'énergie, contribuant ainsi aux émissions de gaz à effet de serre liées à l'industrie (**Ahmet, 2016**).

- **Impacts sur la santé :** la consommation d'aliments contaminés par des nitrates, provenant de cultures fertilisées avec des engrais azotés, peut augmenter le risque de méthémoglobinémie chez les nourrissons (communément appelée "maladie du bébé bleu"), une condition dans laquelle le sang ne peut pas transporter efficacement l'oxygène (Fewtrell, 2004). Des études associent l'exposition prolongée aux nitrates à certains cancers, notamment de l'estomac, de la vessie et du côlon. L'utilisation excessive d'engrais phosphatés peut entraîner l'accumulation de métaux lourds (cadmium, arsenic) dans les sols et les cultures, ce qui peut présenter un risque pour la santé humaine en cas d'ingestion à long terme (Tagkas et al., 2024). La manipulation et l'application d'engrais chimiques peuvent également poser des risques pour la santé des agriculteurs, notamment des irritations cutanées, des problèmes respiratoires et des intoxications en cas d'exposition accidentelle (Arcury et al., 2000).

Cependant, l'utilisation excessive des engrais chimiques, bien qu'elle permette d'accroître temporairement les rendements agricoles, mais présente de nombreux inconvénients environnementaux et sanitaires tels que la pollution des sols, des eaux et l'altération de la biodiversité microbienne. Face à ces limites, une alternative durable et écologique s'impose à travers la valorisation des déchets organiques par le compostage. Ce procédé biologique permet non seulement de recycler les matières organiques biodégradables, mais aussi de produire un amendement naturel capable d'améliorer la structure, la fertilité et la vie biologique des sols. C'est dans cette optique que s'inscrit la présente étude, qui accorde une place particulière au compostage et aux caractéristiques du compost issu de ressources locales.

I.3. GENERALITES SUR LE COMPOSTAGE ET LE COMPOST

I.3.1. Compostage

I.3.1.1. Définition

Le compostage est un processus biologique contrôlé de transformation des matières organiques biodégradables en un produit stabilisé et hygiénique appelé compost. Ce processus s'effectue en présence d'oxygène, grâce à l'activité des micro-organismes (bactéries, champignons, actinomycètes, etc.) qui décomposent les déchets organiques pour en faire un amendement riche en humus (Toledo et al., 2018). Le compostage repose sur une succession d'étapes microbiennes et biochimiques au cours desquelles les substances organiques se minéralisent et se stabilisent (Epstein, 2017). Il joue un rôle central dans la gestion durable des déchets organiques en réduisant leur volume tout en produisant un fertilisant naturel réutilisable en agriculture (Diaz et al., 2011).

I.3.1.2. Les étapes du compostage

Le processus de compostage comporte quatre phases : mésophile, thermophile, refroidissement et maturation (Pezzolla et al., 2021). Ces phases sont caractérisées par des variations de température, de pH et une succession d'activités microbiennes qui transforment progressivement la matière organique en compost stable.

La Figure 5 ci-dessous présente les différentes phases du compostage.

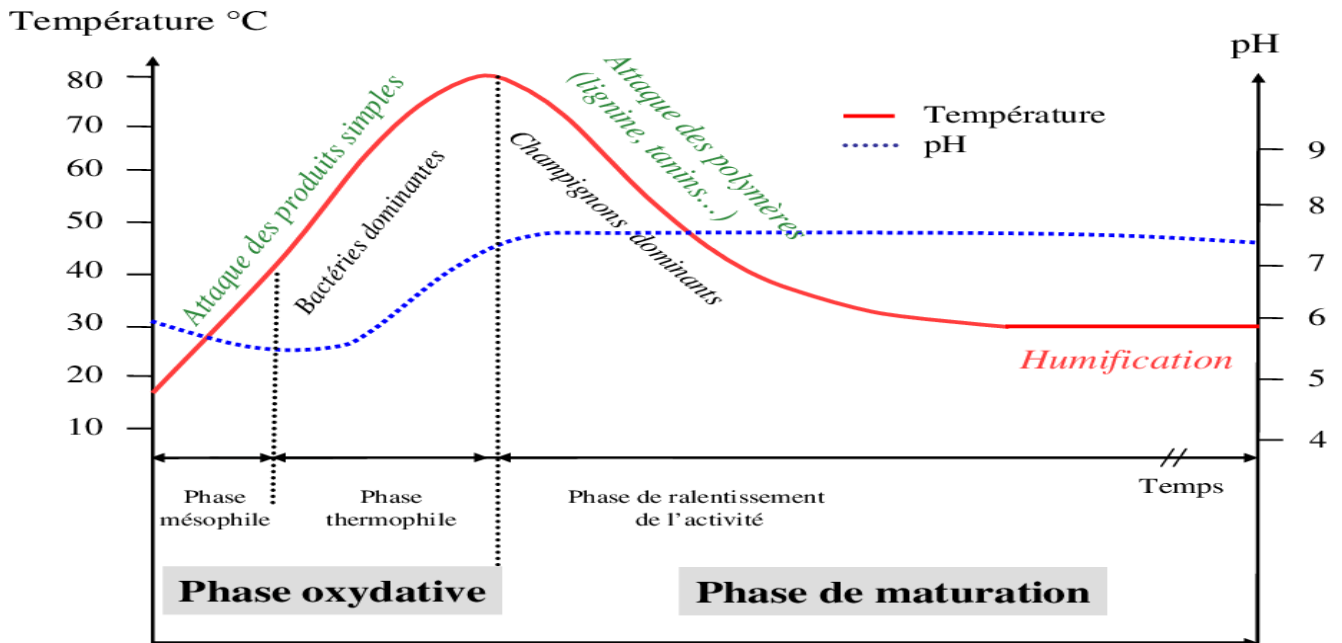


Figure 5 : Courbe théorique d'évolution de température et du pH au cours du compostage (Mustin, 1987).

- **Phase mésophile (début de la phase oxydative) :** elle commence immédiatement après la mise en tas des matières organiques. Elle se déroule à des températures modérées (environ 20–40°C) et est dominée par des micro-organismes mésophiles : bactéries, actinomycètes, champignons (Biyada et al., 2021). Durant cette phase, les composés facilement dégradables tels que les sucres, les acides aminés et les lipides sont rapidement attaqués, ce qui entraîne une production de chaleur et une élévation rapide de la température (Mathson, 2004).
- **Phase thermophile (suite de la phase oxydative) :** lorsque la température dépasse 40°C, la phase thermophile commence (Biyada et al., 2021). Elle est dominée par des bactéries thermophiles capables de dégrader des composés plus complexes comme la cellulose, l'hémicellulose et certaines lignines. Cette phase peut atteindre des températures proches

de 70°C. Elle est cruciale pour l'hygiénisation du compost, car elle permet l'élimination des pathogènes et des graines d'adventices (Ceustermans et al., 2019)

- **Phase de refroidissement (transition vers la phase de maturation) :** après l'épuisement des substrats facilement et moyennement dégradables, l'activité microbienne diminue. La température baisse progressivement (40°C à 45°C), marquant la fin de la phase oxydative. C'est à ce moment que les champignons capables de décomposer des polymères plus résistants (comme la lignine et les tanins) deviennent dominants (Ryckeboer et al., 2003).
- **Phase de maturation :** cette phase se déroule à température ambiante stabilisée. Elle est marquée par l'humification, c'est-à-dire la formation progressive de substances humiques par polymérisation et condensation des produits de dégradation. Le compost atteint alors un état de stabilité biologique, chimique et physique. Cette étape peut durer plusieurs semaines à plusieurs mois selon les conditions de compostage. Le compost devient alors stable, non phytotoxique et prêt à être utilisé en agriculture ou horticulture (Bernal et al., 2009).

I.3.1.3. Les facteurs affectant le compostage

Le succès du compostage repose sur la gestion optimale de plusieurs facteurs physico-chimiques et biologiques. Une maîtrise de ces paramètres est essentielle pour une dégradation efficace de la matière organique, une activité microbienne saine et la production d'un compost stable et mature. Les principaux facteurs à considérer sont :

- **Température :** c'est un indicateur direct de l'activité microbienne. Le processus traverse la phase mésophile (25 et 40°C), puis thermophile (<45°C) où les pathogènes sont détruits et les matières complexes décomposées. Cependant, dépasser 70°C peut nuire aux micro-organismes bénéfiques et ralentir la décomposition (Alkarimiah et Suja, 2019).
- **Humidité :** essentielle pour le transport des nutriments et le métabolisme microbien. Le taux idéal se situe entre 50 à 60 %. Si le taux d'humidité est inférieur à 30 %, l'efficacité des micro-organismes est limitée, tandis qu'une humidité supérieure à 70 %, le processus de compostage ralentit et évolue vers un compostage anaérobie (Turan, 2008)
- **Aération :** vitale pour l'apport d'oxygène aux micro-organismes aérobies. Une aération insuffisante favorise les conditions anaérobies, entraînant la production de gaz malodorants (méthane, sulfure d'hydrogène) et un ralentissement du processus. Un apport régulier d'oxygène par ventilation ou retournement est donc indispensable (Epstein, 2017).
- **Rapport C/N :** c'est un facteur important qui varie tout au long du compostage. Un rapport C/N supérieur à 35 signifie que la croissance des microorganismes est limitée et le processus de décomposition est ralenti. Tandis qu'un rapport C/N inférieur à 25 est caractéristique

d'une sous-utilisation de l'azote et le processus de compostage va générer une odeur désagréable due au surplus d'azote perdu dans l'atmosphère sous forme d'ammoniac (Huang *et al.*, 2004).

I.3.2. Compost

I.3.2.1. Définition

Le compost est un résidu organique issu de la décomposition biologique naturelle des déchets organiques, impliquant diverses espèces de micro-organismes. Il constitue un apport important pour la fertilisation et aide à la reconstitution des sols (Bernal *et al.*, 2009).

I.3.2.2. Caractéristiques d'un compost mature

Un compost mature dégage une odeur de terre forestière, signe de l'humification complète de la matière organique. Les odeurs acides ou ammoniacales indiquent une instabilité ou une mauvaise fermentation (Bernal *et al.*, 2009). Le compost devient brun foncé ou noir, homogène, friable, sans éléments grossiers visibles. Un compost mature a une activité microbienne réduite, indiquant que la matière organique facilement dégradable a été transformée (Pace *et al.*, 1995). L'absence d'échauffement après brassage ou humidification est également un bon indicateur. Ces caractéristiques traduisent l'évolution vers une matière humifiée.

I.3.2.3. Propriétés physico-chimiques du compost

Les caractéristiques physico-chimiques du compost sont essentielles pour son efficacité agronomique et sa sécurité d'utilisation.

- **pH** : le pH du compost généralement compris entre 6 et 8 est optimal pour la croissance de la plupart des plantes et influence directement la disponibilité des nutriments ainsi que l'activité microbienne du sol (Epstein, 1997). Un pH trop acide peut rendre les métaux lourds toxiques, tandis qu'un pH trop alcalin peut réduire l'assimilation de certains nutriments essentiels comme le fer et le manganèse.
- **Conductivité électrique (CE)** : la CE mesure la concentration en sels solubles. Une CE élevée indique une salinité excessive qui peut inhiber l'absorption d'eau et de nutriments par les plantes, limitant leur croissance (Rhoades *et al.*, 1992). Pour une utilisation sans risque, la CE du compost doit idéalement être inférieure à 4 décisiemens par mètre (dS/m).
- **Rapport C/N** : ce rapport est un indicateur clé de la vitesse de décomposition de la matière organique et de la disponibilité de l'azote pour les plantes (Guo *et al.*, 2012). Un rapport C/N élevé (>30) ralentit la décomposition et peut entraîner une immobilisation de l'azote

par les micro-organismes. À l'inverse, un C/N faible (<15) favorise une minéralisation rapide de l'azote.

- **Capacité d'échange cationique (CEC) :** la CEC représente la capacité du compost à retenir les cations (nutriments positifs). Une CEC élevée est souhaitable car elle indique une meilleure rétention des nutriments, réduisant ainsi les pertes par lessivage et augmentant leur disponibilité pour les plantes. Le compost, riche en matière organique et en composés humiques possède une CEC naturellement plus élevée que les sols minéraux, contribuant ainsi à améliorer la fertilité à long terme et la capacité tampon du sol (**Mamouda et al., 2021**).

I.3.2.4. Effets potentiels du compost sur les sols

Le compost améliore la structure du sol en favorisant l'agrégation des particules, ce qui augmente la porosité, la perméabilité et l'aération (**Mutuku et al., 2021**). Il augmente également la capacité de rétention d'eau du sol, ce qui réduit le risque de stress hydrique pour les plantes. Le compost réduit la densité apparente du sol, ce qui facilite la pénétration des racines et améliore la croissance des plantes. Il diminue l'érosion du sol en protégeant la surface contre l'impact des gouttes de pluie et du vent. Le compost augmente la teneur en matière organique du sol, ce qui améliore sa capacité d'échange cationique (CEC) et sa capacité à retenir les nutriments (**Haynes et Naidu, 1998**). Il augmente la disponibilité des nutriments pour les plantes en libérant progressivement des éléments nutritifs essentiels, tels que l'azote, le phosphore et le potassium. Le compost peut également améliorer le pH du sol en le tamponnant contre les variations brusques, ce qui favorise la disponibilité des nutriments. Il peut réduire la salinité du sol en complexant les sels solubles et en améliorant le drainage. Le compost stimule l'activité biologique du sol en fournissant une source de nourriture et d'énergie pour les microorganismes (**Adal, 2023**). Il augmente la diversité et l'abondance de la communauté microbienne du sol, ce qui améliore la décomposition de la matière organique, la transformation des nutriments et la suppression des pathogènes. Le compost peut introduire des microorganismes bénéfiques dans le sol, tels que les bactéries fixatrices d'azote, les champignons mycorhiziens et les agents de biocontrôle qui peuvent favoriser la croissance des plantes et les protéger contre les maladies (**Sofa et al., 2021**).

I.3.2.5. Effets potentiels du compost sur les plantes

Le compost stimule la germination des graines, la croissance des racines et le développement des parties aériennes des plantes, il augmente le rendement des cultures (**Ingham, 2000**). Le compost augmente la teneur en nutriments des plantes, ce qui améliore leur

valeur nutritionnelle (Mamouda et al., 2021). Il peut améliorer la saveur, l'arôme et la texture des fruits et des légumes (Kader, 2002). Le compost peut augmenter la teneur en composés antioxydants des plantes, ce qui améliore leur valeur pour la santé humaine. Il peut réduire l'incidence des ravageurs des plantes en modifiant l'environnement du sol et en attirant des ennemis naturels. Le compost peut réduire le besoin d'utiliser des engrais chimiques et des pesticides, ce qui contribue à une agriculture plus durable et respectueuse de l'environnement (Vallad et Goodman, 2004).

I.4. GENERALITES SUR LES INTRANTS

1.4.1. *Millettia laurentii*

1.4.1.1. Origine et taxonomie

Millettia laurentii De Wild., plus communément appelée Wengé, est une espèce ligneuse appartenant à la famille des Fabaceae, sous-famille des Faboideae et tribu des Millettieae (Banzouzi et al., 2008). Ce genre *Millettia* regroupe plus de 150 espèces principalement réparties dans les zones tropicales d'Afrique, d'Asie et d'Australie (Algoët, 2008). L'espèce a été officiellement décrite en 1904 par le botaniste belge Émile De Wildeman à partir de spécimens collectés dans le bassin du Congo. La distribution naturelle de *Millettia laurentii* est centrée sur les forêts humides et semi-décidues d'Afrique centrale. On la retrouve en République Démocratique du Congo, au Cameroun, au Congo-Brazzaville, au Gabon et en Guinée équatoriale. Sa classification taxonomique se présente comme suit (Royal Botanic Gardens, Kew, 2025) :

Règne	:	Plantae
Sous-règne	:	Tracheobionta
Division	:	Magnoliophyta
Classe	:	Magnoliopsida
Sous-classe	:	Rosidae
Ordre	:	Fabales
Famille	:	Fabaceae
Genre	:	<i>Millettia</i>
Espèce	:	<i>Millettia laurentii</i> De Wild.

1.4.1.2. Description botanique et écologique

Wengé est un arbre de grande taille mesurant entre 30 et 45 mètres de hauteur avec un tronc droit et cylindrique pouvant atteindre un diamètre de 120 cm généralement exempt de branches sur 10 à 20 mètres (Banzouzi *et al.*, 2008). Son écorce est grisâtre, rugueuse, marquée de lenticelles et exsude un latex rougeâtre lorsqu'elle est entaillée. Les feuilles sont alternes, composées imparipennées, avec 6 à 9 paires de folioles oblongues ou obovales. La floraison se produit en début de saison des pluies, les fleurs sont lilas à nuance blanche. Les fruits sont des gousses pendantes, plates, contenant des graines aplaties brun-violet (Menga *et al.*, 2012). D'un point de vue écologique, cette espèce est typique des forêts denses semi-décidues et sempervirentes du sud du bassin du Congo. Elle préfère les sols fertiles, bien drainés, et les zones à forte pluviométrie (Menga *et al.*, 2012). Bien qu'elle montre un certain potentiel pionnier, elle est avant tout caractéristique des forêts matures. Sa phénologie est saisonnière, avec des cycles de défoliation et de feuillaison généralement deux fois par an.

La Figure 6 ci-contre illustre la photographie des feuilles de wengé.



Figure 6 : Photographie des feuilles de *Millettia laurentii* (Mahamat dans cette étude, 2025).

1.4.1.3. Importance et utilisation

Wengé possède une grande valeur économique, écologique et culturelle, principalement en raison de la qualité exceptionnelle de son bois le wengé. Ce bois se distingue par sa couleur brun foncé à noir avec des stries noires, un grain droit et une texture moyennement grossière. Il est naturellement résistant aux champignons, insectes xylophages et termites, ce qui en fait un bois très durable sans nécessiter de traitement chimique (Algoët, 2008). Ses utilisations principales incluent :

- Revêtements et ameublement : parquets de luxe, panneaux, l'ébénisterie fine, mobilier de luxe, menuiseries intérieures et extérieures.
- Construction : structures lourdes, traverses ferroviaires, poteaux de mines.

- Objets décoratifs : sculptures, masques, instruments de musique (guitares, basses), cannes, objets tournés et les jouets.
- Placages : pour panneaux décoratifs haut de gamme.

Outre ces usages commerciaux, wengé joue un rôle en médecine traditionnelle : son écorce utilisée sous forme de poudre est employée contre diverses affections comme le diabète, les maladies de peau, la fièvre, les abcès, l'épilepsie ou encore les œdèmes (**Hippolyte et al., 2021**). L'écorce est également utilisée comme expectorant, émétique, vermifuge, insecticide et a historiquement servi de poison pour les poissons et les flèches. En agroforesterie, les fleurs de l'arbre fournissent du nectar aux abeilles et des boutures de tiges sont parfois plantées comme clôtures vives (**Kitoko et al., 2015**).

Cependant, cette espèce est aujourd'hui gravement menacée. Elle est inscrite comme espèce EN : "En danger" (Endangered) sur la Liste Rouge de l'IUCN (**IUCN, 2019**). Ce statut est dû principalement à la destruction de son habitat naturel et à la surexploitation pour son bois, soulignant l'urgence de mettre en œuvre des pratiques de gestion forestière durable pour sa pérennité.

1.4.2. Coquilles d'œufs

1.4.2.1. Généralités

Les coquilles d'œufs sont des sous-produits d'origine avicole générés en grande quantité à travers le monde. Elles représentent environ 11 % du poids total de l'œuf et sont majoritairement composées de carbonate de calcium (CaCO_3), représentant jusqu'à 94 % de leur structure, le reste étant constitué de protéines, de magnésium, de phosphore et d'oligo-éléments (**Hincke et al., 2012**). La structure de la coquille est hiérarchiquement organisée, incluant une membrane interne, une couche spongieuse de calcite et une cuticule externe, chacune jouant un rôle spécifique dans la protection et la perméabilité de l'œuf (**Stadelman, 2017**). Selon **King'ori (2011)**, une coquille d'œuf contient également des membranes riches en collagène, acides aminés, et autres composés organiques pouvant avoir des effets biologiques bénéfiques. Du fait de leur abondance et de leur composition minérale et organique, les coquilles d'œufs sont aujourd'hui considérées comme une ressource valorisable dans divers domaines, dont l'agriculture, la nutrition animale et la dépollution environnementale.

1.4.2.2. Importance et intérêts de l'utilisation des coquilles d'œufs

L'utilisation des coquilles d'œufs comme amendement agricole repose essentiellement sur leur richesse en calcium, un nutriment essentiel pour la croissance des plantes, en particulier

pour le renforcement des parois cellulaires et la régulation du pH du sol (**King'ori, 2011**). Incorporées au sol sous forme broyée, les coquilles d'œufs agissent comme un amendement calcaire naturel, capable de neutraliser l'acidité du sol et d'améliorer la disponibilité des nutriments pour les plantes (**Tsai et al., 2006**). De plus, elles contribuent à augmenter la capacité d'échange cationique (CEC) du sol, favorisant ainsi une meilleure rétention des éléments nutritifs (**Stadelman, 2017**). Par ailleurs, des études ont montré que les coquilles d'œufs broyées peuvent améliorer la libération du phosphore dans le sol, notamment par réaction avec des acides organiques produits par les plantes ou les micro-organismes (**Kpoblekou-A et Tabatabai, 1994**).

Outre leurs avantages agronomiques, les coquilles d'œufs présentent un fort potentiel dans le traitement des eaux usées et la dépollution des sols contaminés. Grâce à leur capacité d'adsorption, elles peuvent capter des métaux lourds tels que le plomb (Pb), le zinc (Zn) et le cuivre (Cu), réduisant ainsi leur biodisponibilité et leur toxicité dans l'environnement (**Barakat, 2011**). Ce mécanisme repose sur la nature poreuse et la composition ionique de la coquille qui favorisent les échanges avec les contaminants présents en solution. Leur utilisation dans la gestion des déchets permet également de réduire la charge organique des déchets avicoles, de valoriser une ressource sous-exploitée et de diminuer la pression sur les ressources minérales non renouvelables comme la chaux industrielle (**King'ori, 2011**). Ainsi, l'intégration des coquilles d'œufs dans les systèmes de compostage ou d'amendement organique s'inscrit dans une logique d'agriculture circulaire et durable.

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II.1. MATERIEL

II.1.1. Matériel de base utilisé pour la conduite de l'étude

Dans le cadre de cette étude, plusieurs types de matériel ont été mobilisés pour la mise en œuvre des expérimentations. Il s'agit notamment de matériel végétal, pédologique, chimique et d'un déchet biominéral recyclé dont les origines sont précisées ci-après :

- ✓ Les feuilles fraîches de wengé ont été récoltées sur les plants présents au sein du campus de l'Université de Yaoundé I.
- ✓ Les coquilles d'œufs utilisées ont été collectées auprès de divers restaurants situés dans le campus universitaire.
- ✓ Les semences de tomate de la variété Rio Grande (Annexe 1.g) ont été achetées auprès d'un Agroshop au marché du Mfoundi (Yaoundé).
- ✓ Les échantillons du sable et de sol nécessaire ont été prélevés dans la localité de Nkolbisson, située dans la région du Centre (Yaoundé).
- ✓ L'engrais minéral N-P-K (formulation 10-11-18) utilisé comme témoin positif pour la fertilisation a également été achetée au marché du Mfoundi (Annexe 1.h).

II.1.2. Autres matériels et équipements

Mis à part le matériel cité ci-dessus, nous avons utilisé : un grand moulin au marché, un tamis de 2 mm, des pots de 10 litres, un tissu en coton, des erlenmeyers, de l'eau distillée, un agitateur magnétique IKA, un pH-mètre HQ 11D, un conductimètre Hach HQ 14D, une étuve Memmert, un spectrophotomètre DR 3900, des éprouvettes graduées, des cuvettes, une fiole jaugée de 100 mL, des pipettes, des boîtes de Petri, une centrifugeuse Hettich, un bain-marie Memmert, un mètre ruban, un arrosoir, une balance de précision Sartorius, un mortier, des béchers et des tubes à essai, ainsi qu'un four à moufle Vecstar.

II.1.3. Lieu d'expérimentation

L'expérimentation s'était déroulée dans une serre en milieu semi-contrôlé située au sein de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I.

II.2. METHODES

II.2.1. Préparation du compost





Les feuilles fraîches de *Millettia laurentii* après leur récolte ont été d'abord séchées à l'ombre pendant 14 jours (Annexe 1.a). Les coquilles d'œufs, une fois recueillies, elles ont été

séchées à l'air libre pendant 2 jours (Annexe 1.b). Ensuite, les deux intrants ont été soigneusement purgés pour éliminer les cailloux, les plastiques et autres particules indésirables puis broyées à l'aide d'un moulin. Les résidus obtenus ont été tamisés à l'aide d'un tamis de 2 mm pour produire des poudres homogènes (Annexe 1.c). Ces poudres ont été mélangées avec de l'eau dans le but de faciliter le processus de décomposition au cours du compostage lequel a été réalisé dans des pots selon différentes proportions en masse/masse (m/m) (Annexe 1.d).

✚ Protocole et dispositif expérimental des pots

L'expérience a été conduite sur un total de 12 pots selon un dispositif en blocs complètement randomisés. Les proportions suivantes ont été établies chacune avec trois (3) répétitions :

Légende :

	Compost (C1) : 100% de feuilles de <i>Millettia laurentii</i> + 0% de coquilles d'œufs
	Compost (C2) : 75% de feuilles de <i>Millettia laurentii</i> + 25% de coquilles d'œufs
	Compost (C3) : 50% de feuilles de <i>Millettia laurentii</i> + 50% de coquilles d'œufs
	Compost (C4) : 25% de feuilles de <i>Millettia laurentii</i> + 75% de coquilles d'œufs

C1 C	C4 A	C2 C	C3 B
C4 B	C2 B	C3 C	C4 C
C1 B	C3 A	C1 A	C2 A

A, B, C représentent les répétitions des variantes du compost

Figure 7 : Dispositif expérimental des pots au cours du compostage.

Le compostage s'est effectué dans des récipients fermés (pots de 10 litres perforés et munis de couvercles) dans un environnement aérobie pendant une période de trois mois (90 jours). Les pots ont été placés à l'intérieur d'une serre recouverte d'un tissu blanc en coton.

✚ Suivi du processus de compostage

Afin de suivre l'évolution du compostage, plusieurs actions ont été menées sur le site de compostage notamment l'observation visuelle et le retournement régulier. L'observation visuelle a consisté d'examiner périodiquement les pots de compost en se basant sur des critères tels que l'apparence du substrat, sa couleur, son odeur et son niveau d'humidité. Le retournement régulier quant à lui, a été effectué deux fois par mois afin de mélanger

uniformément le compost dans les pots, d'assurer une oxygénation adéquate et si nécessaire d'ajouter de l'eau dans les pots dont l'humidité a été inférieure à 60 %.

✚ Échantillonnage

Les composts matures obtenus ont été séparés en deux fractions. La plus grande partie a été destinée à l'amendement des sols tandis que le reste a été broyé et tamisé puis séché à l'air libre pour une caractérisation physico-chimique. Cette fraction a ensuite été stockée à 4 °C en vue d'une analyse biologique et biochimique conformément au protocole général modifié pour l'étude des composts tel que décrit par **Albrecht (2007)**.

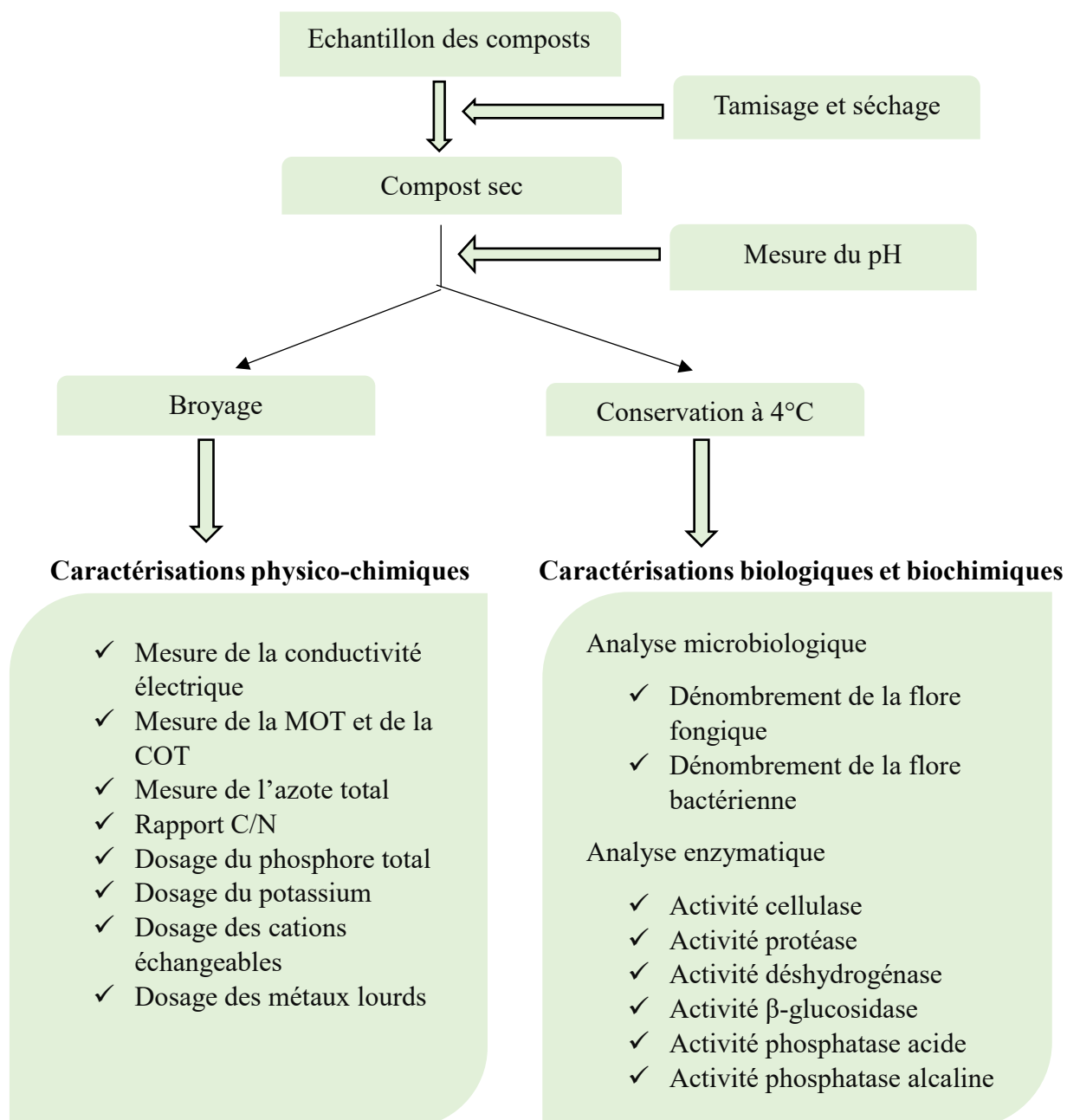


Figure 8 : Protocole général de l'analyse des composts.

II.2.2. Caractérisation des composts produits et des mélanges compost/sol

II.2.2.1. Détermination des paramètres physico-chimiques

II.2.2.1.1. Détermination du pH et de la conductivité électrique (CE)

Mesure du pH

La mesure du pH a été effectuée conformément à la norme internationale **ISO 10390 (1994)**.

✓ **Principe :**

Il repose sur la mesure du potentiel électrochimique entre une électrode de verre sensible aux ions H⁺ et une électrode de référence, ce qui permet d'évaluer l'activité des ions hydrogène dans la solution.

✓ **Procédure :**

Dix grammes (10 g) d'échantillon ont été pesés et introduits dans un erlenmeyer contenant 50 ml d'eau distillée ; le mélange a ensuite été agité pendant 5 minutes, puis laissé au repos pendant 2 heures. Après décantation, le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre de marque HQ 11D. Les résultats sont exprimés sans unité sur une échelle de 0 à 14.

Mesure de la conductivité électrique (CE)

✓ **Principe :**

Il repose sur la mesure de la conductance électrique d'une solution, due au déplacement des ions dissous entre deux électrodes lorsqu'un courant alternatif est appliqué.

