

Effet de deux espèces de *Crotalaria* sur la fertilité biologique des sols en zone sud-soudanienne du Burkina Faso

Pane Jeanne d'Arc COULIBALY^{1*},
Fanta BLAGNA² Boubacar TRAORE³,
Lassané OUEDRAOGO², Abdoulaziz SANDWIDI⁴,
Tionyéfé FAYAMA¹, Barkissa FOFANA², Badiori OUATTARA¹,
Boukari dit Ousmane DIALLO²

Résumé

L'activité biologique du sol conditionne le recyclage des nutriments et sa santé, processus renforcés par les légumineuses de couverture telles que *Crotalaria spp.* Des essais en split-plot conduits en 2023-2024 à Noumouso ont évalué les effets de *C. mucronata* et *C. retusa* combinées à des amendements organo- minéraux à 4 niveaux de traitements et quatre répétitions : T0 (témoin), matière organique (MO), Burkina phosphate (BP), et BP+MO. Les indicateurs biologiques du sol mesurés incluaient la biomasse microbienne (BM, par fumigation- incubation), les émissions journalières de CO₂ (test respirométrique), le rendement microbien (RM), le taux global de minéralisation (TGM) et le quotient respiratoire (qCO₂), calculés selon des protocoles standards. La dynamique du CO₂ a montré trois phases caractéristiques, avec des valeurs plus élevées en 2024. Les deux espèces ont présenté des effets similaires. Pour chacune d'elle, MO+BP a systématiquement montré les plus hautes valeurs de l'émission journalière, du TGM et de BM. Pour *C. mucronata*, la BM mesurée sous MO+BP était de 173,3 ± 0,6 mg 100 g⁻¹ en 2023 et 274,1 ± 1,6 mg 100 g⁻¹ en 2024. Pour *C. retusa*, sur les mêmes périodes, ces valeurs étaient respectivement de 181,1 ± 2,6 mg100 g⁻¹ et 279,0 ± 6,1 mg100 g⁻¹. L'effectivité de la restauration biologique s'est manifestée par une amélioration significative des variables mesurées de 2023 à 2024. Par conséquent, ces résultats stipulent que les jachères améliorées à base de *Crotalaria*, combinées aux amendements organo-minéraux, constituent une stratégie

¹ Centre National de Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Département Gestion des Ressources Naturelles et Systèmes de Production (GRN-SP), 04 B.P 8645 Ouagadougou 04, Burkina Faso, Tel : 00226 25.34-02-70.

² Centre National de Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Département Environnement et Forêt (DEF), 04 B.P 8645 Ouagadougou 04, Burkina Faso, Tel : 00226 25.34-02-70

³ Université Nazi Boni, Centre Universitaire de Banfora, Banfora, Burkina Faso

⁴ Université de Dori, Université Thomas Sankara, Ouagadougou, Burkina Faso

*Auteur Correspondant : COULIBALY Pane Jeanne d'Arc, panecoul@yahoo.fr, Tel: 71 53 06 07. ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-1581-9185>.

DOI : <https://doi.org/10.64707/revstsna.v45i01.2259>

agroécologique prometteuse pour la restauration durable des sols en zone sud-soudanienne.

Mots clés : Associations, *Crotalaria spp.*, amendements organo-minéraux, indicateurs biologiques, restauration durable des sols.

Effect of two *Crotalaria* species on soil biological fertility in the South Sudanian zone of Burkina Faso

