

Amélioration des sols ferrugineux tropicaux lessivés en phosphore assimilable par la gestion de la macrofaune du sol dans la zone nord-soudanienne du Burkina Faso

Jacques BAZEMON^{1*}, Mamoudou TRAORE^{1,2} et Hassan Bismarck NACRO¹

¹ *Université Nazi Boni (UNB), Laboratoire d'Etude et de Recherche sur la Fertilité du Sol et les Systèmes de Production (LERF/SP), BP 1091, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso*

² *Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Centre de Recherches Agricoles et de Formation de Kamboinsé, 01 BP 476 Ouagadougou 01, Burkina Faso*

(Reçu le 02 Décembre 2025 ; Accepté le 19 Janvier 2026)

* Correspondance, courriel : jacques87bazemon@gmail.com

Résumé

La carence en phosphore assimilable des sols ferrugineux tropicaux lessivés au Burkina Faso, liée aux mauvaises pratiques agricoles est un défi à relever pour améliorer les rendements agricoles. Pour pallier à ce problème, l'utilisation du compost "Neyma" à base du compost de biodigesteur enrichi avec le Burkina phosphate constitue une voie importante de recherche. Cette étude a pour objectif d'améliorer la richesse des sols ferrugineux tropicaux lessivés en phosphore assimilable à travers une gestion écologique de la macrofaune du sol à base de ce compost "Neyma". Le dispositif expérimental utilisé est celui de blocs de Fischer de 4 traitements à 3 répétitions. Les traitements sont des sols sans apport (T0), 2 t/ha de compost "Neyma" au labour (T1), 2 t/ha de compost "Neyma" aux poquets 15 jours après semis (T2) et 1 t/ha de compost "Neyma" au labour suivi de 1 t/ha aux poquets 15 jours après semis (T3). Les résultats montrent que la dose de 2 t/ha du compost "Neyma" aux poquets 15 jours après semis (T2), donne la plus grande densité relative de la macrofaune du sol. Par contre la macrofaune est plus diversifiée avec une meilleure équirépartition des espèces sous l'apport de compost "Neyma" à la dose de 1 t/ha au labour suivi de 1 t/ha aux poquets 15 jours après semis (T3). La teneur du phosphore assimilable des sols a une forte corrélation négative avec la densité relative de la macrofaune du sol. La dose de 2 t/ha de compost "Neyma" au labour (T1) donne la forte teneur du phosphore assimilable. Le compost "Neyma" est utilisable pour corriger la carence des sols ferrugineux tropicaux lessivés en phosphore assimilable au Burkina Faso.

Mots-clés : *fertilité des sols, sols ferrugineux, macrofaune du sol, compost "Neyma", groupes taxonomiques, densité relative, phosphore assimilable, Burkina Faso.*

Abstract

Improvement of tropical ferruginous soils leached of assimilable phosphorus through management of soil macrofauna in the northern Sudanese zone of Burkina Faso

The deficiency of available phosphorus in leached tropical ferruginous soils in Burkina Faso, linked to poor agricultural practices, is a challenge that must be addressed in order to improve agricultural yields. To overcome this problem, the use of "Neyma" compost, based on biodigester compost enriched with Burkina phosphate, is an important avenue of research. The aim of this study is to improve the richness of tropical ferruginous soils depleted in assimilable phosphorus through ecological management of soil macrofauna using this "Neyma" compost. The experimental design used is Fischer blocks with 4 treatments and 3 replicates. The treatments are soils without input (T0), 2 t/ha of "Neyma" compost at ploughing (T1), 2 t/ha of "Neyma" compost in holes 15 days after sowing (T2) and 1 t/ha of "Neyma" compost at ploughing followed by 1 t/ha in holes 15 days after sowing (T3). The results show that a dose of 2 t/ha of Neyma compost applied to the seedbeds 15 days after sowing (T2) produces the highest relative density of soil macrofauna. On the other hand, macrofauna is more diverse with a better distribution of species when Neyma compost is applied at a rate of 1 t/ha during ploughing, followed by 1 t/ha in holes 15 days after sowing (T3). The content of available phosphorus in soils has a strong negative correlation with the relative density of soil macrofauna. The application of 2 t/ha of Neyma compost during ploughing (T1) results in a high content of available phosphorus. Neyma compost can be used to correct the deficiency of tropical ferruginous soils depleted in assimilable phosphorus in Burkina Faso.

Keywords : *soil fertility, ferruginous soils, soil macrofauna, "Neyma" compost, taxonomic groups, relative density, available phosphorus, Burkina Faso.*

1. Introduction

La croissance démographique et les impacts des aléas climatiques au Burkina Faso, entraînent la nécessité d'adopter de bonnes pratiques agricoles pouvant maintenir ou améliorer la fertilité des sols pour répondre aux besoins alimentaires des populations. En effet, il existe une diversité de pratiques agricoles pour la gestion de la fertilité des sols au Burkina Faso [1]. Malgré ces multiples pratiques, on assiste à une dégradation croissante de la fertilité des sols, liée à leurs modes de gestion [2]. Les sols du Burkina Faso sont dominés par les sols ferrugineux tropicaux lessivés, pauvres en phosphore assimilable [3]. Malgré le rôle crucial du phosphore assimilable dans la nutrition végétale et la productivité agricole [4, 5], sa teneur demeure trop faible dans la majorité des sols agricoles [3, 5]. Le phosphore présente une spéciation variable dans les sols [6], dont de bonnes pratiques agricoles peuvent améliorer la teneur de sa fraction assimilable aux cultures. En effet, ses fortes interactions avec les colloïdes et la faible solubilité des minéraux phosphatés des sols ferrugineux tropicaux influencent la disponibilité du phosphore assimilable [7]. Des travaux montrent que les modes de gestion des sols agricoles influencent leur fertilité biologique [8]. En effet, la macrofaune du sol constitue une composante de cette fertilité biologique, très sensible aux mauvaises pratiques agricoles [9]. Pourtant, elle offre de nombreux services écosystémiques à travers l'activité de ses espèces [10]. Ses espèces ont un régime alimentaire variable [11] dont leurs activités contribuent à l'amélioration de la fertilité et de la protection des sols [10, 11]. Elles interviennent dans la minéralisation de la matière organique et le cycle biogéochimique des nutriments; puis interagissent avec les microorganismes du sol [12]; capables d'améliorer la qualité des agrosystèmes. La qualité des fertilisants et leurs modes d'apport influencent les communautés de la macrofaune [13], susceptible d'affecter leur effet sur l'amélioration de la qualité des agrosystèmes. Des travaux ont montré que les engrais chimiques limitent la disponibilité du phosphore assimilable dans le temps

par rapport aux fumures organiques [14]. De cet fait, un intérêt croissant a été porté ces dernières années sur cette composante bioindicateur des sols dans les pratiques agroécologiques [15]. Cette carence constitue un facteur limitant pour la productivité agricole des sols tropicaux [16]; susceptible d'influencer la sécurité alimentaire qui est le principal déficit visé par de nombreux dirigeants des pays semi-arides. La problématique de la faible disponibilité de la teneur du phosphore assimilable des sols ferrugineux tropicaux due aux mauvaises pratiques de gestion des sols, amène à réfléchir sur le renforcement de l'adoption de bonnes pratiques de l'amélioration de la teneur du phosphore assimilable des sols en utilisant des fertilisants organiques à la place des engrais chimiques. C'est dans ce sens qu'un fertilisant organique, dénommé compost "Neyma" a été fabriqué à base du compost de biodigester enrichi avec le Burkina phosphate pour la gestion de la macrofaune du sol ; capable d'améliorer le statut des sols en phosphore assimilable. Ce compost sera apporté à plusieurs modes suivant des doses et/ou des dates variables. L'objectif de cette étude est d'améliorer la richesse des sols ferrugineux tropicaux lessivés en phosphore assimilable à travers une gestion écologique de la macrofaune du sol.