✓ **Procédure :**

Pour la mesure de la conductivité électrique, 20 g d'échantillon ont été introduits dans 100 ml d'eau distillée, agités pendant 30 minutes, puis filtrés. La conductivité électrique spécifique de l'extrait filtré a été mesurée à l'aide d'un conductimètre Hach HQ 14d (**NF ISO 11265, 1994**). Les résultats ont été exprimés en millisiemens par centimètre (mS/cm).

II.2.2.1.2. Détermination de la matière organique totale (MOT), du carbone organique total (COT) et de l'azote total (N total)

Détermination de la matière organique totale et du carbone organique total

✓ **Principe :**

La méthode consiste à chauffer l'échantillon pour éliminer la matière organique par calcination à 550 °C. La perte de masse correspond à la matière organique totale (MOT). Le carbone organique total (COT) est ensuite déduit de la MOT à l'aide d'un facteur de conversion empirique.

Les méthodes ci-dessous ont été utilisées pour déterminer la matière organique totale et du carbone organique total. Cinquante grammes (50 g) de l'échantillon ont été séchés dans une étuve à 105 °C, puis calcinés à 550 °C pendant 2 heures dans un four. Le pourcentage de matière organique totale (% MOT) ou matière volatile a été obtenu par différence de poids entre la masse de l'échantillon séché à 105 °C et celle de l'échantillon après calcination (Charnay, 2005) selon la formule suivante :

$$\% \text{ MOT} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

Où :

M_1 : masse de l'échantillon après séchage au four (g) ; M_2 : masse de l'échantillon après calcination (g) ; % MOT : pourcentage de matière organique totale dans l'échantillon.

Le carbone organique total a été déterminé selon la formule de Giroux et Audesse (2004) en appliquant la relation suivante :

$$\% \text{ COT} = \frac{\% \text{ MOT}}{2}$$

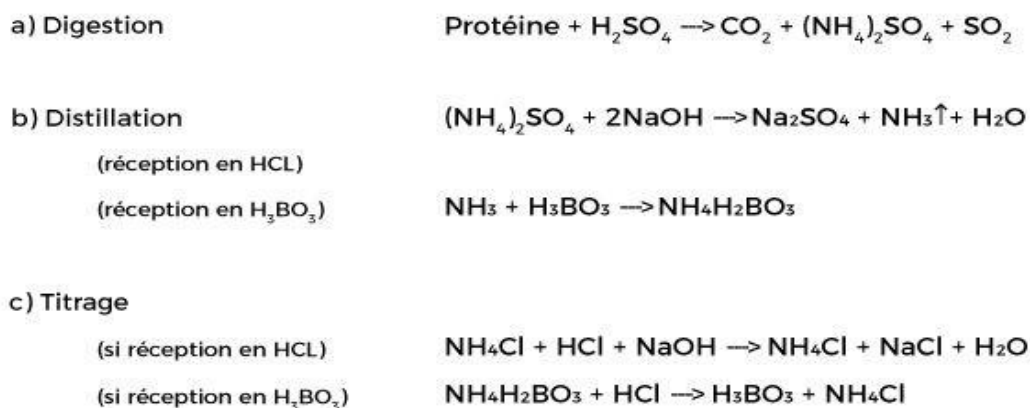
✚ Détermination de la teneur en azote total (N total)

La teneur totale en azote organique a été déterminée selon la méthode de Kjeldahl décrite par Bremner (1960).

✓ Principe :

Il est basé sur la conversion de l'azote organique de l'échantillon en ammonium (NH_4^+) par digestion acide (H_2SO_4 + catalyseur). Après alcalinisation, l'ammonium est transformé en NH_3 et distillé, puis capté dans une solution acide (H_3BO_3 ou HCl) et dosé par titrage. Le volume de titrant permet de calculer l'azote total.

La méthode de Kjeldahl comprend les étapes suivantes :



✓ **Procédure :**

L'échantillon a été minéralisé, puis a été distillé avec de l'hydroxyde de sodium à 40 % à l'aide d'un distillateur d'azote BUCHI K-350. Les vapeurs d'azote obtenues ont été recueillies dans un erlenmeyer contenant un mélange de couleur rosâtre composé de 20 mL d'acide borique à 3 % et de 3 gouttes de réactif de Tashiro. Ce mélange a viré progressivement au vert-jaunâtre lorsque l'échantillon distillé contenait de l'azote, au fur et à mesure que les gouttes issues de la colonne de distillation ont été ajoutées. Enfin, la solution obtenue a été dosée par titrimétrie à l'aide d'acide chlorhydrique 0,1 N. Les résultats sont exprimés en % d'azote total ou en g d'azote par kg (g/kg).

II.2.2.1.3. Rapport C/N

Le rapport C/N a été calculé à partir des valeurs de carbone organique et d'azote obtenues selon la formule suivante :

$$\frac{C}{N} = \frac{\text{Pourcentage de carbone organique}}{\text{Pourcentage d'azote total}}$$

II.2.2.1.4. Détermination des concentrations en phosphore (P) et en potassium (K)

✚ **Concentration en phosphore**

La quantification du phosphore total a été réalisée selon la méthode spectrophotométrique décrite par **Eaton et al. (2005)**.

✓ **Principe :**

Les ions orthophosphates présents dans l'échantillon réagissent en milieu acide avec le molybdate pour former un complexe phosphomolybdique. Ce dernier en présence de vanadium produit un complexe vanadomolybdophosphorique de couleur jaune. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration des phosphates présents dans le milieu.

✓ **Procédure :**

Un volume de 1 ml de réactif molybdovanadate a été ajouté à 25 ml de solution échantillon préalablement minéralisée. Un témoin a été préparé de manière identique à partir d'eau distillée. Après formation du complexe coloré, la densité optique de chaque solution a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 650 nm. Les concentrations ont été exprimées sous forme d'orthophosphate (PO_4^{3-}) en mg/L.

Concentration en potassium

La concentration en potassium a été déterminée par la méthode turbidimétrique selon les protocoles d'**Eaton et al. (2005)**.

✓ Principe :

Les ions potassium réagissent avec le tétraphénylborate de sodium pour former un précipité blanc de tétraphénylborate de potassium. La turbidité générée est directement proportionnelle à la concentration en potassium.

✓ Procédure :

À 25 ml d'échantillon ont été ajoutées successivement les gélules de réactifs potassium 1 et potassium 2. Après homogénéisation, une troisième gélule (réactif potassium 3) a été ajoutée et la solution a été agitée pendant 30 secondes. Le mélange a ensuite été transféré dans une cellule de 25 ml. Remplir une autre cuvette (le blanc) avec 25 ml d'échantillon. La lecture a été effectuée par spectrophotométrie à 650 nm et le résultat exprimé en mg/L de potassium.

II.2.2.1.5. Dosage des cations échangeables (Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+)

Dosage de calcium (Ca^{2+}) et de magnésium (Mg^{2+})

L'évaluation des teneurs en Ca^{2+} et en Mg^{2+} a été réalisée par la méthode colorimétrique à la Calmagite conformément à la procédure standard décrite par **Eaton et al. (2005)**.

✓ Principe :

Il repose sur la formation de complexes colorés entre ces ions et le Calmagite. L'intensité de la coloration, mesurée par spectrophotométrie à 522 nm, est proportionnelle à la concentration en Ca^{2+} et Mg^{2+} dans l'échantillon.

✓ Procédure :

100 mL d'échantillon à analyser ont été prélevés dans une éprouvette. 1 mL de solution indicatrice du calcium et du magnésium a été ajouté à l'aide d'un compte-gouttes gradué, puis la solution a été homogénéisée. Ensuite 1 mL de solution alcaline pour calcium et magnésium a été ajouté, et le mélange a été agité. 25 mL de cette solution ont été introduits dans 3 cuvettes colorimétriques. 1 goutte de solution d'EDTA 1 M a été ajoutée à l'une des cuvettes (le blanc), puis la solution a été agitée. Dans une autre cuvette contenant l'échantillon, 1 goutte de solution d'EGTA a été ajoutée, puis le tout a été agité. Les lectures spectrophotométriques ont été effectuées à la longueur d'onde de 522 nm. Le dosage du magnésium a été déterminé à partir de l'échantillon ayant reçu l'EGTA, tandis que celui du calcium a été obtenu à partir de la

solution ayant reçu la solution alcaline. Enfin, les résultats ont été exprimés en mg/kg de Ca et de Mg.

Dosage du sodium (Na⁺)

Le dosage du sodium a été effectué selon la méthode colorimétrique directe décrite par **Eaton et al. (2005)**.

✓ **Principe :**

L'analyse a consisté en une mesure directe de l'intensité de la coloration jaune de la solution alcaline de chromate de sodium. En milieu acide, la solution a présenté une coloration orangée qui a nécessité un traitement. Un réactif neutralisant a été ajouté afin d'élever le pH et de produire la couleur jaune indispensable à la détermination.

✓ **Procédure :**

Une cuvette colorimétrique a été remplie avec 25 mL d'échantillon, puis le contenu d'une gélule de réactif neutralisant a été ajouté, avant que la solution soit agitée pour homogénéisation. Ensuite, une autre cuvette colorimétrique (blanc) a été remplie avec 25 mL d'eau distillée incolore. Les deux cuvettes ont ensuite été passées à la lecture au spectrophotomètre DR 3900 à la longueur d'onde de 670 nm. Le résultat est donné en mg/L de chromate de sodium (Na₂CrO₄).

II.2.2.1.6. Dosage des métaux lourds (Pb, Zn, Cu)

La teneur en plomb (Pb), zinc (Zn) et cuivre (Cu) a été déterminée par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) selon les procédures de référence (**Horwitz, 2000**).

✓ **Principe :**

Il repose sur la spectrophotométrie d'absorption atomique, qui mesure l'absorption de la lumière par les atomes libres des métaux (Pb, Zn, Cu) dans une flamme. Les échantillons sont minéralisés par calcination et attaque acide pour libérer les métaux sous forme soluble, puis la quantité de lumière absorbée est proportionnelle à leur concentration dans la solution.

✓ **Procédure :**

Deux grammes (2 g) d'échantillon ont été placés dans un creuset puis séchés à 75 °C avant d'être refroidis dans un dessiccateur. Ensuite, les échantillons ont été calcinés à 450 °C pendant deux heures dans un four à moufle. Après refroidissement, les cendres obtenues ont été humidifiées avec 2 ml d'eau déminéralisée, puis 1 ml d'acide chlorhydrique concentré a été ajouté goutte à goutte. Le mélange a été chauffé sur une plaque chauffante jusqu'à l'apparition

de vapeurs. Ensuite, 2 à 3 ml d'eau déminéralisée ont été ajoutés avant la filtration. Le rinçage a été effectué à l'eau tiède. Le tout a été complété à 100 ml au trait de jauge après refroidissement. Cette solution a été utilisée pour le dosage par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) des éléments : plomb (Pb), zinc (Zn) et cuivre (Cu) par émission de flamme. Les résultats sont donnés en mg/Kg.

II.2.2.2. Détermination de la biomasse microbienne et des activités enzymatiques

II.2.2.2.1. Dénombrement de la flore fongique et bactérienne

Dénombrement de la flore fongique

L'analyse de la flore fongique a été réalisée selon la technique des suspensions-dilutions (**Rapilly, 1968**) sur un milieu gélosé Sabouraud dextrose agar (SDA) additionné d'un antibiotique : Gentamicine (Annexe 3). Dans un erlenmeyer de 250 ml contenant 90 ml d'eau distillée stérile, 10 g de compost sec ont été ajoutés de manière aseptique (après séchage à 30 °C pendant une nuit). Ce mélange a été agité mécaniquement à l'aide de barreaux magnétiques pendant 30 minutes afin de mettre en suspension les particules de compost ainsi que les spores et les mycéliums qui y sont fixés. La suspension obtenue a constitué à la dilution 10^{-1} . Un millilitre (1 ml) de cette dilution 10^{-1} a été prélevé de manière aseptique et ajouté à 9 ml d'eau distillée stérile, donnant ainsi la dilution 10^{-2} . Cette dilution a été agitée pendant deux minutes, puis 1 ml a été prélevé et ajouté à 9 ml d'eau distillée stérile, et ainsi de suite jusqu'à la dilution 10^{-8} . Un volume de 0,1 ml a été prélevé de chaque dilution, en commençant par la dilution 10^{-8} jusqu'à la dilution 10^{-1} , puis ensemencé sur les milieux de culture à l'aide d'une pipette coudée en verre stérile. Les boîtes de Pétri ont été incubées à 26 °C pendant 3 jours. La charge fongique a été déterminée par le comptage des colonies et les résultats ont été exprimés en UFC (Unités Formant Colonie) / g de compost selon la formule mathématique ci-dessous :

$$N = \frac{\Sigma \text{colonies} \times \text{Fd1}}{\text{Vml} \times (\text{n1} + 0,1\text{n2})}$$

Où :

N : Nombre d'UFC par gramme de compost ; **Σ colonies** : Somme des colonies des boîtes de Pétri interprétables ; **V** : Volume de solution déposé (1 ml) ; **n1** : Nombre de boîtes de Pétri considérées à la première dilution retenue ; **n2** : Nombre de boîtes de Pétri considérées à la seconde dilution retenue ; **Fd1** : Facteur de la première dilution retenue.

✚ Dénombrement de la flore bactérienne

La détermination de la flore bactérienne totale a été effectuée selon la technique des suspensions-dilutions sur la gélose nutritive additionnée d'un agent antifongique : la nystatine à 0,5 % (Annexe 2). Cinq grammes (5 g) de chaque compost ont été placés dans un erlenmeyer de 100 ml contenant 45 ml de sérum physiologique stérile (9 g de NaCl/L dans 1000 ml d'eau distillée) et mis en suspension à l'aide d'un agitateur magnétique pendant 30 minutes. La suspension a ensuite été décantée pendant 20 minutes puis le surnageant a été récupéré, il constitue la dilution 10^{-1} . À partir de cette suspension, des dilutions décimales ont été réalisées jusqu'à la dilution 10^{-8} . Un volume de 0,1 ml a été prélevé de chaque dilution, en allant de la dilution 10^{-8} jusqu'à 10^{-1} , puis ensemencé sur les milieux de culture à l'aide d'une pipette coudée en verre stérile. Les boîtes de Pétri ont été incubées à 30 °C pendant 24 heures. La charge bactérienne a été déterminée par le comptage des colonies et les résultats ont été exprimés en UFC (Unités Formant Colonie) / g de compost.

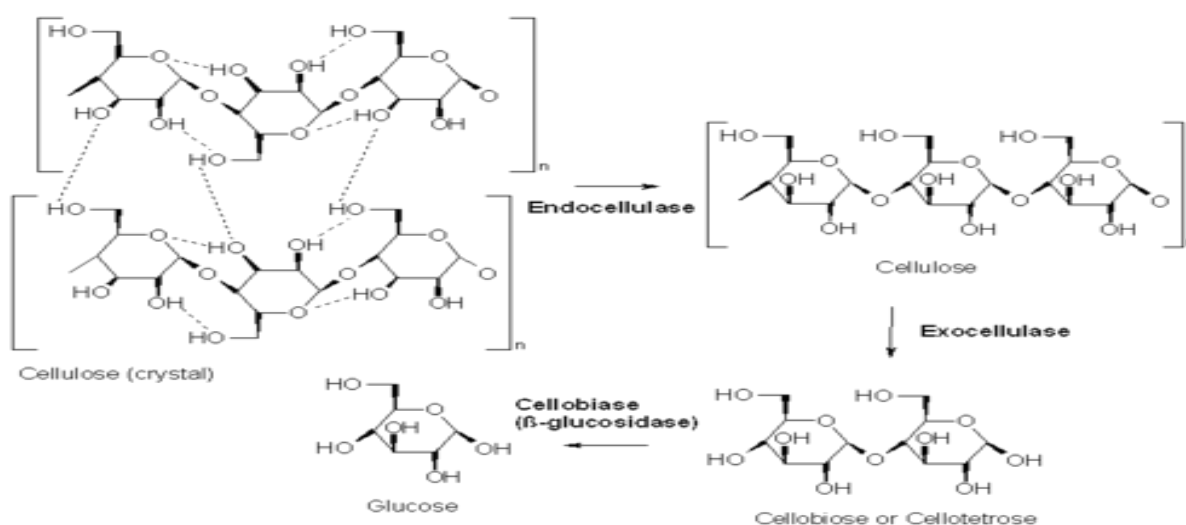
II.2.2.2. Détermination des activités enzymatiques

II.2.2.2.1. Activité cellulase

L'activité cellulase (EC 3.2.1) du compost a été mesurée par la méthode employée par **Wood et Bhat (1988)**.

✓ Principe :

La méthode est basée sur la libération des sucres réducteurs (hydrolyse des liaisons β -1,4 de la cellulose) par la cellulase (endo- β -1,4-glucanase ; exo- β -1,4-glucanase et la β -glucosidase) après incubation de l'échantillon de compost avec la carboxyméthylcellulose (CMC) pendant 4 heures à 50°C.



✓ **Protocole :**

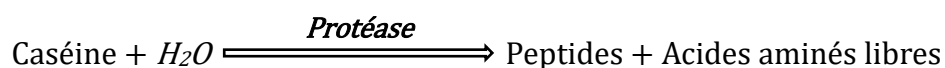
Pour déterminer, 5 g de compost ont été placés dans un erlenmeyer de 50 ml, puis incubés avec 0,5 ml de toluène et 20 ml de carboxyméthylcellulose (CMC) tamponnée à 2 % à 30 °C pendant 24 heures. Après incubation, la suspension a été bien homogénéisée puis centrifugée trois fois à 17 390 g pendant 10 minutes. Une portion de 10 ml du surnageant a été transférée dans un tube à centrifuger en plastique de 50 ml et traitée avec 2 g de résine échangeuse de cations saturée en potassium. Le mélange a été agité pendant 30 minutes, puis le surnageant a été analysé pour la teneur en sucres réducteurs selon la méthode de Somogyi-Nelson. Les solutions bleues développées à partir des extraits de compost traités par la CMC ont été centrifugées une fois (comme décrit ci-dessus) avant la mesure de la couleur à 710 nm. Deux témoins ont été réalisés : le premier contenait de la CMC tamponnée à 2 % incubée avec 0,5 ml de toluène mais sans compost ; le second contenait 5 g de compost incubé avec 0,5 ml de toluène et 20 ml de tampon acétate sans CMC. Après incubation, les deux mélanges témoins ont été traités de la même manière que les échantillons testés. Les valeurs obtenues pour les deux témoins ont été soumises en soustraction des valeurs de glucose mesurées pour les composts traités avec la CMC. Les résultats sont exprimés en U/mg/h.

II.2.2.2.2. Activité protéase

L'analyse de l'activité protéasique (EC 3.4) du compost a été réalisée par la méthode décrite par **Ladd et Butler (1972)**.

✓ **Principe :**

Il est basé sur la détermination de la masse des acides aminés libérés après incubation du compost avec le caséinate de sodium pendant 2 heures à 50 °C en utilisant le réactif de Folin. L'intensité de la coloration bleue obtenue est proportionnelle à la quantité d'acides aminés libérés.



✓ **Protocole :**

Pour cela, des extraits ont été préparés par agitation (120 oscillations/min ; amplitude de 3,5 cm) de composts secs avec un tampon Tris-borate 0,1 M, pH 8,1 (5 ml de tampon par gramme de compost) à 40 °C pendant 60 minutes, puis centrifugés pendant 30 minutes à 2 000 g. La procédure d'extraction a été répétée au moins deux fois avant de déterminer les activités résiduelles en protéases des composts extraits. Les dosages étaient basés sur le taux de libération de leucine à partir du benzyloxycarbonyl (Z-) phénylalanine-leucine dans du tampon Tris-borate 0,1 M, pH 8,1. Les conditions du dosage étaient celles décrites précédemment, à

l'exception de la quantité de substrat ajouté, qui a été réduite de moitié ; et dans les dosages ultérieurs réalisés uniquement avec les extraits, les mélanges réactionnels ont été incubés sans agitation à 50 °C. Toutes les activités ont été corrigées pour celles des témoins sans substrat et ont été exprimées en μ moles de leucine libérée/h/g de poids sec de compost. Les résultats sont exprimés en U/mg/h.

II.2.2.2.3. Activité déshydrogénase (DHase)

L'activité déshydrogénase (EC 1.1.1) a été déterminée par la méthode décrite par **Tabatabaï (1994)**.

✓ Principe :

Il est basé sur l'estimation de la concentration du 2,3,5-tryphenylformazan (TPF) libéré par déshydrogénase lorsque le compost est incubé avec une solution tampon du chlorure de 2,3,5-tryphényltétrazolium (TTC). La densité optique du TPF est déterminée par colorimétrie à 485 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.



✓ Protocole :

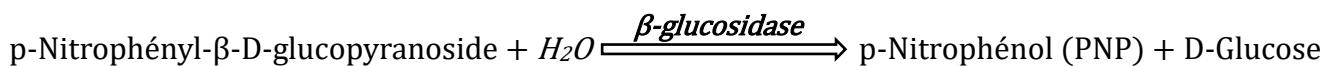
Le compost a été mouillé avec 0,5 ml d'eau déionisée et incubé à 25° C. Après 0, 1, 2, 4, 7, 10, 15, 20, 30, 60, 90 ou 120 jours d'incubation, un ensemble d'échantillons de contrôle, d'échantillons traités et d'échantillons vierges a été prélevé. Les échantillons traités et d'un blanc de chaque sol ont été retirés de l'incubateur et analysés pour l'activité phosphatase. Cependant, 0,5 ml de tampon au moins a été ajouté au mélange de l'essai pour compenser les 0,5 ml d'eau déjà présents dans l'échantillon. Au cours de la période d'incubation, les échantillons ont été aérés tous les 3 jours en retirant les bouchons pendant une demi-heure. Plusieurs échantillons ont été choisis au hasard, pesés et analysés. La quantité d'eau nécessaire pour retenir les 0,5 ml dans l'échantillon de compost. Cette eau a ensuite été ajoutée à tous les échantillons de compost encore en cours d'incubation, les bouchons ont été remis en place et l'incubation a repris. Les valeurs (rapport compost/eau, 1:2,5) des échantillons de compost avant et après la période totale d'incubation ont été déterminées. Des échantillons de sol avant et après la période totale d'incubation de 120 jours ont également été mesurées à 485 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Les résultats sont exprimés en mg TFP/kg sol sec/24 h.

II.2.2.2.4. Activité de la β -glucosidase (β -Glu)

L'activité de la β -glucosidase (EC 3.2.1) a été déterminée selon le protocole établi par **Eivazi et Tabatabai (1988)**.

✓ **Principe :**

Il repose sur l'hydrolyse du p-nitrophényl-β-D-glucopyranoside (pNPG) par la β-glucosidase, libérant du p-nitrophénol (PNP), un composé chromogène mesurable par spectrophotométrie UV à une longueur d'onde de 405 nm. L'intensité de la coloration jaune développée est directement proportionnelle à l'activité enzymatique.



✓ **Protocole :**

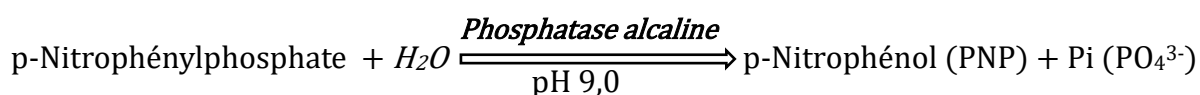
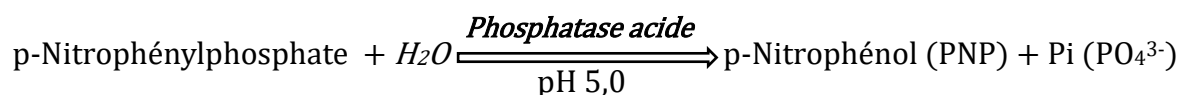
Un échantillon de compost (1 g) placé dans un erlenmeyer de 50 ml a été traité avec 0,25 ml de toluène, 4 ml de MUB (pH 6,0) et 1 ml de la solution de glucoside appropriée. Le flacon a été agité pendant quelques secondes pour mélanger le contenu, bouché et incubé à 37°C. Après 1 h, le bouchon a été enlevé et 1 ml de CaCl₂ 0,5 M a été ajouté, mélangé et traité avec 4 ml de THAM 0,1 M, pH 12. Le flacon a été agité pendant quelques secondes pour mélanger le contenu, et la suspension de compost a été filtrée à travers un papier filtre plié Whatman n°2. L'absorbance de la solution colorée a été mesurée à l'aide d'un calorimètre photoélectrique Klett-Summerson équipé d'un filtre bleu (n°4). L'absorbance maximale de la couleur mesurée se situe à 400 nm. Les résultats sont exprimés en mg PNP/kg sol sec/h.

II.2.2.2.5. Activité des phosphatases acides et alcalines

Les activités des phosphatases (EC 3.1.3) ont été évaluées par la méthode développée par Eivazi et Tabatabai (1977).

✓ **Principe :**

Les activités phosphatases sont mesurées de façon directe, c'est-à-dire sans extrait enzymatique en utilisant comme substrat le p-nitrophénylphosphate, dissous dans un tampon NaOH Glycine 0,1 M, pH 9 pour les phosphatases alcalines et dans un tampon acétate de sodium 0,1 M, pH 5 pour les phosphatases acides.



✓ **Protocole :**

L'activité enzymatique est mesurée à l'aide de 1 g de compost et 5 ml de tampon pH 5 ou pH 9 à 10 mM de p-nitrophénylphosphate. Après une incubation d'une heure à 37°C, 1 ml d'une solution de CaCl₂ 0,5 M et 4 ml de solution NaOH 0,5 M ont été ajoutés au milieu

réactionnel. L'activité enzymatique est ainsi stoppée. La lecture de la densité optique à 405 nm du *p*-nitrophénol libéré ($\epsilon M=1,9 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) est effectuée après une centrifugation de 10 min à 10000 rpm. Les résultats ont été exprimés en unité par gramme de matière sèche (U.g^{-1} MS), une unité correspondant au nombre de μmole de *p*-nitrophénol libéré par minute. Une gamme étalon de *p*-nitrophénol est réalisée dans chacun des deux tampons. Les résultats sont exprimés en mg PNP/kg sol sec/h.

II.2.3. Préparation du macérât aqueux à base de feuilles de *Millettia laurentii*

Les feuilles fraîches de wengé ont été récoltées manuellement puis mises à sécher à l'abri de la lumière directe dans un espace bien ventilé afin de préserver l'intégrité des composés bioactifs. Une fois complètement sèches, elles ont été broyées à l'aide d'un moulin électrique jusqu'à obtention d'une poudre fine et homogène. Trois concentrations de macérât aqueux ont été préparées : 3 %, 6 % et 9 % (m/v). Pour la solution à 3 %, 300 g de poudre ont été rigoureusement pesés à l'aide d'une balance de précision, puis introduite dans un bidon propre de 10 L contenant de l'eau à température ambiante. Les préparations à 6 % et 9 % ont été obtenues suivant le même protocole en utilisant respectivement 600 g et 900 g de poudre pour la même quantité d'eau. Les mélanges ont été soigneusement homogénéisés puis laissés en macération statique pendant 72 heures à l'abri de la lumière directe. Afin d'optimiser l'extraction des composés actifs, un brassage manuel de 2 à 3 minutes a été effectué quotidiennement. À la fin de la période de macération, chaque solution a été filtrée à l'aide d'un tamis à mailles fines (environ 200 μm) pour éliminer les résidus solides. Le filtrat clair obtenu a constitué le macérât aqueux final utilisé comme solution de traitement. Le macérât a été appliqué par pulvérisation sur les plants de tomate à raison de trois traitements par semaine. Avant chaque application, les solutions ont été ramenées à température ambiante et légèrement agitées pour assurer l'homogénéité.



Figure 9 : Différentes concentrations du macérât de *Millettia laurentii* préparées (Mahamat dans cette étude, 2025).

II.2.4. Criblage phytochimique du macérât aqueux de *Millettia laurentii*

Le macérât aqueux obtenu à partir des feuilles de wengé a été soumis à un criblage phytochimique qualitatif afin d'identifier les principales classes de métabolites secondaires présentes. Les tests ont été réalisés selon les méthodes classiques décrites par **Harborne (1998)**, **Odebiyi et Sofowora (1978)** et **Trease et Evans (2002)** avec quelques adaptations spécifiques aux extraits aqueux. Ce criblage repose essentiellement sur des réactions colorimétriques caractéristiques dont les principes sont résumés ci-dessous :

✚ Détection des alcaloïdes

La détection des alcaloïdes a reposé sur leur capacité à former des sels insolubles avec les ions mercuriques. Ainsi, 0,5 g d'extrait ont été dissous dans 1 mL de méthanol, puis quelques gouttes d'acide sulfurique à 2 % et du réactif de Mayer ont été ajoutées. La formation d'un précipité blanc ou d'une turbidité a indiqué la présence d'alcaloïdes (**Harborne, 1998**).

✚ Détection des composés phénoliques

Les composés phénoliques ont été mis en évidence par leur aptitude à former des complexes colorés avec le fer (III). À 5 mL d'extrait méthanolique, quelques gouttes de chlorure ferrique (FeCl_3 à 5 %) ont été ajoutées ; l'apparition d'une coloration bleue ou violette a révélé la présence de composés phénoliques (**Harborne, 1998**).

✚ Détection des triterpènes et stérols

Les triterpènes et stérols ont été détectés par le test de Liebermann-Burchard, fondé sur la formation de complexes colorés après sulfonation. Une petite quantité d'extrait a été dissoute dans du chloroforme, puis quelques gouttes d'anhydride acétique et d'acide sulfurique

concentré ont été ajoutées. La coloration violacée a signalé la présence de triterpènes, tandis qu'une teinte vert-bleuâtre a indiqué la présence de stérols (Trease et Evans, 2002).

Détection des flavonoïdes

La recherche des flavonoïdes s'est appuyée sur leur propriété à former des sels colorés en milieu alcalin. À quelques millilitres de la solution méthanolique de l'extrait, quelques gouttes de soude diluée (1/10) ont été ajoutées. L'apparition d'une coloration jaune à orangée a été caractéristique de la présence de flavonoïdes (Kovue-Besović et Durić, 2003).

Détection des saponines

Pour la mise en évidence des saponines, le test de mousse a été appliqué. Cinquante milligrammes (50 mg) d'extrait ont été chauffés dans 5 mL d'eau distillée pendant 5 minutes, puis la solution a été vigoureusement agitée. La persistance d'une mousse d'au moins 2 cm de hauteur a témoigné de la présence de saponines (Odebiyi et Sofowora, 1978).

Détection des anthocyanes

La détection des anthocyanes s'est appuyée sur leur sensibilité au pH. À 5 mL de la solution aqueuse de l'extrait, quelques gouttes d'acide chlorhydrique dilué ont été ajoutées, suivies d'ammoniaque. Le passage d'une coloration rouge à une teinte bleu-violacée ou verdâtre a indiqué la présence d'anthocyanes (Trease et Evans, 2002).

Détection des anthraquinones

Les anthraquinones ont été recherchées par la réaction de Bornträger modifiée. Ainsi, 5 mL de la solution aqueuse d'extrait ont été traités avec 5 mL d'ammoniaque à 10 %. L'apparition d'une coloration rouge à orange a indiqué la présence d'anthraquinones (Harborne, 1998).

Détection des glycosides cardiaques

Les glycosides cardiaques ont été détectés par le test de Keller-Killiani. À 5 mL de la solution aqueuse d'extrait, 2 mL de chloroforme ont été ajoutés, puis quelques gouttes d'acide sulfurique concentré. L'apparition d'une coloration brun-rougeâtre à la jonction des couches a indiqué la présence de glycosides cardiaques (Harborne, 1998).

Détection des coumarines

La recherche des coumarines s'est effectuée selon leur capacité à développer une fluorescence en milieu alcalin. À 5 mL de la solution méthanolique de l'extrait, quelques gouttes de potasse à 10 % ont été ajoutées, puis la solution a été observée sous lampe UV à 365 nm.

Une fluorescence bleue allant au jaune pourpre a témoigné de la présence de coumarines (Kovue-Besović et Durić, 2003).

Détection des tanins

Les tanins ont été recherchés à l'aide du réactif de Stiasny et du chlorure ferrique. Un millilitre (1 mL) d'extrait méthanolique a été évaporé à sec, puis le résidu a été traité avec 3 mL du réactif de Stiasny et a été chauffé au bain-marie à 80 °C pendant 30 minutes. La formation d'un précipité floconneux signale la présence de tanins condensés. Le filtrat obtenu a été saturé en acétate de sodium, puis trois gouttes de FeCl₃ ont été ajoutées pour révéler les tanins hydrolysables (Odebiyi et Sofowora, 1978).