Abstract

Soil biological activity governs nutrient cycling and soil health, and these processes are enhanced by cover legumes such as *Crotalaria* spp. Split-plot experiments conducted in 2023 and 2024 at Noumousso assessed the effects of *C. mucronata* and *C. retusa* combined with four organo-mineral amendment treatments, each replicated four times : T0 (control), organic matter (OM), Burkina phosphate rock (BPR), and BPR + OM. The soil biological indicators measured included microbial biomass (MB, using the fumigation–incubation method), daily CO₂ emissions (respirometric test), microbial yield (MY), overall mineralization rate (OMR), and metabolic quotient (qCO₂), calculated according to standard protocols. The dynamics of CO₂ evolution displayed three distinct phases, with higher values recorded in 2024. Both species produced similar effects. For each species, the OM + BPR treatment consistently resulted in the highest daily CO₂ evolution, OMR, and MB values. Under *C. mucronata*, microbial biomass in the OM + BPR treatment reached 173.3 ± 0.6 mg 100 g⁻¹ in 2023 and 274.1 ± 1.6 mg 100 g⁻¹ in 2024. Under *C. retusa*, the corresponding values were 181.1 ± 2.6 mg 100 g⁻¹ and 279.0 ± 6.1 mg 100 g⁻¹, respectively. The effectiveness of biological soil restoration was demonstrated by significant improvements in the measured variables between 2023 and 2024. These findings therefore indicate that improved fallows based on *Crotalaria* species, combined with organo-mineral amendments, represent a promising agroecological strategy for the sustainable restoration of soils in the South-Sudanian zone.

Keywords: Intercropping, *Crotalaria spp.*, organo-mineral amendments, biological indicators, sustainable soil restoration.

Introduction

La dégradation des ressources naturelles représente l'un des problèmes majeurs de l'humanité (IPBES, 2018). A l'instar de la plupart des zones du monde, la zone soudano-sahélienne d'Afrique subit cette dégradation, particulièrement celle des sols agricoles, qui émerge comme un risque mondial contribuant à compromettre la productivité des écosystèmes agricoles, pastoraux ou forestiers (Hao *et al.*, 2024).

En Afrique subsaharienne, l'appauvrissement en nutriments des sols

constitue une contrainte majeure à la productivité agricole. Au Burkina Faso, près de 65% des terres arables sont dégradées, entraînant des pertes annuelles significatives de nutriments (Kihara *et al.* 2023). Les sols ferrugineux tropicaux, dominants dans cette région se caractérisent par une faible teneur en matière organique ($< 1\%$), en azote ($< 0,6\%$), en phosphore total (17 à 30 mg kg⁻¹), en potassium total (14,8 à 283 mg kg⁻¹), ainsi qu'une faible capacité d'échange cationique (CEC), limitant leur fertilité intrinsèque (Sanon *et al.*, 2021). En effet, la combinaison de la croissance démographique rapide, estimée à près de 3% par an entre 2006 et 2019 (Tully *et al.*, 2015) et des pratiques culturales inadaptées accentue cette pression sur les terres, réduisant les périodes de jachères nécessaires à la régénération des sols (Lacombe *et al.*, 2002).

Selon Dugue *et al.* (2024), l'utilisation limitée d'engrais minéraux (15 kg ha⁻¹ contre 135 kg ha⁻¹ en moyenne mondiale), et l'engrais souvent mal associé aux amendements organiques, accélère l'épuisement du sol et limite les restaurations des fonctions biologiques et chimiques du sol (Luo *et al.*, 2024). En revanche, des pratiques locales reconnues comme l'application du zaï et l'association culturale montrent des gains de productivité importants sur les sols dégradés (Kaboré *et al.*, 2006). Parmi les solutions durables, les légumineuses (notamment les espèces du genre *Crotalaria*) représentent une stratégie intéressante (fixent l'azote atmosphérique par la symbiose rhizobienne, réduisent la dépendance aux engrais chimiques et contribuent à la régénération des sols) (Akchaya *et al.*, 2025 ; Arone *et al.*, 2024). Par exemple, l'association de la matière organique (MO) à 5 t ha⁻¹ et du Burkina Phosphate (BP) à 50 kg ha⁻¹ avec des légumineuses de genre *Crotalaria* dans des traitements augmentent la biomasse de 47% et doublent l'activité microbienne (Coulibaly *et al.*, 2025). Cependant, la dynamique temporelle de l'activité biologique du sol sous couverture de *Crotalaria*, en particulier dans la zone sud soudanienne notamment sur le site de Noumouso, reste peu documentée.