2. Matériel et méthodes

2-1. Zone d'étude

L'étude a été conduite au Centre de Recherches Environnementales, Agricoles et de Formation de Kamboinsé de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles ; situé à Kamboinsé sur l'axe Ouagadougou-Kongoussi sur la route nationale n°22, au nord de la commune de Ouagadougou, région du Centre (**Figure 1**). Les coordonnées géographiques du site sont de latitude : 12° 27'10,26"N et longitude : 1° 32'10,88"W. Son climat est de type nord-soudanien, caractérisé par une longue saison sèche et une courte saison pluvieuse. Une quantité totale de 737,4 mm d'eau de pluie répartie entre 47 jours a été reçue au cours de la campagne agricole humide 2023. La zone est caractérisée d'une hétérogénéité de sols, dominés par les sols ferrugineux tropicaux lessivés qui sont pauvres en matière organique et en éléments majeurs [17, 18].

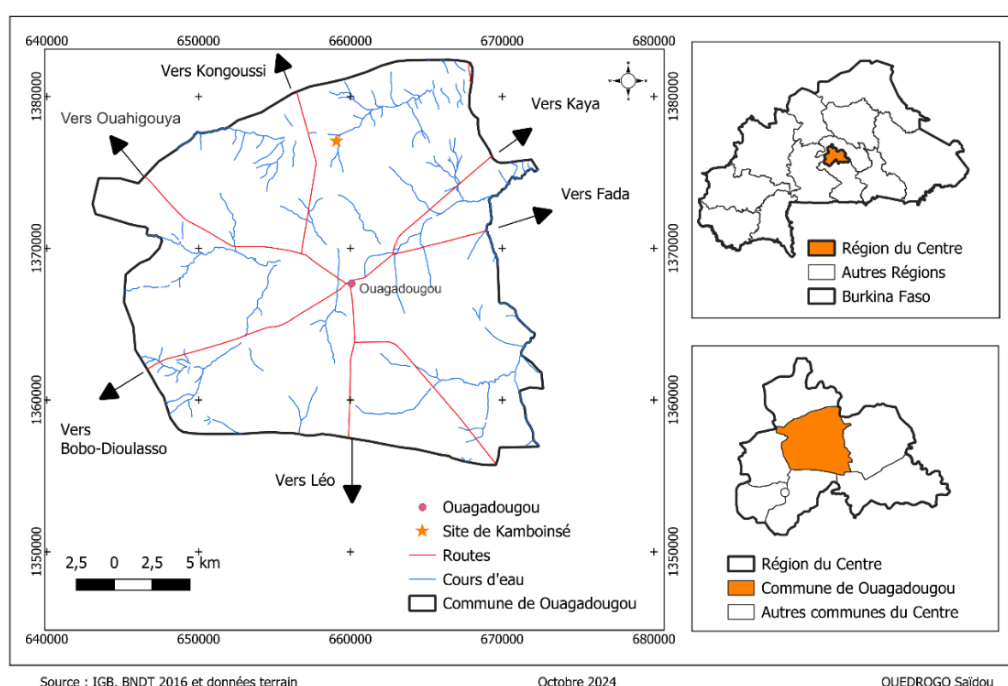


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

2-2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental a été du type en blocs de Fisher complètement randomisé d'une superficie de 210 m² (15 m x 14 m) ; constitué de 4 traitements à 3 répétitions. Les parcelles élémentaires ont une superficie de 12 m² (4 m x 3 m). Les allées entre les blocs et les traitements ont été de 1 m. Les traitements comparés se résument comme suite (**Tableau 1**) en fonction des quantités du compost "Neyma" apporté.

Tableau 1 : Quantité du compost "Neyma" apportées suivant les traitements

Traitements	T0	T1	T2	T3
Compost "Neyma" au labour (t/ha)	0	2	0	1
Compost "Neyma" 15 jours après semis aux poquets (t/ha)	0	0	2	1

(0) : absence de compost "Neyma".

2-3. Matériel

Le matériel végétal a été le niébé "Komcallé", d'un cycle semis-maturité de 60 jours à port des plants érigé avec un rendement potentiel grain allant de 1,5 à 2 t/ha. Le fertilisant utilisé a été le compost "Neyma" ; fabriqué à base de 900 kg du compost du biodigester enrichi avec 100 kg du Burkina phosphate dont l'ensemble a été homogénéisé, humidifié, mis en andain et couvert à l'aide d'une bâche en plastique pendant 10 jours avec un retournement périodique de 3 jours. En effet, le **Tableau 2** présente les caractéristiques chimiques avec des normes internationales.

Tableau 2 : Caractéristiques chimiques du compost « Neyma »

Paramètres	Unités	Valeurs	Norme FAO	Norme AFNOR NFU 44- 051
pHeau	-	7,3	7-8	6-8
Matière organique totale	%	41,5	10-30	>20
Rapport C/N	-	17,5	10-15	>8
Azote total	%	1,4	0,4-0,5	< 3
Phosphore total	%	1,3	0,1-1,6	< 3
Potassium total	%	1,5	0,4-2,3	< 3

2-4. Méthodes

2-4-1. Opérations culturales

La parcelle d'expérimentation a subi un labour superficiel à l'aide d'un pulvérisateur à 20 chevaux avant la mise en place de l'essai. Le labour est suivi d'un hersage permettant de niveler la parcelle. Les semis ont été effectués suivant des écartements de 80 cm x 40 cm ; dont 2 plants vigoureux par poquet ont été gardés après une semaine de démarrage. L'entretien des parcelles consiste à faire un sarclage et un désherbage manuel au besoin pour favoriser l'infiltration de l'eau et protéger la culture contre les adventices. De même qu'une application du produit phytosanitaire du nom de THALIS 56 EC a été effectuée au 30ème JAS et 35ème jours après semis à la dose de 250 mL/ha pour protéger la culture du niébé contre les ravageurs.

2-4-2. Échantillonnage et analyses

2-4-2-1. Sols

Au total, 4 échantillons de sols pour l'ensemble des traitements ont été prélevés sur une profondeur de 0-30 cm à l'aide d'une tarière manuelle 45 jours après semis. Chaque échantillon a été un échantillon composite, constitués à partir des répétitions du même traitement. Les analyses ont été réalisées au laboratoire du Bureau National des Sols (BUNASOLS) du Burkina Faso pour déterminer la teneur du phosphore assimilable par la méthode de Bray-I. Elle combine l'extraction du phosphore en milieu acide à la complexation, par le fluorure d'ammonium, de l'aluminium lié au phosphore [19]; où le dosage a été effectué par colorimétrie au spectrophotomètre.

2-4-2-2. Macrofaune du sol

L'échantillonnage de la macrofaune du sol a été effectué 45 jours après semis sous culture du niébé par la méthode des monolithes, la méthode standard « Tropical Soil Biology and Fertility » [20], au mois d'août où il pleut abondamment dans la zone agroécologique du pays. Au total, 12 monolithes ont été prélevés à raison d'un monolithe par répétition. Le monolithe correspond à un bloc du sol de 25 cm x 25 cm x 30 cm de profondeur, prélevé dans chaque parcelle élémentaire à l'aide d'un bloc métallique [21]. Un tri manuel des espèces de la macrofaune a été effectué ; puis conservées dans des flacons contenant de l'alcool dilué à 70 % et transférées au Laboratoire d'Histoire Naturelle du Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique au Burkina Faso pour identification. Les macroinvertébrés ont été identifiés et dénombrés sous une loupe binoculaire puis classées par groupes taxonomiques à l'aide d'ouvrages de références et de clés dichotomiques [22, 23] se basant sur les caractères morphologiques et anatomiques de leurs corps comme le nombre de pattes, la forme des yeux, la couleur...