II.2.5. Evaluation de l'effet du compost et du macérât aqueux sur les paramètres de croissance, la production, les qualités nutritionnelle et organoleptique de la tomate

II.2.5.1 Culture de la tomate

II.2.5.1.1. Amendement du sol et mise en place des traitements expérimentaux

Le sol utilisé pour l'expérimentation a été homogènement amendé avec différents composts selon des proportions massiques bien définies (rapport masse/masse). Trois doses de compost ont été appliquées :

- 5 % de compost / 95 % de sol
- 10 % de compost / 90 % de sol
- 15 % de compost / 85 % de sol

Chaque dose a été combinée avec l'un des quatre types de compost (C1, C2, C3 et C4). Chaque combinaison compost/sol a été répétée trois fois. Par ailleurs, un second facteur expérimental a été étudié : l'application du macérât aqueux. Celui-ci a été préparé et pulvérisé à trois (3) concentrations différentes : 3 %, 6 % et 9 %. Chaque concentration a été répétée trois fois. Enfin, deux témoins ont été intégrés pour servir de référence dans l'évaluation des effets des différents traitements :

- Témoin positif (T⁺) : sol amendé avec un engrais minéral de type N-P-K.
- Témoin négatif (T⁻) : sol non amendé

Ces témoins ont également été conduits avec trois répétitions chacun.

II.2.5.1.2. Semis direct

Le semis a été réalisé dans un total de 51 pots en plastique, correspondant à l'ensemble des unités expérimentales (composts, témoins, macérats). Dans chaque pot, cinq (5) graines de tomate de la variété Rio Grande ont été semées. Après le semis, les pots ont été recouverts d'un plastique noir pendant environ cinq jours afin de maintenir l'humidité et la température, favorisant ainsi la germination. L'arrosage a été effectué une fois par jour en petites quantités pour éviter le pourrissement des graines. Après la levée, les jeunes plantules ont été maintenues pendant deux semaines. À l'issue de cette période, la plantule la plus vigoureuse parmi les cinq de chaque pot a été sélectionnée tandis que les autres ont été retirées pour éviter toute compétition. Les plantules sélectionnées, présentant entre 4 et 6 feuilles bien développées ont été conservées dans leurs pots respectifs, préalablement humidifiés. À partir de ce stade, l'arrosage a été intensifié à raison de deux fois par jour (matin et soir) jusqu'à la formation des fruits. Afin de favoriser une croissance verticale et éviter la cassure des tiges, les plants ont été tuteurés à l'aide de piquets d'une hauteur de 1,5 mètre, installés dans chaque pot.



Figure 10 : Disposition expérimentale des pots après sélection des jeunes plantules (Mahamat dans cette étude, 2025).

II.2.5.1.3. Dispositif expérimental des pots

La Figure 11 ci-dessous représente l'agencement des différents traitements dans les 51 pots selon un plan de randomisation complet à trois répétitions (plan de Fisher). Il inclut les 36 pots des traitements compostés, les 6 pots témoins ainsi que les 9 pots traités avec les différentes concentrations de macérat aqueux.

C3 (15%)	C4 (10%)	C2 (15%)	C4 (5%)	C2 (5%)	C4 (15%)
6%	C2 (10%)	9%	T ⁻	C1 (5%)	T ⁺
C2 (5%)	C3 (5%)	C4 (10%)	C2 (5%)	9%	C1 (10%)
T ⁺	6%	T ⁻	3%	C4 (10%)	C2 (15%)
C4 (15%)	C1 (15%)	C3 (15%)	C4 (15%)	C1 (10%)	C3 (10%)
3%	C3 (10%)	C1 (5%)	C3 (10%)	T ⁺	C4 (5%)
C1 (15%)	C2 (15%)	3%	C1 (15%)	C3 (5%)	9%
C2 (10%)	T ⁻	C3 (5%)	C2 (10%)	6%	C1 (10%)
C3 (15%)	C4 (5%)	C1 (5%)			

Légende :









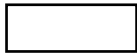
	Compost C1		Macérât à 3%
	Compost C2		Macérât à 6%
	Compost C3		Macérât à 9%
	Compost C4		T ⁺ : Engrais minéral NPK
(5%, 10%, 15%) : Proportions compost/sol			T ⁻ : Sol non amendé

Figure 11 : Dispositif expérimental des pots au cours de la culture de la tomate.

II.2.5.2. Evaluation des paramètres de croissance et de production des plants

II.2.5.2.1. Paramètres de croissance

Un mois après le semis, les paramètres de croissance des plants (Annexe 1.i) ont été mesurés chaque semaine jusqu'au 42^{ème} JAS. Les paramètres relevés étaient : la hauteur des plants, le nombre de feuilles, la longueur des feuilles, la largeur des feuilles et la surface foliaire dont la formule est la suivante : Surface foliaire (Cm²) = L (Cm) x l (Cm) x K ; avec K= 0,72 (Derkaoui, 2011).

II.2.5.2.2. Paramètres de production

La prise de donnée ici concernait le nombre de fleurs, le nombre de fruits (total et mûrs) et la masse des fruits mûrs. Aux 70^{ème}, 90^{ème} et 110^{ème} JAS, le nombre de fleurs et le nombre de fruits de chaque plant ont été déterminés par comptage. Aux 90^{ème} et 110^{ème} jours, le nombre et la masse de fruits mûrs ont été relevés respectivement par comptage et par pesées à l'aide d'une balance sensible puis la moyenne par plant et par traitement a été calculée.



Figure 12 : Photographie des plants de tomate pendant la production (**Mahamat dans cette étude, 2025**).

II.2.5.3. Evaluation des qualités nutritionnelle et organoleptique de la tomate

II.2.5.3.1. Qualité nutritionnelle

II.2.5.3.1.1. Traitement des échantillons

Trois catégories de tomates ont été analysées dans cette étude : la tomate biologique, la tomate chimiques (N-P-K) et la tomate achetée au marché Mokolo. Chaque lot a d'abord été soigneusement lavé à l'eau distillée pour éliminer les impuretés de surface, puis égoutté et essuyé à l'aide de papier absorbant. Les fruits ont ensuite été coupés en petits morceaux à l'aide d'un couteau en acier inoxydable. Deux fractions distinctes ont été constituées à partir de chaque lot. La première fraction, destinée à l'analyse des composés thermosensibles tels que les sucres totaux, la vitamine C et le lycopène a été immédiatement réduite en purée à l'aide d'un mixeur électrique puis conditionnée dans des tubes hermétiques en polypropylène et conservée à -80°C jusqu'aux analyses afin de prévenir l'oxydation et la dégradation enzymatique. La deuxième fraction, destinée aux autres paramètres a été séchée à l'étuve à 45°C jusqu'à masse constante afin de limiter les pertes en composés volatils tout en assurant une bonne conservation. La matière sèche obtenue a été réduite en poudre fine à l'aide d'un mortier en porcelaine, tamisée à 1 mm et stockée dans des tubes en polyéthylène hermétiques à température ambiante, à l'abri de la lumière et de l'humidité.

II.2.5.3.1.2. Caractérisation physico-chimique et nutritionnelle des fruits

II.2.5.3.1.2.1. Détermination de la teneur en eau

La teneur en eau a été déterminée par la méthode décrite par **A.O.A.C (1980)**.

✓ **Principe :**

Elle est basée sur la perte en masse des échantillons après étuvage à 105°C jusqu'à élimination complète d'eau libre et de la matière volatile et obtention d'une masse constante.

✓ **Mode opératoire :**

La capsule de porcelaine sèche a été pesée (P_0) à l'aide d'une balance ainsi que 5g d'échantillon frais (P_1). Ils ont été mis à sécher dans une étuve de marque « Memmert » à une température de 105°C. Les pesées ont été régulièrement faites jusqu'à obtention d'un poids constant. Le résidu sec a été refroidi dans l'atmosphère d'un dessiccateur contenant le P_2O_5 comme desséchant pendant 1h et pesé (P_2). La teneur en eau est la moyenne des teneurs des trois essais déterminés selon la formule suivante :

$$\text{Teneur en eau (\%)} = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_0} \times 100$$

Les résultats sont exprimés en g pour 100 g de matière fraîche.

II.2.5.3.1.2.2. Détermination de la teneur en cendres

La méthode décrite par **A.O.A.C (1980)** a permis de déterminer la teneur en cendres.

✓ **Principe :**

Elle repose sur la quantification des cendres par calcination (minéralisation par voie sèche). Il s'agit d'une incinération d'un échantillon de masse connue jusqu'à l'obtention des cendres exemptes de carbone (cendres blanches).

✓ **Mode opératoire :**

Une capsule de porcelaine soigneusement lavée et rincée à l'eau distillée et à l'acide nitrique 1 % a été mise à sécher dans une étuve à 65°C pendant 1h. Elle a ensuite été placée au four de marque « VECSTAR » à 550°C pendant 3h pour détruire toute trace de matière organique. Au sortir du four, elle a été mise à refroidir dans un dessiccateur pendant 1h. Son poids (P_1) a été déterminé. Exactement 3 g de matière sèche (P_0) de l'échantillon ont été placés dans la capsule. L'ensemble a été mis au four à 550°C pendant 48h. Au sortir du four, la capsule contenant la cendre a été mise à refroidir dans un dessiccateur et son poids P_2 a été déterminé. La teneur en cendres est la moyenne de trois déterminations et est donnée par la relation suivante :

$$\text{Teneur en cendres (\%)} = \frac{P_2 - P_1}{P_0} \times 100$$

Les résultats sont exprimés par g pour 100 g de matière sèche

II.2.5.3.1.2.3. Détermination du potentiel d'hydrogène « pH »

Le pH a été déterminé selon la méthode décrite par **Aminifard et al. (2013)**.

✓ **Principe :**

Il se repose sur la mesure de différence de potentiel entre l'électrode de référence et l'électrode de mesure plongeant dans la solution. La valeur du pH est fonction de la concentration en ions hydronium.

✓ **Mode opératoire :**

Les fruits ont été coupés en petits morceaux puis ils ont été réduits en purée dans un mortier. Le pH-mètre a été étalonné successivement avec des solutions tampons de pH 4, 7 et 10. Le pH est lu à 20° C en plongeant l'électrode dans la solution d'échantillon ; la valeur est notée une fois que le pH-mètre s'est stabilisé.

II.2.5.3.1.2.4. Détermination de la densité

✓ **Principe :**

Il repose sur la comparaison de la masse d'un volume donné de la solution de tomate à celle de même volume d'eau distillée à 20 °C, à l'aide d'un pycnomètre.

✓ **Mode opératoire :**

Selon **James (1980)**, la densité est obtenue en calculant le quotient de la masse volumique d'une solution de la même masse volumique d'eau distillée à 20°C. Le pycnomètre est pesé vide (m_0). On le remplit d'eau distillée récemment bouillie et refroidie aux environs de 20°C. Avant de faire la pesée, le niveau d'eau est ajusté au trait de repère après avoir bouché le pycnomètre. Après cette opération on prépare une solution de la poudre obtenue, après filtration la solution obtenue est remplacée par l'eau distillée ensuite pesée. La densité est calculée par la formule suivante :

$$\text{Densité} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100$$

Où :

m_0 : masse en grammes du pycnomètre vide ; m_1 : masse en grammes du pycnomètre rempli d'eau distillée ; m_2 : masse en grammes du pycnomètre rempli de la solution de tomate

II.2.5.3.1.2.5. Dosage des sucres totaux

Le dosage des sucres totaux a été déterminé par le test au phénol (Goodon, 1997).

✓ **Principe :**

En présence de l'acide sulfurique concentré, les oses sont déshydratés en composés de la famille des dérivées furfuriques. Ces composés se condensent avec le phénol pour donner des complexes jaune-orangé. La teneur est lue au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 490 nm.

✓ **Mode opératoire :**

- **Extraction des sucres**

Dans un bécher contenant 100 mg de poudre d'échantillon, 10 ml d'un mélange hydro-alcoolique (1/10 v/v) ont été introduits ; l'ensemble a été homogénéisé pendant 10 minutes puis filtré et évaporé à température ambiante pour éliminer l'excès de solvant. Le filtrat obtenu a été utilisé pour le dosage.

- **Réalisation de la courbe d'étalonnage**

A partir d'une solution standard de glucose 1mg/ml, des volumes de 0,07 ; 0,14 ; 0,21 et 0,28 ml ont été pipetés et introduits dans des tubes de 10 ml. Puis, 0,3 ml de phénol 5% ont été ajoutés ainsi que 1,8 ml d'acide sulfurique ; les volumes ont été ensuite complétés avec de l'eau distillée. Les densités optiques des solutions ainsi obtenues ont été lues au spectrophotomètre à 490 nm contre le blanc. Dans le tube essai, 1 ml d'extrait hydro-alcoolique a été ajouté ensuite 0,4 ml d'eau distillée et 0,3 ml de phénol 5% (p/p) puis l'ensemble a été mélangé et 1,8 ml d'acide sulfurique ont ensuite été ajoutés au mélange. Dans le tube blanc ont été introduit 0,4 ml d'eau distillée 0,3 ml de phénol 5% et 1,8 ml d'acide sulfurique concentré. Les densités optiques ont été immédiatement lues au spectrophotomètre à 490 nm.

Tableau II : Procédure du dosage des sucres totaux de tomates

	Tube 1	Tube 2	Tube 3	Tube 4	Tube X
Glucose (ml) 1 mg/ml	0,07	0,14	0,21	0,28	0
Extrait méthanolique (ml)	0	0	0	0	1
Phénol 5% (ml)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Solution d'acide sulfurique concentré (ml)	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Eau distillée (ml)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Lecture des absorbances 490 nm contre le blanc					

Le tube X représente le tube contenant les extraits de nos échantillons. La teneur en sucre de chaque prise d'essai a été déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage du glucose (Annexe 5.a). Les résultats ont été exprimés en g pour 100 g de matière sèche.

$$\text{Quantité en sucres totaux} = \text{Teneur en sucres totaux} \times \text{Poids de matière sèche}$$

II.2.5.3.1.2.6. Dosage des lipides totaux

L'extraction des lipides totaux a été faite à l'aide d'un appareil Soxhlet selon la méthode décrite par **Bourey** (1982).

✓ **Principe :**

L'extraction est basée sur la solubilité différentielle des lipides dans les solvants organiques (hexane ou éther de pétrole). Elle se fait à chaud pendant une durée de 8 heures environ. Après cela, le solvant est éliminé par évaporation et l'huile est séchée à l'étuve.

✓ **Mode opératoire :**

Les papiers filtres ont été séchés dans une étuve à 105°C pendant 3 heures puis les poids (P_F) ont été enregistrés. 2 g d'échantillons secs ont été pesés et placés dans les papiers filtres, puis le tout a été laissé sécher à l'étuve pendant 24 heures. A la fin du séchage, l'ensemble a été pesé et le poids (P_A) a été noté. Les papiers filtres contenant les échantillons ont ensuite été placés dans le Soxhlet pendant 12 heures pour l'extraction des huiles. 12 heures plus tard, les échantillons ont été retirés de l'extracteur et séchés dans une étuve à 105°C pendant 3 heures et le poids (P_E) a été noté. Les résultats sont exprimés en g pour 100 g de matière sèche.

$$\% \text{ Lipides totaux} = \frac{P_A - P_E}{P_A - P_F} \times 100$$

La quantité en lipides totaux a été déterminée suivant la formule :

$$\text{Quantité en lipides totaux} = \text{Teneur en lipides totaux} \times \text{Poids de matière sèche}$$

II.2.5.3.1.2.7. Dosage des composés phénoliques totaux

La caractérisation des groupements phénoliques a été faite grâce au réactif de Folin Ciocalteu dilué au 1/10^e tel que décrit par **Vinson et al.** (1998).

✓ **Principe :**

Cette méthode est basée sur la réduction d'un chromogène phosphomolybdique tungstenique par un antioxydant. Il y a le développement d'une coloration bleue et l'absorbance

est mesurée à 750 nm. Ce réactif est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique et phosphomolybdique (réactif commercial) en milieu alcalin (carbonate de sodium).

✓ **Mode opératoire :**

Les teneurs en phénols de chaque échantillon ont été déterminées par rapport à un antioxydant de référence (ici l'acide gallique).

- **Préparation des extraits**

Dans une fiole, introduire 2g d'échantillon en poudre, y ajouter 30 ml de solvant méthanol-eau 70/30. Après une agitation de 2h, laisser reposer et filtrer à l'aide d'un papier filtre. Reprendre les précédentes étapes jusqu'à l'obtention d'un extrait de couleur clair mais en ajoutant à chaque fois au culot 20 ml de solvant et agiter 30 min.

- **Préparation du réactif de Folin-Ciocalteu**

Environ 10 ml de réactif sont prélevés de la solution stock de normalité 2 N et introduit dans une fiole jaugée de 100 ml. Le volume sera ensuite complété jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée pour l'obtention d'une solution de 0,2 N.

- **Préparation de la solution de carbonate de sodium 10 %**

Dans une fiole jaugée de 100 ml ont été dissous à chaud 10 g de Na_2CO_3 dans 75 ml d'eau distillée. Une fois refroidit, quelques cristaux de carbonate de sodium ont été ajoutés à la solution qui a ensuite été conservée pendant 24 h au réfrigérateur. A la sortie du réfrigérateur, la solution a été filtrée sur Büchner et le volume complété avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

- **Préparation du standard acide gallique**

Environ 10 mg d'acide gallique sont dissous dans 10 ml de solvant eau-méthanol pour l'obtention des composés phénoliques de la poudre de tomate.

Tableau III : Procédure du dosage des composés phénoliques de tomates

	Tube 1	Tube 2	Tube 3	Tube 4	Tube 5	Tube X
Acide gallique (μl) (1mg/ml)	10	20	30	40	50	0
Solvant (μl)	40	30	20	10	0	0
Echantillon (ml)	0	0	0	0	0	2
Réactif de Folin (ml)	2	2	2	2	2	2
Agitation et incubation pendant 5 min à température ambiante						
Na_2CO_3 10% (ml)	2	2	2	2	2	2
Agitation et incubation à température ambiante durant 15 min et lecture de l'absorbance à 765 nm						

Le tube X est celui contenant les extraits méthanoliques de la poudre de tomate. Trois essais sont faits à chaque fois et la teneur en composés phénoliques est la moyenne des teneurs déterminées.

- **Expression des résultats**

La teneur en composés phénoliques dans nos extraits a été calculée à partir d'une courbe d'étalonnage linéaire ($y = ax + b$) établie avec des concentrations précises d'acides gallique comme standard de référence dans les mêmes conditions que l'échantillon. La teneur en composés phénoliques de chaque échantillon est obtenue par projection de son absorbance sur la droite d'étalonnage réalisée avec l'acide gallique (Annexe 5.b).

$$\text{Quantité en composés phénoliques totaux} = \text{Teneur en composés phénoliques totaux} \times \text{Poids de matière sèche}$$

II.2.5.3.1.2.8. Dosage du lycopène

La teneur en lycopène a été déterminée par la méthode de **Benakmoum et al. (2008)**.

✓ **Principe :**

Il repose sur l'extraction par un mélange de solvants organiques le cyclohexane ($d= 0,78$), le dichlorométhane ($d= 1,32$) et l'éthanol ($d= 0,79$), et sur la mesure de son absorbance maximale à 472 nm. L'intensité de la couleur rouge est proportionnelle à la teneur en lycopène selon la loi de Beer-Lambert.

✓ **Mode opératoire :**

15g d'échantillons frais sont introduits dans 25 ml de solution (hexane-acétone-éthanol, (50/50/1)). Après une agitation de 10 mn, centrifuger à 10 000 tours par mn pendant 30 mn. 1 ml de la phase organique est ensuite extrait et dilué dans 10 ml d'hexane. Dans une cuve, on met un échantillon de la phase organique et l'absorbance est mesurée à 472 nm. La teneur en lycopène est obtenue suivant la formule :

$$C (\mu\text{g/g}) = \frac{\text{Abs } 472 \times \text{Fd} \times 106 \times V}{3450 \times 100 \times P}$$

Où :

Fd : Facteur de dilution ; **V** : Volume du solvant d'extraction ; **3450** : Coefficient d'extinction de l'hexane ; **P** : Poids de la prise d'essai

II.2.5.3.1.2.9. Dosage des fibres brutes

Les fibres brutes ont été déterminées par la méthode décrite par **A.O.A.C (1990)**.

✓ **Principe :**

Le dosage des fibres brutes repose sur la digestion séquentielle de la matière végétale à l'acide puis à la base. La fraction insoluble restante après séchage et incinération représente les fibres brutes.

✓ **Mode opératoire :**

Précisément 1 g de matière sèche délipidé (P_1) a été introduit dans un bécher de 200 ml et 100 ml d'acide sulfurique 0,26 N ont été ajoutés. Le bécher a été placé sur une plaque chauffante à 100°C pendant 30 mn, puis son contenu a été filtré et lavé 3 fois à l'eau distillée. Ensuite il a été ajouté dans le bécher 100 ml de KOH 0,23 N et l'ensemble a été placé sur une plaque chauffante pendant 30 mn, puis le contenu a été filtré et lavé 3 fois à l'eau distillée et 2 fois à l'acétone. Le contenu du bécher a été séché dans une capsule en porcelaine à 105°C pendant 8h, puis a été laissé à refroidir au dessiccateur et a été pesé (P_2). La capsule a été ensuite placée dans un four à 500°C pendant 3h puis a été refroidi au dessiccateur et a été pesé (P_3). Les résultats sont exprimés en g pour 100 g de matière sèche. Suivant la formule :

$$\text{Teneur en fibres brutes (\%)} = \frac{P_2 - P_3}{P_1} \times 100$$

La quantité en fibres brutes a été déterminée suivant la formule :

$$\text{Quantité en fibres brutes} = \text{Teneur en fibres brutes} \times \text{Poids de matière sèche}$$

II.2.5.3.1.2.10. Dosage de la vitamine C

La concentration en vitamine C a été déterminée selon la méthode décrite par **Luk (1985)**.

✓ **Principe :**

Le dosage de la vitamine C (acide ascorbique) repose sur sa capacité à absorber fortement à 243 nm en milieu acide en raison de sa double liaison. La concentration est déterminée par spectrophotométrie UV/visible en comparant l'absorbance de l'extrait à une courbe d'étalonnage préparée avec des solutions standards connues permettant ainsi une quantification précise dans l'échantillon.

✓ **Mode opératoire :**

- **Préparation de la courbe de calibration**

Dans une série de 5 tubes de 10 ml, ont été préparées des solutions standard de concentration 1 ; 2,5 ; 5, 7,5 et 1ppm en pipetant des volumes de 0,001 ; 0,0025 ; 0,0050, 0,0075 et 0,01 ml

d'une solution standard 1000 ppm. Ensuite, 0,2 ml d'acide chlorhydrique 10% a été ajouté dans chacun des tubes à essais pour ajuster le pH à environ 1. Le volume est complété avec de l'eau déminéralisée et l'absorbance est lue à 243 nm au spectrophotomètre.

- Dosage

10 mg d'échantillons ont été écrasés dans un mortier puis 10 ml d'eau distillée y ont été ajoutés. Le mélange obtenu a été homogénéisé puis centrifugés à 6000 trs/min pendant 10 minutes pour enlever les matières suspendues. Le filtrat a été recueilli dans un tube. Pour l'essai, 1 ml de filtrat a été pipeté dans un tube de 10 ml suivi de 0,2 ml d'acide chlorhydrique 10%, et le volume a été complété avec de l'eau déminéralisée. Pour le blanc dans un tube de 10 ml ont été mis 2 ml d'eau distillée, 0,6 ml de la solution d'hydroxyde de sodium 1 M. Douze minutes après agitation, 0,6 ml d'acide chlorhydrique 10% a été ajouté et le volume complété avec de l'eau déminéralisée.

Tableau IV : Protocole du dosage de la vitamine C de tomates

	Blanc	Tube 1	Tube 2	Tube 3	Tube 4	Tube 5	Tube X
Vitamine C 1000 ppm (ml)	0	0,001	0,0025	0,0050	0,0075	0,01	0
Extraits (ml)	0	0	0	0	0	0	1
Acide chlorhydrique 10% (ml)	0,6	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Hydroxyde de sodium 1M (ml)	0,6	0	0	0	0	0	0
Eau distillée (ml)	2	0	0	0	0	0	0
Lecture des densités optiques 243 nm contre le blanc							

Le tube X contient les extraits de nos échantillons. La concentration en vitamine C de chaque échantillon est obtenue en projetant son absorbance sur la droite d'étalonnage (Annexe 5.c). La concentration est exprimée en mg pour 100 g d'échantillon frais.

II.2.5.3.1.3. Détermination de la composition minéralogique des fruits

Les minéraux tels que Ca, Mg, Na, K, P, Zn, Fe, Mn et Cu ont été analysés par la méthode décrite par **Horwitz (2000)**.

✓ **Principe :**

L'analyse des minéraux dans les échantillons implique la séparation des minéraux de la matrice de l'échantillon par digestion humide de la matière organique. Les minéraux séparés sont dilués dans l'acide et leur teneur a été déterminée par spectrophotométrie d'absorption atomique.

✓ Traitement des échantillons

Dans un tube à digestion de Kjeldahl ont été introduit 0,5 g d'échantillons et 30 mL du mélange acide nitrique concentrée (65%) / acide perchlorique (70%) dans les proportions 2/1 ont été ajoutés. Le tube fermé a été laissé à température ambiante pendant environ 12h pour une prédigestion de l'échantillon. Le tube a ensuite été porté dans le bloc de digestion et la température a été élevée progressivement jusqu'à 160°C et maintenue ainsi jusqu'à ce que le volume de la solution dans le tube soit réduit de moitié (40 min environ). La température a ensuite été réglée à 210°C et maintenue jusqu'à l'obtention des fumées blanches de HClO₄ et une présentation incolore de l'extrait (20 min environ). Après le refroidissement du tube, son contenu a été filtré à l'aide du papier filtre Whatman N°54 et le filtrat a été ajouté à 15 mL d'eau désionisée, le volume du filtrat ainsi dilué a été par la suite relevé.

II.2.5.3.1.3.1. Analyse du calcium, magnésium, sodium et potassium

Pour la détermination de la teneur en Ca, Mg, Na et K dans chaque échantillon, une dilution (5 fois) du filtrat obtenu précédemment a été réalisée dans une solution de chlorure de lanthanum 0,25 %, (dans une solution de CsCl₂ 1 % pour le cas du K). Les teneurs en Mg, Ca et Na ont été déterminées à 285,2 nm, 422,7 nm, 589 nm respectivement et le K à 766,5 nm, à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (Perkin-Elmer 5100 PC) muni d'une lampe à cathode creuse (P809) contre un blanc constitué d'eau désionisée. Les teneurs en Ca, Mg, Na et K ont été déterminées par l'expression suivante :

$$\text{Ca, Mg, Na et K} \left(\frac{\text{mg}}{100\text{g}} \right) = \frac{(C_0) \times \text{volume total (ml)} \times \text{facteur de dilution} \times 100}{M \times 1000}$$

Où :

C₀ : Concentration de l'élément en mg/L dans l'échantillon obtenue à partir de la droite d'étalonnage et **1000** : Conversion du mL en L.

II.2.5.3.1.3.2. Analyse du phosphore

Dans des fioles jaugées de 100 ml, 5 ml de la solution standard de phosphate (0,2 Mg/ml) ou de filtrat obtenu précédemment ou d'eau désionisée (blanc) ont été introduits 10 ml de HNO₃ (6N). 10 ml de monovanadate d'ammonium 0,25 % puis 10 ml de molybdate d'ammonium 5%. Le volume a été ensuite complété jusqu'au trait de jauge avec de l'eau désionisée. La solution obtenue a été homogénéisée et laissée au repos pendant 15 min. Le complexe coloré jaune de molybdovanadate de phosphore qui se forme a été détecté par spectrophotométrie à 400 nm contre un blanc. La teneur en P a été donnée par la relation suivante :

$$P \left(\frac{\text{mg}}{100\text{g}} \right) = \frac{(\text{Absorbance de l'échantillon} \times 1 \times V_0 \times 100)}{(\text{Absorbance du standard} \times V_p \times \text{Masse de l'échantillon})}$$

Où :

V_0 : volume total ; V_p : volume de l'échantillon dilué

II.2.5.3.1.3.3. Analyse du zinc, fer, manganèse et cuivre

La teneur en zinc, fer et manganèse des différents échantillons a été déterminée à 213,9 nm, 248,3 nm, 279,5 nm respectivement et le cuivre à 324,7 nm, à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption muni d'une lampe à cathode creuse contre blanc constitué d'eau désionisée. Les droites d'étalonnage ont été réalisées à partir des valeurs de l'absorbance des solutions de ces différents minéraux. La teneur en Cu, Fe, Mn et Zn a été déterminée par l'expression suivante :

$$\text{Zn, Fe, Mn et Cu} \left(\frac{\text{mg}}{100\text{g}} \right) = \frac{(\text{Co}) \times \text{volume total (mL)} \times \text{facteur de dilution} \times 100}{M \times 1000}$$

Où :

Co : Concentration de l'élément en mg/L dans l'échantillon obtenue à partir de la droite d'étalonnage et **1000** : Conversion du mL en L.

II.2.5.3.2. Qualité organoleptique

✓ Principe :

Il repose sur une évaluation sensorielle consistant à apprécier les caractéristiques organoleptiques des tomates par un panel de dégustateurs, à l'aide d'une échelle hédonique notant le degré d'agrément perçu pour chaque attribut.

✓ Mode opératoire :

Au total 20 dégustateurs (10 hommes et 10 femmes) ont été invités à remplir des questionnaires d'analyse lors des séances de dégustation de tomates. Les tomates sont dégustées quatre jours après la récolte (Annexe 1.1), entre-temps elles sont conservées 48 h à 12 °C puis 48 h à température ambiante (25/30 °C). Les fruits présentant des irrégularités et/ou des défauts tels qu'une coloration verte sur la face supérieure sont exclus de l'expérience gustative. Après vérification de la maturité et de l'homogénéité, les fruits sont coupés en morceaux homogènes incluant la peau. Avant chaque évaluation, les dégustateurs devaient se rincer la bouche avec de l'eau minérale ou distillée. Le matériel mis à leur disposition comprenait : verres d'eau, serviettes, couteaux, assiettes, fourchettes, cubes de pain (à consommer entre les échantillons pour nettoyer le palais) et le questionnaire d'évaluation (Annexe 4). Chaque dégustateur

recevait un fruit de chaque lot de tomate, soit 3 fruits au total (biologique, chimique et celle du marché) afin de pouvoir comparer directement les tomates entre elles (Annexe 1.m). Les participants ont été informés de la manière de remplir individuellement les fiches de dégustation organoleptique et d'attribuer une note à chaque caractère sur une échelle hédonique allant de 1 (« extrêmement déplaisant ») à 9 (« extrêmement plaisant »).

Quatre attributs sensoriels ont été analysés, chacun comprenant un ou plusieurs descripteurs selon la procédure décrite par **Vindras et al. (2018)** : odeur (arôme de tomate), apparence (couleur, surface de la peau), goût (goût salé, goût sucré, acidité globale) et texture (consistance de la peau, farinosité, jutosité, fermeté). Les valeurs obtenues des notes attribuées pour chaque descripteur sensoriel ont été converties en valeurs moyennes puis arrondies.

II.2.6. Evaluation de la conservation des fruits de tomate

La conservation de tomates fraîches a été portée sous deux (2) conditions de stockage : à l'air libre (25 °C) et au réfrigérateur (4 °C). Trois lots de tomates distincts ont été constitués : un lot issu de pratiques de culture biologique, un lot issu de pratiques de culture conventionnelle en utilisant d'engrais chimique et un lot provenant du marché sans traçabilité précise. Pour chaque lot, six (6) fruits ont été sélectionnés puis subdivisés en deux sous-lots de trois (3) fruits correspondant aux deux conditions de conservation. Pour le stockage à l'air libre, les fruits ont été soigneusement triés afin de ne retenir que les tomates mûres, fermes et indemnes de défauts visibles. Les fruits ont été lavés à grande eau à l'aide d'une éponge, désinfectés par trempage pendant 30 minutes dans une solution d'eau de Javel à 0,08 %, rincés à nouveau à l'eau, puis étalés à l'ombre pour le stockage. Pour le stockage au réfrigérateur, les mêmes critères de sélection et étapes de lavage, désinfection et rinçage ont été appliqués avant le placement des fruits dans le réfrigérateur à 4 °C. Cette approche expérimentale a été conçue spécifiquement pour la présente étude tout en s'inspirant des méthodes précédemment utilisées pour évaluer la qualité post-récolte de la tomate biologique comparativement aux tomates conventionnelles comme illustré par les travaux de **Pradhan et Srijaya (2022)**.