Par conséquent, cette étude évalue les effets de *C. mucronata* et *C. retusa* sur les paramètres des activités biologiques du sol tels que le carbone de la biomasse microbienne, l'émission journalière du dioxyde de carbone (CO₂) et le rendement microbien, pour proposer des stratégies de restauration sur le site de Noumouso.

I. Méthodologie/Matériel et méthodes

I.1. Description du site d'étude

Le site d'étude est situé à Noumousso dans la province du Houet (Coulibaly *et al.*, 2025). Il appartient à un climat soudano-sahélien (sud-soudanien), avec des précipitations annuelles comprises entre 900 et 1 100 mm. Les sols sont des ferrugineux tropicaux, peu ou modérément lessivés, présentant des déficits en azote et en phosphore (Coulibaly *et al.*, 2025). L'expérimentation a été conduite sur deux années (2023–2024).

I.2. Matériel végétal utilisé

Le matériel végétal était constitué de semences de deux espèces de *Crotalaria* : *Crotalaria retusa* (L.) et *Crotalaria mucronata* (Desv.) décrites par Ouédraogo *et al.*, (2024). Ces espèces ont été collectées dans les localités de Noumousso et Arbollé qui étaient les sites d'étude du projet N°0087 FONRID/AAP8/NCP/PC/202 intitulé : Utilisation des Papilionaceae herbacées dans la restauration de la fertilité des sols dégradés.

I.3. Fertilisants utilisés

L'étude a mobilisé deux types de fertilisants : (i) la matière organique (MO) issue de résidus de cultures décomposés et de fumier animal et (ii) le Burkina Phosphate (BP). Le BP est une roche phosphatée naturelle et abondante, présente à l'Est du Burkina Faso (Kodjari, Parc d'Arly, Parc national « W »). Il constitue une source riche en phosphore mais peu soluble à court terme. Des recherches à l'INERA montrent une solubilité accrue du BP en présence de la matière organique (Traoré *et al.*, 2023). Ces deux fertilisants ont été retenus en raison de leur disponibilité au Burkina Faso et de leur coût accessible aux producteurs (Sanon *et al.*, 2021). Les compositions chimiques de la MO et du BP avant l'essai sont présentées dans le Tableau I.

I.4. Dispositif expérimental et traitements appliqués

L'étude a été conduite selon un dispositif en split-plot avec deux facteurs. Le facteur principal était constitué de deux espèces de *Crotalaria* (*C. mucronata* et *C. retusa*), tandis que le facteur secondaire était la fertilisation avec quatre niveaux de traitements (T0, MO, BP, MO+BP).

Tableau I : Composition chimique du Burkina Phosphate et de la matière organique

Designation	BP (%)	MO (g kg ⁻¹)
Phosphore total (Pt)	12.35	1.95
Pentoxide de Phosphore (P ₂ O ₅)	28.3	
P soluble dans l'eau	0.19	
P soluble dans les citrates	30	
Oxide de fer (FeO)	1.7	
Oxyde de calcium (CaO)	38.3	
Dioxyde de silicium (SiO ₂)	23.33	
Oxyde d'aluminium (Al ₂ O ₃)	2.35	
Oxide de potassium (K ₂ O)		2.35
Azote (N)		5.99
Carbone (C)		4.30

Source : BP : Bikienga (2011); MO : étude actuelle.

Le dispositif était composé de 2 parcelles principales (correspondant aux 2 espèces) et chaque parcelle mesurait 38 m x 16 m (608 m²). Les parcelles secondaires étaient constituées de 56 micro-parcelles élémentaires de 5 m x 2 m (10 m²) chacune. La matière organique a été appliquée à 5 t ha⁻¹ et le Burkina Phosphate à 500 kg ha⁻¹.

