

Évaluation Biologique De La Qualité Des Composts Et Lombricomposts Issus De Fientes De Poules Par Des Bioessais De Germination Et De Croissance De La Laitue

I. RAKOTO¹, Jaconnet Oliva ANDRIANAIVORAVELONA²

¹Université d'Antananarivo, École Supérieure Polytechnique, 101 Antananarivo-Madagascar

²Université d'Antananarivo, École Supérieure Polytechnique, 101 Antananarivo-Madagascar

Corresponding author : I. RAKOTO, i.rakoto.research@gmail.com



Résumé : La valorisation des fientes de volailles par compostage et lombricompostage constitue une stratégie durable pour améliorer la fertilité des sols tropicaux. Toutefois, la qualité agronomique de ces amendements dépend de leur degré de transformation et de maturité. Cette étude compare l'effet du type de fiente et du mode de transformation (compostage vs lombricompostage) à l'aide de bioessais de germination. Les paramètres mesurés incluent le nombre de germinations, la longueur des plantules, la longueur des racines et le nombre de feuilles. Une analyse de variance factorielle et un test de Tukey ont été réalisés. Les lombricomposts présentent des performances supérieures, avec une germination plus élevée et homogène. Les composts montrent une variabilité importante et des cas d'inhibition, indiquant une phytotoxicité transitoire. Le type de fiente influence significativement la croissance des plantules, tandis qu'une interaction fiente × traitement affecte la germination. Le nombre de germinations apparaît comme l'indicateur le plus sensible. Les résultats confirment que le lombricompostage améliore la stabilisation de la matière organique et réduit les composés phytotoxiques. Les composts nécessitent une maturation plus complète pour atteindre une qualité agronomique optimale. Le lombricompostage constitue une méthode efficace pour produire des amendements organiques stables et adaptés aux systèmes agricoles tropicaux.

Mots-clés : phytotoxicité, amendements organiques, fertilité des sols, test de Tukey

Abstract : The valorization of poultry manure through composting and vermicomposting represents a sustainable strategy to improve soil fertility in tropical regions. However, the agronomic quality of these amendments depends on their transformation process and maturity level. This study compares the effects of manure type (P: commercial feed-based; T: traditional) and transformation process (composting vs vermicomposting) using germination bioassays. Measured parameters included germination rate, shoot length, root length, and leaf number. Factorial ANOVA and Tukey tests were performed. Vermicomposts showed superior performance, with higher and more homogeneous germination rates. Composts exhibited greater variability and cases of inhibition, indicating transient phytotoxicity. Manure type significantly influenced shoot growth, while the interaction between manure type and treatment affected germination. Germination rate was identified as the most sensitive indicator. Results confirm that vermicomposting enhances organic matter stabilization and reduces phytotoxic compounds, whereas composting requires longer maturation to achieve optimal agronomic quality. Vermicomposting is an efficient method for producing stable organic amendments suitable for tropical agricultural systems.

Keyword : phytotoxicity, organic amendments, soil fertility, Tukey Test.

I. INTRODUCTION

Dans un contexte de dégradation croissante des sols et de dépendance accrue aux intrants chimiques, la valorisation des déchets organiques constitue une alternative durable pour améliorer la fertilité des sols et soutenir les systèmes agricoles, en particulier

dans les régions tropicales. À Madagascar, les sols ferrallitiques sont généralement pauvres en matière organique et en éléments nutritifs, ce qui limite fortement la productivité agricole et accentue la vulnérabilité des exploitations [1].

Parmi les ressources disponibles, les fientes de volailles représentent un amendement organique potentiellement riche en azote et en éléments minéraux. Toutefois, leur utilisation directe peut entraîner des effets négatifs, notamment en raison de la présence de composés phytotoxiques tels que l'ammoniac ou certains acides organiques [2]. Ainsi, leur transformation biologique par compostage ou lombricompostage apparaît comme une étape essentielle pour améliorer leur qualité agronomique et réduire leur toxicité.

Le compostage est un processus de décomposition aérobie de la matière organique permettant d'obtenir un produit stabilisé, tandis que le lombricompostage, impliquant l'action des lombrics et des micro-organismes, accélère la transformation et améliore la structure et la qualité du produit final [3]. Plusieurs études ont montré que le lombricompostage permet d'obtenir des amendements plus stables et biologiquement actifs, avec une meilleure disponibilité des nutriments et une réduction des composés inhibiteurs [4] [5].

Dans ce contexte, l'évaluation de la maturité et de la qualité des amendements organiques est cruciale avant leur utilisation agricole. Les bioessais de germination constituent une méthode simple, rapide et fiable pour détecter la phytotoxicité et apprécier la qualité agronomique des substrats, en mesurant des paramètres tels que le taux de germination, la croissance des plantules et le développement racinaire.

La présente étude vise ainsi à comparer l'effet du type de fiente (provenant d'une alimentation aux provendes ou d'une alimentation traditionnelle) et du mode de transformation (compostage et lombricompostage) sur la qualité des amendements organiques. Plus spécifiquement, elle cherche à (i) évaluer les performances germinatives des différents substrats, (ii) analyser les paramètres de croissance des plantules, et (iii) déterminer l'influence des traitements sur la phytotoxicité et la maturité des produits obtenus.