II.2.7. Analyse statistique

Les résultats obtenus ont été soumis à une analyse statistique pour le calcul des moyennes, des écart-types et la recherche de différences significatives en utilisant le logiciel Statistical Package for Social Sciences (SPSS) version 26.0. Le test ANOVA à un facteur couplé au test de Student-Newman-Keuls (S-N-K) a été utilisé pour évaluer la Plus Petite Différence Significative (PPDS) à $p \leq 0,05$.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. RESULTATS

III.1.1. Différentes variantes du compost produit

La figure 13 ci-dessous présente la photographie des variantes du compost produit.

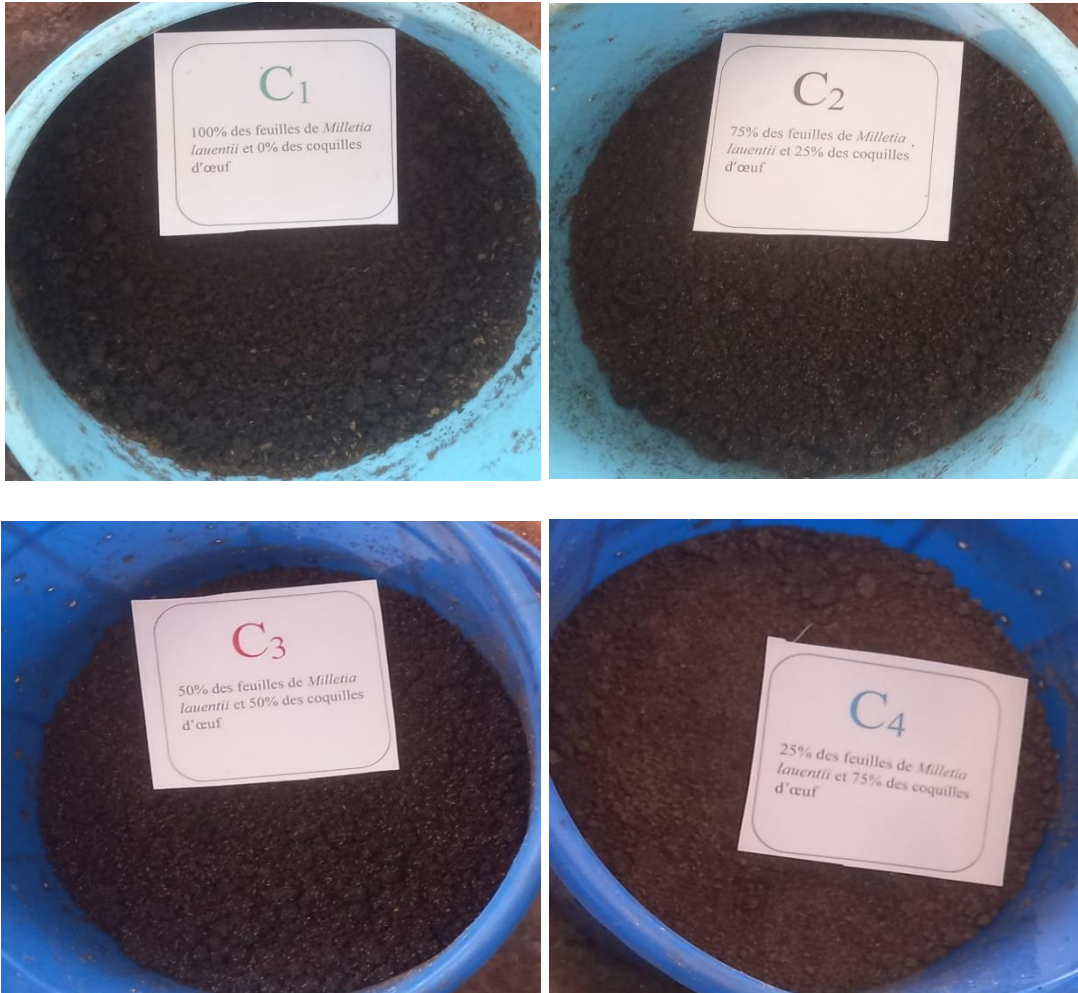


Figure 13 : Photographies des variantes du compost obtenu (Mahamat dans cette étude, 2025).

III.1.2. Caractérisation des paramètres physico-chimiques, de la biomasse microbienne et des activités enzymatiques des composts produits et des mélanges compost-sol

III.1.2.1. Caractérisation des paramètres physico-chimiques des composts produits

Le Tableau V ci-dessous présente les caractéristiques physico-chimiques des différentes variantes du compost produit.

Tableau V : pH, CE, C organique, N total, C/N, P total, concentrations en ions échangeables (Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Na^+) et des métaux lourds (Pb, Zn, Cu) des variantes du compost

Paramètres	Sol T	Variantes du compost			
		C1	C2	C3	C4
pH	5,31±0,17 ^a	9,01±0,03 ^b	9,11±0,01 ^b	9,15±0,01 ^b	9,12±0,00 ^b
CE (mS/cm)	0,33±0,01 ^a	0,87±0,03 ^c	0,93±0,00 ^d	0,84±0,02 ^{bc}	0,81±0,01 ^b
C (g/kg)	5,16±0,15 ^a	30,96±0,57 ^b	47,95±0,57 ^e	40,94±1,52 ^d	32,93±0,57 ^c
N total (g/kg)	0,38±0,00 ^a	2,01±0,05 ^c	1,99±0,05 ^c	1,83±0,05 ^b	1,81±0,05 ^b
C/N	13,36±0,47 ^a	15,39±0,71 ^b	26,12±0,51 ^e	20,56±1,32 ^d	18,14±0,79 ^c
P (g/kg)	0,24±0,01 ^a	0,63±0,00 ^c	0,74±0,02 ^e	0,68±0,01 ^d	0,58±0,01 ^b
Mg^{2+} (g/kg)	0,17±0,01 ^a	0,62±0,00 ^b	1,59±0,11 ^c	0,58±0,00 ^b	0,55±0,00 ^b
Ca^{2+} (g/kg)	0,35±0,01 ^a	0,52±0,01 ^b	0,94±0,02 ^d	0,71±0,01 ^c	0,69±0,01 ^c
K^+ (g/kg)	0,10±0,00 ^a	0,65±0,00 ^d	0,66±0,00 ^e	0,59±0,01 ^c	0,57±0,00 ^b
Na^+ (g/kg)	1,83±0,00 ^a	5,96±0,20 ^b	11,50±0,66 ^d	8,00±0,05 ^c	5,86±0,11 ^b
Pb (mg/kg)	1,64±0,00 ^c	1,15±0,05 ^a	1,39±0,02 ^b	1,49±0,01 ^b	1,15±0,11 ^a
Zn (mg/kg)	0,06±0,00 ^a	0,64±0,00 ^c	0,82±0,01 ^d	0,62±0,01 ^b	0,64±0,01 ^c
Cu (mg/kg)	0,01±0,01 ^a	1,84±0,02 ^d	1,85±0,01 ^d	1,30±0,01 ^c	0,97±0,01 ^b

Les résultats sont présentés sous la forme de moyennes ± écarts types de 3 répétitions. Les valeurs affectées par des lettres différentes sur la même ligne sont significativement différentes au seuil ($p \leq 0,05$). C1 = 100% de feuilles de *Millettia laurentii* + 0% de coquilles d'œufs ; C2 = 75% de feuilles de *Millettia laurentii* + 25% de coquilles d'œufs ; C3 = 50% de feuilles de *Millettia laurentii* + 50% de coquilles d'œufs ; C4 = 25% de feuilles de *Millettia laurentii* + 75% de coquilles d'œufs ; Sol T = sol témoin.

Les paramètres physico-chimiques ont varié significativement en fonction des différentes variantes du compost comparativement au sol témoin. Le pH des composts a été significativement supérieur ($p \leq 0,05$) à celui du sol témoin (5,31±0,17). La valeur la plus élevée a été observée avec la variante C3 (9,15±0,01), suivie de près par C4 (9,12±0,00) et C2

(9,11±0,01). Généralement aucune différence significative n'a été observée entre le pH de ces composts.

Concernant la conductivité électrique (CE), toutes les variantes de compost ont été significativement ($p \leq 0,05$) plus élevées que le sol témoin (0,33±0,01 mS/cm). La valeur maximale a été enregistrée chez C2 (0,93±0,00 mS/cm), suivie de C1 (0,87±0,03 mS/cm).

Pour la teneur en carbone organique, les composts C2 (47,95±0,57 g/kg) et C3 (40,94±1,52 g/kg) affichaient des valeurs significativement ($p \leq 0,05$) plus élevées, ce qui marque une nette amélioration par rapport au sol témoin (5,16±0,15 g/kg).

S'agissant de l'azote total, C1 (2,01±0,05 g/kg) et C2 (1,99±0,05 g/kg) ont présenté les teneurs significativement plus élevées, très supérieures à celui du sol témoin (0,38±0,00 g/kg).

Le rapport C/N était significativement ($p \leq 0,05$) plus élevé dans les composts que dans le sol témoin (13,36±0,47). Les valeurs maximales ont été observées chez C2 (26,12±0,51) et C3 (20,56±1,32).

On observe une concentration en phosphore (P) significativement ($p \leq 0,05$) plus élevée dans les variantes du compost et la plus grande valeur a été obtenue avec la variante C2 (0,74±0,02 g/kg) comparativement au sol témoin (0,24±0,01 g/kg).

Les concentrations en ions échangeables (Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Na^+) ont significativement ($p \leq 0,05$) augmenté dans les composts comparativement au sol témoin. Le magnésium (Mg^{2+}) a atteint une valeur significativement élevée dans le compost C2 (1,59 ± 0,11 g/kg), tout comme le calcium (Ca^{2+}), dont la concentration maximale a également été observée dans C2 (0,94 ± 0,02 g/kg). Le potassium (K^+) y a également été renforcé, culminant à 0,66 ± 0,00 g/kg, tandis que le sodium (Na^+) a enregistré une valeur remarquable de 11,50 ± 0,66 g/kg, très supérieure à celle du sol témoin (1,83 ± 0,00 g/kg).

Pour les métaux lourds, les teneurs en cuivre (Cu) et zinc (Zn) étaient significativement ($p \leq 0,05$) plus élevées dans les composts que dans le sol témoin, tandis que le plomb (Pb) présentait une teneur significativement plus élevée dans le sol témoin (1,64 ± 0,00 mg/kg). Le cuivre était particulièrement concentré dans les composts C1 et C2 (1,84 ± 0,02 et 1,85 ± 0,01 mg/kg) et le zinc atteignait sa valeur la plus élevée dans C2 (0,82 ± 0,01 mg/kg).

III.1.2.2. Caractérisation de la biomasse microbienne et des activités enzymatiques des composts produits

Le Tableau VI ci-dessous présente la biomasse microbienne et les activités enzymatiques des variantes du compost.

Tableau VI : Biomasse microbienne et activités enzymatiques des variantes du compost

Paramètres	Sol T	Variantes du compost			
		C1	C2	C3	C4
Flore bactérienne (10⁵ UFC/g)	202,33±2,51 ^a	561,68±9,01 ^d	595,67± 1,52 ^e	451,00±1,73 ^c	331,67±1,52 ^b
Flore fongique (10⁵ UFC/g)	172,67±2,51 ^a	461,00±8,66 ^b	772,67±2,30 ^d	623,33±2,30 ^c	466,00±2,00 ^b
Activité cellulase (U/mg/h)	23,96±0,57 ^a	29,26±1,15 ^b	38,36±1,52 ^d	32,46±1,15 ^c	25,56±1,52 ^a
Activité protéase (U/mg/h)	4,41±0,00 ^a	8,67±0,02 ^b	9,94±0,08 ^e	9,11±0,03 ^d	8,86±0,02 ^c
Activité déshydrogénase (mg TFP/kg sol sec/24h)	50,43±0,57 ^a	48,90±1,03 ^a	84,16±1,15 ^d	52,73±0,57 ^b	72,26±1,15 ^c
Activité β-glucosidase (mg PNP/kg sol sec/h)	53,53±0,57 ^a	58,63±1,15 ^b	108,73±0,57 ^e	88,16±1,15 ^d	70,26±0,57 ^c
Activité phosphatase acide (mg PNP/kg sol sec/h)	422,67±0,57 ^a	596,00±1,73 ^b	996,67±1,52 ^e	897,67±1,52 ^d	748,67±1,52 ^c
Activité phosphatase alcaline (mg PNP/kg sol sec/h)	539,67±1,15 ^a	630,67±1,15 ^b	1031,67±1,52 ^e	882,67±1,15 ^d	734,33±1,15 ^c

Les résultats sont présentés sous la forme de moyennes ± écarts types de 3 répétitions. Les valeurs affectées par des lettres différentes sur la même ligne sont significativement différentes au seuil ($p \leq 0,05$). **C1** = 100% de feuilles de *Millettia laurentii* + 0% de coquilles d'œufs ; **C2** = 75% de feuilles de *Millettia laurentii* + 25% de coquilles d'œufs ; **C3** = 50% de feuilles de *Millettia laurentii* + 50% de coquilles d'œufs ; **C4** = 25% de feuilles de *Millettia laurentii* + 75% de coquilles d'œufs ; **Sol T** = sol témoin.

Il ressort que la biomasse microbienne et les activités enzymatiques ont été significativement ($p \leq 0,05$) plus élevées dans les différentes variantes de compost comparées au sol témoin. La flore bactérienne a significativement varié, allant de 331,67±1,52 (10⁵ UFC/g) dans C4 à 595,67±1,52 (10⁵ UFC/g) dans C2, alors que la flore fongique s'étend de 461,00±8,66 (10⁵ UFC/g) dans C1 à 772,67±2,30 (10⁵ UFC/g) dans C2. Ces valeurs ont été significativement ($p \leq 0,05$) supérieures à celles du sol témoin qui affichait respectivement 202,33±2,51 (10⁵ UFC/g) pour la flore bactérienne et 172,67±2,51 (10⁵ UFC/g) pour la flore fongique.

La variante du compost C2 a présenté les valeurs significativement ($p \leq 0,05$) plus élevées en activité cellulase (38,36±1,52 U/mg/h), activité protéase (9,94±0,08 U/mg/h), activité déshydrogénase (84,16±1,15 mg TFP/kg sol sec/24h), activité β-glucosidase (108,73±0,57 mg PNP/kg sol sec/h), activité phosphatase acide (996,67±1,52 mg PNP/kg sol sec/h) et activité phosphatase alcaline (1031,67±1,52 mg PNP/kg sol sec/h) comparativement aux valeurs obtenues dans le sol témoin.

III.1.2.3. Caractérisation des paramètres physico-chimiques des mélanges compost-sol

✚ Détermination du pH, conductivité électrique (CE), concentrations en carbone organique, azote total, rapport C/N et phosphore des mélanges compost-sol

Le Tableau VII ci-dessous présente le pH, la CE, les concentrations en C organique, N total, C/N et P total des mélanges compost-sol.

Tableau VII : pH, CE, C organique, N total, C/N et P total des mélanges compost-sol

Traitement		Paramètres					
		pH	CE (mS/cm)	C (g/kg)	N total (g/kg)	C/N	P (g/kg)
C1	5%	5,71±0,10 ^b	0,36±0,00 ^a	28,02±1,52 ^{cd}	0,93±0,05 ^b	30,03±0,63 ^e	10,65±1,15 ^{bc}
	10%	6,24±0,05 ^c	0,41±0,01 ^a	32,29±1,50 ^e	1,07±0,10 ^{bcd}	30,26±1,42 ^e	14,32±1,52 ^{de}
	15%	7,27±0,05 ^d	0,45±0,00 ^a	48,35±1,15 ^f	1,86±0,05 ^f	25,91±0,72 ^{cd}	16,65±1,52 ^e
C2	5%	6,34±0,05 ^c	0,36±0,00 ^a	27,79±0,17 ^{cd}	1,00±0,01 ^{bc}	27,61±0,43 ^{de}	9,49±0,50 ^b
	10%	7,27±0,05 ^d	0,40±0,01 ^a	30,12±0,51 ^{de}	1,09±0,00 ^{cd}	27,47±0,60 ^{de}	12,89±0,17 ^d
	15%	7,51±0,10 ^e	0,45±0,00 ^a	46,35±2,30 ^f	1,80±0,10 ^f	25,76±0,69 ^{cd}	16,65±1,52 ^e
C3	5%	5,31±0,10 ^a	0,33±0,00 ^a	23,69±1,00 ^b	1,00±0,01 ^{bc}	23,52±0,77 ^c	9,42±0,51 ^b
	10%	6,17±0,05 ^c	0,41±0,01 ^a	30,46±0,68 ^{de}	1,10±0,02 ^{cd}	27,68±0,20 ^{de}	13,15±0,76 ^d
	15%	7,17±0,11 ^d	0,45±0,00 ^a	46,35±2,30 ^f	1,86±0,05 ^f	24,82±0,47 ^{cd}	16,32±1,15 ^e
C4	5%	5,27±0,05 ^a	0,36±0,00 ^a	25,35±1,15 ^{bc}	0,99±0,00 ^{bc}	25,44±1,31 ^{cd}	8,65±1,15 ^b
	10%	6,17±0,05 ^c	0,41±0,01 ^a	30,35±1,52 ^{de}	1,17±0,10 ^d	26,10±3,04 ^{cd}	14,32±1,15 ^{de}
	15%	7,14±0,05 ^d	0,45±0,00 ^a	45,69±1,73 ^f	1,83±0,05 ^f	24,92±0,88 ^{cd}	13,32±1,52 ^d
T+		6,24±0,05 ^c	0,70±0,57 ^a	29,02±3,21 ^{de}	1,60±0,10 ^e	18,25±3,07 ^b	12,15±0,76 ^{cd}
T-		5,31±0,17 ^a	0,33±0,01 ^a	5,30±0,10 ^a	0,36±0,02 ^a	14,47±0,54 ^a	0,24±0,01 ^a

Les résultats sont présentés sous la forme de moyennes ± écarts types de 3 répétitions. Les valeurs affectées par des lettres différentes sur la même ligne sont significativement différentes au seuil ($p \leq 0,05$). C1 = 100% de feuilles de *Millettia laurentii* + 0% de coquilles d'œufs ; C2 = 75% de feuilles de *Millettia laurentii* + 25% de coquilles d'œufs ; C3 = 50% de feuilles de *Millettia laurentii* + 50% de coquilles d'œufs ; C4 = 25% de feuilles de *Millettia laurentii* + 75% de coquilles d'œufs ; T⁻ : sol non amendé ; T⁺ : sol + engrais chimique NPK ; 5%, 10%, 15% : proportions des mélanges compost-sol (m/m).

Les paramètres physico-chimiques ont varié significativement ($p \leq 0,05$) en fonction des proportions des mélanges compost-sol. Les pH des sols amendés avec les composts étaient généralement plus élevés que celui du sol témoin négatif (T⁻). La plus grande valeur de pH a

été enregistrée avec la proportion de compost C2 à 15 %, soit $7,51 \pm 0,10$ contre $5,31 \pm 0,17$ pour le sol T⁻.

S'agissant de la conductivité électrique, aucune différence significative n'a été observée entre les différentes proportions des mélanges compost-sol et ni entre les témoins. Toutes les valeurs sont statistiquement semblables.

Concernant le carbone organique, il a été significativement ($p \leq 0,05$) plus élevé dans les sols compostés, les teneurs les plus élevées ont été obtenues avec C1 à 15 % ($48,35 \pm 1,15$), C2 à 15 % ($46,35 \pm 2,30$), C3 à 15 % ($46,35 \pm 2,30$) et C4 à 15 % ($45,69 \pm 1,73$). Ces valeurs ont été significativement plus élevées que celles des témoins T⁺ ($29,02 \pm 3,21$) et T⁻ ($5,30 \pm 0,10$).

De même, la teneur en azote total (N total) était généralement plus élevée dans les sols compostés. Les valeurs les plus importantes ont été obtenues dans les variantes C1 à 15 % ($1,86 \pm 0,05$), C2 à 15 % ($1,80 \pm 0,10$), C3 à 15 % ($1,86 \pm 0,05$) et C4 à 15 % ($1,83 \pm 0,05$), alors que le sol témoin T⁺ affichait une teneur de $1,60 \pm 0,10$ et le témoin T⁻ seulement $0,36 \pm 0,02$ g/kg.

Le rapport Carbone organique/Azote total (C/N) a significativement ($p \leq 0,05$) fluctué entre $23,52 \pm 0,77$ et $30,26 \pm 1,42$ dans les mélanges compost-sol. La valeur la plus élevée a été observée dans la variante C1 à 10 % et 5%, avec un rapport de $30,26 \pm 1,42$ et $30,03 \pm 0,63$, tandis que le témoin T⁺ présentait un rapport de $18,25 \pm 3,07$ et le témoin T⁻ de $14,47 \pm 0,54$.

La concentration en phosphore total (P) a significativement ($p \leq 0,05$) augmenté dans les sols amendés, atteignant des valeurs maximales dans les variantes C1 et C2 à 15 % ($16,65 \pm 1,52$) et C3 à 15 % ($16,32 \pm 1,15$), alors que les teneurs dans le témoin T⁺ et le témoin T⁻ étaient respectivement de $12,15 \pm 0,76$ et $2,42 \pm 0,15$ g/kg.

Détermination des concentrations en ions échangeables (Mg²⁺, Ca²⁺, K⁺, Na⁺) et en métaux lourds (Pb, Zn, Cu) des mélanges compost-sol

Le Tableau VIII ci-dessous présente les concentrations en ions échangeables (Mg²⁺, Ca²⁺, K⁺, Na⁺) et en métaux lourds (Pb, Zn, Cu) des mélanges compost-sol.

Tableau VIII : Concentrations en ions échangeables (Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Na^+) et des métaux lourds (Pb, Zn, Cu) dans les mélanges compost-sol

Traitement	Paramètres							
	Mg^{2+} (g/kg)	Ca^{2+} (g/kg)	K^+ (g/kg)	Na^+ (g/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	
C1	5%	0,87±0,05 ^{bc}	10,62±1,15 ^{bc}	0,52±0,11 ^b	3,49±0,18 ^b	3,30±0,18 ^b	0,02±0,00 ^a	0,00±0,00 ^a
	10%	1,28±0,05 ^d	10,62±1,15 ^{bc}	0,92±0,05 ^{cd}	3,89±0,00 ^d	3,70±0,00 ^d	0,02±0,00 ^b	0,02±0,00 ^{bc}
	15%	1,30±0,02 ^d	11,29±1,15 ^{cd}	1,18±0,15 ^{ef}	4,36±0,11 ^e	4,17±0,11 ^e	0,03±0,00 ^{cde}	0,03±0,00 ^c
C2	5%	0,73±0,05 ^b	12,62±1,15 ^{cde}	0,58±0,05 ^b	3,61±0,05 ^{bc}	3,42±0,02 ^{bc}	0,02±0,00 ^a	0,00±0,00 ^a
	10%	1,16±0,13 ^d	12,62±1,15 ^{cde}	0,95±0,10 ^{cde}	3,83±0,05 ^{cd}	3,64±0,05 ^{cd}	0,03±0,00 ^{bc}	0,02±0,00 ^{bc}
	15%	1,19±0,02 ^d	13,22±0,64 ^{cde}	1,22±0,11 ^f	4,36±0,11 ^e	4,17±0,11 ^e	0,03±0,00 ^e	0,02±0,00 ^{bc}
C3	5%	0,75±0,05 ^b	13,29±0,57 ^{cde}	0,52±0,11 ^b	3,55±0,08 ^b	3,36±0,08 ^b	0,02±0,00 ^a	0,01±0,00 ^a
	10%	1,21±0,08 ^d	13,96±1,73 ^{def}	0,95±0,10 ^{cde}	3,93±0,15 ^d	3,74±0,15 ^d	0,03±0,00 ^{bc}	0,02±0,00 ^{bc}
	15%	1,66±0,14 ^e	14,62±1,15 ^{efg}	1,15±0,17 ^{def}	4,36±0,11 ^e	4,17±0,11 ^e	0,03±0,00 ^e	0,03±0,00 ^c
C4	5%	0,77±0,05 ^b	15,96±1,00 ^{fg}	0,52±0,11 ^b	3,56±0,08 ^b	3,37±0,08 ^b	0,02±0,00 ^a	0,00±0,00 ^a
	10%	0,97±0,14 ^c	16,46±1,32 ^g	0,88±0,05 ^c	3,83±0,05 ^{cd}	3,64±0,05 ^{cd}	0,03±0,00 ^{bcd}	0,02±0,00 ^{bc}
	15%	1,31±0,05 ^d	16,62±1,15 ^g	1,42±0,11 ^g	4,40±0,17 ^e	4,21±0,17 ^e	0,03±0,00 ^{de}	0,02±0,00 ^{bc}
T+		0,19±0,05 ^a	8,62±1,15 ^b	0,98±0,05 ^{cde}	3,46±0,11 ^b	3,27±0,11 ^b	0,05±0,00 ^f	0,08±0,01 ^d
T-		0,17±0,01 ^a	0,35±0,01 ^a	0,10±0,00 ^a	1,83±0,00 ^a	1,64±0,00 ^a	0,06±0,00 ^g	0,01±0,01 ^{ab}

Les résultats sont présentés sous la forme de moyennes ± écarts types de 3 répétitions. Les valeurs affectées par des lettres différentes sur la même ligne sont significativement différentes au seuil ($p \leq 0,05$). C1 = 100% de feuilles de *Millettia laurentii* + 0% de coquilles d'œufs ; C2 = 75% de feuilles de *Millettia laurentii* + 25% de coquilles d'œufs ; C3 = 50% de feuilles de *Millettia laurentii* + 50% de coquilles d'œufs ; C4 = 25% de feuilles de *Millettia laurentii* + 75% de coquilles d'œufs ; T : sol non amendé ; T+ : sol + engrais chimique NPK ; 5%, 10%, 15% : proportions des mélanges compost-sol (m/m).

De manière générale, les concentrations en ions échangeables (Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Na^+) ont été significativement ($p \leq 0,05$) plus élevées dans les sols amendés avec les composts comparativement aux témoins. La concentration la plus élevée en Mg^{2+} a été obtenue avec la proportion de compost C3 à 15 % (1,66±0,14 g/kg) comparativement aux sols témoin positif T+ (0,19±0,05 g/kg) et témoin négatif T- (0,17±0,01 g/kg). La concentration en Ca^{2+} la plus élevée a été obtenue avec la proportion de compost C4 à 10 % (16,46±1,32 g/kg) et C4 à 15 % (16,62±1,15 g/kg), ces valeurs ont été significativement ($p \leq 0,05$) plus élevées que celles des sols T+ (8,62±1,15) et T- (0,35 ± 0,01 g/kg). La concentration en K^+ la plus élevée a été

enregistrée avec C4 à 15 % ($1,42 \pm 0,11$ g/kg), significativement supérieure à celle des témoins T⁺ ($0,98 \pm 0,05$) et surtout au témoin T⁻ ($0,10 \pm 0,00$ g/kg). La concentration en Na⁺ la plus élevée a été observée avec le compost C1, C2, C3 à 15 % ($4,36 \pm 0,11$ g/kg) et C4 à 15 % ($4,40 \pm 0,17$ g/kg) contre $3,46 \pm 0,11$ pour le T⁺ et $1,83 \pm 0,00$ pour le T⁻.

Concernant les métaux lourds (Pb, Zn, Cu), ils ont présenté généralement des teneurs faibles. La teneur en plomb (Pb) a été significativement ($p \leq 0,05$) plus élevée dans les sols compostés, avec une valeur maximale de $4,17 \pm 0,11$ mg/kg dans C1, C2, C3 à 15 % et $4,21 \pm 0,17$ dans C4 à 15 %, comparée aux témoins T⁺ ($3,27 \pm 0,11$ mg/kg) et T⁻ ($1,64 \pm 0,00$ mg/kg). Tandis que les teneurs en zinc et en cuivre ont présenté une variation statistiquement significative entre les différentes variantes compost-sol par rapport aux témoins. Toutefois, l'ensemble des valeurs enregistrées demeure globalement faible.

III.1.3. Criblage phytochimique du macérât aqueux de *Millettia laurentii*

Le Tableau IX ci-dessous présente la composition en métabolites secondaire du macérât aqueux à base de feuilles de *Millettia laurentii*.

Tableau IX : Composition en métabolites secondaires de *Millettia laurentii*

Métabolites secondaires	Macérât aqueux de <i>Millettia laurentii</i>
Alcaloïdes	+
Composés phénoliques	+
Triterpènes	+
Stérols	-
Flavonoïdes	-
Saponines	++
Anthocyanes	-
Anthraquinones	+
Glycosides cardiaques	+
Coumarines	-
Tannins hydrolysables	-
Tannins condensés	++

En se basant sur l'intensité de la coloration observée ou la formation de précipités au cours des différents tests phytochimiques, les métabolites secondaires dans le macérât aqueux ont été estimée selon trois niveaux : modérément abondant (++) , faiblement détectable (+) et non détecté (-). Ainsi, les analyses ont permis de révéler la présence des alcaloïdes, composés phénoliques, triterpènes, saponines, anthraquinones, glycosides cardiaques et tannins

condensés, tandis que les stérols, flavonoïdes, anthocyanes, coumarines et tannins hydrolysables n'ont pas été mis en évidence dans l'extrait obtenu.

III.1.4. Evaluation de l'effet du compost et du macérât aqueux sur les paramètres de croissance, la production, les qualités nutritionnelle et organoleptique de la tomate

III.1.4.1. Evaluation de l'effet du compost et du macérât aqueux sur les paramètres de croissance et la production des plants de tomate

III.1.4.1.1. Effet du compost sur les paramètres de croissance et production

III.1.4.1.1.1. Nombre de feuilles et hauteur des plants

La Figure 14 ci-dessous illustre l'évolution du nombre de feuilles et de la hauteur des plants de tomate en fonction des différentes proportions de mélanges compost/sol au cours du temps.

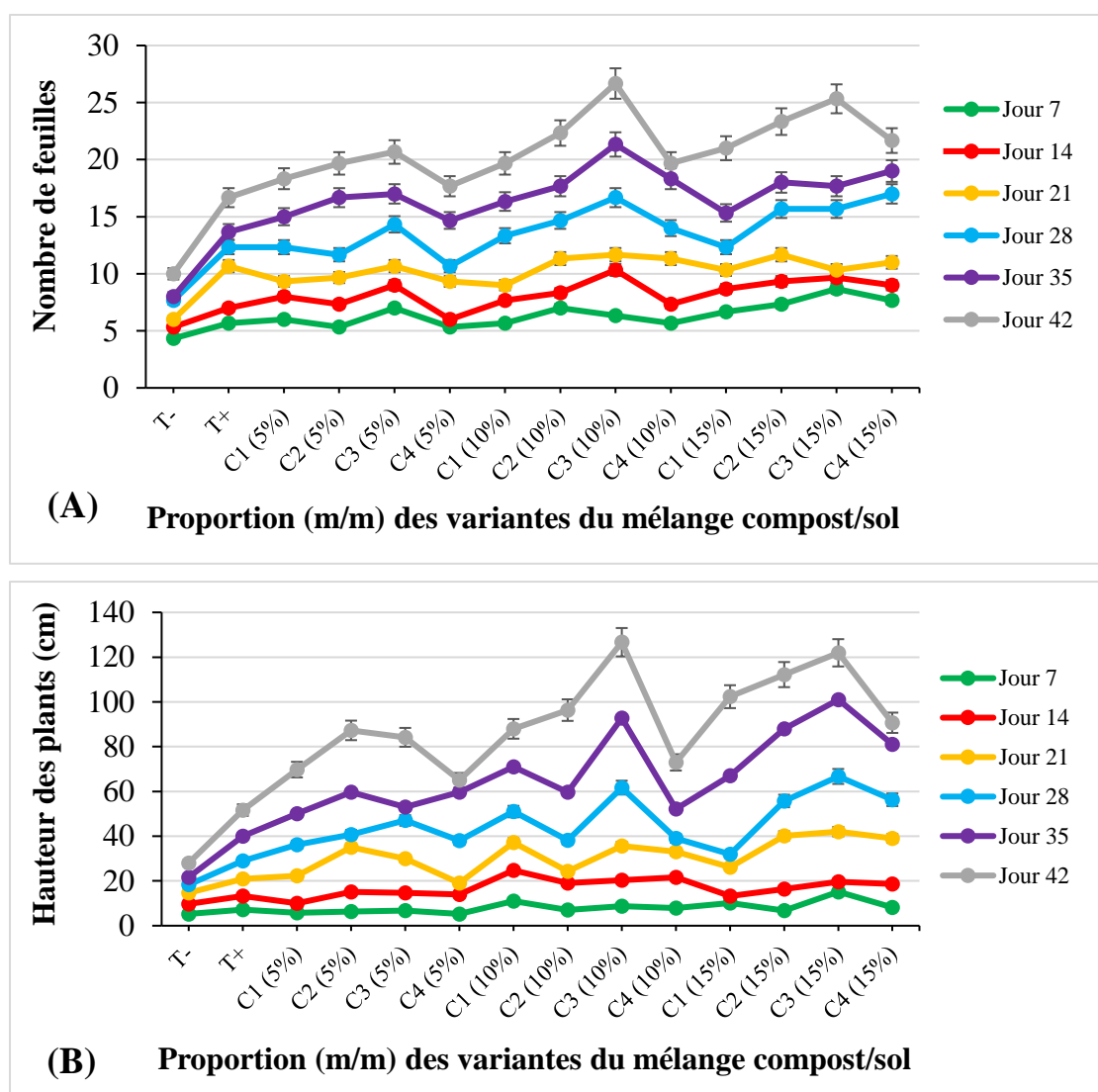


Figure 14 : Variation du nombre de feuilles (A) et de la hauteur des plants (B) de tomate en fonction des proportions de mélanges compost/sol et du temps.