I.5. Pratiques culturales

Une scarification en humide a été réalisée à la houe manga sur l'ensemble des parcelles en 2023 et 2024 afin de faciliter la pénétration de l'outil dans le sol et d'assurer une meilleure fragmentation des agrégats. Les parcelles ont été manuellement nivelées avant délimitation sur une profondeur d'environ 5-10 cm correspondant à la zone d'enracinement superficiel et à la couche où sont incorporés les amendements. Après l'installation des parcelles, les amendements organo-minéraux ont été appliqués à raison de 5 t ha⁻¹ de MO et 500 kg ha⁻¹ de BP, suivis des semis le même jour. Trois cents graines par espèce de *Crotalaria* ont été semées à la volée uniformément dans les micro-parcelles correspondantes et incorporées superficiellement sur les 5-10 premiers centimètres du sol. Aucun traitement phytosanitaire n'a été appliqué pendant l'étude.

A la fin de la première année de culture, la biomasse aérienne produite a été fauchée, pesée, puis incorporée au sol dans les parcelles

correspondantes, par enfouissement. La quantification de la teneur en carbone en deuxième année a pris en compte cette biomasse incorporée issue de la première année, considérée comme un apport organique résiduel contribuant au stock de carbone du sol.

I.6. Prélèvements et analyses de sols

Avant la mise en place de l'essai en 2023, cinq échantillons composites de sol ont été prélevés aléatoirement sur l'ensemble de la parcelle expérimentale, dans l'horizon 0-30 cm, afin de caractériser l'état initial du sol. A la fin des campagnes agricoles de 2023 et de 2024, les prélèvements ont été réalisés dans chacune des 64 microparcelles correspondant aux différents traitements. Dans chaque microparcelle, cinq prélèvements élémentaires ont été effectués dans l'horizon 0-30 cm, puis homogénéisés pour constituer un échantillon composite. Chaque traitement étant répété quatre fois, quatre échantillons composites ont ainsi été obtenus par traitement et par campagne. Au total, 128 échantillons composites ont été collectés dans les microparcelles au cours des deux campagnes, soit 64 échantillons par année. En incluant les cinq échantillons prélevés pour la caractérisation initiale, le nombre total d'échantillons analysés s'élevait à 133. Après leur prélèvement, les échantillons ont été séchés à l'air libre, tamisés à 2 mm, puis analysés au Laboratoire Sol-Eau-Plante de Farako-Bâ, à Bobo-Dioulasso.

I.7. Evaluation de la biomasse microbienne

La biomasse microbienne (BM) des sols a été déterminée par la méthode de fumigation-incubation (Jenkinson et Powlson, 1976) et calculée selon la formule suivante :

$$BM (mg\ 100\ g - 1) = \frac{F(0-7)+F(7-14)}{Kc} (1)$$

où Kc est le coefficient de proportionnalité (Kc = 0,41 selon Anderson et Domsch, 2010) ; F(0-7) et F(7-14) représentent le dioxyde de carbone (CO₂) libéré entre 0-7 et 7-14 jours d'incubation, respectivement.

I.8. Mesure de l'émission journalière du dioxyde de carbone (CO₂) des sols

La production journalière de dioxyde de carbone (CO₂) émise par les sols a été mesurée par respirométrie selon la méthode de Dommergues (1960). Les émissions de CO₂ ont été dosés quotidiennement pendant les 7 premiers jours, puis tous les 2 jours du 9^{ème} au 21^{ème} jour (pour un

total de 14 prélèvements). L'intensité de la respiration du sol ($\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ soil h}^{-1}$) a été calculée à partir des concentrations selon la formule:

$$\text{CO}_2(\text{mg}) = (V_{\text{blanc}} - V_{\text{échantillon}}) \times 2,2 \quad (2)$$

où : V_{blanc} = volume de HCl N/10 (en mL) utilisé pour les bocaux témoins ; $V_{\text{échantillon}}$ = volume de HCl (en mL) utilisé pour les bocaux contenant l'échantillon de sol ; 2,2 g de CO_2 correspondent à 1 mL de HCl N/10 (Somé *et al.*, 2007).

I.9. Calcul du rendement microbien (RM), du taux global de minéralisation (TGM) et du quotient respiratoire (qCO_2)

Les données collectées ont également servi au calcul du rendement microbien (RM), du taux global de minéralisation (TGM) et du quotient respiratoire (qCO_2).