2-5. Analyses des données

Les différentes données obtenues sur les propriétés des sols ainsi que la macrofaune du sol ont été saisies à l'aide du tableur Excel 2019 et soumises à l'analyse de variance (ANOVA). Le test de Fischer a été utilisé pour la séparation des moyennes lorsqu'une différence significative se présente au seuil de probabilité de 5 % à l'aide du logiciel XLSTAT version 2025. Afin de décrire la diversité et comparer les communautés de la macrofaune du sol, nous avons utilisé la densité relative moyenne qui traduit le nombre moyen des espèces par unité de surface des groupes taxonomiques de la macrofaune; l'indice de diversité de Shannon (H') selon la **Formule** mathématique suivante [24] :

$$H' = -\sum (p_i \ln p_i) \quad (1)$$

H' étant l'indice de la diversité de Shannon ; i une espèce du milieu d'étude et p_i la proportion d'une espèce i par rapport au nombre total d'espèces (S) dans le milieu d'étude (ou richesse spécifique du milieu).

$$p(i) = \frac{n_i}{N} \quad (2)$$

n_i étant le nombre d'individus pour l'espèce i et N l'effectif total [25].

L'indice d'équitabilité de Piélou (J') a été calculé à l'aide de la **Formule** suivante [26] :

$$J' = \frac{H'}{\ln(S)} \quad (3)$$

3. Résultats

3-1. Composition des groupes taxonomiques de la macrofaune du sol sous culture du niébé

Il ressort de la **Figure 2** que 6 groupes taxonomiques de la macrofaune ont été identifiés sous culture du niébé avec une densité relative variable. Les groupes des Haplotaxida (35 individus/m²) ; des Coléoptères (16 individus/m²) et des Isoptères (16 individus/m²) sont respectivement les plus dominants. Par ailleurs, les groupes taxonomiques des Araneae et des Julida présentent la faible densité relative moyenne identique de 4 individus/m².

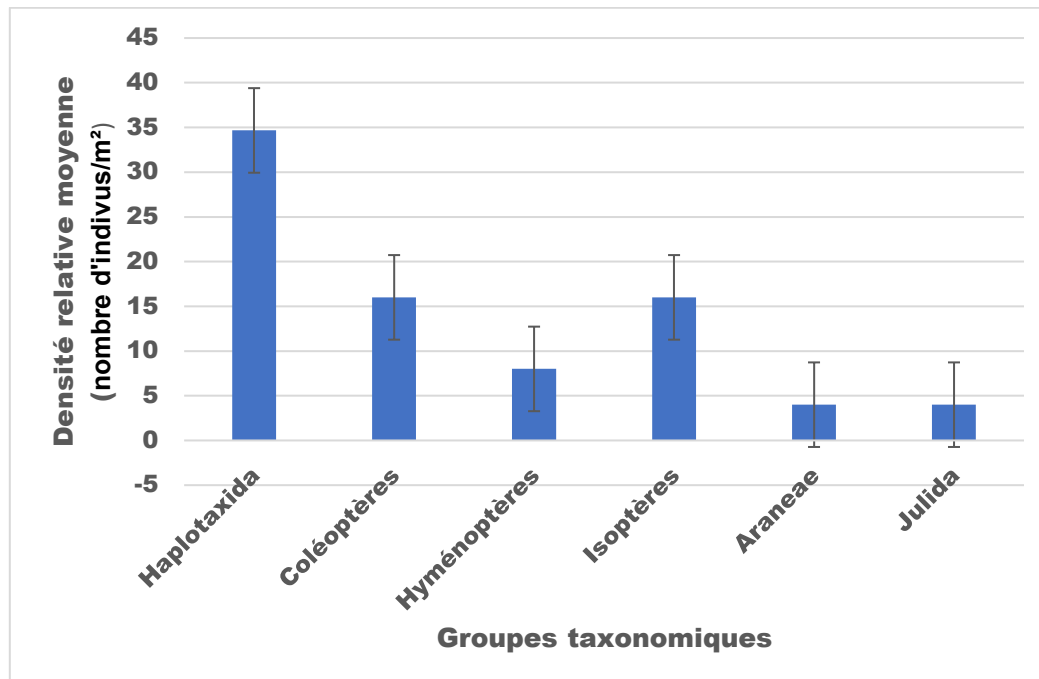


Figure 2 : Densité moyenne des groupes taxonomiques de la macrofaune du sol sous culture du niébé

3-2. Densité relative des groupes taxonomiques de la macrofaune du sol sous l'effet des modes d'apport du compost "Neyma"

Le **Tableau 1** présente les résultats relatifs à l'effet des modes d'apport du compost "Neyma" sur la densité relative moyenne des groupes taxonomiques de la macrofaune. Ces résultats montrent que la densité relative moyenne de la macrofaune du sol varie en fonction des traitements. En effet, la plus grande densité relative moyenne (23 individus/m²) de la macrofaune du sol a été obtenue sous l'apport du compost à la dose de 2 t/ha aux poquets 15 jours après semis (T2). Les parcelles n'ayant reçu aucun apport du compost (T0) ont enregistré la plus faible densité relative moyenne de la macrofaune du sol (3 individus/m²). Mais lorsque le compost est apporté à la dose unique de 2 t/ha au labour (T1) ou à la dose fractionnée de 1 t/ha au labour suivi de 1 t/ha aux poquets 15 jours après semis (T3), on obtient une densité relative moyenne identique de 15 individus/m². En fonction des différents modes d'apport du compost "Neyma", on observe une variation de la densité relative des groupes taxonomiques identifiés. Parmi ces groupes, celui des Haplotaxida a la plus grande densité relative moyenne (91 individus/m²) sous l'apport du compost "Neyma" à la dose de 2 t/ha aux poquets 15 jours après semis (T2) ; suivi de celle (32 individus/m²) sous l'apport de la dose unique du compost de 2 t/ha aux poquets 15 jours après semis (T2). Mais la plus grande densité relative moyenne des Isoptères (24 individus/m²) est identique et obtenue sous l'apport du compost à la dose unique de 2 t/ha au labour (T1) et de celle fractionnée à de 1 t/ha au labour suivi de 1 t/ha aux poquets 15 jours après semis (T3). Le groupe des Coléoptère est celui qui est communément identifié sous tous les traitements avec une densité relative

moyenne commune de 16 individus/m². Le groupe des Hyménoptères, a été identifié uniquement sous les traitements T1 et T3 avec une densité relative moyenne identique de 16 individus/m². Il a été remarqué que les groupes des Julida et des Araneae ont été des groupes taxonomiques spécifiques respectifs des modes d'apport T3 et T2.