Les hypothèses de recherche posées sont que (i) le lombricompostage produit des amendements de meilleure qualité que le compostage, (ii) la nature des fientes influence la dynamique de transformation et la qualité finale des substrats, et (iii) les bioessais de germination permettent de discriminer efficacement les niveaux de maturité et de phytotoxicité des amendements organiques.

II. MATERIELS ET METHODES

2.1. Zone d'étude et conditions climatiques

L'étude a été conduite dans la commune rurale de Mahereza, située dans le district d'Ambohidratrimo, à environ 11 km de la ville d'Antananarivo, dans la région Analamanga (Madagascar). La commune couvre une superficie d'environ 1 320,52 ha et se localise aux coordonnées UTM X = 496 749 m et Y = 800 703 m. Le climat de la zone est de type tropical d'altitude, caractérisé par une forte saisonnalité des précipitations. L'analyse des données climatiques sur la période 1990–2025 met en évidence une variabilité interannuelle marquée, avec une concentration des précipitations durant la saison des pluies (novembre à février), atteignant près de 300 mm en janvier, et une saison sèche prononcée de mai à septembre, avec des précipitations souvent inférieures à 20 mm. Les températures moyennes annuelles varient globalement entre 18,5 °C et 21 °C, avec une légère tendance à l'augmentation [6].

2.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est constitué de graines de laitue (*Lactuca sativa*), choisies en raison de leur sensibilité élevée aux variations des conditions physico-chimiques du milieu et de leur large utilisation comme organisme test dans les bioessais de germination. En effet, les graines de laitue présentent une réponse rapide et mesurable aux facteurs environnementaux tels que la salinité, la présence de composés phytotoxiques (ammoniac, acides organiques, métaux lourds) et les déséquilibres nutritifs, ce qui en fait un indicateur biologique particulièrement fiable de la qualité des substrats organiques [7]. Par ailleurs, leur germination homogène, leur cycle court et la facilité d'observation de leurs paramètres de croissance (longueur de la racine, développement

de la plantule) permettent une évaluation précise et reproductible des effets des traitements [7]. Ces caractéristiques expliquent leur utilisation fréquente dans les protocoles normalisés d'évaluation de la maturité et de la phytotoxicité des composts et lombricomposts, notamment dans les tests de germination et d'indice de germination.

2.3. Amendements organiques

Les procédés de compostage et de lombricompostage contribuent à la stabilisation de la matière organique, à la réduction de la phytotoxicité potentielle et à l'amélioration de la disponibilité des nutriments [3]. Les amendements organiques étudiés dans le cadre de cette recherche sont des composts et des lombricomposts obtenus à partir de fientes de poules. Ces produits, constituant les traitements expérimentaux, se différencient par les procédés de valorisation appliqués (compostage et lombricompostage), ainsi que par les caractéristiques des matières premières, notamment le type d'alimentation des poules et les proportions de fientes incorporées dans le substrat. Ce dernier étant composé de fientes et de résidus végétaux (sciure de bois, paille de riz, papier déchiqueté et matières végétales fraîches). Quatre traitements ont alors été réalisés :

- T0 (témoin) : substrat constitué uniquement de fientes de poules (100% fientes) ;
- T1 : 30 % fientes + 70 % résidus végétaux ;
- T2 : 40 % fientes + 60 % résidus végétaux ;
- T3 : 50 % fientes + 50 % résidus végétaux ;

Ces traitements ont été réalisés avec des fientes issues de poules nourries avec des provendes commerciales ou poules pondeuses (Fientes P) et avec des fientes issues de poules nourries avec ressources naturelles ou élevées traditionnellement (Fientes T). Chacun de des traitements, fait avec chaque type de fientes, ont été répétés trois fois. Le tableau 1 présente les caractéristiques physico-chimiques et biologiques (Humidité (H), pH, Azote (N), Phosphore (P), Carbone (C), Matière organique (M.O), Potassium (K) et rapport C/N) des amendements obtenus à partir de chaque traitement.

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques et biologiques des amendements

Amendement	H (%)	pH	N (%)	P (%)	C (%)	M.O (%)	K (%)	C/N
T0 (Fiente T)	38,0	8,25	0,913	0,125	8,94	17,9	0,336	9,79
T0 (Fiente P)	66,5	7,38	1,16	0,445	27,8	55,6	0,361	23,97
T1 (Fiente T) Lombricompost	62,9	6,75	0,997	0,188	16,5	33,0	0,322	16,55
T2 (Fiente T) Lombricompost	65,1	6,71	0,981	0,145	23,2	46,4	0,276	23,65
T3 (Fiente T) Lombricompost	57,0	7,34	0,873	0,137	13,9	27,8	0,152	15,92
T1 (Fiente P) Lombricompost	74,5	8,2	1,29	0,520	33,4	66,8	0,345	25,89
T2 (Fiente P) Lombricompost	76,3	7,59	1,48	0,326	35,1	70,2	0,344	23,72
T3 (Fiente P) Lombricompost	66,6	7,94	1,00	0,582	22,8	45,6	0,437	22,80
T1 (Fiente T) compost	66,7	7,69	1,05	0,243	24,4	48,8	0,369	23,24
T2 (Fiente T) compost	60,9	7,61	0,888	0,408	17,4	34,8	0,312	19,59
T3 (Fiente T) compost	55,1	7,85	0,982	0,476	14,0	28,0	0,401	14,26
T1 (Fiente P) compost	74,8	7,74	0,919	0,197	38,8	77,6	0,289	42,22
T2 (Fiente P) compost	76,2	7,52	0,794	0,362	34,5	69,0	0,304	43,45
T3 (Fiente T) compost	73,6	7,67	1,24	0,378	31,7	63,4	0,233	25,56