- Le RM correspond au rapport entre la biomasse microbienne et le C organique total (COT):

$$\text{RM (\%)} = \frac{\text{BM}}{\text{COT}} \quad (3)$$

- Le qCO_2 est la quantité de carbone minéralisée par gramme de BM par jour. Il a été déterminé par la formule suivante (Fotio *et al.*, 2013) :

$$\text{qCO}_2 \text{ (mg/g C_CO}_2\text{/Jour CB)} = \frac{\text{C_CO}_2(14)}{14 \times \text{MB}} \quad (4)$$

où qCO_2 est le quotient respiratoire ; C- CO_2 (14) est le carbone minéralisé pendant 21 jours d'incubation et dosé en 14 jours ; BM est le carbone de la biomasse microbienne exprimé en mg 100 g^{-1} de sol ; 14 est le nombre de jours de dosage.

- Le TGM est le rapport entre le C- CO_2 cumulé libéré et la teneur en carbone total du traitement considéré. Il exprime le taux de minéralisation de la matière organique (Somé *et al.*, 2007) et permet d'estimer l'évolution temporelle des substrats organiques. Il est calculé selon la formule :

$$\text{TGM} = \frac{\text{C-CO}_2}{\text{COT}} \quad (5)$$

Où C- CO_2 est la quantité de dioxyde de carbone libéré, et COT le carbone organique total du sol.

I.10. Analyse statistique des données

Les données ont d'abord été saisies et organisées à l'aide du tableur Microsoft Excel 2016, également utilisé pour la réalisation des graphiques. Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel GenStat, version 12.1. Pour chaque paramètre mesuré, les effets des traitements ont été évalués au moyen d'une analyse de variance (ANOVA). Lorsque l'ANOVA révélait un effet significatif, les moyennes étaient comparées à l'aide du test de Tukey HSD, au seuil de probabilité de 5%.

II. Résultats

II.1. Effet des *Crotalaria* sur l'émission journalière de CO₂ en 2023 et 2024

Les émissions journalières de CO₂ issues de la minéralisation des résidus de *C. retusa* et de *C. mucronata* ont varié de 15 à 26 mg CO₂ 100 g⁻¹ de sol en 2023 et de 18 à 34 mg CO₂ 100 g⁻¹ de sol en 2024 (Fig. 1A, 1B ; Fig. 2A, 2B). Les valeurs maximales ont été enregistrées au premier jour d'incubation (J1), puis ont diminué progressivement jusqu'au quatorzième jour (J14), quelle que soit l'espèce considérée.

En 2023, les émissions maximales observées sous le traitement MO+BP étaient d'environ 25 à 26 mg CO₂ 100 g⁻¹ de sol, contre 22 à 24 mg CO₂ 100 g⁻¹ de sol sous MO, 20 à 22 mg CO₂ 100 g⁻¹ de sol sous BP et 18 à 20 mg CO₂ 100 g⁻¹ de sol pour le témoin (T0). Une tendance similaire a été observée en 2024, avec des émissions atteignant 32 à 34 mg CO₂ 100 g⁻¹ de sol sous MO+BP, 30 à 32 mg CO₂ 100 g⁻¹ de sol sous MO, tandis que les traitements BP et T0 présentaient les valeurs les plus faibles.

L'analyse statistique a mis en évidence un effet hautement significatif des traitements sur l'émission journalière de CO₂ en 2023 comme en 2024 ($p < 0,001$). Quelle que soit l'année d'étude, la combinaison matière organique + Burkina phosphate (MO+BP) a produit les émissions les plus élevées, suivie de la matière organique seule (MO), tandis que les traitements BP et T0 ont enregistré les plus faibles émissions.