Cette figure révèle que le nombre de feuilles et la hauteur des plants varient de manière significative en fonction des proportions de mélanges compost/sol et de la durée de croissance. Le nombre de feuilles a connu une augmentation progressive au fil du temps avec des valeurs significativement ($p \leq 0,05$) plus élevées dans les traitements compost/sol comparativement aux témoins. La valeur maximale a été enregistrée au 42^e jour pour le traitement C3 à 10 % avec une moyenne de $26,67 \pm 0,72$ feuilles, suivi de près par C3 à 15 % ($25,33 \pm 1,53$ feuilles). En comparaison, les témoins positif (T⁺) et négatif (T⁻) ont présenté respectivement des valeurs de $16,67 \pm 1,42$ et $10 \pm 1,15$ feuilles (**Figure 14A**).

De même, la hauteur des plants a significativement ($p \leq 0,05$) augmenté avec l'incorporation du compost. La croissance la plus marquée a été observée au 42^e jour dans le traitement C3 à 10 %, atteignant une hauteur moyenne de $126,66 \pm 1,21$ cm contrastant fortement avec les témoins T⁺ : $51,66 \pm 0,37$ cm et T⁻ : $28,03 \pm 0,85$ cm (**Figure 14B**).

III.1.4.1.1.2. Longueur, largeur et surface foliaire des feuilles

La Figure 15 ci-dessous présente l'évolution de la longueur, la largeur des feuilles et la surface foliaire des plants de tomate en fonction des proportions de mélanges compost/sol et du temps.

Evaluation des qualités nutritionnelle et organoleptique de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) produite biologiquement

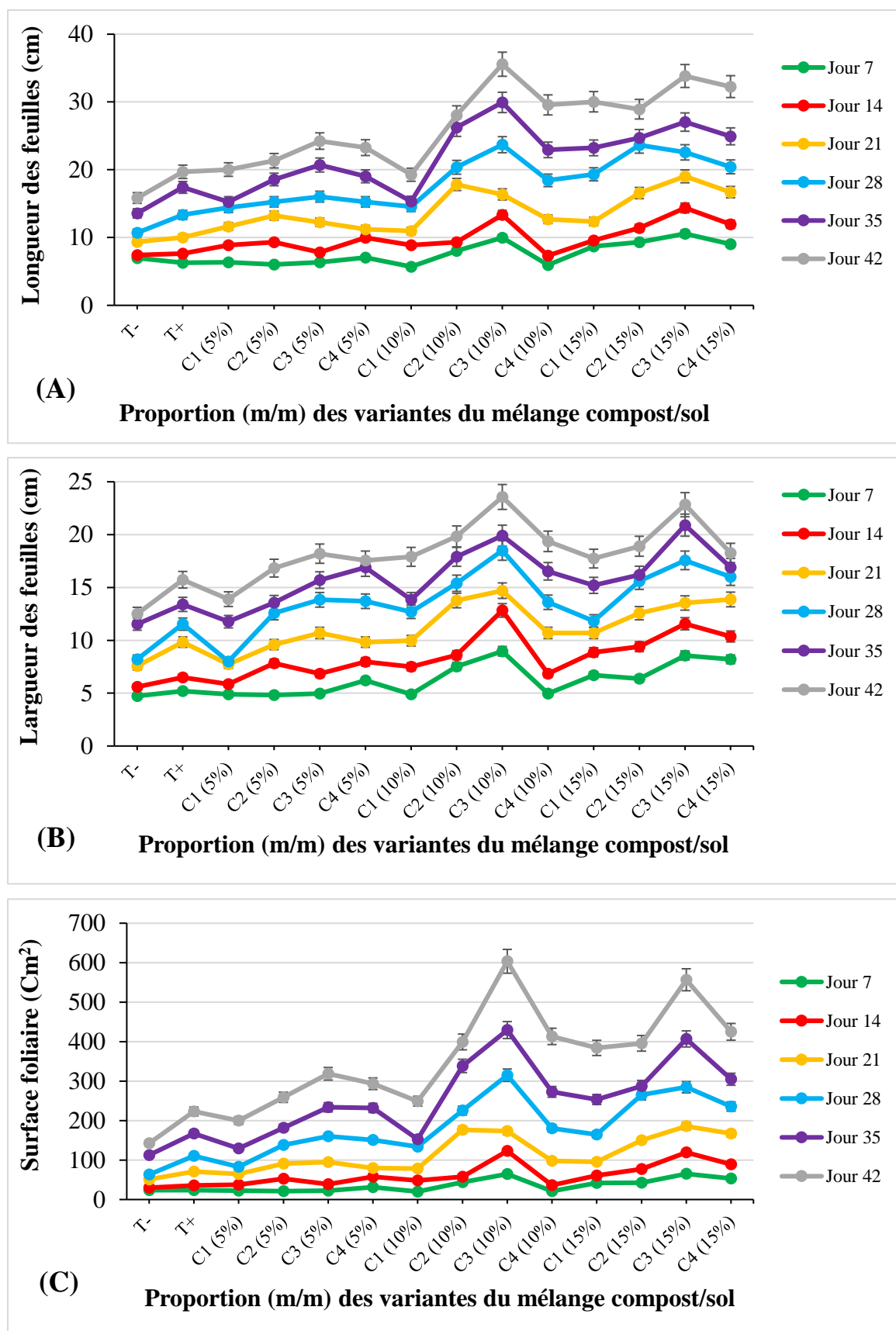


Figure 15 : Variation de la longueur (A), de la largeur (B) de feuilles et de la surface foliaire (C) en fonction des proportions de mélanges compost/sol et du temps.

L'analyse des données révèle une augmentation progressive et significative ($p \leq 0,05$) de ces trois paramètres morphologiques en fonction de la dose de compost incorporée et de la durée de croissance. De manière générale, les plants cultivés avec les mélanges compost/sol présentent des dimensions foliaires supérieures à celles des témoins, et cette tendance s'accroît au fil du temps. Les meilleures performances ont été enregistrées au 42^e jour, notamment avec le traitement C3 à 10 %, qui a permis d'obtenir une longueur moyenne des feuilles de $35,56 \pm 0,96$ cm (**Figure 15A**), une largeur de $23,57 \pm 0,81$ cm (**Figure 15B**) et une surface foliaire de $603,53 \pm 1,35$ cm² (**Figure 15C**). Ces valeurs ont été significativement ($p \leq 0,05$) plus élevées que celles observées chez les témoins positifs (T⁺) et négatifs (T⁻).

III.1.4.1.1.3. Nombre de fleurs et nombre total des fruits

La Figure 16 ci-dessous montre l'évolution du nombre de fleurs et du nombre total de fruits en fonction des proportions de mélanges compost/sol et du temps.

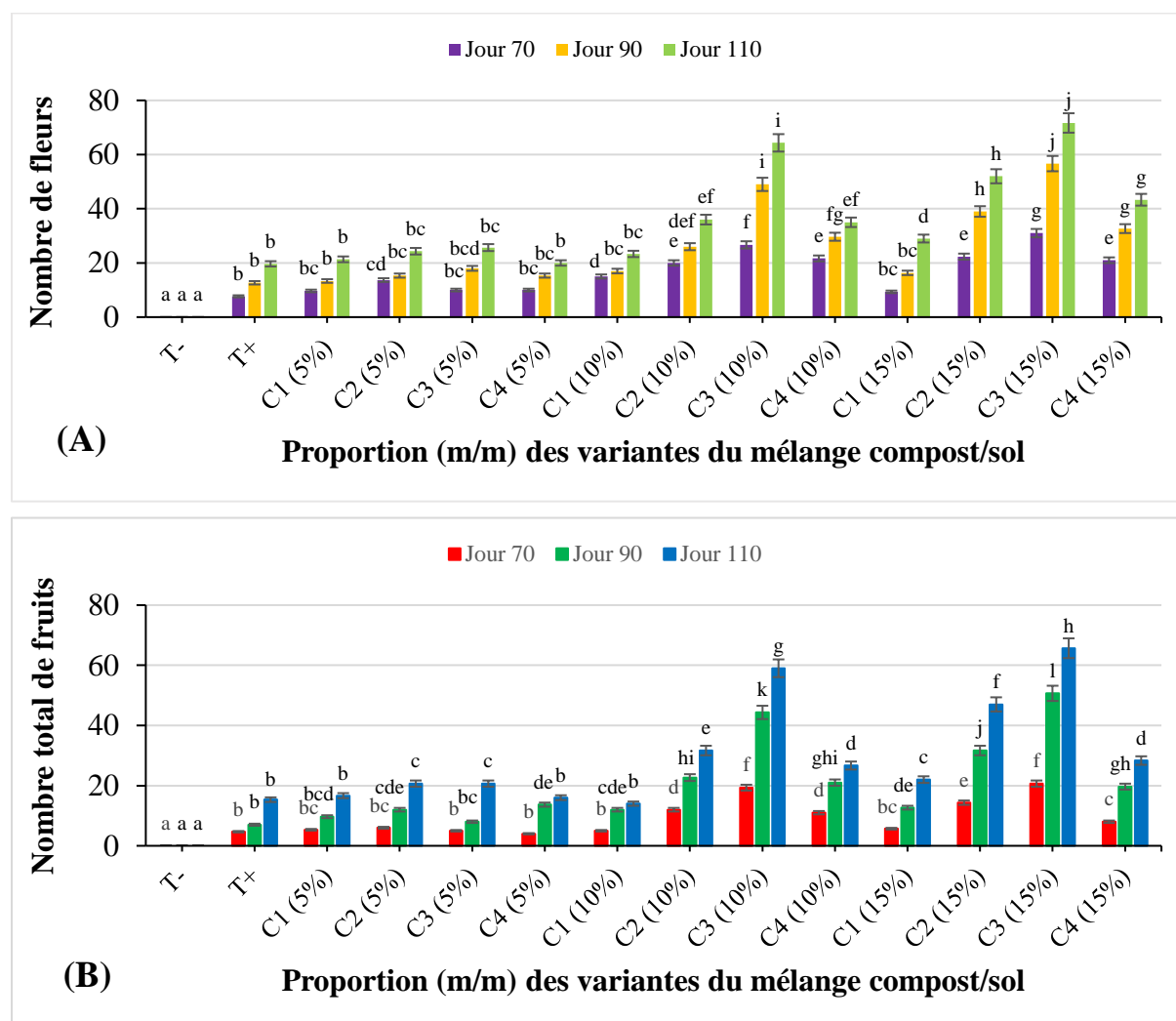


Figure 16 : Variation du nombre de fleurs (A) et du nombre total de fruits (B) en fonction des proportions de mélanges compost/sol et du temps.

Le nombre de fleurs et le nombre total de fruits varient en fonction des proportions de mélanges compost/sol et du temps. Le témoin négatif n'a présenté aucune floraison. À l'inverse, les plants cultivés sur un substrat enrichi en compost ont montré une floraison significativement ($p \leq 0,05$) plus importante, atteignant un pic au 110^e jour avec le traitement C3 à 15 % soit $71,67 \pm 3,05$ fleurs contre $19,67 \pm 1,51$ fleurs : T⁺ (Figure 16A).

Concernant la fructification, le témoin négatif s'est également révélé stérile. Les autres traitements ont toutefois enregistré des valeurs significativement ($p \leq 0,05$) plus élevées avec un maximum observé pour le traitement C3 à 15 % qui a produit $65,67 \pm 2,51$ fruits soit environ 4,28 fois plus que le témoin positif : $15,33 \pm 0,92$ fruits (Figure 16B).

III.1.4.1.1.4. Nombre des fruits mûrs et masse des fruits mûrs

La Figure 17 ci-dessous présente les variations observées du nombre de fruits mûrs ainsi que de leur masse en fonction des différentes proportions de mélanges compost/sol et du temps.

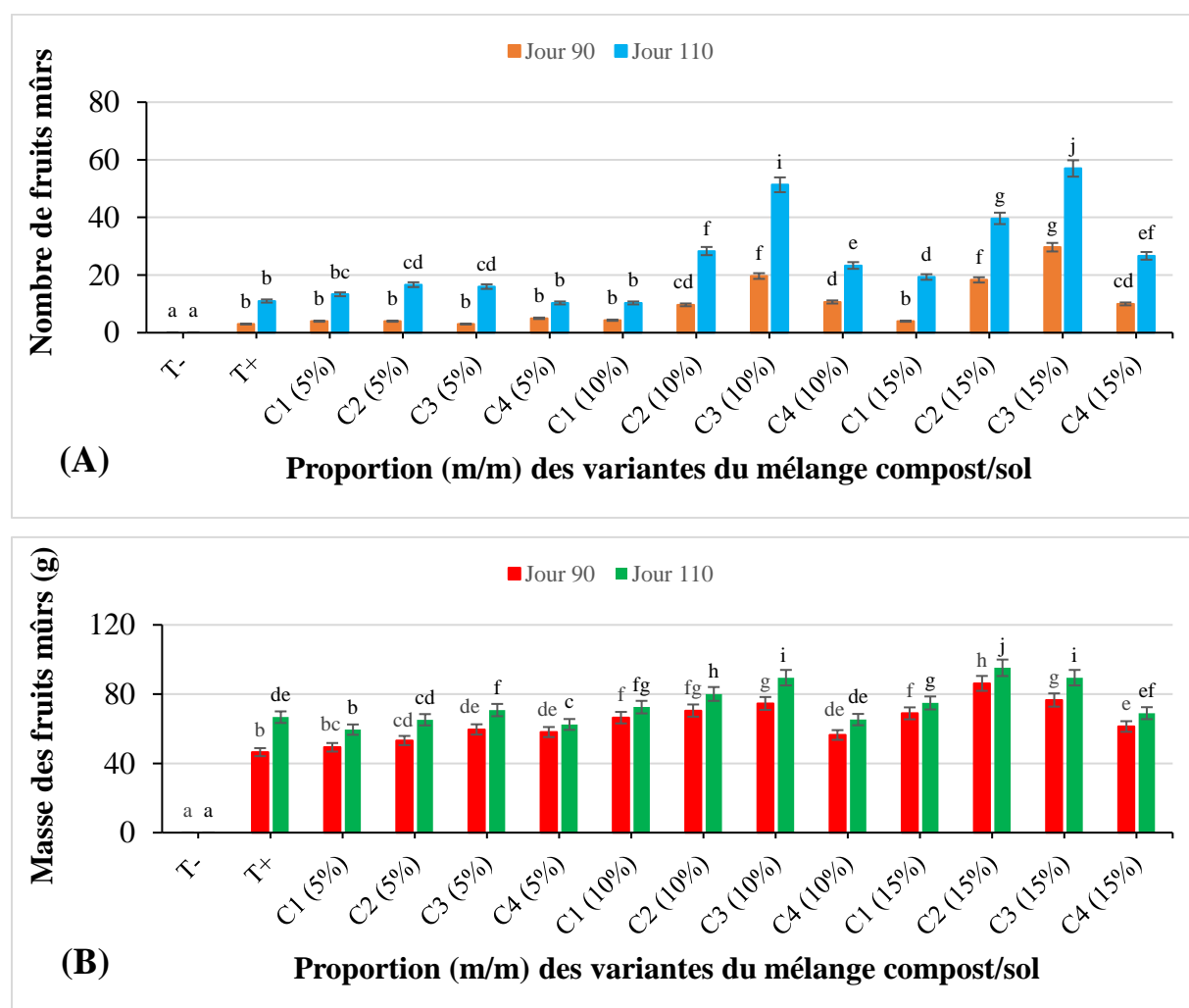


Figure 17 : Variation du nombre de fruits mûrs (A) et de la masse des fruits mûrs (B) en fonction des proportions de mélanges compost/sol et du temps.

D'après cette figure, il ressort que le nombre de fruits mûrs et leur masse varient selon les proportions de mélanges compost/sol et du temps. Aucune production n'a été observée chez le témoin négatif en raison de l'absence de floraison. À l'opposé, les autres traitements ont montré une production significative ($p \leq 0,05$) avec un maximum atteint au 110^e jour dans le traitement C3 à 15 % avec $57,00 \pm 4,00$ fruits mûrs soit 5,18 fois plus que le témoin positif : $11,00 \pm 1,00$ fruits (Figure 17A).

En ce qui concerne la masse des tomates mûres, c'est le traitement C2 à 15 % qui a donné les fruits les plus lourds avec $95,2 \pm 1,27$ g, surpassant nettement le témoin positif : $66,7 \pm 1,00$ g (Figure 17B).

III.1.4.1.2. Effet du macérât aqueux sur les paramètres de croissance et production

III.1.4.1.2.1. Nombre de feuilles et hauteur des plants

La Figure 18 ci-dessous illustre l'évolution du nombre de feuilles et de la hauteur des plants de tomate en fonction des proportions (m/v) du macérât aqueux et du temps.

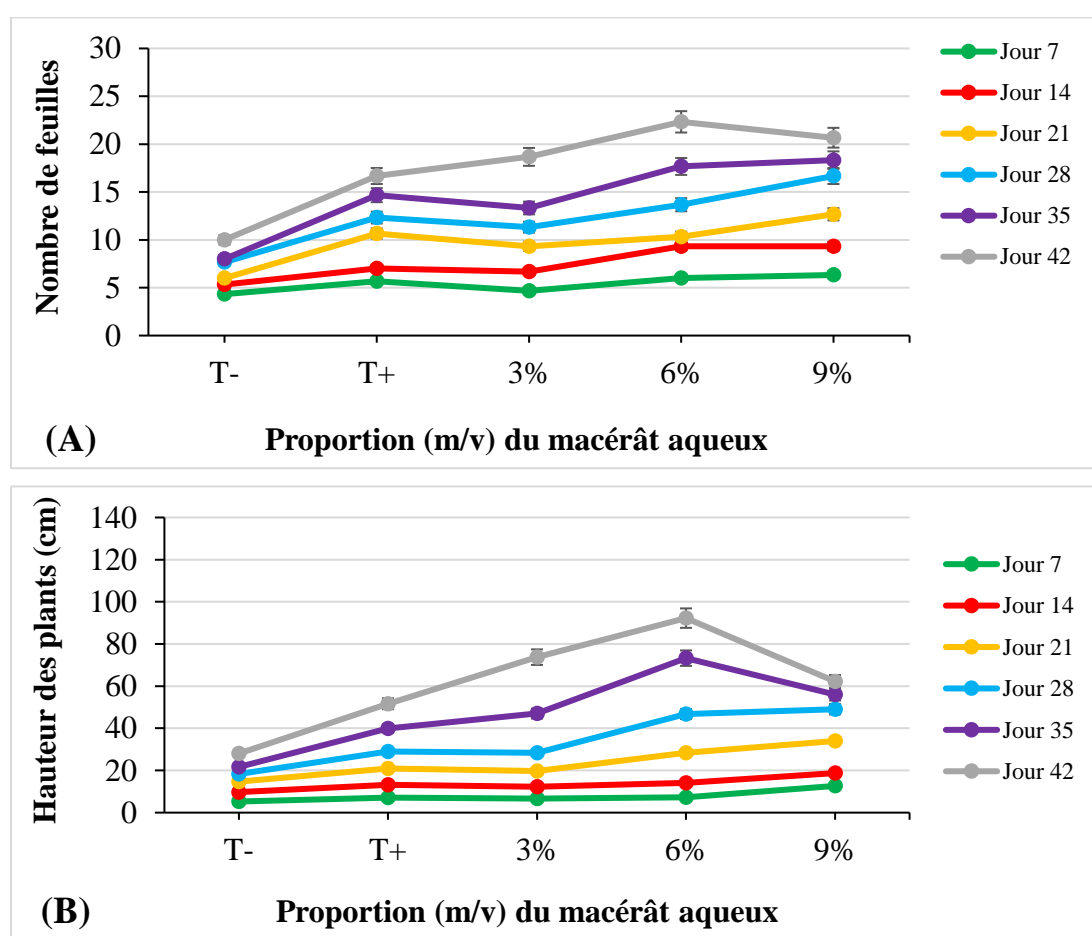


Figure 18 : Variation du nombre de feuilles (A) et de la hauteur des plants (B) de tomate en fonction des proportions (m/v) du macérât aqueux et du temps.

Le nombre de feuilles et la hauteur des plants de tomate varient en fonction des proportions du macérât aqueux et du temps. Le nombre de feuilles a augmenté de manière significative ($p \leq 0,05$) avec l'application du macérât, atteignant la valeur maximale au 42^e jour avec la proportion de 6 % soit $22,33 \pm 0,58$ feuilles contre $16,67 \pm 1,42$ pour le témoin positif : T⁺ et $10 \pm 1,15$ pour le témoin négatif : T⁻ (**Figure 18A**).

En ce qui concerne la hauteur des plants, une progression significative ($p \leq 0,05$) est également observée avec l'augmentation de la concentration du macérât. Le maximum a été atteint au 42^e jour pour la concentration de 6 % avec une hauteur moyenne de $92,27 \pm 1,33$ cm contre celle du témoin positif : $51,67 \pm 0,37$ cm et largement supérieure à celle du témoin négatif : $28,03 \pm 0,85$ cm (**Figure 18B**).

III.1.4.1.2.2. Longueur, largeur et surface foliaire des feuilles

La Figure 19 ci-dessous montre l'évolution de la longueur, de la largeur des feuilles et de la surface foliaire des plants de tomate en fonction des proportions (m/v) du macérât aqueux appliquées et du temps de culture.

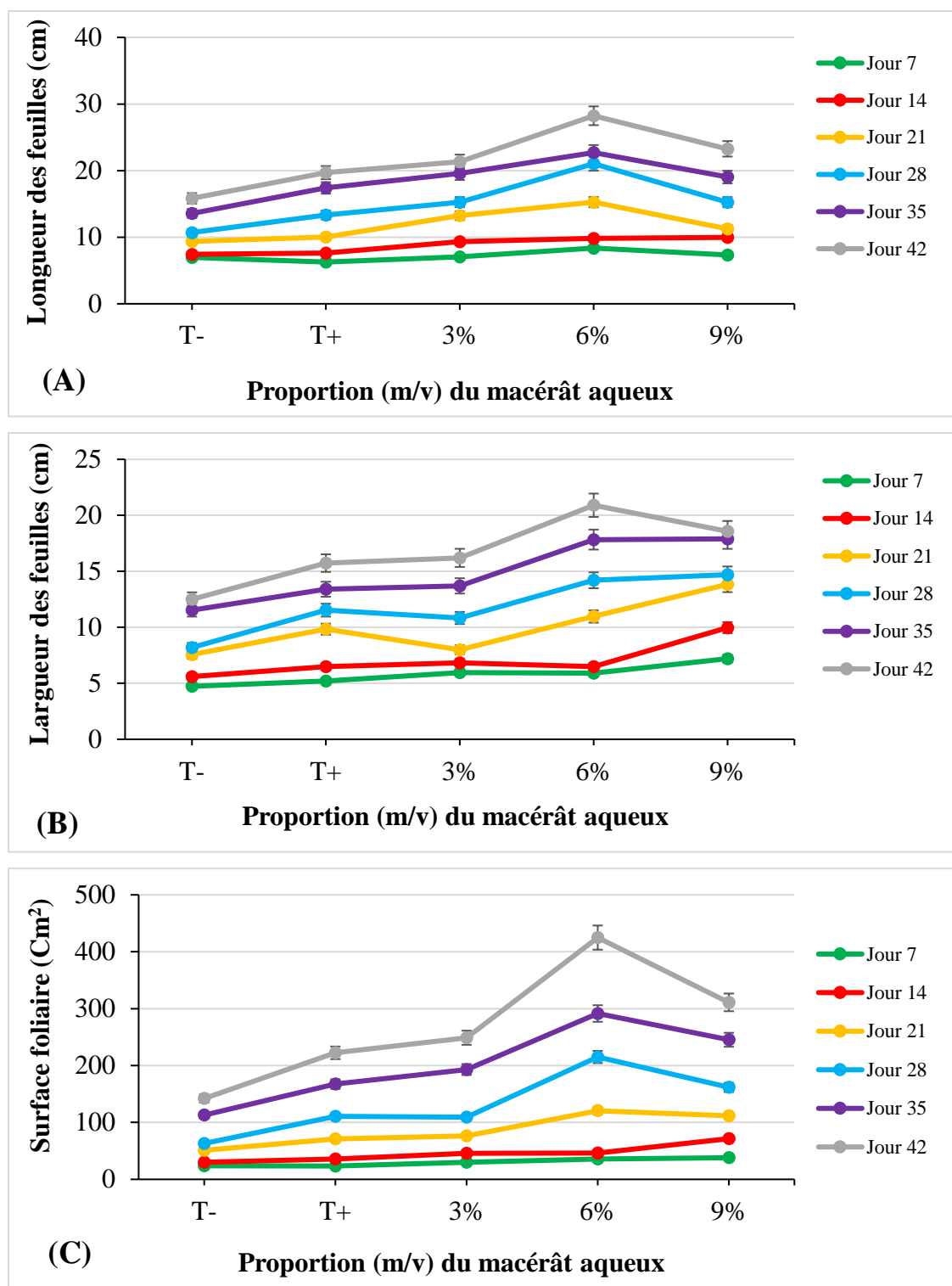


Figure 19 : Variation de la longueur (A), de la largeur (B) de feuilles et de la surface foliaire (C) en fonction des proportions (m/v) du macérât aqueux et du temps.

La longueur et la largeur des feuilles ainsi que la surface foliaire ont augmenté de manière significative ($p \leq 0,05$) en fonction de la concentration en macérât aqueux et de la durée de culture. Les plus fortes valeurs ont été enregistrées au 42^e jour avec la proportion de 6 % atteignant respectivement $28,23 \pm 0,67$ cm pour la longueur des feuilles (**Figure 19A**), $20,90 \pm$

0,34 cm pour la largeur des feuilles (Figure 19B) et $424,87 \pm 1,22$ cm² pour la surface foliaire (Figure 19C). Ces résultats ont été significativement supérieurs à ceux observés chez les témoins positifs (T⁺) et négatifs (T⁻).

III.1.4.1.2.3. Nombre de fleurs et nombre total des fruits

La Figure 20 ci-dessous montre l'évolution du nombre de fleurs et du nombre total de fruits en fonction des différentes concentrations (m/v) de macérât aqueux et du temps.

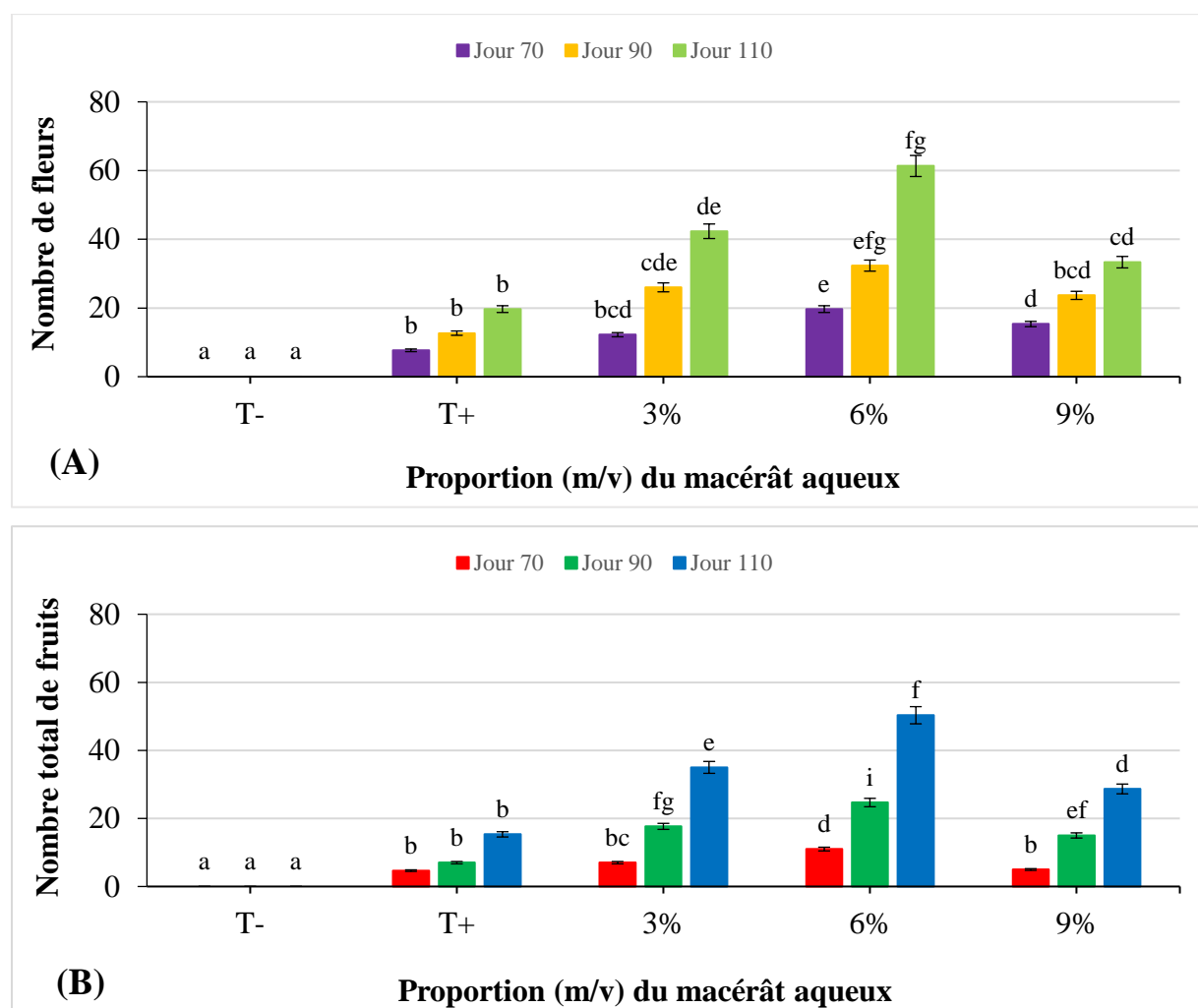


Figure 20 : Variation du nombre de fleurs (A) et du nombre total de fruits (B) en fonction des proportions (m/v) du macérât aqueux et du temps.

Le nombre de fleurs et le nombre total de fruits varient en fonction des proportions (m/v) du macérât aqueux et du temps. Aucun développement floral n'a été observé chez le témoin négatif. En revanche, les plants ayant reçu le macérât ont présenté significativement ($p \leq 0,05$) une floraison marquée avec un pic de $61,33 \pm 3,21$ fleurs au 110^e jour pour le traitement à 6 % contre $19,67 \pm 1,51$ fleurs pour le témoin positif (Figure 20A).

De la même, le nombre total de fruits a augmenté significativement ($p \leq 0,05$) chez les plants traités avec le macérât, atteignant $50,33 \pm 1,78$ fruits pour le traitement à 6 %, alors que le témoin positif n'en a produit que $15,33 \pm 0,92$ fruits (**Figure 20B**).