Les amendements issus des fientes P présentent globalement des teneurs plus élevées en carbone, matière organique, azote et phosphore, traduisant un potentiel agronomique supérieur.

En ce qui concerne les procédés, les amendements obtenus après un lombricompostage présentent une meilleure stabilité chimique (pH proche de la neutralité) et des niveaux élevés de nutriments. Les amendements issus du compostage montrent une variabilité plus importante, avec des signes de minéralisation plus poussée dans certains traitements.

Les fientes brutes (T0) se distinguent par un pH plus élevé et une moindre stabilisation, indiquant un risque potentiel de phytotoxicité.

2.4. Bioessai de germination et paramètres d'évaluation

Le bioessai de germination a été réalisé dans des conditions contrôlées de laboratoire afin d'évaluer les effets biologiques des composts et lombricomposts, en comparaison avec un témoin non amendé. Les graines de laitue ont été mises à germer en présence des différents traitements, et plusieurs paramètres ont été mesurés, notamment le taux de germination (%), la longueur des racines, la longueur des feuilles ainsi que la croissance globale des plantules, considérés comme des indicateurs fiables de la réponse biologique des plantes aux amendements organiques [8][9].

2.5. Analyse des données

Les données récoltées concernent le nombre de germinations, la longueur de plantule, la longueur de racine et le nombre de feuilles obtenus après des graines de laitue plantées dans le sol traité par les différents amendements. Pris individuellement, chaque paramètre renseigne sur un aspect spécifique du développement des plantules, mais leur analyse conjointe permet une évaluation intégrée de la qualité du substrat :

- le nombre de germinations évalue la toxicité et la maturité,
- la longueur des racines détecte les contraintes du milieu,
- la longueur des plantules reflète la vigueur de croissance,
- le nombre de feuilles indique le niveau de développement physiologique.

Ainsi, ces indicateurs combinés constituent un outil fiable pour caractériser la qualité agronomique et la stabilité biologique des amendements organiques.

Par conséquent, une analyse de variance (ANOVA) a été utilisée pour évaluer la significativité des différences entre traitements.

III. RESULTATS

3.1. Bioessais de germination après application du lombricompost

3.1.1. Résultats de germination après application du lombricompost

Les tableaux 2 et 3 présentent respectivement les résultats des bioessais de germination avec les lombricompostes issus des fientes P et des fientes T, avec trois répétitions chacun.

Tableau 2 : Résultats des bioessais de germination avec les lombricompostes issus des fientes P

Traitements	Nombre de germinations	Longueur des plantules (cm)	Longueur des racines (cm)	Nombre de feuilles
T0 (Fiente P)	5	1,5	3,5	3
	3	1,0	4,0	2
	3	1,5	3,5	3
T1 (Fiente P)	1	1,0	2,5	3
	2	2,5	2,5	2
	3	2,5	3,5	3
T2 (Fiente P)	2	2,0	4,0	2
	3	1,5	3,5	2
	2	1,5	6,0	3
T3 (Fiente P)	3	1,5	3,0	3
	1	1,0	4,5	2
	1	1,5	3,5	3

Tableau 3 : Résultats des bioessais de germination avec les lombricomposte issus des fientes T

Traitements	Nombre de germinations	Longueur des plantules (cm)	Longueur des racines (cm)	Nombre de feuilles
T0 (Fiente T)	0	0,0	0,0	0
	3	1,0	4,5	3
	1	1,0	2,5	3
T1 (Fiente T)	0	0,0	0,0	0
	1	1,0	4,0	3
	1	1,5	4,0	3
T2 (Fiente T)	2	1,0	4,0	3
	1	1,5	4,5	3
	0	0,0	0,0	0
T3 (Fiente T)	3	2,5	3,0	2
	4	1,0	5,5	3
	2	1,5	1,5	3

Les bioessais de germination révèlent une supériorité nette des lombricomposts issus de fientes P, caractérisés par une germination élevée et une croissance homogène. À l'inverse, les lombricomposts issus de fientes T présentent une variabilité importante et des inhibitions de germination, suggérant une maturité insuffisante ou la présence de composés phytotoxiques. Toutefois, une amélioration est observée pour le traitement T3, indiquant une stabilisation progressive de la matière organique.