L'évolution temporelle des émissions de CO₂ met en évidence trois phases. La première correspond à une respiration microbienne élevée durant les premiers jours d'incubation (J1-J2). La deuxième est

caractérisée par une diminution régulière des émissions jusqu'au septième jour (J7). Enfin, une légère reprise des émissions est observée entre J7 et J8, avant une nouvelle diminution jusqu'à J14. Aucune différence significative n'a été observée en 2023 ($p > 0,05$). Les deux espèces ont présenté des niveaux de respiration comparable tout au long de la période d'incubation.

En revanche, en 2024, une différence significative ($p < 0,05$) a été observée entre le premier et le cinquième jour d'incubation. Durant cette période, *C. retusa* a produit des émissions de CO₂ plus élevées que *C. mucronata*. Sous le traitement MO+BP, les émissions de *C. retusa* variaient de 32 à 34 mg CO₂ 100 g⁻¹ de sol, alors que celles de *C. mucronata* étaient proches de 32 mg CO₂ 100 g⁻¹ de sol.

Le traitement T_initial, correspondant au sol prélevé avant la mise en place de l'essai en 2023, présentait des émissions de CO₂ inférieures à celles des sols ayant reçu les différents amendements.

II.2. Effet des Crotalaria et des traitements sur la biomasse microbienne du sol

L'analyse statistique de la biomasse microbienne du sol (BM) a révélé des différences très hautement significatives ($p < 0,001$) entre les traitements et entre les espèces.

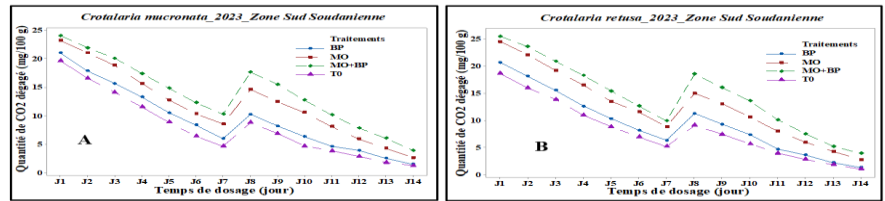


Figure 1 : Évolution journalière du CO₂ dégagé par *C. mucronata* (A) et *C. retusa* (B) 2023

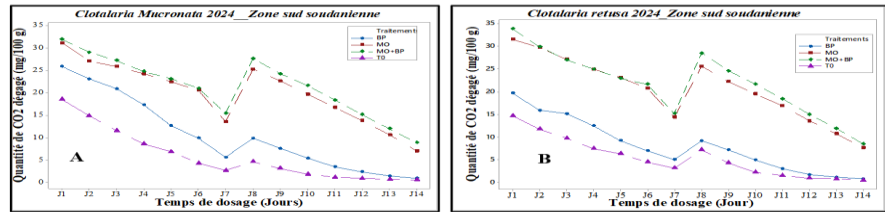


Figure 2 : Évolution journalière du CO₂ dégagé par *C. mucronata* (A) et *C. retusa* (B) 2024

Légende : J : jour d'incubation ; T0 : témoin ; MO : matière organique ; BP : Burkina phosphate.

Les valeurs les plus élevées en 2023 ont été observées sous *C. retusa*, alors que celles les plus élevées en 2024 ont été enregistrées sous *C. mucronata*. Pour *C. retusa*, les valeurs variaient de 105,9 à 181,1 mg 100 g⁻¹ en 2023 et de 84,8 à 279 mg 100 g⁻¹ en 2024 (Tableau II), tandis

que pour *C. mucronata*, les valeurs variaient de 105,1 à 173,3 mg 100 g⁻¹ en 2023 et de 88,2 à 274,1mg 100 g⁻¹ en 2024 (Tableau II).

Au regard du sol de départ (T_initial), sa BM était de 91,8 1mg 100 g⁻¹ < aux BM estimées en 2023 et 2024 au niveau de BP, MO et MO+BP (Tableau II).