III.1.4.1.2.4. Nombre des fruits mûrs et masse des fruits mûrs

La Figure 21 ci-dessous met en évidence l'évolution du nombre de fruits mûrs ainsi que leur masse en fonction des concentrations du macérât aqueux et du temps.

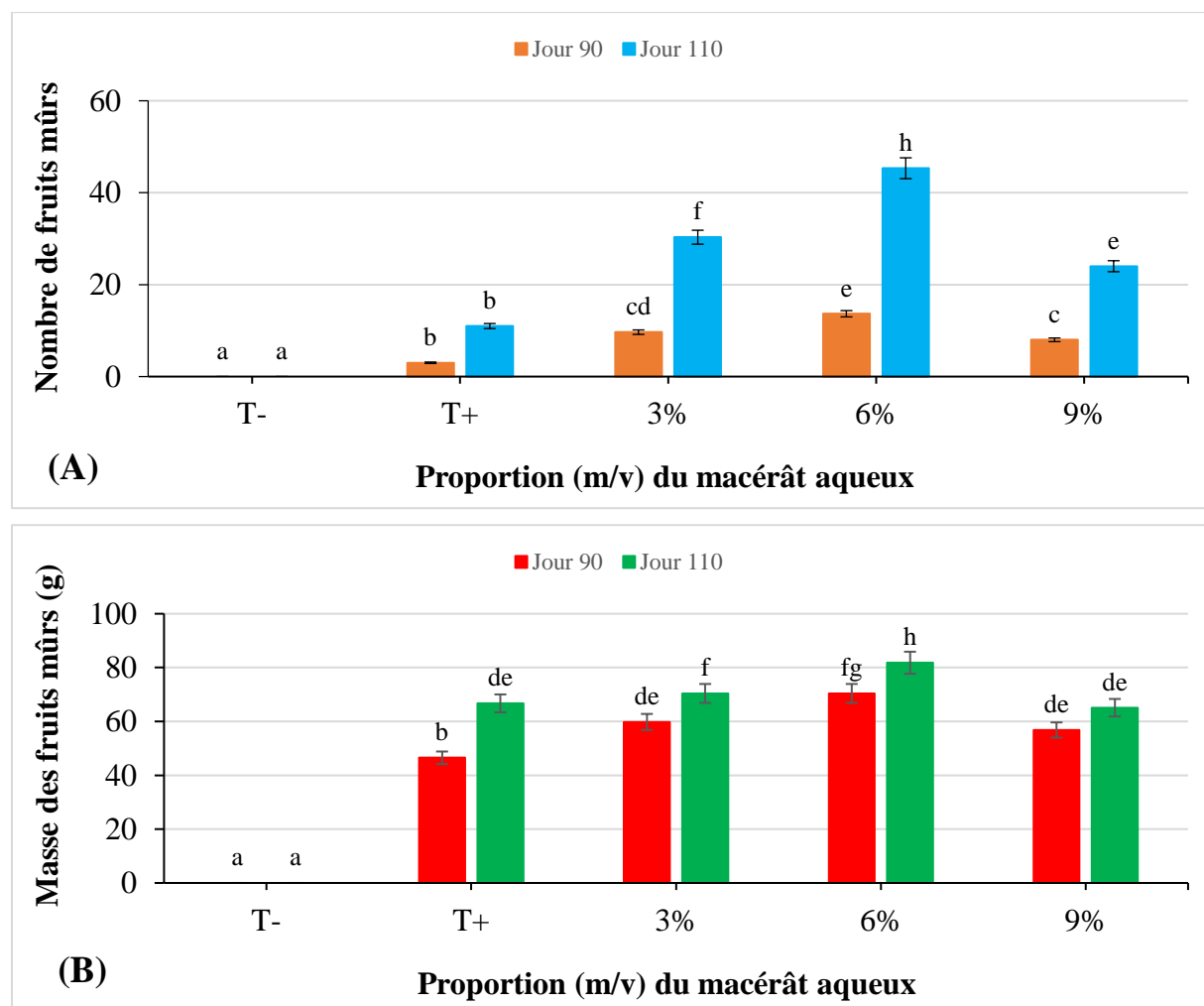


Figure 21 : Variation du nombre de fruits mûrs (A) et de la masse des fruits mûrs (B) en fonction des proportions (m/v) du macérât aqueux et du temps.

Le nombre de fruits mûrs et leur masse varient selon les proportions (m/v) du macérât aqueux et du temps. Le témoin négatif n'ayant pas fleuri, n'a logiquement donné aucun fruit. À l'inverse, les traitements au macérât aqueux ont induit une production significative ($p \leq 0,05$), culminant à $45,33 \pm 2,31$ fruits mûrs pour le traitement à 6 % contre $11,00 \pm 1,00$ fruits chez le témoin positif (**Figure 21A**).

S'agissant de la masse des fruits mûrs, c'est encore le traitement à 6 % qui a offert les meilleurs résultats avec une valeur moyenne de $81,8 \pm 2,52$ g significativement ($p \leq 0,05$) supérieure à celle du témoin positif : $66,7 \pm 1,00$ g (**Figure 21B**).

III.1.4.2. Evaluation de l'effet du compost et du macérât aqueux sur les qualités nutritionnelle et organoleptique de la tomate

III.1.4.2.1. Evaluation de la qualité nutritionnelle des fruits

III.1.4.2.1.1. Caractérisations physico-chimiques et constituants nutritionnels

Le Tableau X ci-dessous présente les caractéristiques physico-chimiques et constituants nutritionnels de trois lots de tomate.

Tableau X : Caractéristiques physico-chimiques et nutritionnelles de trois lots de tomate

Caractéristiques	Catégories de tomate		
	Tomate Biologique	Tomate Chimique	Tomate Marché
Teneur en eau (%)	$71,16 \pm 0,27^a$	$85,10 \pm 0,17^c$	$82,29 \pm 0,61^b$
Teneur en cendres (%)	$11,68 \pm 0,17^b$	$9,24 \pm 0,28^a$	$9,63 \pm 0,08^a$
pH	$4,19 \pm 0,10^b$	$3,57 \pm 0,06^a$	$4,11 \pm 0,03^b$
Densité	$1,13 \pm 0,00^a$	$1,11 \pm 0,01^a$	$1,12 \pm 0,00^a$
Sucres totaux (g/100 g MF)	$4,53 \pm 0,11^c$	$3,83 \pm 0,05^b$	$3,13 \pm 0,05^a$
Lipides totaux (%)	$14,30 \pm 0,08^a$	$14,77 \pm 0,55^a$	$15,24 \pm 0,50^a$
Fibres brutes (g)	$0,20 \pm 0,01^b$	$0,17 \pm 0,00^a$	$0,16 \pm 0,00^a$
Lycopène (mg/100 g MF)	$10,71 \pm 0,14^c$	$5,98 \pm 0,02^b$	$5,25 \pm 0,07^a$
Vitamine C (mg/100 g MF)	$20,81 \pm 0,05^c$	$17,04 \pm 0,33^b$	$15,89 \pm 0,08^a$
Composés phénoliques totaux (mg d'EAG/ 100 ml)	$202,60 \pm 1,02^c$	$185,76 \pm 0,76^b$	$183,76 \pm 0,96^a$

Les résultats sont exprimés en moyennes \pm écarts-types de 3 répétitions. Les valeurs suivies de lettres différentes sur une même ligne sont significativement différentes au seuil ($p \leq 0,05$). **Tomate biologique** : tomate issue de l'agriculture biologique ; **Tomate chimique** : tomate obtenue avec l'engrais de synthèse NPK ; **Tomate marché** : tomate achetée au marché.

La tomate biologique se caractérise par une teneur en eau plus faible (71,16 %) mais des teneurs significativement ($p \leq 0,05$) plus élevées en cendres (11,68 %), en sucres totaux (4,53 g/100 g MF), en fibres brutes (0,20 g), en lycopène (10,71 mg/100 g MF), en vitamine C (20,81 mg/100 g MF) et en composés phénoliques totaux (202,60 mg d'EAG/100 ml) par rapport à la tomate chimique et celle du marché. Le pH est significativement plus élevé dans la tomate

biologique (4,19) et du marché (4,11) que dans la tomate chimique (3,57). En revanche, aucune différence significative n'a été observée pour la densité et les lipides totaux entre les trois lots.

III.1.4.2.1.2. Composition en minéraux

Le Tableau XI ci-dessous présente la composition en minéraux de trois lots de tomate.

Tableau XI : Composition en minéraux des trois lots de tomate

Minéraux (mg/100 g MS)	Catégories de tomate		
	Tomate Biologique	Tomate Chimique	Tomate Marché
K	1063,67±1,15 ^c	1013,67±1,15 ^b	925,67±1,15 ^a
Mg	599,67±1,15 ^c	577,33±0,57 ^b	549,67±1,15 ^a
Ca	4905,00±17,32 ^c	3658,33±57,73 ^b	2458,33±28,86 ^a
Na	117,33±0,57 ^a	122,33±0,57 ^b	116,67±0,57 ^a
Cu	0,20±0,00 ^a	1,19±0,01 ^b	1,32±0,01 ^c
Fe	5,60±0,07 ^c	3,97±0,01 ^b	3,39±0,06 ^a
Zn	4,47±0,05 ^c	3,81±0,00 ^b	3,17±0,08 ^a
P	0,30±0,00 ^c	0,23±0,00 ^b	0,19±0,00 ^a
Mn	3,36±0,01 ^c	2,71±0,05 ^a	3,01±0,05 ^b

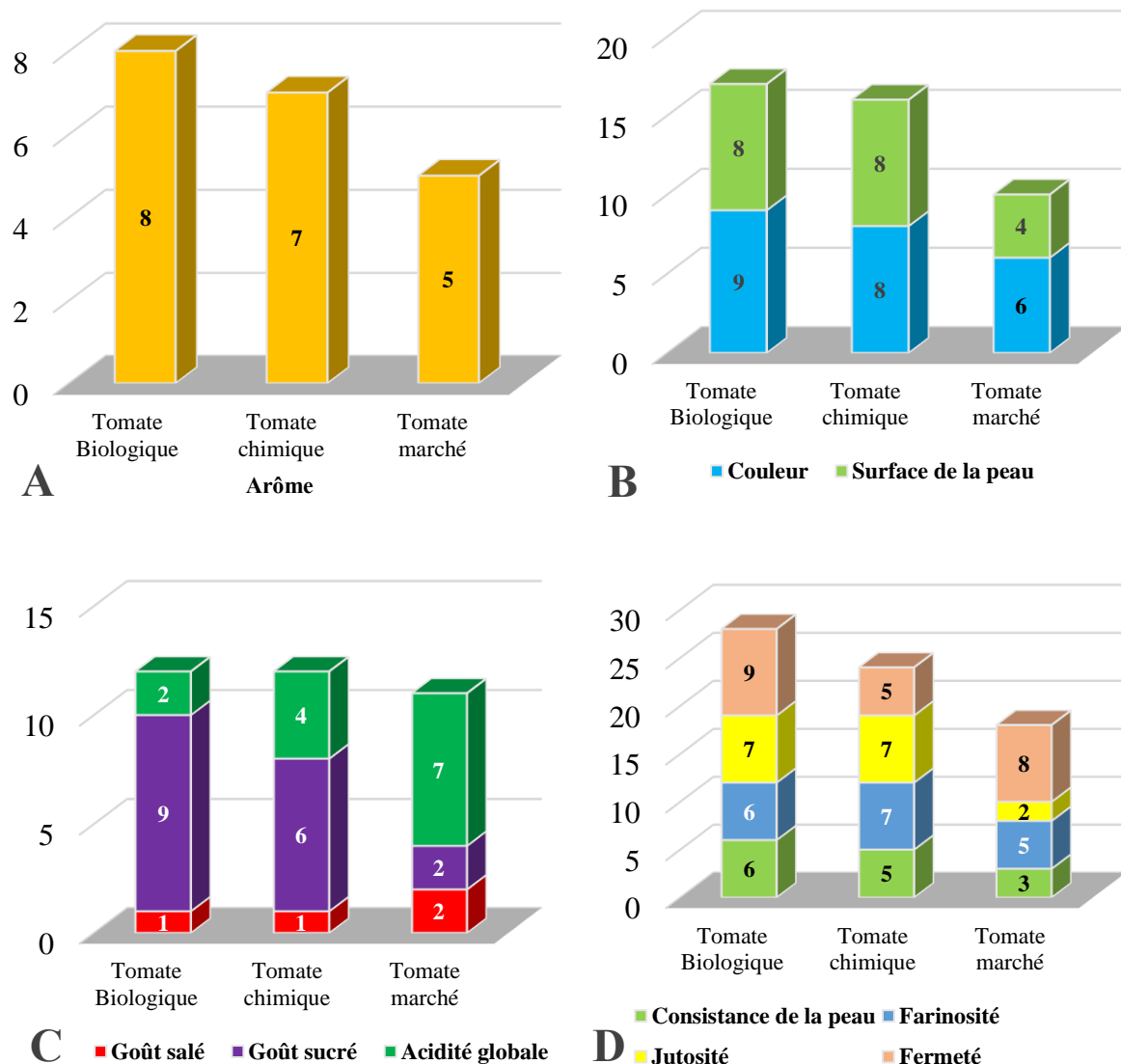
Les résultats sont exprimés en moyennes ± écarts-types de 3 répétitions. Les valeurs suivies de lettres différentes sur une même ligne sont significativement différentes au seuil ($p \leq 0,05$). **Tomate biologique** : tomate issue de l'agriculture biologique ; **Tomate chimique** : tomate obtenue avec l'engrais de synthèse NPK ; **Tomate marché** : tomate achetée au marché.

De ce tableau, il en ressort que la tomate biologique a présenté significativement ($p \leq 0,05$) les teneurs les plus élevées en K (1063,67 mg/100 g MS), Mg (599,67 mg/100 g MS), Ca (4905,00 mg/100 g MS), Fe (5,60 mg/100 g MS), Zn (4,47 mg/100 g MS), P (0,30 mg/100 g MS) et Mn (3,36 mg/100 g MS) par rapport à la tomate chimique et celle du marché. La tomate chimique se distingue par une teneur significativement ($p \leq 0,05$) plus élevée en Na (122,33 mg/100 g MS), tandis que la tomate du marché présente les valeurs les plus fortes en Cu (1,32 mg/100 g MS). Globalement, la tomate du marché affichait les concentrations les plus faibles pour plusieurs minéraux.

III.1.4.2.2. Evaluation de la qualité organoleptique des fruits

La Figure 22 ci-dessous présente l'analyse sensorielle des trois lots de tomate (biologique, chimique et du marché).

Evaluation des qualités nutritionnelle et organoleptique de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) produite biologiquement



Légende : A) Odeur ; B) Apparence ; C) Gout ; D) Texture

Figure 22 : Caractéristiques organoleptiques des lots de tomate : valeurs moyennes arrondies des descripteurs sensoriels.

De manière générale, les résultats différenciaient les lots de tomates en fonction de plusieurs éléments de qualité et de saveur, mettant en évidence une supériorité organoleptique de la tomate biologique, suivie de la tomate chimique tandis que la tomate du marché reste globalement la moins appréciée.

Concernant l'arôme, la tomate biologique a obtenu la meilleure appréciation (note 8), suivie de la tomate chimique (7) et la tomate du marché a été jugée moins satisfaisante (5).

Pour l'apparence, les tomates biologiques et chimiques ont été les mieux évaluées avec respectivement 17 points (9 pour la couleur et 8 pour la surface de la peau) et 16 points (8 pour

la couleur et 8 pour la surface de la peau). En revanche, la tomate du marché a présenté une apparence moins appréciée (10 points au total).

Au niveau du goût, le caractère sucré a été le plus apprécié en particulier pour la tomate biologique (9) et la tomate chimique (6). La tomate du marché s'est distinguée par une meilleure note en acidité (7), alors que le goût salé a été faiblement exprimé dans l'ensemble des échantillons.

Enfin, pour la texture la tomate biologique a obtenu le score global le plus élevé (28 points), notamment grâce à sa fermeté (9) et à sa jutosité (7). La tomate chimique a présenté une texture intermédiaire (24 points), marquée par un bon équilibre entre farinosité et jutosité. La tomate du marché (19 points) a montré une texture plus faible dans l'ensemble, mais elle s'est néanmoins distinguée par une fermeté élevée (8), contrastant avec ses notes plus basses pour la consistance et la jutosité.

III.1.5. Conservation des lots de tomates

La Figure 23 ci-dessous présente la durée de conservation des différents lots de tomate en fonction des conditions de stockage (température ambiante 25 °C et réfrigérateur 4 °C).

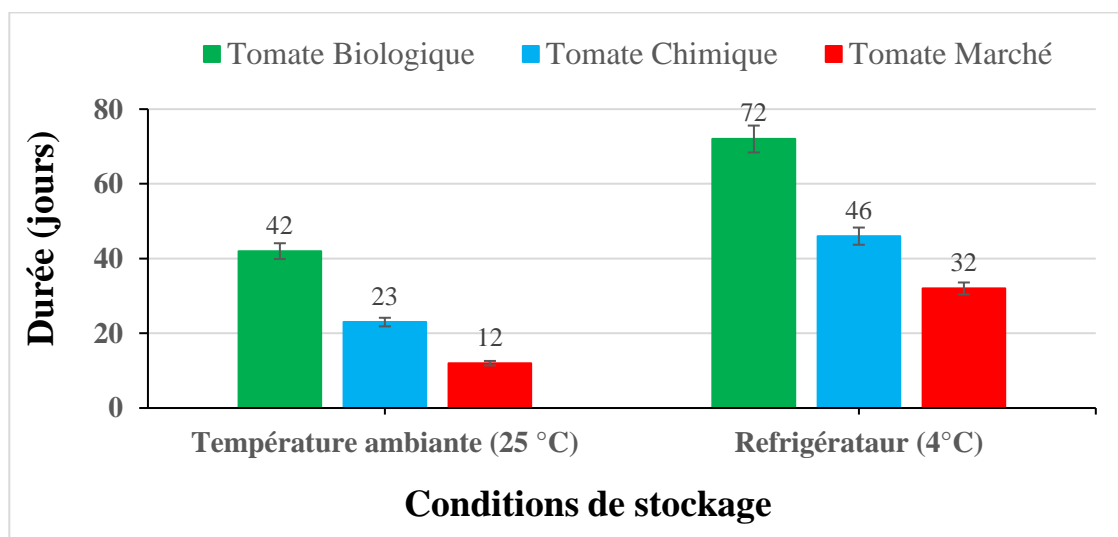


Figure 23 : Durée de conservation des différents lots de tomate à l'air libre et au réfrigérateur.

Il ressort de cette figure que la durée de conservation a varié significativement ($p \leq 0,05$) selon les lots et les conditions de stockage. Les tomates biologiques se conservent le plus longtemps, soit 42 jours à température ambiante et 72 jours au réfrigérateur contre respectivement 23 et 46 jours pour les tomates chimiques et 12 et 32 jours pour les tomates de marché.

III.2. DISCUSSION

Les composts produits ont présenté une texture variable allant de granuleuse à poudreuse tout en conservant une structure comparable à celle du sol, ce qui suggère une bonne capacité à améliorer les propriétés physiques du sol une fois appliqués. Ils se caractérisent par une odeur agréable et une coloration noire homogène, des indicateurs de maturation adéquate selon **Jain et al. (2018)** qui soulignent qu'un compost de qualité se distingue par l'absence d'odeur d'ammoniac, une température modérée et constante et une teinte foncée. Nos observations rejoignent celles de **Lekini et al. (2023)** qui ont obtenu un compost à partir de bouse de vache et de sciure de bois présentant des caractéristiques similaires.

Le pH des composts a présenté des valeurs basiques (9,01–9,15) par rapport au sol témoin acide (5,31). Ce caractère alcalin est attribué à la présence de matières riches en carbonates et oxydes basiques comme les coquilles d'œufs qui augmentent la concentration en ions OH^- et contribuent à l'alcalinisation (**Stadelman, 2017**). Des résultats similaires ont été observés par **Dakole et al. (2023)** qui ont rapporté des composts issus de fientes de poulet et d'arêtes de poisson présentant un pH alcalin. Lors de l'incorporation au sol, l'amendement par compost a entraîné généralement une élévation générale du pH par rapport aux sols témoins (T^+ et T^-), traduisant un effet correctif vis-à-vis de l'acidité. Cet ajustement est attribué à l'apport de bases échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) et à l'action des substances humiques qui favorisent la neutralisation des protons (**Wong et Swift, 2003**).

La conductivité électrique (CE) constitue un indicateur clé de la salinité et de la disponibilité des ions solubles dans les composts et leurs mélanges avec le sol (**Raviv, 2005**). Les résultats montrent que toutes les variantes du compost présentent des valeurs significativement ($p \leq 0,05$) plus élevées que le sol témoin (0,33 mS/cm), traduisant une bonne stabilité et l'absence d'accumulation excessive de sels. Après amendement avec le sol, la CE reste globalement faible (0,33–0,45 mS/cm), indiquant une dilution des sels dans la matrice sol. Ce comportement est favorable, car une CE élevée (> 4 mS/cm) pourrait limiter la croissance végétale (**Rhoades et al., 1992**). Nos résultats concordent avec ceux de **Tchinda et al. (2023)** qui ont montré que l'application de composts organiques augmente légèrement la CE du sol mais reste dans des niveaux tolérables pour les cultures maraîchères.

Le rapport C/N est un indicateur de la maturité et de la stabilité des composts (**Bernal et al., 2009**). Le rapport C/N des composts (15,39–26,12) a été significativement ($p \leq 0,05$) plus élevé que le sol témoin (13,36), ce qui traduit un état relativement avancé de compostage avec une bonne disponibilité en azote. Après incorporation au sol, les rapports C/N observés ont

également été significativement ($p \leq 0,05$) plus élevés (23,52–30,26) par rapport aux sols témoins (T^+ : 18,25 et T^- : 14,47), suggérant un effet de dilution de l'azote dans la matrice sol et une proportion plus importante de carbone relativement à l'azote. Cette augmentation est fréquente lorsque des composts riches en carbone sont appliqués sur des sols initialement pauvres en azote disponible (**Guo et al., 2012**). Selon **Mohanty et al. (2011)**, un rapport C/N compris entre 20 et 30 est considérée comme favorable : il traduit un compost suffisamment stabilisé, capable d'améliorer la structure du sol tout en évitant une libération trop brutale d'azote. L'augmentation du rapport C/N après mélange avec le sol indique que la dynamique de minéralisation reste en cours et que l'azote sera progressivement libéré, ce qui pourrait constituer un avantage pour une fertilisation à moyen terme (**Bernal et al., 2009**).

Le phosphore est un élément nutritif essentiel pour la croissance des plantes, intervenant dans les processus énergétiques, la division cellulaire et la fructification (**Hinsinger, 2001**). Les composts ont montré des teneurs en P significativement ($p \leq 0,05$) plus élevées (0,58–0,74 g/kg) que le sol témoin (0,24 g/kg). Après amendement au sol, les concentrations en P ont aussi été significativement ($p \leq 0,05$) accrues par rapport aux sols témoins (T^+ et T^-), atteignant jusqu'à 16,65 g/kg. Cette augmentation traduit l'apport en P issu des intrants organiques en particulier des coquilles d'œufs riches en phosphates de calcium. Selon **Sharpley et al. (1992)**, l'incorporation de composts améliore la disponibilité du phosphore dans le sol grâce à la minéralisation de la matière organique. Ainsi, nos résultats indiquent que l'utilisation de ces composts amendés au sol constitue une source importante de phosphore favorable à la nutrition phosphatée de la tomate.

L'analyse des composts révèle une biomasse microbienne significativement ($p \leq 0,05$) plus élevée que celle du sol témoin. En effet, la flore bactérienne et fongique a montré une multiplication importante dans les composts, ce qui traduit leur richesse en substrats organiques disponibles. Cette forte colonisation microbienne est caractéristique des composts qui constituent des milieux favorables au développement des micro-organismes grâce à leur teneur en nutriments et en composés organiques facilement assimilables (**Insam et de Bertoldi, 2007**). Par ailleurs, la présence de lignine et d'autres fractions récalcitrantes issues des résidus végétaux favorise particulièrement le développement des champignons capables de dégrader ces composés complexes (**Tuomela et al., 2000**). Ainsi comparés au sol témoin, les composts se présentent comme des matrices biologiquement actives, hébergeant une biomasse microbienne abondante qui constitue un indicateur de leur maturité et de leur potentiel de valorisation agricole.

Les activités enzymatiques (cellulase, protéase, déshydrogénase, β -glucosidase, phosphatases acide et alcaline) ont montré des niveaux significativement ($p \leq 0,05$) plus élevés dans les composts par rapport au sol témoin. Cette forte activité enzymatique reflète l'intensité des processus biologiques dans les composts, liés à la décomposition de la matière organique et à la transformation des composés organiques complexes en nutriments plus simples **(Nannipieri et al., 2018)**. Selon **Tabatabai (1994)**, ces enzymes jouent un rôle central dans la libération de carbone, d'azote et de phosphore, nutriments essentiels à la fertilité des sols. Ainsi comparativement au sol témoin, les composts présentent un potentiel biologique plus marqué, confirmant qu'ils constituent non seulement des réservoirs de biomasse microbienne mais aussi des catalyseurs biochimiques favorisant la disponibilité des nutriments.

Les teneurs en cations échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} et Na^{+}) ont été significativement ($p \leq 0,05$) plus élevées par rapport aux sols témoins, aussi bien dans les composts que dans les mélanges compost-sol. Les teneurs élevées en calcium et en magnésium s'expliquent en grande partie par la richesse des coquilles d'œufs en carbonates et minéraux basiques, ce qui améliore à la fois la nutrition minérale et la stabilité structurale du sol **(Havlin et al., 2014)**. Le potassium, principalement issu de feuilles de wengé s'est également accru, favorisant la régulation osmotique et le métabolisme énergétique des plantes **(Mengel et Kirkby, 2012)**. Quant au sodium, bien que ses teneurs aient augmenté, elles demeurent inférieures aux seuils critiques de salinité pour les cultures sensibles comme la tomate, traduisant un faible risque de toxicité **(Sonneveld et Voogt, 2009)**. Globalement, cette augmentation des cations échangeables traduit une amélioration de la capacité d'échange cationique (CEC) et de la fertilité chimique du sol, confirmant que l'utilisation de tels composts constitue une stratégie efficace et durable pour enrichir les sols pauvres en éléments nutritifs **(Bernal et al., 2009)**.

Les teneurs en métaux lourds (Pb, Zn, Cu) des composts et des composts amendés au sol demeurent globalement faibles. Ces niveaux restent en dessous des seuils critiques fixés par les normes européennes et américaines **(US EPA, 2000)** indiquant l'innocuité environnementale des composts testés. L'amendement compost-sol n'a pas entraîné d'accumulation excessive des métaux lourds, ce qui confirme que les matières premières utilisées (feuilles de wengé et coquilles d'œufs) constituent des intrants organiques sains. Ces résultats concordent avec ceux de **Tchinda et al. (2023)** qui ont montré que les composts issus de fientes de poulet et cendre de bois présentent des niveaux très bas en métaux lourds, adaptés à un usage agricole durable.

Le criblage phytochimique du macérât aqueux de feuilles de wengé a mis en évidence la présence de plusieurs métabolites secondaires notamment les alcaloïdes, composés phénoliques, triterpènes, saponines, anthraquinones, glycosides cardiaques et tannins condensés. Ces groupes de molécules sont connus pour jouer un rôle important dans les défenses naturelles des plantes et dans leurs diverses activités biologiques (Cowan, 1999). Ces résultats corroborent les travaux antérieurs sur le genre *Millettia* qui est reconnu pour sa richesse en alcaloïdes, flavonoïdes, composés phénoliques et saponines (Jena et al., 2020). Plus spécifiquement dans le cas de *M. laurentii*, des alcaloïdes particuliers tels que la millaurine, l'acétyl-millaurine et la millettonine ont déjà été isolés des graines et de l'écorce, confirmant que cette espèce constitue une source importante de composés bioactifs (Ngamga et al., 1994). La détection d'alcaloïdes dans notre macérât aqueux est donc en accord avec ces observations. Ainsi, nos résultats renforcent les données de la littérature et mettent en évidence le potentiel de wengé comme source de métabolites secondaires à intérêt pharmacologique, notamment pour leurs propriétés antimicrobiennes, antioxydantes ou encore anti-inflammatoires rapportées dans plusieurs études (Jena et al., 2020).

Les résultats obtenus sur les paramètres de croissance et de production traduisent l'effet positif de l'amendement organique et du macérât sur le développement des plants de tomate. En effet, l'apport du compost issu des feuilles de wengé et de coquilles d'œufs ont amélioré la disponibilité en nutriments essentiels tels que l'azote, le calcium, le phosphore et le potassium, éléments déterminants pour la croissance végétative et la fructification. L'azote favorise particulièrement le développement de la surface foliaire, augmentant ainsi la photosynthèse et la production de biomasse, tandis que le calcium contribue à la fermeté des tissus végétaux et à la réduction des désordres physiologiques des fruits (Agele et al., 2011). De plus, l'utilisation du macérât aqueux de feuilles de wengé a joué un rôle double : d'une part comme biofertilisant par l'apport de composés organiques solubles rapidement assimilables et d'autre part comme biostimulant grâce à certains métabolites secondaires connus pour stimuler les mécanismes de défense des plantes et améliorer leur résilience (Nguefack et al., 2022). Cette synergie pourrait expliquer l'augmentation observée dans la vigueur des plants et dans la production en fruits. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Dakole et al. (2023) qui ont démontré que l'utilisation de composts améliore significativement la croissance végétative et la production de la tomate. De même, Mangoumou et al. (2020) ont montré que les apports organiques favorisent non seulement la nutrition minérale mais aussi l'activité biologique du sol, ce qui se répercute sur la croissance et la productivité de la tomate.

La teneur en eau des tomates a montré des différences significatives ($p \leq 0,05$) selon le mode de production. La tomate biologique a présenté une valeur plus faible (71,16 %) comparée à la tomate chimique (85,10 %) et celle du marché (82,29 %). Une teneur en eau réduite est généralement corrélée à une plus forte concentration en matière sèche et nutriments (solides solubles, sucres, composés phénoliques), ce qui confère une densité nutritionnelle plus élevée (**Gao et al., 2023**). Des travaux récents ont confirmé que les systèmes biologiques souvent associés à un apport hydrique plus limité et une croissance plus lente favorisent une accumulation en solides solubles et améliorent certains paramètres organoleptiques et fonctionnels (**Zhang et al., 2023**).

Pour le pH, les résultats montrent que la tomate issue de la culture chimique est la plus acide (3,57) comparée aux tomate biologique (4,19) et celle du marché (4,11). L'acidité plus élevée dans les systèmes conventionnels est attribuée aux apports azotés minéraux, qui stimulent la biosynthèse des acides organiques (acide citrique, acide malique) dans les fruits (**Vinha et al., 2014**). Un pH plus faible est généralement bénéfique pour la stabilité microbiologique et la conservation des produits, mais il accentue aussi la perception d'acidité en bouche. À l'inverse, un pH plus élevé comme observé dans la tomate biologique peut réduire l'acidité perçue et améliorer l'acceptabilité sensorielle, bien qu'il nécessite une attention accrue en termes de conservation (**Tieman et al., 2012**).

Concernant les sucres totaux, la tomate biologique présente significativement ($p \leq 0,05$) la valeur la plus élevée (4,53 g/100 g MF), suivie de la tomate chimique (3,83 g/100 g MF), tandis que la tomate du marché affiche la teneur la plus faible (3,13 g/100 g MF). La concentration en sucres est un facteur clé de la qualité sensorielle, car elle contribue directement à la perception de la douceur et à l'acceptabilité du fruit (**Beckles, 2012**). Les résultats confirment des études antérieures montrant que la culture biologique peut favoriser une accumulation plus importante de sucres, souvent liée à une teneur plus élevée en matière sèche et à une croissance végétative moins diluée (**Mitchell et al., 2007**). Inversement, la plus faible teneur observée dans la tomate du marché pourrait refléter des conditions de culture intensives ou une récolte prématurée qui réduisent l'accumulation optimale de glucides (**Kader, 2008**).