3.1.2. Résultats des analyses statistiques (Lombricompost)

Les résultats obtenus (Tableau 2 et Tableau 3) ont été traités par une ANOVA factorielle. Les tableaux 4 à 7 présentent les résultats des ANOVA de chacun des paramètres d'évaluation.

Tableau 4 : ANOVA factorielle - Nombre de germinations

Source de variation	ddl	F	p
Type de fiente	1	4,654	0,0465
Traitement	3	1,680	0,2114
Interaction Fiente × Traitement	3	3,423	0,0427

Le nombre de germinations est influencé significativement par le type de fiente ($p = 0,0465$) et l'interaction entre type de fiente et le traitement ($p = 0,0427$). En revanche, l'effet principal du traitement seul n'est pas significatif. Cela signifie que l'effet du traitement dépend du type de fiente.

Tableau 5 : ANOVA factorielle - Longueur de plantule

Source de variation	ddl	F	p
Type de fiente	1	5,297	0,0351
Traitement	3	0,757	0,5345
Interaction Fiente × Traitement	3	1,622	0,2238

La longueur de plantule dépend significativement du type de fiente seulement ($p=0,0351$). En effet, il peut être constaté sur les tableaux 2 et 3 que les plantules issues de la fiente P sont globalement plus longues que celles issues de la fiente T. Ni le traitement, ni l'interaction ne montrent d'effet statistiquement significatif. La fiente P semble offrir un milieu plus favorable à la croissance aérienne initiale, probablement grâce à une meilleure stabilisation ou à une disponibilité plus régulière des nutriments.

Tableau 6 : ANOVA factorielle – Longueur des racines

Source de variation	ddl	F	p
Type de fiente	1	1,575	0,2275
Traitement	3	0,375	0,7722
Interaction Fiente × Traitement	3	0,280	0,8392

Aucun effet significatif n'a été mis en évidence sur la longueur des racines. Même si certaines moyennes semblent contrastées, notamment pour T2 avec la fiente P, la variabilité intra-groupe est trop importante pour conclure à un effet statistique réel.

Tableau 7 : ANOVA factorielle – Nombre de feuilles

Source de variation	ddl	F	p
Type de fiente	1	0,781	0,3898
Traitement	3	0,198	0,8963
Interaction Fiente × Traitement	3	0,115	0,9503

Le nombre de feuilles n'est influencé ni par le type de fiente, ni par le traitement, ni par leur interaction.

Afin d'identifier les différences significatives entre les traitements, un test de comparaison multiple de Tukey a été appliqué aux combinaisons facteur type de fiente × traitement pour l'ensemble des variables étudiées. Les résultats sont présentés sur le tableau 8.

Tableau 8 : Test de Tukey (Lombricompost)

Traitement × Fiente	Germinations (moyenne ± Ecart-Type)	Groupe	Plantule (cm)	Groupe	Racine (cm)	Groupe	Feuilles	Groupe
T0 (Fiente P)	3,67 ± 1,15	a	1,33 ± 0,29	a	3,67 ± 0,29	a	2,67 ± 0,58	a
T2 (Fiente P)	2,33 ± 0,58	ab	1,67 ± 0,29	a	4,50 ± 1,32	a	2,33 ± 0,58	a
T1 (Fiente P)	2,00 ± 1,00	ab	2,00 ± 0,87	a	2,83 ± 0,58	a	2,67 ± 0,58	a
T3 (Fiente T)	3,00 ± 1,00	ab	1,67 ± 0,76	a	3,33 ± 2,02	a	2,67 ± 0,58	a
T3 (Fiente P)	1,67 ± 1,15	ab	1,33 ± 0,29	a	3,67 ± 0,76	a	2,67 ± 0,58	a
T0 (Fiente T)	1,33 ± 1,53	ab	0,67 ± 0,58	a	2,33 ± 2,25	a	2,00 ± 1,73	a
T2 (Fiente T)	1,00 ± 1,00	ab	0,83 ± 0,76	a	2,83 ± 2,25	a	2,00 ± 1,73	a
T1 (Fiente T)	0,67 ± 0,58	b	0,83 ± 0,76	a	2,67 ± 2,31	a	2,00 ± 1,73	a

Note : Les moyennes suivies de la même lettre dans une colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 %.

Le test de Tukey met en évidence une différence significative uniquement pour le nombre de germinations, où le traitement T0 (fiente P) (groupe a) est significativement supérieur à T1 (fiente T) (groupe b). Les autres traitements appartiennent à des groupes intermédiaires (ab), indiquant l'absence de différences significatives entre eux. Aucun effet significatif n'est observé pour les autres variables mesurées. Il confirme les résultats de l'analyse de variance. Seul le paramètre du nombre de germinations met en évidence une différence significative entre traitements.

3.2. Bioessais de germination après application du compost

3.1.1. Résultats de germination après application du compost

Les tableaux 9 et 10 présentent respectivement les résultats des bioessais de germination avec les lombricompostes issus des fientes P et des fientes T, avec trois répétitions chacun.