Tableau 3 : *Effet des modes d'apport du compost "Neyma" sur la densité relative moyenne des groupes taxonomiques de la macrofaune du sol*

Groupes taxonomiques	T0	T1	T2	T3
Haplotaxida	0 ± 0	32 ± 21,3	91 ± 50	16 ± 0
Isopètes	0 ± 0	24 ± 8	16 ± 0	24 ± 8
Coléoptères	16 ± 0	16 ± 0	16 ± 0	16 ± 0
Hyménoptères	0 ± 0	16 ± 0	0 ± 0	16 ± 0
Julida	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	16 ± 0
Araneae	0 ± 0	0 ± 0	16 ± 0	0 ± 0
Densité relative moyenne	3 ± 4,4	15 ± 9,8	23 ± 22,5	15 ± 4,9

Légende : T0 : Témoin absolu (aucun apport) ; T1 : 2 t/ha de Compost "Neyma" au Labour ; T2 : 2 t/ha de Compost "Neyma" aux poquets 15 jours après semis et T3 : 1 t/ha de Compost "Neyma" au Labour suivi de 1 t/ha 15 jours après semis aux poquets.

3-3. Effet des modes d'applications du compost "Neyma" sur les indices de diversité et d'équitabilité de la macrofaune du sol

Le **Tableau 4** présente les résultats relatifs à l'effet des modes d'apport du compost "Neyma" sur les indices de diversité (H') et d'équitabilité (J') de la macrofaune du sol. Il est remarqué que les indices de diversité (H') et d'équitabilité (J') de la macrofaune du sol évoluent dans le même ordre en fonction des traitements. Aussi bien pour l'indice de diversité que celui d'équitabilité, l'effet des différents traitements se présente de la manière suivante : T0 < T1 < T2 < T3. Les différents traitements avec apport du compost "Neyma" (T1, T2 et T3) ont permis d'obtenir une communauté de la macrofaune plus diversifiée et mieux équilibrée par rapport à celle des parcelles n'ayant reçu aucun apport du compost (T0). En effet, un seul groupe taxonomique a été identifié dans les parcelles sans aucun apport du compost (T0) ; indiquant une valeur de l'indice de diversité 0,00. Mais l'apport fractionné du compost "Neyma" à une dose de 1 t/ha au Labour et 1 t/ha 15 jours après semis aux poquets (T3), a permis d'obtenir une communauté de la macrofaune plus diversifiée (H' = 0,81). De même, la faible valeur de l'indice d'équitabilité (J' = 0,00) a été obtenue pour les parcelles témoins (T0) ; avec une plus forte valeur (J' = 0,19) sous le traitement T3. On remarque aussi que l'apport du compost à la dose unique de 2 t/ha aux poquets 15 jours après semis (T2), permet d'obtenir une communauté de la macrofaune plus diversifiée (H' = 0,52) avec une meilleure répartition équilibrée (J' = 0,12) par rapport à son apport à une dose unique au labour (H' = 0,48 ; J' = 0,10).

Tableau 4 : *Indices de diversité et d'équitabilité de la macrofaune du sol en fonction des modes d'apport du compost "Neyma"*

Modes d'apport	T0	T1	T2	T3
Indice de diversité de Shannon (H')	0,00	0,48	0,52	0,81
Indice d'équitabilité de Piélu (J')	0,00	0,10	0,12	0,19

Légende : T0 : Témoin absolu (aucun apport) ; T1 : 2 t/ha de Compost "Neyma" au Labour ; T2 : 2 t/ha de Compost "Neyma" aux poquets 15 jours après semis et T3 : 1 t/ha de Compost "Neyma" au Labour suivi de 1 t/ha 15 jours après semis aux poquets.

3-4. Effet des modes d'apport du compost "Neyma" sur la disponibilité du phosphore assimilable des sols

Il ressort de la **Figure 3** que la teneur du phosphore assimilable du sol varie en fonction des traitements. La dose unique du compost de 2 t/ha au labour (T1) donne la plus forte teneur du phosphore assimilable du sol (5,6 ppm) ; suivie de celle (4,1 ppm) obtenue sous l'apport fractionné du compost à la dose de 1 t/ha épandu uniformément au labour et 1 t/ha aux poquets 15 jours après semis (T3). Parmi les différents modes d'apport du compost "Neyma", seul la dose de 2 t/ha du compost "Neyma" aux poquets 15 jours après semis (T2), a donné une teneur (2,1 ppm) inférieure à celle (3,8 ppm) obtenue dans les parcelles témoins (T0).

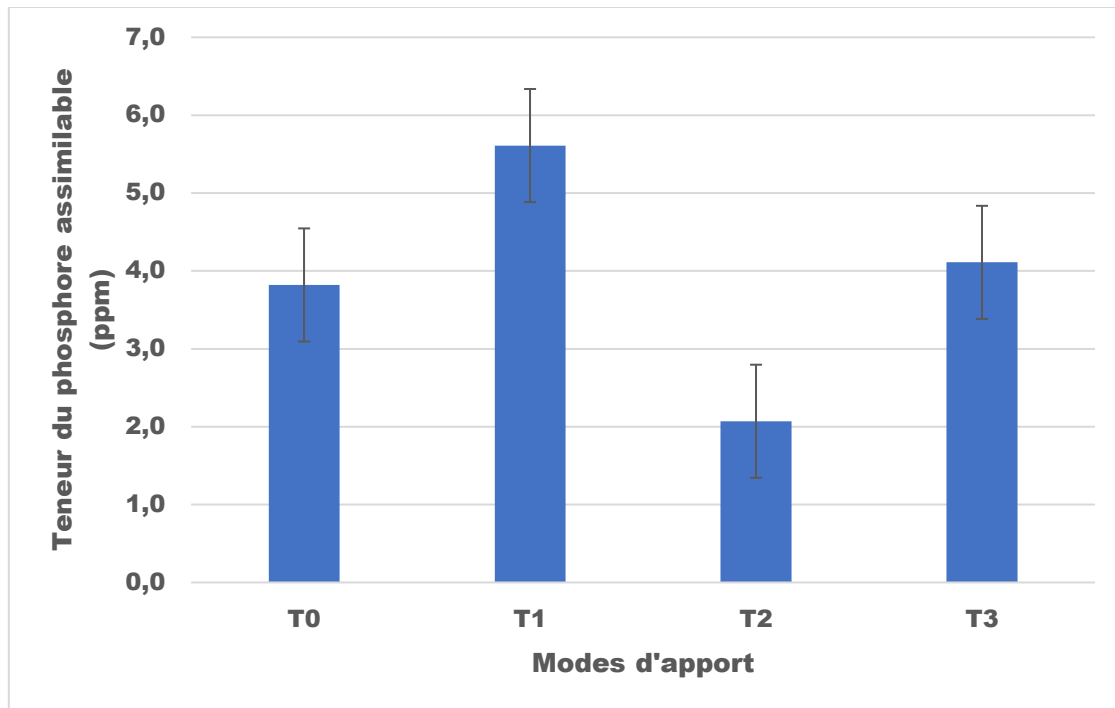


Figure 3 : Teneur du phosphore assimilable sous l'effet des modes d'apport du compost "Neyma"

Légende : T0 : Témoin absolu (aucun apport) ; T1 : 2 t/ha de Compost "Neyma" au Labour ; T2 : 2 t/ha de Compost "Neyma" aux poquets 15 jours après semis et T3 : 1 t/ha de Compost "Neyma" au Labour suivi de 1 t/ha 15 jours après semis aux poquets ; ppm : parti par millions.

3-5. Relation entre les paramètres biologiques de la macrofaune et la disponibilité du phosphore assimilable des sols

Le **Tableau 5** montre que parmi les différents paramètres biologiques de la macrofaune du sol, il a été remarqué une forte corrélation positive ($r = 0,995$) entre l'indice de diversité et l'indice d'équitabilité. Par contre, une forte corrélation négative ($r = -0,907$) a été obtenue entre la teneur du phosphore assimilable du sol et la densité relative de la macrofaune du sol.