Le lycopène, pigment caroténoïde majeur de la tomate, est nettement ($p \leq 0,05$) plus élevé dans la tomate biologique (10,71 mg/100 g MF) par rapport à la tomate chimique (5,98 mg/100 g MF) et celle du marché (5,25 mg/100 g MF). Ces valeurs confirment l'hypothèse selon laquelle les conditions de culture biologique favorisent l'accumulation des caroténoïdes en particulier le lycopène probablement grâce à une croissance plus lente, une teneur en matière

sèche plus élevée et une stimulation du métabolisme secondaire en réponse à des stress modérés (Hallmann, 2012). La teneur plus faible en lycopène dans la tomate du marché pourrait être due à une récolte avant maturité complète, puisque l'accumulation de lycopène se produit essentiellement au stade de mûrissement (Gautier et al., 2008).

La teneur en vitamine C a significativement ($p \leq 0,05$) été supérieure dans la tomate biologique (20,81 mg/100 g MF) comparativement à la tomate chimique (17,04 mg/100 g MF) et celle du marché (15,89 mg/100 g MF). Ces résultats sont cohérents avec ceux de plusieurs études rapportant que la culture biologique favorise une accumulation plus importante d'acide ascorbique en raison d'un métabolisme secondaire plus actif et d'une dilution moindre des nutriments (Oliveira et al., 2013). La vitamine C, molécule hydrosoluble et antioxydante, joue un rôle essentiel dans la protection contre le stress oxydatif et contribue à la valeur nutritionnelle de la tomate. Sa concentration est fortement influencée par la variété, le stade de maturité, les conditions de culture et le stockage (Lee et Kader, 2000).

La teneur en composés phénoliques totaux a été significativement ($p \leq 0,05$) plus élevée dans la tomate biologique (202,60 mg d'EAG/100 ml) que dans la tomate cultivée chimiquement (185,76 mg d'EAG/100 ml) et celle achetée au marché (183,76 mg d'EAG/100 ml). Selon Aminifard et al. (2013), cette augmentation pourrait s'expliquer par le rôle du compost en tant que source de précurseurs ou d'activateurs des phytohormones, favorisant ainsi la production de substances de croissance et de composés secondaires. L'application du macérât de wengé aurait également pu agir comme éliciteur, stimulant les mécanismes de défense de la plante et induisant une synthèse accrue de métabolites secondaires, notamment les polyphénols (Pott et al., 2019). Des résultats similaires ont été rapportés par Dongmo et al. (2022) qui ont observé une augmentation de la teneur en composés phénoliques totaux dans les plants d'*Ocimum gratissimum* traités avec du compost et un extrait aqueux à base de *Tithonia diversifolia*.

La teneur en macro-éléments (K, Mg, Ca, P) ainsi qu'en oligo-éléments (Fe, Zn, Mn) dans la tomate biologique s'est révélée significativement ($p \leq 0,05$) plus élevée que dans les deux autres lots. Cette augmentation peut être attribuée à la disponibilité et à la libération progressive de ces minéraux par le compost tout au long du cycle de culture. Selon Suge et al. (2011), cette forte concentration résulte de l'amélioration du cycle des minéraux par la matière organique qui augmente leur disponibilité pour la plante, favorisant ainsi le développement racinaire et la croissance végétative. L'application du compost améliore donc la fertilité du sol, entraînant une meilleure biodisponibilité et absorption des minéraux par les plantes. Ces

observations concordent avec les résultats de **Nguefack et al. (2022)** qui ont également montré une augmentation de la concentration en minéraux dans les poivrons cultivés sur des parcelles amendées avec du compost à base d'épluchures de manioc.

L'évaluation d'analyse sensorielle a montré une nette supériorité de la tomate biologique sur les autres lots, confirmant des résultats antérieurs qui soulignent l'intérêt de la culture biologique pour améliorer la qualité organoleptique (**Zhang et al., 2023**). Plusieurs études ont montré que la tomate issue de l'agriculture biologique présente des teneurs plus élevées en vitamine C, phénols et sucres, ce qui favorise un meilleur goût et une meilleure appréciation globale (**Felföldi et al., 2021**). Concernant l'arôme, la tomate biologique a été la plus appréciée, ce qui peut être lié à une plus forte teneur en composés volatils responsables du parfum (**Tieman et al., 2012**). À l'inverse, la tomate du marché présente une qualité aromatique moindre, possiblement liée aux conditions de culture, aux pratiques post-récolte et au stockage prolongé qui réduisent la teneur en composés volatils (**Beckles, 2012**). Sur le plan de l'apparence, les tomates biologiques et chimiques ont été mieux notées que celles du marché. Ces résultats rejoignent les observations de **Helyes et Lugasi (2006)** qui indiquent que la couleur et l'homogénéité de la peau sont fortement influencées par les conditions culturales et le stade de récolte. La plus faible appréciation de la tomate du marché peut être due à une récolte à maturité incomplète ou à des défauts visuels liés au transport. Pour le goût, la préférence marquée pour le goût sucré chez la tomate biologique et chimique est cohérente avec la littérature, qui souligne l'importance du rapport sucres/acides dans l'acceptabilité sensorielle (**Sinesio et al., 2021**). La tomate du marché quant à elle, se distingue par une acidité plus marquée, ce qui peut s'expliquer par une teneur plus élevée en acides organiques, souvent associée à des récoltes précoces (**Sinesio et al., 2021**). Le goût salé reste peu exprimé, ce qui confirme qu'il ne constitue pas un descripteur dominant dans l'appréciation de la tomate fraîche. Enfin, la texture a également différencié les lots, avec une nette supériorité de la tomate biologique. Sa fermeté et sa jutosité en font un fruit sensoriellement attrayant. Des travaux antérieurs montrent que la tomate issue de l'agriculture biologique tend à avoir une meilleure consistance cellulaire et une teneur en matière sèche plus élevée, contribuant à une texture plus satisfaisante (**Carli et al., 2011**). La tomate du marché bien que ferme, a obtenu des scores plus faibles pour la jutosité et la consistance, ce qui peut réduire son attrait global. En somme, les résultats mettent en évidence que la qualité organoleptique de tomate dépend fortement du mode de production et des conditions post-récolte. La tomate biologique apparaît comme la plus appréciée dans l'ensemble des critères, ce qui confirme les observations de plusieurs études sur

la préférence des consommateurs pour les produits issus de l'agriculture biologique (**Mie et al., 2017**).

La durée de conservation des tomates a varié de manière significative ($p \leq 0,05$) selon le mode de production et les conditions de stockage. Les tomates biologiques ont montré la meilleure stabilité post-récolte avec 42 jours à température ambiante (25 °C) et 72 jours au réfrigérateur (4 °C), suivies des tomates issues de la culture chimique (23 et 46 jours) et enfin des tomates du marché (12 et 32 jours). La meilleure conservation des tomates biologiques pourrait s'expliquer par leur faible teneur en eau et leur forte teneur en matière sèche, qui limitent la perte de poids et le flétrissement. Leur richesse en antioxydants et composés phénoliques ralentit les réactions d'oxydation et de sénescence, préservant ainsi la fermeté et l'intégrité des tissus des fruits. Les résultats obtenus corroborent partiellement ceux de **Ünlü et al. (2011)** qui ont observé une durée de conservation d'environ 35 jours pour les tomates biologiques contre 20 jours pour les conventionnelles à température ambiante, soulignant que les fruits issus de la culture biologique présentent une peau plus ferme et une perte de poids plus lente. De même, **Pradhan et Srijaya (2022)** ont rapporté que les tomates biologiques gardaient leur qualité marchande plus longtemps (jusqu'à 28 jours) que les conventionnelles (20 jours) dans des conditions de stockage contrôlées. Ces observations confirment que le mode de production biologique confère aux fruits une meilleure résistance physiologique et microbiologique après récolte. Par ailleurs, l'effet du froid a été bénéfique dans toutes les catégories en ralentissant la respiration et l'activité enzymatique comme l'ont également montré **Baninaïem et al. (2023)**. Ces auteurs ont démontré que le stockage à basse température (10 °C) prolonge la durée de conservation jusqu'à 30 à 40 jours selon les traitements post-récolte appliqués. Nos résultats, bien que supérieurs en termes de durée s'inscrivent dans la même logique : la réfrigération retarde les processus de maturation et de dégradation, ce qui explique la prolongation observée, notamment pour les tomates biologiques. Ainsi, la plus grande durée de conservation des tomates biologiques dans notre étude pourrait être liée à une meilleure intégrité tissulaire et à un taux de respiration plus faible, déjà soulignés par **Majidi et al. (2014)** dans le cadre du stockage sous atmosphère contrôlée. Ces caractéristiques biologiques contribuent à ralentir la perte d'eau, la dégradation de la couleur et la prolifération microbienne. Ainsi, nos résultats indiquent que la combinaison d'un mode de production biologique et d'un stockage réfrigéré constitue la stratégie la plus efficace pour prolonger la durée de conservation et préserver la qualité des tomates après récolte.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION

Le présent travail avait pour objectif général d'évaluer les qualités nutritionnelle et organoleptique de la tomate produite à l'aide d'un compost à base de *Millettia laurentii* et de coquilles d'œufs, ainsi que d'un macérât aqueux de *Millettia laurentii*.

- ❖ Quatre types de compost (C1, C2, C3, C4) et trois concentrations de macérât aqueux (3 %, 6 %, 9 %) ont été produits. Ils ont présenté une bonne maturité, une texture homogène et une qualité adaptée à l'usage agricole.
- ❖ Le pH des composts variait entre 9,01 et 9,15, traduisant un compost bien stabilisé, tandis que le rapport C/N oscillait entre 15,39 et 26,12, signe d'une bonne maturité. Dans les mélanges compost/sol, le pH le plus élevé ($7,51 \pm 0,10$) et le phosphore total maximal ($16,65 \pm 1,52$ g/kg) ont été obtenus avec le traitement C2 à 15 %, contre $0,24 \pm 0,01$ g/kg pour le T⁻ et $12,15 \pm 0,76$ g/kg pour le T⁺. Les valeurs de conductivité électrique sont restées modérées (0,33–0,45 mS/cm), assurant un environnement favorable à la croissance. La flore bactérienne et la flore fongique étaient significativement ($p \leq 0,05$) plus abondantes dans le compost C2, accompagnées d'activités enzymatiques élevées, confirmant leur efficacité. Le macérât aqueux de *Millettia laurentii* contenait des alcaloïdes, saponines, tanins, triterpènes et composés phénoliques, traduisant son potentiel biostimulant et protecteur pour la croissance des plants.
- ❖ Le traitement C3 à 15 % a produit 66 fruits, soit quatre fois plus que le T⁺ (16 fruits), tandis que le macérât à 6 % a permis d'obtenir 51 fruits soit trois fois plus que le T⁺ (16 fruits). Les tomates issues des traitements biologiques se sont distinguées par des teneurs élevées en lycopène, sucres totaux, vitamine C, composés phénoliques et minéraux, et par une meilleure appréciation organoleptique (goût, odeur, apparence et texture). Leur durée de conservation a été la plus longue, atteignant 42 jours à température ambiante et 72 jours au réfrigérateur, contre respectivement 23 et 46 jours pour les tomates chimiques, et 12 et 32 jours pour celles du marché.

En somme, la combinaison du compost C3 à 15 % et du macérât de *Millettia laurentii* à 6 % est fortement recommandée pour la production biologique de tomate, car elle améliore la fertilité du sol, la production et la qualité post-récolte, tout en valorisant des ressources locales et respectueuses de l'environnement.

PERSPECTIVES

Dans le prolongement de ce travail, plusieurs perspectives peuvent être envisagées :

- ❖ Optimiser la qualité du compost en utilisant des nouveaux intrants qui pourraient augmenter l'apport en éléments nutritifs et en matière organique ;
- ❖ Tester leur efficacité en plein champ et sur différents types de sols du Cameroun et du Tchad ;
- ❖ Approfondir les recherches sur la conservation post-récolte et l'aptitude à la transformation des tomates issues de ce procédé biologique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- A.O.A.C. (1980).** Official Methods of Analysis. (13th ed.). Association of Official Analytical Chemists. William Horwitz, Washington, D.C. 376-384.
- A.O.A.C. (1990).** Official Methods of Analysis. (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Washington, D.C.
- Adal, Y. M. (2023).** Role of rhizosphere on the soil fertility and availability nutrient. *Journal of Global Ecology and Environment*, 19(3-4), 22–30.
- Adams, S. R., Cockshull, K. E., & Cave, C. R. J. (2001).** Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. *Annals of Botany*, 88(5), 869–877. <https://doi.org/10.1006/anbo.2001.1524>
- Agbaji, F., Okee, J. I., Akogu, S. E., Musa, V. H., & Sunday, J. E. (2022).** Disease Incidence, Severity, Soil Amendment and Growth of Rio-Grande Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Variety. *World Journal of Agricultural Research*, 10(1), 1-6.
- Agele, S. O., Adeyemo, A. J., & Famuwagun, I. B. (2011).** Agricultural wastes and mineral fertilizer on soil and plant nutrient status, growth and yield of tomato. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 57(1), 91–104. <https://doi.org/10.1080/03650340903302236>
- Ahmet, O. G. (2016).** Best Available Techniques for Fertilizer Production industry : A review. *European Journal of Chemistry*.
- Albrecht, R. (2007).** Co-compostage des boues de station d'épuration et de déchets verts : nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique. Thèse de doctorat, faculté des sciences et techniques, biosciences de l'environnement, Université Paul Cézanne Aix-Marseille III, pp 189.
- Algoët, B. (2008).** Phénologie et régénération du Wengé (*M. laurentii*) en République Démocratique du Congo. Mémoire de fin d'étude, Institut des Sciences et industries du vivante et de l'environnement de Paris (AgroParisTech-ENGREF), 114p.
- Alkarimiah, R., & Suja, F. (2019).** Effects of technical factors towards achieving the thermophilic temperature stage in composting process and the benefits of closed reactor system compared to conventional method. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(4), 9415–9432. https://doi.org/10.15666/aeer/1704_94159432
- Aminifard, M. H., Aroiee, H., Azizi, M., Nemati, H., & Jaafar, H. Z. E. (2013).** Effect of

compost on antioxidant components and fruit quality of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Central European Agriculture*, 14(2), 525–534.

Andel, T. Van, Vos, R. A., Michels, E., & Stefanaki, A. (2022). Sixteenth-century tomatoes in Europe : who saw them, what they looked like, and where they came from. *Peer*, 2022. <https://doi.org/10.7717/peerj.12790>

Arcury, T. A., Quandt, S. A., & McCauley, L. (2000). Farmworkers and pesticides : community-based research. *Environmental Health Perspectives*, 108(8), 787-792. <https://doi.org/10.1289/ehp.00108787>

Baldwin, E. A., Pritchett, M. D., & Scott, J. W. (2000). Flavor Trivia and Tomato Aroma : Biochemistry and Possible Mechanisms for Control of Important Aroma Components. *HortScience*, 35(6), 1013–1022.

Baninaiem, E., Rafiee, S., Keyhani, A., & Tabatabaei, M. (2023). Enhancement of storage life and maintenance of quality in tomatoes using eco-friendly treatments. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1180243. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1180243>

Banzouzi, J. T., Prost, A., Rajemiarimiraho, M., & Ongoka, P. (2008). Traditional Uses of the African *Millettia* species (Fabaceae). *International Journal of Botany*, 4(4), 406-420.

Baraka, E., Eltigani, A., Yanda, P. Z., Hansson, A., & Fridahl, M. (2024). Evaluation of selected organic fertilizers on conditioning soil health of smallholder households in Karagwe, Northwestern Tanzania. *Heliyon*, 10(4), e26059.

Barakat, M.A. (2011). New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*, 4(4), 361–377.

Beckles, D. M. (2012). Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 63(1), 129–140.

Benakmoum, A., Abbedou, S., Ammouche, A., Panagiotis, K., & Dimitrios, G. (2008). Valorisation of low quality edible oil with tomato peel waste. *Food chemistry 110* : 684-690.

Bergougnoux, Véronique. (2014). The history of tomato: From domestication to biopharming. *Biotechnology Advances*, 32(1), 170–189.

- Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R. (2009).** Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment : A review. *Bioresource Technology*, *100*(22), 5444–5453. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>
- Bhowmik, D., Kumar, K. P. S., Paswan, S., & Srivastava, S. (2012).** Tomato-A Natural Medicine and Its Health Benefits. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *1*(1), 33–43. www.phytojournal.com
- Biyada, S., Merzouki, M., Demčenko, T., Vasiliauskienė, D., Ivanec-Goranina, R., Urbonavičius, J., Marčiulaitienė, E., Vasarevičius, S., & Benlemlih, M. (2021).** Microbial community dynamics in the mesophilic and thermophilic phases of textile waste composting identified through next-generation sequencing. *Scientific Reports*, *11*, 23624.
- Blanca, J., Montero-pau, J., Sauvage, C., Bauchet, G., Illa, E., Díez, M. J., Francis, D., Causse, M., Knaap, E. Van Der., & Cañizares, J. (2015).** Genomic variation in tomato , from wild ancestors to contemporary breeding accessions. *BMC Genomics*, *16*, 1–19. <https://doi.org/10.1186/s12864-015-1444-1>
- Blancard, D. (2012).** The tomato plant and its culture. In D. Blancard (Ed.), *Tomato Diseases: Identification, Biology and Control* (2nd ed., pp. 1–18). *Elsevier*. <https://doi.org/10.1201/B15145>
- Boulaine, J. (1989).** Histoire des pédologues et de la science du sol. Ed. INRA. 285 P.
- Boureley, J. (1982).** Observations sur le dosage de l'huile des graines de cotonnier. *Coton et fibres tropicales*, *37*(2) : 183-196.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017).** The nature and properties of soils (15th ed.). *Pearson Education*.
- Bremner, J. M. (1960).** Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *The Journal of Agricultural Science*, *vol. 55, no. 1*, pp. 11-33.
- Burns R.G. (1982).** Enzyme activity in soil : location and a possible role in microbial ecology. *Soil Biology and Biochemistry*, *14*, pp 423-428.
- Carli, P., Barone, A., Fogliano, V., Frusciante, L., & Ercolano, M. R. (2011).** Dissection of genetic and environmental factors involved in tomato organoleptic quality. *BMC Plant Biology*, *11*, 58. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-11-58>

- CDDR, (2011).** Centre de Documentation pour le Développement Rural. *Journal de l'entrepreneur rural*, 6, 72-84.
- Ceustermans, A., Coosemans, J., & Ryckeboer, J. (2019).** Compost microbial activity related to compost stability. In D. Werner (Ed.), *Microbes at Work* (pp. 115–134). Springer Nature Switzerland AG. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04043-6_6
- Charnay, F. (2005).** Compostage des déchets urbains dans les pays en Développement : élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de Limoges. 277 p.
- Chaux C. L. & Foury C. L., (1994a).** Cultures légumières et maraichères. Tom 3 : légumineuses potagères, légumes fruit. Tec et Doc Lavoisier, Paris, 563 p.
- Chaux C. L. & Foury C. L., (1994b).** Productions légumières. Tom 3, éd : tec et doc Lavoisier, Paris, 235p.
- Corbineau F., & Core A. (2006).** Dictionnaire de la biologie des semences et des plantules. Ed : Paris : Tec et Doc Lavoisier. ISBN/ISSN/EAN : 2-7430-0919-5 ; Format : 226 p.
- Coulibaly, A., Ouedraogo, J., Nacro, S. R., & Serme, I. (2022).** Effets des fertilisants organiques sur la production de la tomate et les paramètres chimiques du sol au Centre Nord du Burkina Faso Résumé. *Afrique SCIENCE*, 21(4), 10–27.
- Cowan, M. M. (1999).** Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(4), 564–582.
- Dakole, D. C., Okala, B. N. M., Molemb, N., Fonkua, M., Dongmo, L. J. B., & Nguéfack, J. (2023).** Characterization of Compost Made from Chicken Droppings and Fish Bones, and Its Application to Tomato Cultivation. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, 22(2), 16–32. <https://doi.org/10.9734/ajaar/2023/v22i2436>
- Davies, J. N., & Hobson, G. E. (1981).** The constituents of tomato fruit—the influence of environment, nutrition, and genotype. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 15(3), 205–280.
- Derkaoui, K. (2011).** Les réponses morphologiques, physiologiques et anatomiques des racines de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.) vis-à-vis du stress salin. *Mémoire de diplôme de Magister*, 1-80.

- Deru, J. G. C., Bloem, J., de Goede, R., Brussaard, L., & van Eekeren, N. (2023).** Effects of organic and inorganic fertilizers on soil properties related to the regeneration of ecosystem services in peat grasslands. *Applied Soil Ecology*, 187, 104838.
- Diaz, L. F., de Bertoldi, M., Bidlingmaier, W., & Stentiford, E. (2011).** Compost Science and Technology. *Elsevier*.
- Djidji, A. H., Zohouri, G. P., Fondio, L., N'zi, J. C., & Kouame, N. C. (2010).** Effet de l'abri sur le comportement de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en saison pluvieuse dans le sud de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 25(4) : 1557-1564.
- Dongmo, L. B. J., Ngum, C. R., Akono, N. E., Menkem, Z. E., Manfo, T. F. P., Mbouobda, H. D., Kamgang, K. S., & Nguéfack, J. (2022).** *Tithonia diversifolia* powder and compost ameliorate plant growth parameters, essential oils, phénols and flavonoids content and anticandida activity of *Ocimum gratissimum* L. *European Journal of Medicinal Plants*, 33(4), 25–35. <https://doi.org/10.9734/ejmp/2022/v33i430464>
- Dorais, M., Ehret, D. L., & Papadopoulos, A. P. (2008).** Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components : From the seed to the consumer. *Phytochemistry Reviews*, 7, 231–250. <https://doi.org/10.1007/s11101-007-9085-x>
- Douakha, F. G. F. (2013).** Contribution à l'étude de la tolérance à la salinité chez quelques variétés de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Mémoire de Master, Université 8Mai1945 Guelma, Guelma 53 p, *SNV.STU*.
- Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Rice, E. W. & Greenberg, A. E. (2005).** Standard methods for the examination of water and wastewater (21st Edition). Press, Washington, DC : *American Public Health Association*. 1082 p.
- Eivazi, F., & Tabatabai, M. A. (1977).** Phosphatases in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 9(3), 167-172.
- Eivazi, F., & Tabatabai, M. A. (1988).** Glucosidases and galactosidases in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 20(5), 601-606.
- Epstein, E. (1997).** The science of composting. Lancaster, PA : Technomic
- Epstein, E. (2017).** The Science of Composting. *CRC Press*.
- FAO. (2015).** Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report. *Food and*

Agriculture Organization of the United Nations. Rome.

FAO. (2024). Tomato production worldwide, 1961–2023 [Dataset]. Our World in Data.
<https://ourworldindata.org/grapher/tomato-production>

Felföldi, Z., Ranga, F., Socaci, S. A., Farcas, A., Plazas, M., Sestras, A. F., Vodnar, D. C., Prohens, J., & Sestras, R. E. (2021). Physico-chemical, nutritional, and sensory evaluation of two new commercial tomato hybrids and their parental lines. *Plants*, *10*, 2480. <https://doi.org/10.3390/plants10122480>

Fewtrell, L. (2004). Drinking-water nitrate, methemoglobinemia, and global burden of disease: a discussion. *Environmental Health Perspectives*, *112*(14), 1371-1374.

Gallais A., & Bannerot H., (1992). Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection. Ed INRA, Paris p768.

Gao, F., Li, H., Mu, X., Gao, H., Zhang, Y., Li, R., Cao, K., & Ye, L. (2023). Effects of organic fertilizer application on tomato yield and quality: A meta-analysis. *Applied Sciences*, *13*(4), 2184. <https://doi.org/10.3390/app13042184>.

Gautier, H., Diakou-Verdin, V., Bénard, C., Reich, M., Buret, M., Bourgaud, F., Poëssel, J.-L., Caris-Veyrat, C., & Génard, M. (2008). How does tomato quality (sugar, acid, and nutritional quality) vary with ripening stage, temperature, and irradiance ? *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *56*(4), 1241-1250. <https://doi.org/10.1021/jf072196t>

Giroux, M. & Audesse, P. (2004) Comparison of Two Methods for Determining the Contents of Organic Carbon, Total Nitrogen and the C/N Ratio of Various Organic Amendments and Farm Fertilizers. *Agrosolution*, *15*, 107-110.

Goodon, B. (1997). Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales.

Guo, R., Li, G., Jiang, T., Schuchardt, F., Chen, T., Zhao, Y., & Shen, Y. (2012). Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresource Technology*, *112*, 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.099>

Hallmann, E. (2012). The influence of organic and conventional cultivation systems on the nutritional value and content of bioactive compounds in selected tomato types. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *92*(14), 2840-2848. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5617>

Harborne, J. B. (1998). Phytochemical Methods : A Guide to Modern Techniques of Plant Analysis (3rd ed.). London : Chapman and Hall Ltd. p286, Springer.

- Harry J. Klee., & Denise M. Tieman. (2013).** Genetic challenges of flavor improvement in tomato. *Trends in Genetics*, 29(4), 257–262. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tig.2012.12>.
- Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., & Nelson, W. L. (2014).** Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management (8th ed.). *Pearson Education*.
- Haynes, R. J., & Naidu, R. (1998).** Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions : a review. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 51, 123-137.
- Helyes, L., & Lugasi, A. (2006).** Formation of certain compounds having technological and nutritional importance in tomato fruits during maturation. *Acta Alimentaria*, 35(2), 183–193.
- Heuvelink, E., & Dorais, M. (2005).** Crop growth and yield. *Tomatoes*, 85-144.
- Hina, N. S. (2024).** Global meta-analysis of nitrate leaching vulnerability in synthetic and organic fertilizers over the past four decades. *Water*, 16(3), 457.
- Hincke, M. T., Nys, Y., Gautron, J., Mann, K., Rodriguez-Navarro, A. B., & McKee, M. D. (2012).** The eggshell: Structure, composition and mineralization. *Fronti Biosci*, 17(1), 1266–1280.
- Hinsinger, P. (2001).** Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes : A review. *Plant and Soil*, 237(2), 173–195.
- Hippolyte T. M., Alex D. K. T., Maxwell W. N., Ferdinand L. E. E., Boris R. T. T., & Gabriel N. M. (2021).** In vitro antimicrobial activity of *Millettia laurentii* De Wild and *Lophira alata* Banks ex C. F. Gaertn on selected foodborne pathogens associated with gastroenteritis. *Heliyon*, 7(4), e06830. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06830>
- Hoffmann E., & Seegerer A. (1951).** Soil enzymes as factors of fertility. *Naturwissenschaften*, 38, pp 141-142.
- Horwitz, W. (2000).** Official Methods of AOAC International. 17th Edition, Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International, Gaithersburg.
- Huang, G. F., Wong, J. W. C., Wu, Q. T., & Nagar, B. B. (2004).** Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. *Waste Management*, 24(8), 805–813. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.03.011>

- Ingham, E. R. (2000).** The compost tea brewing manual. *Unisun Communications*.
- Insam, H., & de Bertoldi, M. (2007).** Microbiology of the composting process. In Waste Management Series (Vol. 8, pp. 25-48). *Elsevier*.
- ISO 10390 (1994).** Soil quality — Determination of pH. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. 8 p.
- ITIS (2024).** Integrated Taxonomic Information System. <https://www.itis.gov>
- IUCN. (2019).** The IUCN Red List of Threatened Species. *Millettia laurentii*. <https://www.iucnredlist.org/species/33253/2813636>
- Jain, S., Newman, D., Cepeda-Marquez, R., & Zeller, K. (2018).** Food waste management : An implementation guide for cities. *World Biogas Association*.
- Jaja, E. T. & Barber, L. I. (2017).** Organic and Inorganic Fertilizers in Food Production System in Nigeria. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 7(18), 51-55.
- James, A. (1980).** Plumbing : installation and design. *Resto Publishing Company. Sci. of fluids*, 6: 26-152.
- Janzen, H. H. (2006).** The soil carbon dilemma: Shall we hoard it or use it? *Soil Biology and Biochemistry*, 38(3), 419-424.
- Jena, R., Rath, D., Rout, S. S., & Kar, D. M. (2020).** A review on genus *Millettia* : Traditional uses, phytochemicals and pharmacological activities. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 28(12), 1686–1703. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2020.10.015>
- Jones, Benton. J. Jr. (2007).** Tomato Plant Culture : In the Field, Greenhouse, and Home Garden. Second Edition. *CRC Press*, pp420. <https://doi.org/10.1201/9781420007398>
- Kader, A. A. (2002).** Postharvest technology of horticultural crops. *University of California, Agriculture and Natural Resources*.
- Kader, A.A. (2008).** Flavor quality of fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(11), 1863–1868.
- Karaca, G., Bayındır Erol, A., Açıloğlu Çığgın, B., Acarbulut, H., & Karaca, İ. (2022).** Efficacy of some entomopathogenic fungi against tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 32(1), 84.

- Khan, M. T., Aleinikovienė, J., & Butkevičienė, L.-M. (2024).** Innovative organic fertilizers and cover crops: Perspectives for sustainable agriculture in the era of climate change and organic agriculture. *Agronomy*, *14*(12), 2871. <https://doi.org/10.3390/agronomy14122871>
- King'ori, A.M. (2011).** A review of the uses of poultry eggshells and shell membranes. *International Journal of Poultry Science*, *10*(11), 908–912. <https://doi.org/10.3923/ijps.2011.908.912>
- Kitoko, R. N., Lejoly, J., & Komanda, J. A. (2015).** Sylviculture du *Millettia laurentii* De Wild. (Wengé) par macroboutures dans les savanes herbeuses du plateau des Batéké à Ibi/RD Congo. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, *12*(1), 123-131.
- Kovue-Besović, E.E., & Durić, K. (2003).** Thin Layer Chromatography–Application in Qualitative Analysis on Presence of Coumarins and Flavonoids in Plant Material. *Bosnian Journal of Basic and Medical Sciences*, *3*(3), 19–26.
- Kpombrekou-A, K., & Tabatabai, M. A. (1994).** Effect of organic acids on release of phosphorus from phosphate rocks¹. *Soil Science*, *158*(6), 442–453.
- Krishna, R., Karkute, S. G., Ansari, W. A., Jaiswal, D. K., Verma, J. P., & Singh, M. (2019).** Transgenic tomatoes for abiotic stress tolerance: status and way ahead. *3 Biotech*, *9*(143). <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1665-0>
- Ladd, J. N., & Butler, J. H. A. (1972).** Short-term assays of soil proteolytic enzyme activities using proteins and dipeptide derivatives as substrates. *Soil Biology and Biochemistry*, *4*(1), 19-30.
- Lal, R. (2009).** Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition. *Food Security* *1*, 45-57.
- Laumonier, R. (1979).** Cultures légumières et maraichères. Tome 3, Ed : J-B Baillièrè, Paris, 276p.
- Lee, S.K., & Kader, A.A. (2000).** Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, *20*(3), 207–220.
- Lekini, G., Dakole, C., Molemb, A., Okala, M., Fonkoua, M., & Nguéfack, J. (2023).** Compost made from cow dung and sawdust improves the physicochemical and biochemical properties of the soil, the production and the nutritional quality of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *9*(4),

19-38.