Tableau 9 : Résultats des bioessais de germination avec les compostes issus des fientes P

Traitements	Nombre de germinations	Longueur des plantules (cm)	Longueur des racines (cm)	Nombre de feuilles
T0 (Fiente P)	5	1,5	3,5	3
	3	1,0	4,0	2
	3	1,5	3,5	3
T1 (Fiente P)	1	1,0	3,5	2
	0	0,0	0,0	0
	2	1,5	4,0	2
T2 (Fiente P)	1	1,0	4,5	2
	2	1,0	4,0	2
	1	1,5	4,3	2
T3 (Fiente P)	1	2,0	4,5	2
	2	1,0	3,7	2
	0	0,0	0,0	0

Tableau 10 : Résultats des bioessais de germination avec les compostes issus des fientes T

Traitements	Nombre de germinations	Longueur des plantules (cm)	Longueur des racines (cm)	Nombre de feuilles
T0 (Fiente T)	0	0,0	0,0	0
	3	1,0	4,5	3
	1	1,0	2,5	3
T1 (Fiente T)	2	1,5	4,5	2
	1	1,8	4,6	2
	1	1,5	4,5	2
T2 (Fiente T)	1	1,9	4,5	2
	2	1,8	6,0	3
	0	0,0	0,0	0
T3 (Fiente T)	2	1,0	4,0	3
	3	1,2	4,0	3
	2	1,8	3,5	3

Les résultats des bioessais mettent en évidence des différences notables entre les composts issus des fientes P et ceux issus des fientes T, tant au niveau de la germination que des paramètres de croissance.

De manière générale, les composts présentent une variabilité importante des réponses biologiques, avec des cas d'inhibition totale de la germination (valeurs nulles), traduisant une phytotoxicité résiduelle ou une maturité incomplète de certains substrats.

3.1.2. Résultats des analyses statistiques (Lombricompost)

Une ANOVA factorielle à deux facteurs a également été réalisée afin d'évaluer les effets du type de fiente (P vs T), du traitement (T0, T1, T2, T3) et de leur interaction sur les paramètres de germination et de croissance des plantules. Les tableaux 11 à 14 présentent les résultats des ANOVA de chacun des paramètres d'évaluation.

Tableau 11 : ANOVA factorielle - Nombre de germinations

Source de variation	ddl	F	p
Type de fiente	1	0,002	0,963
Traitement	3	2,305	0,111
Interaction Fiente × Traitement	3	3,052	0,055

Le nombre de germinations n'est pas significativement influencé par le type de fiente ($p = 0,963$), ni par le traitement ($p = 0,111$). Toutefois, l'interaction entre les deux facteurs est proche du seuil de significativité ($p = 0,055$), suggérant une tendance à une réponse différenciée des traitements selon le type de fiente. Ces résultats indiquent que les variations observées dans les taux de germination sont davantage liées à des effets combinés entre facteurs qu'à des effets simples.

Tableau 12 : ANOVA factorielle - Longueur des plantules

Source de variation	ddl	F	p
Type de fiente	1	8,694	0,008
Traitement	3	1,610	0,220
Interaction Fiente × Traitement	3	0,534	0,665

La longueur des plantules est significativement influencée par le type de fiente ($p = 0,008$), les composts issus de fiente T produisant des plantules globalement plus longues que ceux issus de fiente P. Ni le traitement, ni l'interaction ne présentent d'effet significatif ($p > 0,05$), indiquant que la croissance aérienne dépend principalement de la nature du substrat initial.

Tableau 13 : ANOVA factorielle - Longueur des racines

Source de variation	ddl	F	p
Type de fiente	1	0,031	0,862
Traitement	3	0,104	0,957
Interaction Fiente × Traitement	3	0,156	0,925

Aucun effet significatif n'a été observé sur la longueur des racines pour les facteurs étudiés ($p > 0,05$). Les variations observées semblent principalement liées à la variabilité intra-traitement.

Tableau 14 : ANOVA factorielle - Nombre de feuilles

Source de variation	ddl	F	p
Type de fiente	1	1,734	0,203
Traitement	3	1,256	0,317
Interaction Fiente × Traitement	3	0,502	0,683

Le nombre de feuilles n'est influencé ni par le type de fiente, ni par le traitement, ni par leur interaction ($p > 0,05$), ce qui confirme le caractère peu discriminant de ce paramètre à ce stade de développement.

L'analyse de variance factorielle met en évidence que la longueur des plantules constitue le seul paramètre significativement influencé par le type de fiente, ce qui suggère une différence de qualité agronomique entre les substrats. Par ailleurs, le nombre de germinations présente une tendance à une interaction significative, indiquant que la réponse germinative dépend des combinaisons entre type de fiente et traitement. En revanche, la longueur des racines ainsi que le nombre de feuilles ne montrent aucune différence significative en fonction des facteurs étudiés. Dans le cas spécifique des composts, ces résultats indiquent que la nature du substrat initial joue un rôle déterminant dans la croissance aérienne des plantules, tandis que l'effet des traitements apparaît moins marqué que dans le lombricompostage. De plus, la réponse germinative semble davantage conditionnée par l'interaction entre les facteurs, traduisant ainsi la complexité des processus de décomposition et de stabilisation de la matière organique.