Tableau 5 : Corrélation entre les paramètres biologiques et la teneur du phosphore assimilable

Paramètres	Phosphore assimilable	Indice de diversité	Indice d'équitabilité	Densité relative
Phosphore assimilable	1	-0,023	-0,125	-0,907
Indice de diversité	-0,023	1	0,995	-0,401
Indice d'équitabilité	-0,125	0,995	1	-0,305
Densité relative	-0,907	-0,401	-0,305	1

La **Figure 4** présente les résultats relatifs à l'interaction des indices biologiques avec la teneur du phosphore assimilable du sol en fonction des différents modes d'apport du compost "Neyma". Les résultats montrent que les teneurs du phosphore assimilable du sol relativement plus élevées dont 5,6 ppm sous l'apport de 2 t/ha du compost "Neyma" au labour (T1) et 4,1 ppm sous l'apport fractionné du compost "Neyma" à la dose de 1 t/ha au labour suivi de 1 t/ha aux poquets 15 jours après semis (T3) ont été obtenues avec la plus faible densité relative de la macrofaune du sol (15 individus/m²) qui est identique pour les deux traitements. De même, la plus grande densité relative de la macrofaune du sol (23 individus/m²) avec la plus faible teneur du phosphore assimilable (2,1 ppm) ont été obtenues sous l'apport du compost "Neyma" aux poquets 15 jours après semis à une dose de 2 t/ha (T2). Mais cette relation n'est pas remarquée entre les indices de diversité et d'équitabilité avec la teneur du phosphore assimilable du sol suivant les différents traitements.

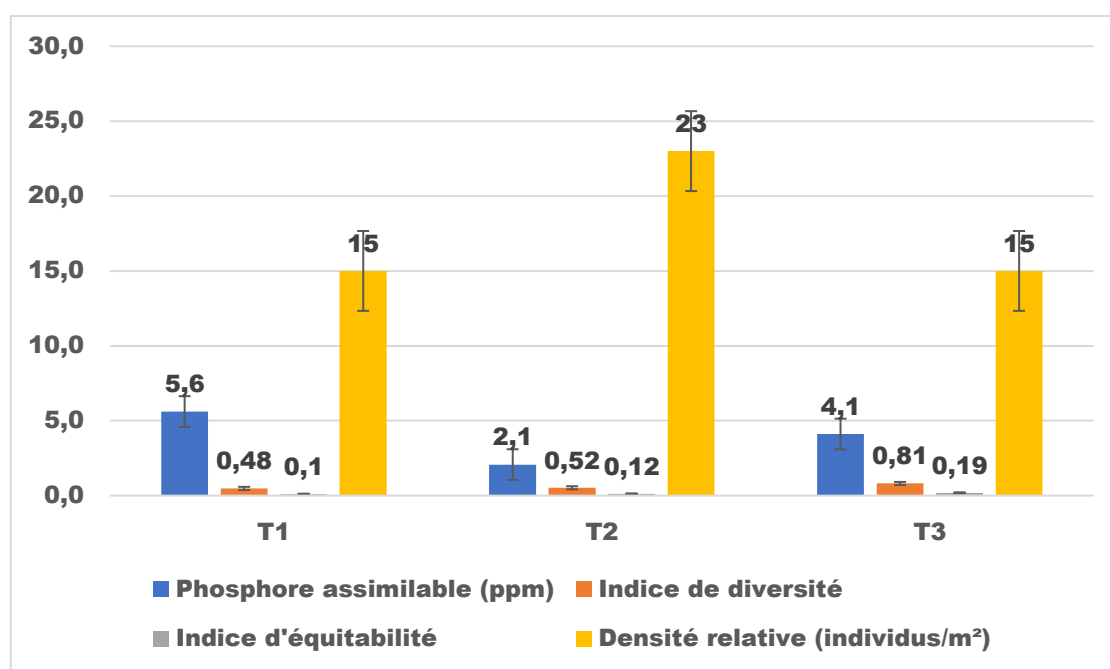


Figure 4 : Relation entre les paramètres biologiques de la macrofaune du sol et la teneur du phosphore assimilable du sol en fonction des modes d'apport du compost "Neyma"

Légende : T0 : Témoin absolu (aucun apport) ; T1 : 2 t/ha de Compost "Neyma" au Labour ; T2 : 2 t/ha de Compost "Neyma" aux poquets 15 jours après semis et T3 : 1 t/ha de Compost "Neyma" au Labour suivi de 1 t/ha 15 jours après semis aux poquets ; ppm : parti par millions.

4. Discussion

4-1. Composition des groupes taxonomiques de la macrofaune du sol sous culture du niébé

Sous culture du niébé, notre étude a permis d'identifier 6 groupes taxonomiques de la macrofaune du sol (Haplotaxida, Coléoptères, Hyménoptères, Isoptères, Araneae et Julida). En effet, des travaux ont rapporté une variation de 5 à 12 groupes taxonomiques de la macrofaune du sol, identifiés dans les sols cultivés au Burkina Faso [27, 28]. Cette variation peut s'expliquer par les modes d'usages et les conditions environnementales des sols. La nature des pratiques culturales et l'intensité d'usage des sols peuvent influencer la richesse taxonomique de la macrofaune du sol. Il a été démontré dans la littérature que les types de cultures et des pratiques agricoles influencent la composition et la richesse des groupes taxonomiques de la macrofaune du sol [10, 27]. Parmi les groupes taxonomiques de la macrofaune du sol, les Haplotaxida, les Hyménoptères, les Coléoptères et les Isoptères sont les principaux groupes taxonomiques identifiés. Cette dominance peut s'expliquer par la présence de conditions écologiques qui leur sont favorables, ainsi que la disponibilité d'une source alimentaire suffisante pour leurs besoins. Ces principaux groupes identifiés ont un régime alimentaire varié [10]. La qualité du compost "Neyma" peut leur offrir une source alimentaire suffisante pouvant améliorer leur densité relative. De nombreux travaux ont rapporté une dominance de ces groupes taxonomiques dans la plupart des sols tropicaux [30]. Les Haplotaxida constitués de vers de terre correspondent au groupe ayant la plus grande densité relative parmi les principaux groupes identifiés. Leur biomasse augmente en fonction de la quantité de la matière organique et des hydrates de carbone, fournie par les substrats organiques du milieu [31]. De même, la zone écologique et la nature végétale en présence influencent la macrofaune du sol [32]. L'inventaire de la macrofaune du sol a été fait en août qui est le mois où la pluviométrie est plus élevée dans la zone Nord-soudanienne du Burkina Faso. La forte humidité du sol pendant le mois d'échantillonnage peut être favorable à la vie de ces macroinvertébrés hygrophiles. Le niébé, une culture de couverture du sol peut aussi créer et maintenir un microclimat favorable à la vie de la communauté des Haplotaxida.