- Lin, L., St Clair, S., Gamble, G. D., Crowther, C. A., Dixon, L., Bloomfield, F. H., & Harding, J. E. (2023).** Nitrate contamination in drinking water and adverse reproductive and birth outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*, *13*, 563.
- Luk, S. F. (1985).** Analysis of Ascorbic, Sorbic and Salicylic Acid in Food and Related Products. A Thesis forwarded to The Faculty of Science for The Degree of Master of Philosophy at *The University of Hong Kong, Hong Kong Luk Shiu Fai, B. Sc.* March 1985.
- Luna-Guevara, M. L., Jimenez-Gonzalez, O., Luna-Guevara, J. J., Hernandez-Carranza, P., & Ochoa-Velasco, C. E. (2014).** Quality Parameters and Bioactive Compounds of Red Tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) cv Roma VF at Different Postharvest Conditions. *Journal of Food Research*, *3*(5), 8–17. <https://doi.org/10.5539/jfr.v3n5p8>
- Majidi, H., Minaei, S., Almassi, M., & Mostofi, Y. (2014).** Tomato quality in controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and cold storage. *Journal of Food Science and Technology*, *51*(9), 2155–2161. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0719-6>
- Mamouda N., Tabi, Fritz O., Lontsi, Meli G. R., & Yerima, Bernard P. K. (2021).** Determination of soil fertility constraints in two paddy soils of the western highland zone of Cameroon. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, *6*(3), 268–276.
- Mangoumou, G. N., Nguéfack, J., Dongmo, L. J. B., Dakole, D. C., Nguépsi, J. C., & Moundipa, F. P. (2020).** Organic treatment effects on ferritic soil quality and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) yield. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, *5*(2), 366–374. <https://doi.org/10.22161/ijeab.52.11>
- Marschner, H. (2012).** Mineral nutrition of higher plants (3rd ed.). *Academic press*.
- Martin D., Sieffermann G., & Vallerie M, (1966).** Les sols rouges du Nord-Cameroun. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, *4*(3), 1-28.
- Mathson, D. (2004).** Evaluating compost and biofilter aeration performance. *BioCycle*, *45*(6), 22–24. Retrieved from <https://www.biocycle.net/2004/06/15/evaluating-compost-and-biofilter-aeration-performance/>
- Menga, P., Nasi, R., Bayol, N., & Fayolle, A. (2012).** Phénologie et diamètre de fructification du wengé, *Millettia laurentii* De Wild. : implications pour la gestion. *Bois et Forêts des Tropiques*, (312), 31–41. <https://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/20501>

- Mengel, K., & Kirkby, E.A. (2012).** Principles of Plant Nutrition. *Springer Science & Business Media*.
- Mie, A., Andersen, H. R., Gunnarsson, S., Kahl, J., Kesse-Guyot, E., Rembialkowska, E., Quaglio, G., & Grandjean, P. (2017).** Human health implications of organic food and organic agriculture : A comprehensive review. *Environmental Health*, 16(1), 111. <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0315-4>
- Mitchell, A. E., Hong, Y. J., Koh, E., Barrett, D. M., Bryant, D. E., Denison, R. F., & Kaffka, S. (2007).** Ten-year comparison of the influence of organic and conventional crop management practices on the content of flavonoids in tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(15), 6154-6159. <https://doi.org/10.1021/jf070344+>
- MINADER. (2009).** AGRI-STAT Cameroun N°15. Annuaire des statistiques du secteur agricole. Campagnes 2001 à 2008.12.
- Mohanty, M., Reddy, K. S., Probert, M. E., Dalal, R. C., Rao, A. S., & Menzies, N. W. (2011).** Modelling N mineralization from green manure and farmyard manure from a laboratory incubation study. *Ecological Modelling*, 222(3), 719-726.
- Mustin, M. (1987).** Le compost : gestion de la matière organique. Paris (France) Eds. Francois Dubusc, 954 p.
- Mutuku, E. A., Vanlauwe, B., Roobroeck, D., Pascal B., & Wim M. (2021).** Physico-chemical soil attributes under conservation agriculture and integrated soil fertility management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 120(2), 145–160.
- Naamane, A., Sadiq, A., Belhouari, A., Nadia, I., & Souad, EL A. (2020).** Enquête sur l'utilisation des engrais et pesticides chez les agriculteurs de la région de Casablanca-Settat. *Rev. Mar. Sci. Agron, Vét*, 8(3) : 279-285
- Nannipieri, P., Trasar-Cepeda, C., & Dick, R. P. (2018).** Soil enzyme activity : a brief history and biochemistry as a basis for appropriate interpretations and meta-analysis. *Biology and Fertility of Soils*, 54(1), 11-19.
- NF ISO 11265. (1994).** Qualité du sol — Détermination de la conductivité électrique spécifique. Association Française de Normalisation (AFNOR), Paris, France. 9 p.
- Ngamga, D., Fanso Free, S. N. Y., Fomum, Z. T., Martin, M.-T., & Bodo, B. (1994).** A new guanidine alkaloid from *Millettia laurentii*. *Journal of Natural Products*, 57(7), 1022–

1024. <https://doi.org/10.1021/np50108a023>

Nguefack, J., Onguene, D., Dongmo, L. J. B., Dakole, D. C., Mangoumou, G. N., & Galani, Y. J. H. (2022). Effect of aqueous extract of clove basil (*Ocimum gratissimum* L.) and soil amendment with cassava peels compost on nutrients, pesticide residues, yield and antioxidant properties of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). *Scientia Horticulturae*, 295, 110872. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110872>

Odebiyi, O. O., & Sofowora, E. A. (1978). Phytochemical screening of Nigerian medicinal plants. *Lloydia*, 41(3), 234–246.

Oliveira, A. B., Moura, C. F. H., Gomes-Filho, E., Marco, C. A., Urban, L., & Miranda, M. R. A. (2013). The impact of organic farming on quality of tomatoes is associated to increased oxidative stress during fruit development. *PLoS ONE*, 8(2), e56354. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056354>

Pace, M. G., Miller, B. E., & Farrell-Poe, K. L. (1995). The composting process. Utah State University Extension, Fact Sheet No. 1, 1–8. Logan, UT : Utah State University. Disponible sur : https://digitalcommons.usu.edu/extension_histall/1

Parlons sciences. (©2020). Schéma d'une fleur de tomate et de son fruit. <https://images.app.goo.gl/6AakB19hTF61E1Uf6>

Parlons Sciences. (©2020). Diagramme du cycle de vie de la tomate. <https://images.app.goo.gl/reUuNPMzZ9tnuYH56>

Peralta, Iris. E., & David M. Spooner. (2007). History, Origin and Early Cultivation of Tomato (Solanaceae). *Genetic Improvement of Solanaceous Crops*, (Vol. 2 pp. 1-24).

Peralta, I. E., Spooner, D. M., & Knapp, S. (2008). Taxonomy of wild tomatoes and their relatives (Solanum sect. Lycopersicoides, sect. Juglandifolia, sect. Lycopersicon ; Solanaceae). *Systematic Botany Monographs*, 84, 1–186.

Perveen, R., Ansar, H., Suleria, R., Anjum, F. M., Butt, M. S., Pasha, I., & Ahmad, S. (2015). Tomato (*Solanum lycopersicum*) Carotenoids and Lycopenes Chemistry ; Metabolism, Absorption, Nutrition, and Allied Health Claims — A Comprehensive Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55, 919–929. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.657809>

Pesson, P., & Louveaux, J. (1984). Pollinisation et productions végétales. Editions Quae, Paris

: INRA.

- Pezzolla, D., Cucina, M., Proietti, P., Calisti, R., Regni, L., & Gigliotti, G. (2021).** The use of new parameters to optimize the composting process of different organic wastes. *Agronomy*, *11*(10), 2090. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102090>
- Pott, D. M., Osorio, S., & Vallarino, J. G. (2019).** From central to specialized metabolism: An overview of some secondary compounds derived from the primary metabolism for their role in conferring nutritional and organoleptic characteristics to fruit. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 835. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00835>
- Pradhan, A., & Srijaya, M. (2022).** Postharvest Quality and Storability of Organically versus Conventionally Grown Tomatoes: A Comparative Approach. *Biology and Life Sciences Forum*, *16*, 29. <https://doi.org/10.3390/IECHo2022-12513>
- Raiola, A., Rigano, M. M., Calafiore, R., Frusciantè, L., & Barone, A. (2014).** Enhancing the health-promoting effects of tomato fruit for biofortified food production. *Mediators of inflammation*, *(1)*, 139873.
- Ranc, N. (2010).** Analyse du polymorphisme moléculaire de gènes de composantes de la qualité des fruits dans les ressources génétiques sauvages et cultivées de tomate : recherche d'associations gènes/QTL. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, France. 217p.
- Rapilly, F. (1968).** Les techniques de mycologie en pathologie végétale. *Annales des Epiphytes*, *INRA*, Vol. 19, 102 pp.
- Raviv, M. (2005).** Production of high-quality composts for horticultural purposes : A mini-review. *HortTechnology*, *15*(1), 52–57.
- Razifard, H., Ramos, A., Valle, A. L. Della, Bodary, C., Goetz, E., Elizabeth, J., Li, X., Zhang, L., Visa, S., Tieman, D., Knaap, E. Van Der., & Caicedo, A. L. (2020).** Genomic Evidence for Complex Domestication History of the Cultivated Tomato in Latin America. *Mol. Biol. Evol.*, *37*(4), 1118–1132. <https://doi.org/10.1093/molbev/msz297>
- Renaud V, (2003).** Tous les légumes courants, rares ou méconnus, cultivables sous nos climats. Paris, France, Ulmer, 224p.
- Rhoades, J. D., Kandiah, A., & Mashali, A. M. (1992).** The use of saline waters for crop production. FAO Irrigation and Drainage Paper 48.

- Rick, C. M. (1976).** Tomato. In *Evolution of Crop Plants* (339pp). Longman.
- Royal Botanic Gardens, Kew. (2025).** *Millettia laurentii* De Wild. In Plants of the World Online. <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:507419-1>
- Ryckeboer, J., Mergaert, J., Vaes, K., Klammer, S., De Clercq, D., Coosemans, J., Insam, H., & Swings, J. (2003).** A survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes. *Annals of Microbiology*, 53(4), 349–410.
- Salhi, A., Negrão, S., Essack, M., Morton, M. J. L., Bougouffa, S., Razali, R., Radovanovic, A., Marchand, B., Kulmanov, M., Hoehndorf, R., Tester, M., & Bajic, V. B. (2017).** DES-TOMATO : A Knowledge Exploration System Focused On Tomato Species. *Scientific Reports*, 7, 5968. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05448-0>
- Shankara, N., Joep, van, L. de J., Marja, de G., Martin, H., & B. van D. (2005).** La culture des tomates : production, transformation et commercialisation. In *Agrodok* (Vol. 17).
- Sharpley, A. N., Meisinger, J. J., Power, J. F., & Suarez, D. L. (1992).** Root extraction of nutrients associated with long-term soil management. *Limitations to plant root growth*, 151-217.
- Sinesio, F., Cammareri, M., Cottet, V., Fontanet, L., Jost, M., Moneta, E., Palombieri, S., Peparai, M., Romero del Castillo, R., Saggia Civitelli, E., & al. (2021).** Sensory traits and consumer's perceived quality of traditional and modern fresh market tomato varieties: A study in three European countries. *Foods*, 10, 2521. <https://doi.org/10.3390/foods10102521>
- Sofa, A., Zanella, A., & Ponge, J-F. (2021).** Soil quality and fertility in sustainable agriculture, with a contribution to the biological classification of agricultural soils. *Soil Use and Management*, 38(2), 1085–1112. <https://doi.org/10.1111/sum.12702>
- Son, D., Somda I., Legreve, A., & Schiffers, B. (2017).** Pratiques phytosanitaires des producteurs de tomates du Burkina Faso et risques pour la santé et l'environnement. *Cahiers Agricultures*, 26 (2).
- Sonneveld, C., & Voogt, W. (2009).** Plant nutrition in future greenhouse production. *Plant nutrition of greenhouse crops*, 393-403.
- Stadelman, W. J. (2017).** The preservation of quality in shell eggs. *Egg science and technology*, 67-79.

- Story, E. N., Kopec, R. E., Schwartz, S. J., & Harris, G. K. (2010).** An update on the health effects of tomato lycopen. *Annual review of food science and technology*, 1(1), 189-210.
- Suge, J. K., Omunyin, M. E., & Omami, E. N. (2011).** Effect of organic and inorganic sources of fertilizer on growth, yield and fruit quality of eggplant (*Solanum melongena* L.). *Archives of Applied Science Research*, 3(6), 470–479.
- Tabatabai, M. A. (1994).** Soil enzymes. *Methods of Soil Analysis : Part 2—Microbiological and Biochemical Properties. Soil Science Society of America*, 5, (pp. 775-833).
- Tagkas, C. F., Rizos, E. C., Markozannes, G., Karalexi, M. A., Wairegi, L., & Ntzani, E. E. (2024).** Fertilizers and human health—A systematic review of the epidemiological evidence. *Toxics*, 12(10), 694. <https://doi.org/10.3390/toxics12100694>
- Tang, L. (2024).** Soil fertility, plant nutrition and nutrient management. *Plants*, 14(1), 34.
- Tchinda L., Dakole C., Molemb A., Okala M., Fonkoua M & Nguéfack J, (2023).** Characterization of Compost Made from hen Manure and Wood Ash and Its Effect on Soil Properties, Production and Nutritional Quality of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 9(4), 39-58.
- Tejada, M., Garcia, C., Gonzalez, J. L., & Hernandez, M. T. (2006).** Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: Influence on the physical, chemical and biological properties of soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 38 (6), 1413-1421.
- The Plant List (2013).** *Solanum lycopersicum*. <http://www.theplantlist.org>
- Tieman, D. M., Bliss, P., McIntyre, L. M., Blandon-Ubeda, A., Bies, D., Odabasi, A. Z., ... & Klee, H. J. (2012).** The chemical interactions underlying tomato flavor preferences. *Current Biology*, 22(11), 1035–1039.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002).** Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671–677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>
- Titti, R. W., Etoga, A. S., Ntsoli, P. G., Etame, G. M. K., Chotangui, A. H., Bikomo, R. M., & Yaouba, A. (2024).** Typology of Tomato Cropping Systems and Determinants of Preharvest Losses in Western Cameroon. *Scientifica 2024* (1), 5625648.
- Toledo, M., Gutiérrez, M. C., Siles, J. A., & Martín, M. A. (2018).** Full-scale composting of

- sewage sludge and market waste: Stability monitoring and odor dispersion modeling. *Environmental Research*, 167, 739–750. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.09.001>
- Trease, G. E., & Evans, W. C. (2002).** Trease and Evans' Pharmacognosy (15th ed.). W.B. Saunders (Elsevier), London, p585. ISBN 0702026182.
- Tridge. (2023).** Cameroon fresh tomato production statistics. *Tridge Data Insights*. Retrieved September 14, 2025, from <https://www.tridge.com/>
- Tsai, W.T., Yang, J.M., Lai, C.W., Cheng, Y.H., Lin, C.C., & Yeh, C.W. (2006).** Characterization and adsorption properties of eggshells and eggshell membrane. *Bioresource Technology*, 97(3), 488–493. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.02.050>
- Tuomela, M., Vikman, M., Hatakka, A., & Itävaara, M. (2000).** Biodegradation of lignin in a compost environment : a review. *Bioresource Technology*, 72(2), 169-183.
- Turan, N. G. (2008).** The effects of natural zeolite on salinity level of poultry litter compost. *Bioresource Technology*, 99(7), 2097–2101.
- US EPA (2000).** Standards for the use or disposal of sewage sludge. Title 40 of the Code of Federal Regulations (CFR) Part 503.
- Ünlü, H., Ünlü, H. Ö., Karakurt, Y., & Padem, H. (2011).** Influence of organic and conventional production systems on the quality of tomatoes during storage. *African Journal of Agricultural Research*, 6(3), 538–544. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.1160>
- Vallad, G. E., & Goodman, R. M. (2004).** Systemic acquired resistance and induced systemic resistance in conventional agriculture. *Crop science*, 44 (6), 1920-1934.
- Vindras, C., Sinoir, N., Coulombel, A., Taupier-Letage, B., Rey, F., & ITAB. (2018).** Tasting Guide : Tools to Integrate Organoleptic Quality Criteria into Breeding Programs. Technical booklet ; Diversifood Project ; Institut de l’Agriculture et de l’Alimentation Biologiques.
- Vinha, A. F., Barreira, S. V. P., Costa, A. S. G., Alves, R. C., & Oliveira, M. Beatriz P. P. (2014).** Organic versus conventional tomatoes : Influence on physicochemical parameters, bioactive compounds and sensorial attributes. *Food and Chemical Toxicology*, 67, 139-144. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.02.018>
- Vinson, J. A., Yong, H. X. S., & Ligia, Z. (1998).** Phenol antioxidant quantity and quality in

foods: vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46 : 3630-3634.

- Wahyuni, Y., Ballester, A. R., Sudarmonowati, E., Bino, R. J., & Bovy, A. G. (2013).** Secondary Metabolites of Capsicum Species and Their Importance in the Human Diet. *Journal of Natural Product*. <https://doi.org/10.1021/np300898z>
- Wassom, F. D., Daboy, C. D., Meshuneké, A., Mbang, G. E., Niemenak, N., & Ewané, C. A. (2023).** Effect of a Biological Compost Based on *Tithonia diversifolia* on the Growth of *Ocimum basilicum* L. *World Journal of Agricultural Science and Technology*, 1(2), 28–37. <https://doi.org/10.11648/j.wjast.20230102.14>
- Wong, M. T. F., & Swift, R. S. (2003).** Role of organic matter in alleviating soil acidity. In Z. Rengel (Ed.), *Handbook of soil acidity* (pp. 337-358). *Marcel Dekker*. <https://doi.org/10.1201/9780203912316>
- Wood, T. M., & Bhat, K. M. (1988).** Methods for measuring cellulase activities. In *Methods in Enzymology* (Vol. 160, pp. 87-116). *Academic Press*.
- Yang, Z., Li, W., Li, D., & Chan, A. S. C. (2023).** Evaluation of nutritional compositions, bioactive components, and antioxidant activity of three cherry tomato varieties. *Agronomy*, 13(3), 637. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030637>
- Yapo, S. E.-S., Koffi, N. D. B. C., Beugre, M., Koutoua, A., Kouadio, Y. J., & Kouakou Ta, T. H. (2019).** Mise au point de plants greffés de tomates résistants aux contraintes biotiques par greffage sur *Solanum torvum* Swart. *Agronomie Africaine, N° Spécial (8)*, 167-176.
- Zhang, J., Liu, S., Zhu, X., Chang, Y., Wang, C., Ma, N., Wang, J., Zhang, X., Lyu, J., & Xie, J. (2023).** A comprehensive evaluation of tomato fruit quality and identification of volatile compounds. *Plants*, 12(16) : 2947. <https://doi.org/10.3390/plants12162947>
- Zhou, S., Chang, T., Zhang, Y., Shaghaleh, H., Zhang, J., Yang, X., Qin, H., Talpur, M. M. A., & Alhaj Hamoud, Y. (2024).** Organic fertilizer compost alters the microbial composition and network structure in strongly acidic soil. *Applied Soil Ecology*, 195, 105263. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105263>

ANNEXES

ANNEXES

Annexe 1 : Quelques photographies des expérimentations dans cette recherche

a) Feuilles fraîches de wengé en plein
séchage sous l'ombre



b) Coquilles d'œufs débarrassées de
leurs résidus et prêtes pour le broyage



c) Poudres fines de feuilles de wengé (1 et 2)
et de coquilles d'œufs (3) broyées



d) Pesée et mise en dose des deux intrants
pour les traitements expérimentaux



e) Compost au cours de
maturation



f) Compost bien décomposé,
prêt à l'application



g) Les semences utilisées pour
la culture (Rio Grande)



Evaluation des qualités nutritionnelle et organoleptique de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) produite biologiquement

h) Engrais chimique de synthèse de type N-P-K



i) Jeunes plantules de tomate pendant la croissance (24 JAS)



j) Plant de tomate palissé en pleine floraison



k) Grappes de tomates vertes en croissance



l) Récolte des tomates à la serre



m) Echantillons de tomates complètes et découpées pour l'analyse sensorielle



Annexe 2 : Protocole du dénombrement des microorganismes (Bactéries)

1- Préparation du milieu de culture

35 g de Mueller-Hinton ; 999,5 ml d'eau distillée ; Solution de nystatine

2- Préparation de la solution physiologique

9 g de NaCl dans 1000 ml d'eau distillée (eau physiologique)

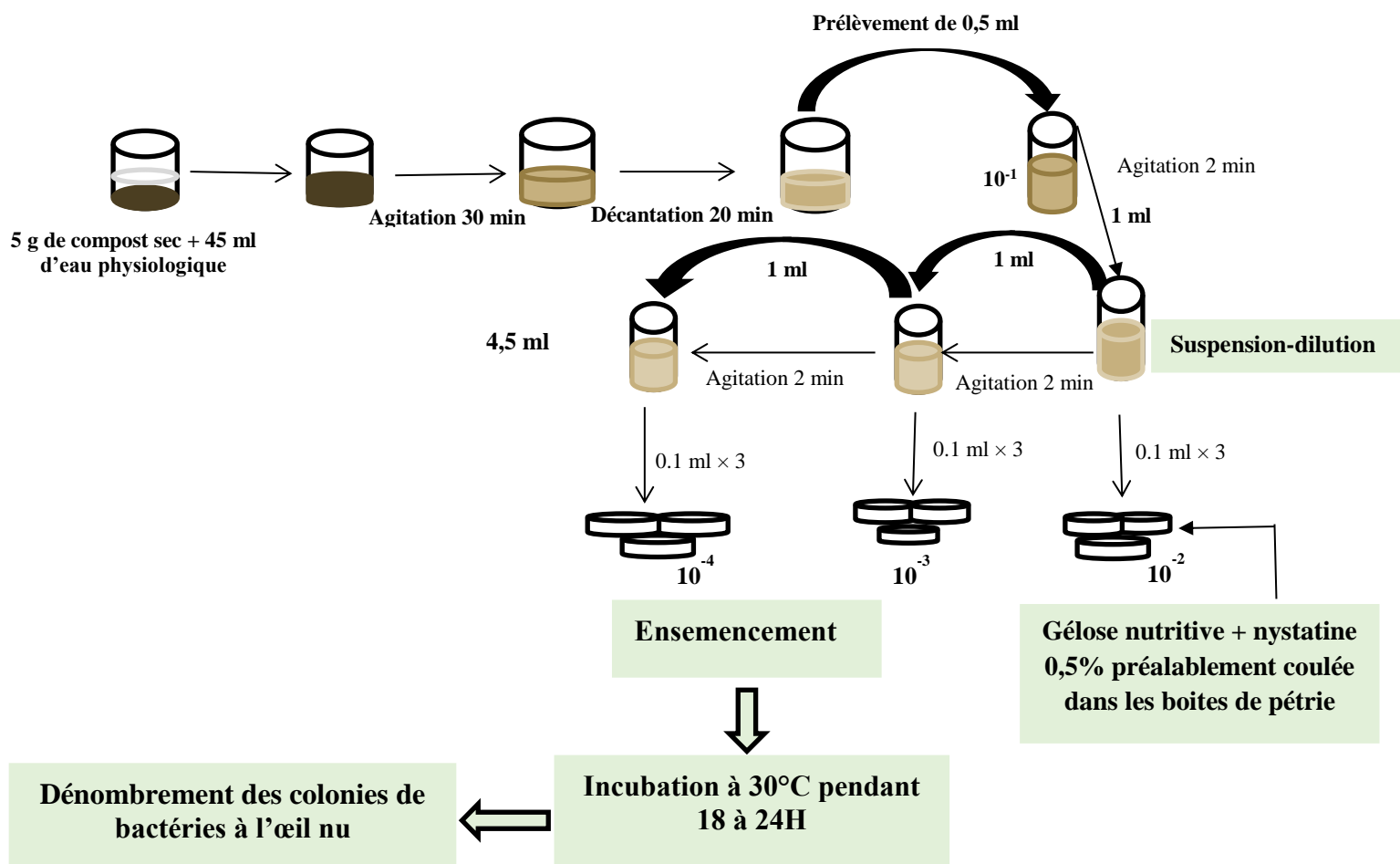
3- Préparation de la solution antifongique

40 mg de nystatine dans 5 ml d'eau distillée sont filtrés et rajoutés dans un litre de bouillon de culture

✚ Répartition du milieu de culture dans les boîtes de pétri

✚ Répartition de l'eau physiologique dans les tubes

4- Préparation de l'inoculum



Annexe 3 : Protocole du dénombrement des microorganismes (Champignons)

1- Préparation du milieu de culture

68 g de SDA ; 999,5 ml d'eau distillée ; 0,5 ml de gentamicine ou chloramphénicol

✚ Stérilisation par autoclave

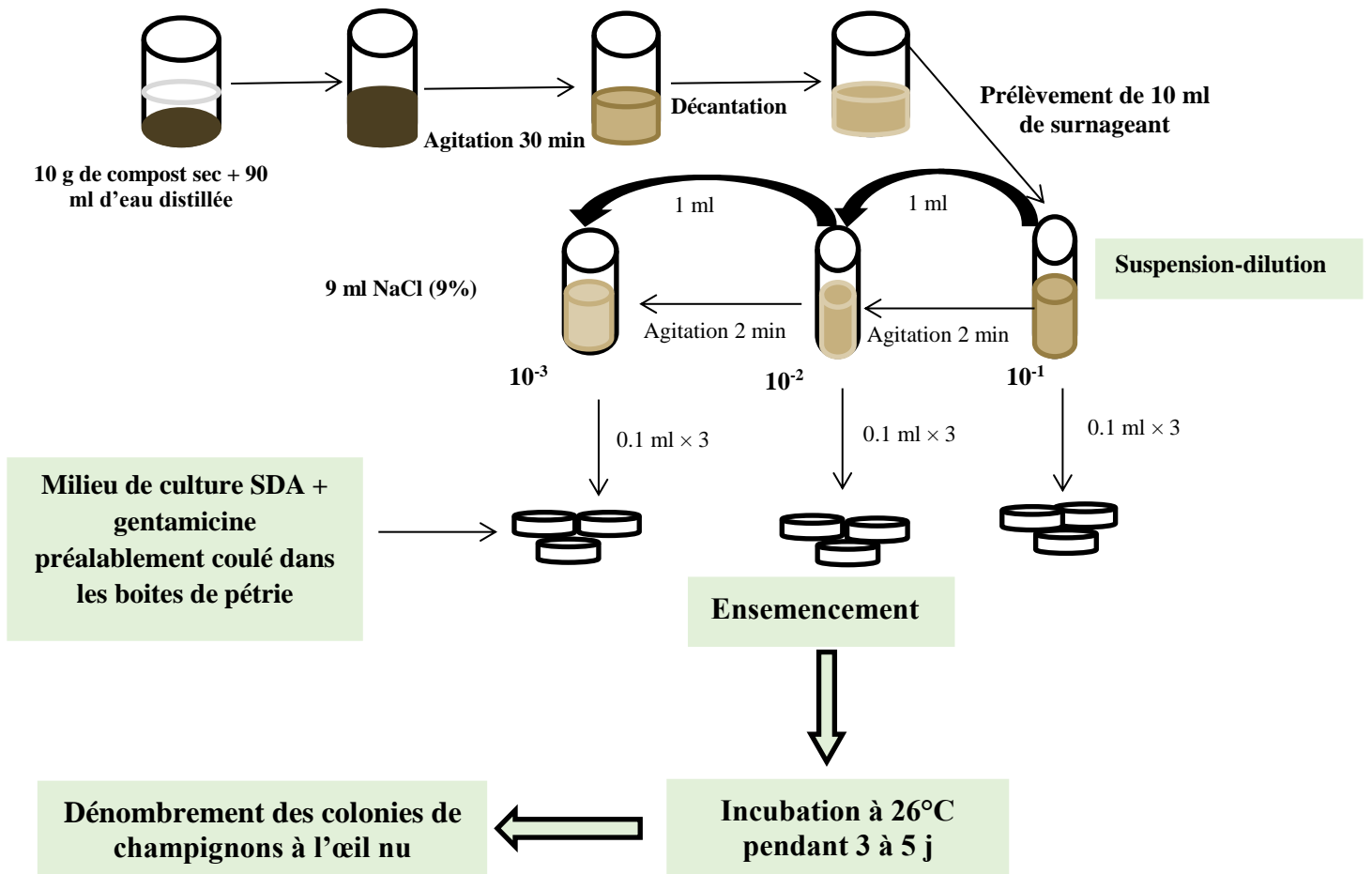
2- Préparation de la solution physiologique

9 g de NaCl dans 1000 ml d'eau distillée (eau physiologique)

✚ Stérilisation par autoclave

3- Répartition du milieu de culture dans les boîtes de pétri et de l'eau physiologique dans les tubes

4- Préparation de l'inoculum



Annexe 4 : Fiche d'analyse sensorielle descriptive et hédonique de la tomate

ANALYSE SENSORIELLE

Fiche du Panéliste

Code Panéliste : ____

(A ne pas remplir)

Date : ____/____/2025 ; Nom du dégustateur : _____ ;

Sexe : Homme Femme ; Âge : _____ ans

Consignes : Goûtez chaque échantillon séparément. Rincez la bouche avec de l'eau entre chaque échantillon. Utilisez un cube de pain si nécessaire pour nettoyer le palais. Cochez la case correspondant à votre perception sur l'échelle allant de **1** (« extrêmement déplaisant ») à **9** (« extrêmement plaisant »).

Attribut sensoriel	Descripteurs	Code de l'échantillon		
		Tomate X	Tomate Y	Tomate Z
Odeur	Arôme de tomate	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>
		Apparence	Intensité de la couleur rouge (clair ou vif)	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>
	Surface de la peau (avec défauts ou lisse)		1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>
Goût	Goût sucré	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>
	Goût salé	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>
	Acidité globale	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>
Texture	Consistance de la peau (épaisse ou mince/fine)	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>
	Farinosité	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>
	Jutosité	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>
	Fermeté	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/>

Interprétation rapide de l'échelle : **1** = Extrêmement (désagréable/déplaisant) ; **2** = Très (désagréable/déplaisant) ; **3** = Modérément (désagréable/déplaisant) ; **4** = Légèrement (désagréable/déplaisant) ; **5** = Ni désagréable ni agréable/ni déplaisant ni plaisant ; **6** = Légèrement (agréable/plaisant) ; **7** = Modérément (agréable/plaisant) ; **8** = Très (agréable/plaisant) ; **9** = Extrêmement (agréable/plaisant).

Commentaires libres du dégustateur :

.....

.....

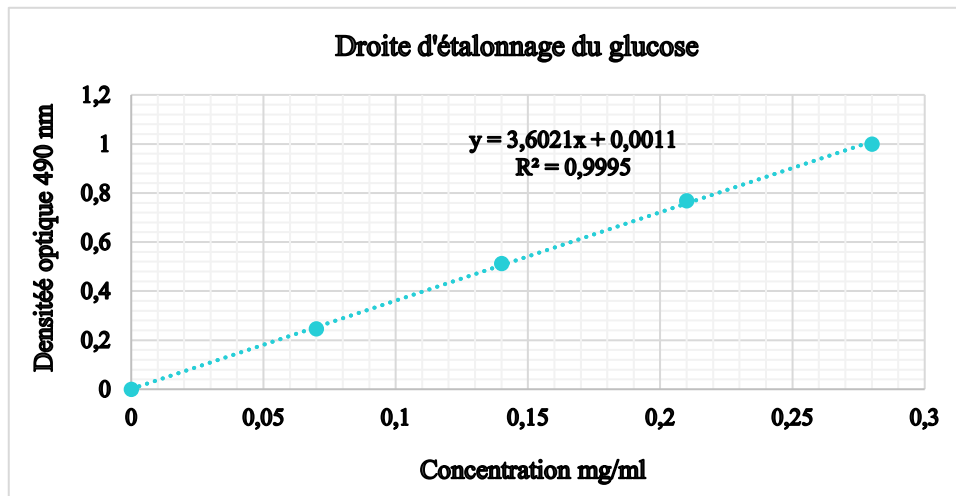
.....

Merci pour votre participation !

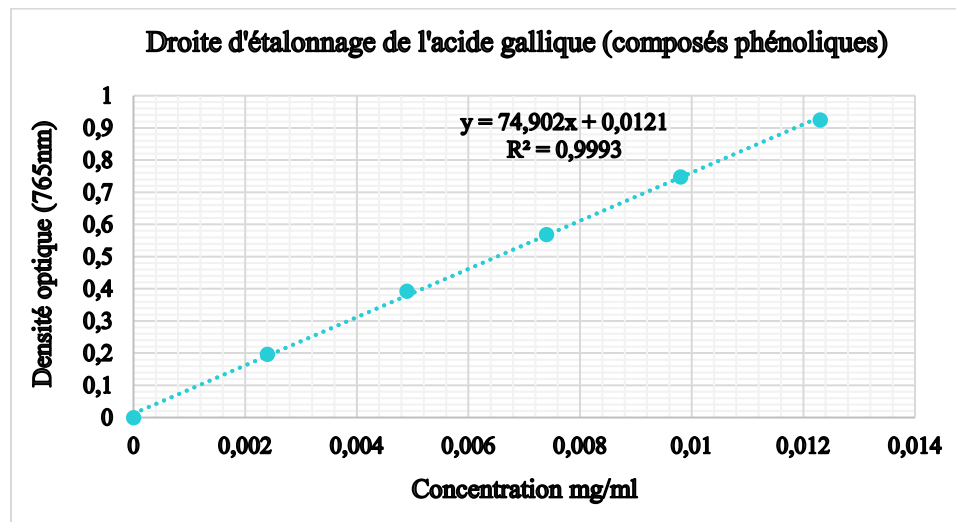


Annexe 5 : Droites d'étalonnage pour le dosage des sucres totaux, des composés phénoliques totaux et de la vitamine C

a)



b)



c)