II.3. Effet des Crotalaria et des traitements sur le taux global de minéralisation (TGM) et le rendement microbien (RM) du sol

Le Tableau III montre des effets très hautement significatifs ($p < 0,001$) des traitements sur TGM pour *C. mucronata*, au cours des deux années (2023–2024). Pour *C. retusa*, l’ANOVA a indiqué un effet significatif ($p < 0,05$) des traitements sur le TGM en 2023 et un effet très hautement significatif ($p < 0,001$) en 2024.

Tableau II : Variation de la biomasse microbienne (BM) du sol selon les traitements et les espèces.

Espèces	Traitements	BM 2023 (mg 100 g ⁻¹)	BM 2024 (mg 100 g ⁻¹)
<i>Crotalaria mucronata</i>	BP	121,0 ± 1,3 ^c	151,6 ± 8,5 ^c
	MO	153,4 ± 1,6 ^b	259,0± 1,9 ^b
	MO+BP	173,3 ± 0,6 ^a	274,1 ± 1,6 ^a
	T0	105,1 ± 1,3 ^d	88,2 ± 1,2 ^d
	Pr. Traitements	***	***
	Moyenne/Année	138,2 ± 6,0 ^b	193,2 ± 3,3 ^a
	Pr. T_initial		91,8
<i>Crotalaria retusa</i>	BP	123,4 ± 1,9 ^c	119,2 ± 6,5 ^c
	MO	160,4 ± 4,1 ^b	266,1 ± 3,1 ^b
	MO+BP	181,1 ± 2,6 ^a	279,0 ± 6,1 ^a
	T0	105,9 ± 1,2 ^d	84,8 ± 2,8 ^d
	Pr. Traitements	***	***
	Moyenne/Année	138,2 ± 6,0 ^b	193,2 ± 3,3 ^a
	Pr. T_initial		91,8

Légende : *** Hautement significatif ($p < 0,001$) ; T_initial : le sol de départ, T0 : témoin ; MO : matière organique ; BP : Burkina phosphate, Pr : Probabilité ; les valeurs ayant les mêmes lettres dans une colonne ne sont pas significativement différentes.

Similairement aux autres paramètres, sous *C. mucronata*, le traitement MO+BP a donné le TGM le plus élevé (0,7% en 2023 et 2024), suivi par MO (0,6% en 2023 et 2024), tandis que T0 et BP étaient les plus faibles (0,5% en 2023 et 0,3% en 2024 pour T0 ; 0,6% pour BP en 2023 et 2024), reflétant une activité biologique stimulée par les apports organo-minéraux. Sous *C. retusa*, les TGM les plus élevés ont été également observés avec les traitements MO+BP (0,8%) et MO (0.7%)

en 2023 et 2024. Pour RM, aucun effet significatif ($p > 0,05$) des traitements n’a été observé sous les deux espèces de *Crotalaria* en 2023 (Tableau III). Par contre, en 2024, leurs effets ont été très hautement significatifs ($p < 0,001$). Sous *C. mucronata*, la valeur moyenne du RM était de 49, 8%, tandis que sous *C. retusa*, elle atteignait 52,9%. Pour le sol de départ (T_initial), le RM était à 58,1% et TGM à 0,35% (Tableau III).

Tableau III : Variation du taux global de minéralisation (TGM) et du rendement microbien du sol (RM) en fonction des espèces de *Crotalaria* et de l’amendement organo-minéral