4-2. Densité relative moyenne des groupes taxonomiques de la macrofaune du sol sous l'effet des modes d'apport du compost "Neyma"

Sous culture du niébé, la densité relative des groupes taxonomiques de la macrofaune du sol varie en fonction des modes d'apport du compost. Parmi ces groupes, certains sont des indicateurs biologiques de la qualité de l'environnement [33]. Le groupe des Coléoptères a été identifié sous tous les traitements. C'est un groupe d'insectes ayant un régime alimentaire très varié [34] ; pouvant leur permettre d'avoir une forte capacité d'adaptation aux variations des conditions du milieu. L'obtention de la plus grande densité relative aussi bien pour la macrofaune en générale que des Haplotaxida en particulier sous l'apport du compost "Neyma" à la dose de 2 t/ha aux poquets 15 jours après semis (T2), peut être liée à la dose et la période d'apport du compost. La matière organique apportée aux sols permet d'améliorer les propriétés des sols en augmentant leur taux d'humidité [35]. La dose du compost apporté peut créer une diversité de microhabitats pouvant héberger une densité importante de la macrofaune du sol. La matière organique apportée peut créer des conditions d'humidité indispensable à la vie des Haplotaxida. En outre, l'inventaire de la macrofaune a été effectué 45 jours après semis, soit 30 jours après l'apport du compost. Cette période d'apport peut être favorable pour la disponibilité de la matière organique à une quantité importante et de bonne qualité pour créer des conditions favorables pour la communauté des Haplotaxida. L'apport aux poquets de cette dose peut donner une biomasse importante du niébé couvrant le sol, susceptible de maintenir un microclimat favorable à la macrofaune du sol. À l'opposé dans les sols sans aucun apport du compost (T0), la macrofaune du sol présente la plus faible densité avec uniquement le groupe des Coléoptères, identifié. Ces résultats soulignent que la matière organique est indispensable au développement des organismes biologiques du sol.

4-3. Effet des modes d'applications du compost "Neyma" sur les indices de diversité et d'équitabilité de la macrofaune du sol

Notre étude montre que les indices de diversité de Shannon et d'équitabilité varient en fonction des modes d'apport du compost. Les différents traitements avec apport du compost "Neyma" ont une macrofaune plus diversifiée avec une meilleure équirépartition des espèces par rapport au traitement témoins. Ces résultats sont conformes à des résultats démontrés dans la littérature [36]. Ces apports peuvent augmenter le taux de matière organique du sol qui a une corrélation avec la diversité et l'équirépartition de la macrofaune du sol [37, 38]. Ces résultats soulignent l'importance de la matière organique pour la santé des sols tropicaux. Il est démontré dans la littérature que les modes de gestion des sols affectent la diversité et la répartition des espèces de la macrofaune du sol [10, 29]. Les indices peuvent être utilisés pour évaluer le fonctionnement biologique des sols. En effet, nos résultats montrent que la macrofaune du sol est plus diversifiée avec une meilleure répartition en espèces sous l'apport fractionné du compost à la dose de 1 t/ha au labour et 1 t/ha aux poquets 15 jours après semis (T3). Ces résultats montrent que l'apport permanent de la matière organique permet d'améliorer et de maintenir la santé des sols agricoles. Le fractionnement du compost peut favoriser le maintien permanent d'une source alimentaire et des conditions écologiques du milieu, favorables à la vie de nombreuses espèces de la macrofaune du sol. Dans les sols témoins (T0), les indices ont des valeurs nulles ; montrant ainsi que l'apport de la matière organique est indispensable pour la santé des sols agricoles. Les macroinvertébrés peuvent être vulnérables à la pauvreté des sols. L'exploitation des sols sans aucun apport exogène peut entraîner une baisse de la biodiversité des sols.

4-4. Effet des modes d'apport du compost "Neyma" sur la disponibilité du phosphore assimilable des sols

Le phosphore constitue un élément capital pour la nutrition des plantes et des animaux; puis intervient dans l'amélioration de la fertilité des sols [39]. Notre étude révèle que la teneur du phosphore assimilable varie en fonction des traitements de 2,1 ppm à 5,6 ppm. Dans les sols du Burkina, des travaux ont rapporté une teneur variant entre environ 3 mg/kg à 11 mg/kg [40, 41]. Cette différence peut s'expliquer par les pratiques de la gestion ou de l'occupation des sols. En fonction des différents modes d'apport du compost, il a été remarqué une forte amélioration de la teneur du phosphore assimilable (47 %) sous l'apport de 2 t/ha du compost épandu uniformément au labour (T1) avec une forte perte du taux du phosphore assimilable du sol (– 45 %) de la même dose mais apporté aux poquets 15 jours après semis (T2). Cette différence peut s'expliquer par le temps d'interaction du compost avec les propriétés physico-chimiques sol, susceptibles de rendre disponible le phosphore dans la solution du sol. Le compost peut nécessiter une certaine durée pour exprimer sa performance sur la libération du phosphore assimilable. Des travaux ont aussi reporté qu'une amélioration de la teneur du phosphore assimilable du sol d'environ 45,4 % sous l'apport de 20 t/ha d'un compost 2 semaines avant les semis [39]. Cette différence peut s'expliquer par la qualité des composts. La nature et la qualité du compost peuvent influencer sa performance sur l'amélioration de la fertilité des sols. Le temps d'incorporation du compost au labour peut être favorable à la réduction des métaux échangeables, à l'amélioration de la saturation des bases échangeables et de la capacité d'échange cationique. Néanmoins, le fractionnement du compost à une dose de 1 t/ha au labour et 1 t/ha aux poquets 15 jours après semis a permis une amélioration de la teneur du phosphore assimilable de 8 %. Ces résultats montrent que la dose apportée par fractionnement peut être insuffisante pour stimuler l'activité de la biologie du sol susceptible de minéraliser le compost pour recycler le phosphore disponible.

4-5. Relation entre les paramètres biologiques de la macrofaune et la disponibilité du phosphore assimilable des sols

Les résultats montrent une corrélation négative entre la densité relative de la macrofaune et la teneur du phosphore assimilable des sols. La présence d'une densité relative élevée de la macrofaune du sol peut stimuler une population importante des microorganismes susceptibles d'utiliser une quantité importante du phosphore assimilable lors de leurs activités. Ce que peut entraîner une baisse importante de la teneur du phosphore assimilable. Dans la littérature, des travaux ont montré l'amélioration de la teneur du phosphore assimilable par la présence de la macrofaune du sol [42]. Mais, il manque des travaux mettant en évidence la corrélation entre la densité relative de la macrofaune et la teneur du phosphore assimilable des sols. La densité relative plus élevée de la macrofaune avec la plus faible teneur du phosphore assimilable ont été obtenues sous l'apport du compost à la dose de 2 t/ha aux poquets 15 jours après semis (T2). Ces résultats peuvent s'expliquer par une intense activité de la macrofaune du sol pouvant libérer des ions métalliques susceptibles d'adsorber le phosphore assimilable en le rendant sous forme insoluble. Des travaux ont montré que les microorganismes peuvent incorporer le phosphore assimilable dans leur biomasse [43]. Par contre, la forte teneur du phosphore assimilable avec la faible densité relative de la macrofaune du sol ont été obtenues sous l'apport du compost "Neyma" à la dose de 2 t/ha au labour (T1). Une faible quantité de la matière disponible dans le milieu pouvant augmenter la densité relative de la macrofaune peut expliquer la faible densité relative de la macrofaune. Cela peut entraîner la mort de nombreux organismes biologiques du sol ayant au préalable incorporé le phosphore assimilable dans leur biomasse ; dont ce phosphore incorporé peut être relargué dans le milieu pouvant en augmenter sa teneur. Des travaux ont montré une corrélation positive entre la teneur du phosphore assimilable et les vers de terre [44]. La mort des vers de terre composant le groupe des Haplotaxida par le manque de nourriture suffisante dans le milieu peut augmenter la teneur du phosphore assimilable.