L'absence d'effet significatif sur certains paramètres peut être liée à la variabilité intra-échantillon élevée et au faible nombre de répétitions, limitant la puissance statistique.

Comme pour le lombricompost, pour identifier les différences significatives entre les traitements, un test de comparaison multiple de Tukey a aussi été appliqué aux combinaisons facteur type de fiente × traitement pour l'ensemble des variables étudiées. Les résultats sont présentés sur le tableau 15.

Tableau 15 : Test de Tukey (Compost)

Traitement × Fiente	Germinations (moyenne ± Ecart-Type)	Groupe	Plantule (cm)	Groupe	Racine (cm)	Groupe	Feuilles	Groupe
T0 (Fiente P)	3,67 ± 1,15	a	1,33 ± 0,29	ab	3,67 ± 0,29	a	2,67 ± 0,58	a
T3 (Fiente T)	2,33 ± 0,58	ab	1,33 ± 0,42	ab	3,83 ± 0,29	a	3,00 ± 0,00	a
T1 (Fiente T)	1,33 ± 0,58	ab	1,60 ± 0,17	a	4,53 ± 0,06	a	2,00 ± 0,00	a
T2 (Fiente T)	1,00 ± 1,00	ab	1,23 ± 1,04	ab	3,50 ± 3,46	a	1,67 ± 1,53	a
T0 (Fiente T)	1,33 ± 1,53	ab	0,67 ± 0,58	b	2,33 ± 2,25	a	2,00 ± 1,73	a
T2 (Fiente P)	1,33 ± 0,58	ab	1,17 ± 0,29	ab	4,27 ± 0,25	a	2,00 ± 0,00	a
T3 (Fiente P)	1,00 ± 1,00	ab	1,00 ± 1,00	ab	2,73 ± 2,56	a	1,33 ± 1,15	a
T1 (Fiente P)	1,00 ± 1,00	b	0,83 ± 0,76	b	2,50 ± 2,29	a	1,33 ± 1,15	a

Note : Les moyennes suivies de la même lettre dans une colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 %.

Le test de Tukey appliqué aux composts met en évidence que, pour le nombre de germinations, le traitement T0 (fiente P) présente les valeurs les plus élevées et se distingue significativement du traitement T1 (fiente P), tandis que les autres traitements se situent dans des groupes intermédiaires ne présentant pas de différences significatives. Concernant la longueur des plantules, une différenciation partielle est observée, les valeurs les plus faibles étant enregistrées pour les traitements T0 (fiente T) et T1 (fiente P). En revanche, aucune différence significative n'est mise en évidence pour la longueur des racines ni pour le nombre de feuilles, ce qui traduit une homogénéité de ces paramètres entre les différents traitements.

IV. DISCUSSION

4.1. Effet du type de transformation biologique : compost vs lombricompost

Les résultats combinés des analyses physico-chimiques et des bioessais de germination mettent en évidence l'influence déterminante du mode de transformation de la matière organique sur la qualité agronomique des amendements.

Le lombricompostage se distingue par la production de substrats présentant des pH proches de la neutralité (6,7–7,9), des teneurs élevées en matière organique stabilisée et des niveaux importants de nutriments (N, P, K). Ces caractéristiques sont associées à des taux de germination élevés et homogènes, traduisant une faible phytotoxicité et une maturité avancée. Globalement, les lombricomposts présentent de meilleures performances biologiques que les composts, notamment en termes de germination et d'homogénéité des réponses. Cette supériorité est largement documentée dans la littérature et s'explique par l'action conjointe des lombrics et des micro-organismes, qui accélèrent la fragmentation, l'humification et la stabilisation de la matière organique [4]. Le passage de la matière dans le tube digestif des lombrics réduit significativement la phytotoxicité en diminuant les composés ammoniacaux et les acides organiques [10].

À l'inverse, les composts présentent des résultats plus contrastés, avec des cas d'inhibition de germination. Cette variabilité est cohérente avec leurs caractéristiques physico-chimiques, notamment des pH parfois plus élevés et des rapports C/N hétérogènes, indiquant des stades de maturation variables. Ces résultats sont cohérents avec les travaux de Kong et al. (2023), qui montrent que les composts immatures contiennent des substances phytotoxiques inhibant la germination [11].

4.2. Rôle du type de fiente (P vs T)

Le type de fiente constitue un facteur déterminant de la qualité des substrats, en lien avec leur composition initiale. Les différences observées entre les fientes P et T s'expliquent en grande partie par leur composition initiale.

Les amendements issus de fiente P présentent des teneurs plus élevées en carbone (jusqu'à 38,8 %) et en matière organique (jusqu'à 77,6 %), ainsi qu'en azote et en phosphore, traduisant un potentiel fertilisant supérieur. C'est pour cela qu'ils présentent généralement une meilleure performance en lombricompostage. En effet, les matériaux riches en azote favorisent une activité biologique intense et une transformation rapide en lombricompost stable [12].