5. Conclusion

L'objectif de cette étude était d'améliorer la richesse des sols ferrugineux tropicaux lessivés en phosphore assimilable à travers une gestion écologique de la macrofaune du sol. Il ressort de cette étude que l'apport du compost « Neyma » à une dose de 2 t/ha aux poquets 15 jours après semis (T2) a permis d'obtenir la densité relative plus élevée de la macrofaune du sol ; avec une communauté de la macrofaune plus diversifiée et une meilleure répartition des espèces sous l'apport fractionné du compost à une dose de 1 t/ha au labour et 1 t/ha aux poquets 15 jours après semis (T3). La forte teneur du phosphore assimilable du sol s'obtient par l'apport de la dose de 2 t/ha du compost « Neyma » au labour (T1) ; et le phosphore assimilable présente une forte corrélation négative avec la densité relative de la macrofaune du sol. L'apport du compost à la dose de 2 t/ha au labour (T1) donne la forte teneur du phosphore assimilable du sol avec la faible densité relative de la macrofaune du sol ; par contre la dose de 2 t/ha aux poquets 15 jours après semis (T2) donnent la forte densité relative de la macrofaune du sol avec la faible teneur du phosphore assimilable. L'étude montre que le compost « Neyma » constitue une alternative pour la gestion de la biologie des sols, source d'amélioration de la fertilité des sols ferrugineux tropicaux lessivés.

Sources de financement

Aucune source financière n'a été obtenue pour cette étude.

Déclaration d'intérêts concurrents

Aucun intérêt concurrent n'a été signalé.

Remerciements

Nous remercions Dr Mamoudou TRAORE, M. Oumarou GJEGUEMDE et M. Serge SOMDA ; les différents points focaux respectivement des structures telles que l'Institut de l'Environnement et des Recherches Agricoles de Kamboinsé, la Société d'Exploitation des Phosphates du Burkina et le Programme National de Biodigester du Burkina d'avoir faciliter l'acquisition du matériel et la mise en œuvre de l'expérimentation. Nous remercions une fois de plus Dr Mamoudou TRAORE pour sa révision critique du contenu intellectuel de l'article ; de même que Pr Hassan Bismarck NACRO pour ses observations constructives.

Références

- [1] - D. BAMBARA, A. BILGO, J. SAWADOGO, Z. GNANKAMBARY and A. THIOMBIANO, "Evaluation de la diversité et de la qualité de pratiques d'agriculteurs face à la dégradation du milieu biophysique au Burkina Faso," *J. Appl. Biosci.*, 125 (2018) 12551 - 12565
- [2] - A. BAMOGO, F. Y. LANKOANDE, B. KOULIBALY, M. TRAORE, A. TRAORE and B. H. NACRO, "Pratiques paysannes de gestion de la fertilité des sols dégradés dans la zone cotonnière Ouest du Burkina Faso," *Sci. Tech. Sci. Nat. appliquées*, 41 (1) (2022) 133 - 148
- [3] - Z. BASSOLE, I. P. YANOGO and F. T. IDANI, "Caractérisation des sols ferrugineux tropicaux lessivés et des sols bruns eutrophes tropicaux pour l'utilisation agricole dans le bas-fond de Goundi-Djoro (Burkina Faso)," *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 17 (1) (2023) 247 - 266, doi: 10.4314/ijbcs.v17i1.18
- [4] - A. ROGER, S. PLUCHON, J.-C. YVIN, M. BENBRAHIM, L. KREMER and S. SINAJ, "Effets d'un nouvel engrais phosphaté sur la nutrition et le rendement du blé," *Rech. Agron. Suisse*, 7 (7 - 8) (2016) 316 - 321
- [5] - S. OUEDRAOGO, L. SANOU, S. N. D. BONI, B. OUATTARA and S. KIEMA, "Effet des fertilisants sur la production de biomasse et la qualité fourragère des graminées et des légumineuses," *Fourrages*, 256 (10) (2023) 17 - 43
- [6] - W. K. CHOUTI, W. ATCHICHOE, L. TOMETIN and M. DAOUDA, "Biodisponibilité et mobilité du phosphore des sédiments de la lagune de Porto-Novo," *J. Appl. Biosci.*, 114 (2017) 11276 - 11288, doi: 10.4314/jab.v11i4i1.1
- [7] - P. M. VITOUSEK, S. PORDER, B. Z. HOULTON and O. A. CHADWICK, "Terrestrial phosphorus limitation: Mechanisms, implications, and nitrogen-phosphorus interactions," *Ecol. Appl.*, 20 (1) (2010) 5 - 15, doi: 10.1890/08-0127.1
- [8] - C. GARDI, S. JEFFERY and A. SALTELLI, "An estimate of potential threats levels to soil biodiversity in EU," *Glob. Chang. Biol.*, 19 (2013) 1538 - 1548, doi: 10.1111/gcb.12159
- [9] - P. W. SAVADOGO, Y. ZI, A. K. SANOU, H. B. NACRO, F. LOMPO and M. P. SEDOGO, "Effets combinés du compost, du Paraquat et de la Lambdacyhalothrine sur la macrofaune du sol sous culture pluviale de sésame (*Sesamum indicum* L.) au Burkina Faso," *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 11 (6) (2017) 2658 - 2670, doi: 10.4314/ijbcs.v11i6.9
- [10] - D. RAKOTOMANGA, É. BLANCHART, R. BODOVOLOLONA, R. RANDRIAMANANTSOA, M. RAZAFINDRAKOTO and P. AUTFRAY, "Diversité de la macrofaune des sols cultivés sur les Hautes- Terres de Madagascar," *Biotechnol. Agron. Société Environ.*, 2 (4) (2016) 495 - 507
- [11] - M. HEDDE, F. VAN OORT, E. RENOUEF, J. THENARD and I. LAMY, "Dynamics of soil fauna after plantation of perennial energy crops on polluted soils," *Appl. Soil Ecol.*, 66 (2013) 29 - 39
- [12] - S. HOUOT *et al.*, "Compostage et valorisation par l'agriculture des déchets urbains," *Innov. Agron.*, 5 (2009) 69 - 81

- [13] - A. BEYE, M. TRAORE and H. B. NACRO, "Effet des pratiques agroécologiques co-construites sur la macrofaune du sol au Centre du Burkina Faso : cas de l'apport au poquet du compost à base de *Loudetia togoensis* (Pilg.) C. E. Hubbard dans la commune de Nagreongo.," *Sci. Nat. Appliquées*, 42 (1) (2023) 331 - 352
- [14] - K. COULIBALY, L. P. YAMEOGO, M. TRAORE, A. P. K. GOMGNIMBOU, B. BACYE and H. B. NACRO, "L'association maïs-niébé et la restitution organique sont-elles le moteur d'une gestion durable des sols à l'Ouest du Burkina Faso?," *Int. J. Adv. Res.*, 12 (09) (2024) 1301 - 1312, doi: 10.21474/IJAR01/19566
- [15] - A. BISPO and N. SCHNEBELEN, "Synthèse des outils, indicateurs, référentiels disponibles pour comprendre et piloter la biologie des sols," *Innov. Agron.*, 69 (2018) 91 - 100, doi: 10.15454/DCZJMP
- [16] - M. KVAKIĆ *et al.*, "Quantifying the Limitation to World Cereal Production Due To Soil Phosphorus Status," *Global Biogeochem. Cycles*, 32 (2018) 143 - 157, doi: 10.1002/2017GB005754
- [17] - L. ZERBO, "Caractérisation Des Sols Des Station de Recherche de l'INERA. INERA, Cellule de Teledetection et SIG.", (1995) 195 p.
- [18] - BUNASOLS, "État de connaissance de la fertilité des sols au Burkina Faso," *Doc. Tech.*, 1 (1985)
- [19] - R. H. BRAY and L. T. KURTZ, "Determination of Total Organic and Available Forms of Phosphorus in Soils.," *Soil Sci.*, 59 (1945) 39 - 45, <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-194501000-00006>
- [20] - J. M. ANDERSON and J. INGRAM, "Tropical Soil Biology and Fertility. A handbook of methods.," 2nd Ed. CAB Oxford UK, (1993) 94 - 106
- [21] - F. O. AYUKE, N. K. KARANJA, E. M. MUYA, B. K. MUSOMBI, J. MUNGATU and G. H. N. NYAMASYO, "Macrofauna diversity and abundance across different land use systems in Embu , Kenya," *Trop. Subtrop. Agroecosystems*, 11 (2009) 371 - 384
- [22] - A. BOUILLON and G. MATHOT, "Quel est ce termite Africain," *Thèse en Zool. l'Université Léopoldville, RDC*, (1965) 115 p.
- [23] - R. G. BLAND and H. E. JACQUES, "How to Know the Insects (3Th edn). Brown Company Publishers: United States," (1978)
- [24] - C. E. SHANNON, "A mathematical theory of communication," *Bell Syst. Tech. J.*, 27 (3) (1948) 379 - 423
- [25] - A. E. MAGURRAN, "Ecological Diversity and its Measurements," *Cambridge Univ. Press Gt.*, (1988)
- [26] - E. C. PIELOU, "The measurement of diversity in different types of biological collections," *J. Theor. Biol.*, 13 (1966) 131 - 144, doi: 10.1016/0022-5193(66)90013-0
- [27] - M. TRAORE, D. YONLI, S. GIRBA, A. SAWADOGO and J. NIKIEMA, "Etude de la dynamique de la macrofaune du sol en culture d'ognon sous usage de diverses pratiques agricoles," *Agron. Africaine*, 28 (2) (2016) 73 - 83
- [28] - J. BAZEMON, M. TRAORE, A. GARANE, S. BIRBA and E. HIEN, "Étude de la diversité de la macrofaune du sol sous culture de 03 morphotypes de gombo (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench, 1794) dans la Région du Centre du Burkina Faso," *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 16 (1) (2022) 251 - 262, doi: 10.4314/ijbcs.v16i1.21
- [29] - M. G. QUEEN, B. M. BAZIRA, L. RIVIER and G. MAHY, "Évaluation de l'abondance et de la diversité de la macrofaune du sol dans les espaces verts urbains à Lubumbashi (Haut Katanga, R.D. Congo)," *Trop. 2295-8010*, 42 (2024) 2496
- [30] - B. BAZONGO, C. CLERMONT-DAUPHIN, H. ZALLE, M. HIEN and B. YELEMOU, "Influence des modes de gestion de *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst. et *Guiera senegalensis* J. F. Gmel. sur la macrofaune du sol en zone nord soudanienne du Burkina Faso," *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 18 (6) (2024) 2314 - 2325, doi: DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v18i6.19>

- [31] - I. A. NDIAYE, E. TENDENG, E. H. S. SYLLA, A. BALDE, O. SEYDI and K. DIARRA, "Efficacité de l'espèce locale *Eudrilus eugenia* (Haplotaxida : Eudrilidae) dans le processus de conversion des déchets organiques en vermiculture au Sénégal," *Afrique Sci.*, 21 (2) (2022) 25 - 33
- [32] - S. KAMAU, E. BARRIOS, N. K. KARANJA, F. O. AYUKE and J. LEHMANN, "Soil macrofauna abundance under dominant tree species increases along a soil degradation gradient," *Soil Biol. Biochem.*, 112 (2017) 35 - 46, doi: 10.1016/j.soilbio.2017.04.016
- [33] - V. NSENGIMANA, K. BETB, F. FREDERIC, K. M. M. LOMBART, D. WOUTER and N. DONAT, "Use of Soil and Litter Ants (Hymenoptera : Formicidae) as Biological Indicators of Soil Quality Under Different Land Uses in Southern Rwanda," *Environ. Entomol.*, 47 (6) (2018) 1394 - 1401, doi: 10.1093/ee/nvy144
- [34] - H. DAAS, Y. ADJAMI, R. GHANEM, A. VINOLAS, M. L. OUAKID, and A. TAHRAOUI, "Inventaire des Coléoptères des subérais du Nord - Est Algérien," *Turkish J. For.*, 17 (2016) 11 - 17, doi: 10.18182/tjf.10489
- [35] - N. KOULL and M. T. HALILAT, "Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région de Ouargla (Algérie).," *Etude Gestion des Sols*, 23 (2016) 9 - 19, <https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/handle/123456789/22108>
- [36] - M. TRAORE, A. D. GADIAGA, A. GARANE, K. SOME and E. HIEN, "Effet de différents types de fertilisants sur la dynamique de la macrofaune du sol et les rendements en culture de tomate (*Solanum lycopersicum* L .) au Centre du Burkina Faso," *Int. J. Biol. Chem. Sciennces*, 16 (1) (2022) 134 - 144, <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i1.12>
- [37] - P. N. POMPEO *et al.*, "Fauna and its relation to edaphic attributes in Lages, Santa Catarina — Brazil," *Rev. Sci. Agrar.*, 17 (1) (2016) 42 - 51
- [38] - B. B. SOMDA *et al.*, "Effets de pratiques agroécologiques sur la macrofaune dans les lxisols ferriques en zone Soudano-Sahélienne du Burkina Faso," *Int. J. Innov. Appl. Stud.*, 36 (3) (2022) 734 - 744
- [39] - J. TSHALA UPITE, A. KITABALA MISONGA, E. KASONGO MUKONZO LENGE and L. NYEMBO KIMUNI, "Effets des composts ménagers sur les propriétés du sol et sur la productivité des cultures légumières : cas de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill)," *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 13 (7) (2019) 3411 - 3428, doi: 10.4314/ijbcs.v13i7.35
- [40] - F. SABA, S. J.-B. TAONDA, I. SERME, A. A. BANDAOGO, A. P. SOURWEMA and A. KABRE, "Effets de la microdose sur la production du niébé , du mil et du sorgho en fonction la toposéquence," *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 11 (5) (2017) 2082 - 2092, doi: DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i5.12>
- [41] - W. A. C. KAFANDO, G. ZOMBOUDRE and M. HIEN, "Productivité du sorgho et fertilité des sols dans un système agroforestier à base de *Diospyros mespiliformis* Hochst. ex A. Rich., *Balanites aegyptiaca* (L.) Del. et *Piliostigma reticulatum* (D.C.) Hochst. dans la zone Soudano-sahélienne du Burkina Faso.," *J. Appl. Biosci.*, 184 (2023) 19296 - 19310, doi: 10.35759/jabs.184.5
- [42] - J. OUEDRAOGO, "Impacts de la macrofaune et de modes de gestion de la fertilité des sols sur quelques propriétés du sol et le rendement des cultures en zone semi-aride.," *Thèse de doctorat en Science du Sol, Université Polytechnique de Bobo*, (2015) 138 p.
- [43] - C. PLASSARD *et al.*, "Améliorer la biodisponibilité du phosphore : comment valoriser les compétences des plantes et les mécanismes biologiques du sol ?," *Innov. Agron.*, 43 (2015) 115 - 138
- [44] - S. S. LIMA, A. M. AQUINO, R. M. SILVA, P. S. MATOS and M. G. PEREIRA, "Edaphic fauna and soil properties under different managements in areas impacted by natural disaster in a mountainous region," *Rev. Bras. Cienc. do Solo*, 45 (2021) 1 - 16, doi: 10.36783/18069657rbcs20200156