En revanche, les fientes T, initialement plus pauvres, nécessitent une transformation plus poussée pour atteindre un niveau de qualité comparable. Elles montrent une amélioration progressive au cours des traitements, notamment en compostage. Cela suggère une dynamique de décomposition plus lente, nécessitant un temps de maturation plus long pour atteindre un état stable.

4.3. Effet des traitements en référence au témoin T0

Les traitements T0, considérés comme témoins, permettent d'évaluer l'effet réel des transformations. L'analyse des traitements en référence au témoin T0 met en évidence des dynamiques contrastées selon le type de transformation.

Dans le cas des lombricomposts, pour les fientes P, les résultats montrent que certains substrats présentent déjà une bonne aptitude à la germination au stade initial. Par contre, pour les fientes T, initialement moins favorables, les traitements permettent d'améliorer les propriétés physico-chimiques des substrats, notamment en ajustant le pH et en stabilisant le rapport C/N, ce qui se traduit par une amélioration nette de la germination. Cela confirme que le lombricompostage permet de réduire la phytotoxicité initiale et d'améliorer la biodisponibilité des nutriments [10].

Pour les composts, les résultats sont plus contrastés. Pour le cas de la fiente P, le témoin T0 présente de meilleures performances que les traitements. Cette observation s'explique par une phase transitoire de production de composés phytotoxiques au cours du compostage, associée à des pH élevés et à des déséquilibres du rapport C/N. Ces conditions défavorables peuvent temporairement inhiber la germination avant stabilisation complète du substrat. Ce phénomène est bien décrit par Salih et al. (2026), qui soulignent que la maturité du compost est un facteur clé de sa qualité agronomique [13]. À l'inverse, pour la fiente T, les traitements améliorent progressivement les résultats par rapport au témoin.

4.4. Interprétation globale

L'ensemble des résultats met en évidence une forte cohérence entre les propriétés physico-chimiques des amendements et les réponses biologiques observées. Les substrats caractérisés par un pH proche de la neutralité, un rapport C/N équilibré ($\approx 15-25$) et une teneur élevée en matière organique stabilisée présentent les meilleures performances en germination. À l'inverse, les substrats présentant des déséquilibres chimiques ou une maturité insuffisante montrent des inhibitions, confirmant l'importance de la stabilisation de la matière organique.

Le lombricompostage apparaît comme une technique plus efficace pour produire rapidement des substrats stables et non phytotoxiques. En revanche, le compostage nécessite un contrôle rigoureux des conditions de transformation et temps suffisant de maturation pour éviter les phases de phytotoxicité.

Ces résultats confirment également que les tests de germination constituent un outil fiable pour évaluer la qualité agronomique des amendements.

V. LIMITES ET PERSPECTIVES

5.1. Limites

Malgré l'intérêt des résultats obtenus, certaines limites doivent être prises en considération. Tout d'abord, le nombre relativement faible de répétitions expérimentales a pu réduire la puissance statistique des analyses, limitant ainsi la détection de différences significatives entre traitements. Cette contrainte peut en partie expliquer la variabilité observée, notamment pour les composts.

Ensuite, l'étude repose principalement sur des bioessais de germination à court terme qui, bien qu'ils constituent des indicateurs sensibles de la phytotoxicité et de la maturité des substrats, ne permettent pas d'évaluer les performances agronomiques à long terme. Des paramètres tels que la production de biomasse, l'absorption des nutriments ou les interactions sol-plante n'ont pas été pris en compte.

Enfin, les conditions expérimentales contrôlées ne reflètent pas entièrement les conditions réelles de terrain, en particulier dans les agroécosystèmes tropicaux, comme à Mahereza, où les variations de température, d'humidité et de type de sol peuvent fortement influencer l'efficacité des amendements organiques.

5. Perspectives

Les travaux futurs devraient viser à lever ces limitations en adoptant une approche expérimentale plus intégrée. L'augmentation du nombre de répétitions et la multiplication des points de mesure au cours du temps permettraient d'améliorer la robustesse des analyses statistiques et de mieux caractériser l'évolution des traitements.

En outre, des expérimentations à plus long terme, en conditions de terrain, sont nécessaires pour évaluer l'impact réel des composts et lombricomposts sur la fertilité des sols, les rendements agricoles et la durabilité des systèmes de production.

Enfin, l'optimisation des procédés de compostage et de lombricompostage, notamment en ce qui concerne la composition des substrats, la gestion de l'humidité et la durée de maturation, constitue une perspective majeure. Dans les contextes tropicaux, ces approches représentent un levier important pour la valorisation des déchets organiques et le développement d'une agriculture durable et résiliente.

VI. CONCLUSION

Cette étude a permis de mettre en évidence l'influence déterminante du type de fiente et du mode de transformation biologique sur la qualité agronomique des amendements organiques. L'approche combinant analyses physico-chimiques et bioessais de germination a permis de mieux comprendre les relations entre les propriétés des substrats et les réponses biologiques des plantules.

Les résultats montrent que le lombricompostage constitue le procédé le plus efficace pour produire des amendements stables, caractérisés par des pH proches de la neutralité, des teneurs élevées en matière organique et des rapports C/N équilibrés ($\approx 15-25$), conditions favorables à une germination élevée et homogène. À l'inverse, les composts présentent une variabilité plus importante, avec des phases transitoires de phytotoxicité liées à des déséquilibres chimiques et à une maturité incomplète.

Le type de fiente joue également un rôle clé, les substrats issus de fiente P présentant un potentiel fertilisant plus élevé, tandis que ceux issus de fiente T nécessitent une transformation plus poussée pour atteindre une qualité comparable. Le rapport C/N s'est révélé être un indicateur pertinent de la maturité des amendements, en cohérence avec les performances observées en germination.

En définitive, cette étude souligne l'importance de maîtriser les procédés de transformation de la matière organique afin de garantir la production d'amendements efficaces et non phytotoxiques. Le lombricompostage apparaît comme une solution particulièrement adaptée à la valorisation durable des déchets organiques dans les systèmes agricoles tropicaux. Des recherches complémentaires en conditions de terrain permettront de confirmer ces résultats et d'évaluer leur impact sur la fertilité des sols et les rendements agricoles.

Références

- [1] Coquelin de Lisle, L. (2024). Relation entre santé du sol et performances agronomiques : Cas de la fertilisation du riz pluvial des Hautes Terres de Madagascar (Mémoire d'ingénieur, Institut Agro Rennes-Angers).
- [2] Zeguerrou, N. (2022). Contribution à la caractérisation et à l'évaluation de l'ammoniac (NH_3) émis par les élevages avicoles dans la région d'Ain Touta (Batna) et de son impact sur la bio-écologie des annélides (Thèse de doctorat, Université de Batna 2).
- [3] Ihdene, S., Meniche, Z., & Maza, T. (2023). Optimisation spatio-temporelle du compostage : Cas de la fiente de volaille. *Journal de l'Économie Circulaire et Développement Durable*, 3(2), 187-190. <https://jecdd.org/index.php/jecdd/article/view/33>

- [4] Ndiaye, I. A., Tendeng, E., Sylla, E. H. S., Baldé, A., Seydi, O., & Diarra, K. (2022). Efficacité de l'espèce locale *Eudrilus eugeniae* dans le processus de conversion des déchets organiques en vermiculture au Sénégal. *Afrique Science*, 21(2), 25–33.
- [5] Ravonjjarison, N., Raminoarison, M., Razafimahafaly, D., Razafindrakoto, M., Ratsiatosika, O., Randrianantenaina, L., Rakotomalala, H., Bernard, L., Autfray, P., Razafimbelo, T., & Blanchart, E. (2023). Apport de fertilisants sur les Hautes Terres malagasy : Quantification des unités de mesures paysannes. *Journal de l'Agroécologie*, 16, 18–24.
- [6] Rakotomalala, I., & Ramambason, L. (2025). Corrélation des variables climatiques, rendement agricole et utilisation d'engrais chimiques à Mahereza, Madagascar. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 48(2), 489–504.
- [7] Vieira, C. S. S., Nicola, P. A., & Bortoleti, K. C. de A. (2022). Determination of phytotoxicity and cytogenotoxicity due to exposure to particles originating from sugarcane burning using test systems *Lactuca sativa* L. and *Allium cepa* L. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 85(14), 561–572. <https://doi.org/10.1080/15287394.2022.2054483>
- [8] Guessier, F., & Khedim, A. (2024). L'effet des amendements organiques sur les paramètres biométriques de la tomate (Mémoire de master, Université Ibn Khaldoun – Tiaret).
- [9] Cissé, D., Somé, B. M., Saba, F., Ouédraogo, A. A., Sanon, J. F. K., Coulibaly, K., & Nacro, H. B. (2025). Réponse du concombre (*Cucumis sativus* L. 1753) à la fertilisation organique et organo-minérale en culture de saison sèche à l'ouest du Burkina Faso. *International Journal of Advanced Research*, 13(11), 253–264. <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/22110>
- [10] Suleiman, H., Rorat, A., Grobelak, A., Grosser, A., Milczarek, M., et al. (2017). Determination of the performance of vermicomposting process applied to sewage sludge by monitoring compost quality and immune responses in three earthworm species: *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei* and *Dendrobaena veneta*. *Bioresource Technology*, 241, 103–112.
- [11] Kong, Y., Zhang, J., Yang, Y., Liu, Y., Zhang, L., Wang, G., Liu, G., Dang, R., Li, G., & Yuan, J. (2023). Determining the extraction conditions and phytotoxicity threshold for compost maturity evaluation using the seed germination index method. *Waste Management*, 171, 502–511. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.09.040>
- [12] Munroe, G. (s.d.). Guide du lombricompostage et de la lombriculture à la ferme. Centre d'agriculture biologique du Canada.
- [13] Salih, H. G., Cata Saady, N. M., Zhang, B., & Albayati, T. M. (2026). The role of microbial inoculum in improving composting performance and promoting compost maturation: A review. *Green Technologies and Sustainability*, 4(2), 100316. <https://doi.org/10.1016/j.grets.2025.100316>