Espèce	Traitements	TGM (%)		RM (%)	
		2023	2024	2023	2024
<i>Crotalaria mucronata</i>	BP	0,4 ± 0,02 ^d	0,4 ± 0,03 ^c	48,2 ± 0,12	50,9 ± 0,13 ^b
	MO	0,6 ± 0,07 ^b	0,6 ± 0,04 ^b	47,6 ± 0,14	48,0 ± 0,16 ^c
	MO+BP	0,7 ± 0,08 ^a	0,7 ± 0,03 ^a	47,1 ± 0,07	47,8 ± 0,16 ^c
	T0	0,5 ± 0,01 ^c	0,3 ± 0,02 ^d	48,5 ± 0,12	52, 5 ± 0,14 ^a
	Pr Traitements (T)	***	***	NS	***
	Moyenne/Année (A)	0,5 ± 0,05	0,5 ± 0,03	47,8 ± 0,12	49, 8 ± 0,15
	Pr	NS		NS	
	T_initial	0,35		58,1	
<i>Crotalaria retusa</i>	BP	0, 6 ± 0,01 ^c	0,4 ± 0,03 ^c	48,3 ± 0,57	51,4 ± 0,20 ^b
	MO	0,7 ± 0,04 ^b	0,7 ± 0,04 ^b	47,7 ± 1,04	48,0 ± 0,07 ^c
	MO+BP	0,8 ± 0,1 ^a	0,8 ± 0,04 ^a	47,3 ± 0,71	47,8 ± 0,21 ^c
	T0	0,6 ± 0,05 ^c	0,3 ± 0,02 ^d	48,5 ± 0,49	52,9 ± 0,43 ^a
	Pr traitements	*	***	NS	***
	Moyenne/Année (A)	0, 7 ± 0,05 ^a	0,5 ± 0,04 ^b	47,9 ± 0,70	50,0 ± 0,23
	Pr	***		NS	
	T_initial	0,35		58,1	

Légende : *** Hautement significatif ($p < 0,001$) ; * : significatif ($p < 0,05$) ; NS ($p > 0,05$) : non significatif ; T0 : témoin ; MO : matière organique ; BP : Burkina phosphate ; Pr : Probabilité ; les valeurs ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes.

II.4. Effet des espèces de *Crotalaria* et des traitements sur le quotient de respiration (qCO2) et la teneur en carbone total (COT) sur le site d’étude

L’ANOVA a montré que les traitements n’ont pas significativement influencé le qCO₂ sous *C. mucronata* ($p > 0,05$), tandis que sous *C. retusa* les traitements ont eu un effet très hautement significatif en 2024 ($p < 0,001$) (Tableau III). Pour la teneur en carbone organique totale

(COT), des effets très hautement significatifs des traitements ont été observés sous *C. retusa* en 2023 ($p < 0,001$) et sous les deux espèces en 2024 ($p < 0,001$). Les traitements MO+BP et MO ont donné les teneurs les plus élevées, avec des valeurs comprises respectivement entre $504,5 \pm 65,1$ et $944,2 \pm 57,0$ mg 100 g⁻¹ de sol, et entre $527,9 \pm 31,6$ et $867,8 \pm 43,7$ mg 100 g⁻¹ de sol. Les caractéristiques initiales (T_initial) ont montré que qCO₂ à 0,72 mg 100 g⁻¹ jour⁻¹ était inférieur aux valeurs de qCO₂ des traitements de 2023 et 2024 (> 1 mg g⁻¹ jour⁻¹). De même, la teneur en COT dans le sol initial à 450 mg 100 g⁻¹ était inférieure à celle de 2023 et 2024 (avec des valeurs comprises entre 462,6 et 796 mg 100 g⁻¹).

Tableau IV : Variation du quotient de respiration et de la teneur en carbone en fonction des espèces de *Crotalaria* et de l’engrais organo-minéral.

Espèce	Traitements	qCO ₂ (mg g ⁻¹ jour ⁻¹)		COT (mg 100 g ⁻¹)	
		2023	2024	2023	2024
<i>Crotalaria mucronata</i>	BP	1,07 ± 0,005	0,96 ± 0,005	615,9 ± 33,3	753,7 ± 21,3 ^c
	MO	1,10 ± 0,007	1,08 ± 0,007	559,7 ± 66,0	867,8 ± 43,7 ^b
	MO+BP	1,12 ± 0,003	1,1 ± 0,007	589,7 ± 71,5	944,2 ± 57,0 ^a
	T0	1,06 ± 0,005	0,91 ± 0,005	458,7 ± 8,37	618,3 ± 48,0 ^d
	Pr_traitements	NS	NS	NS	***
	Moyenne/Année	1,09 ± 0,005	1,01 ± 0,006	556,0 ± 44,8 ^b	796,0 ± 42,5 ^a
	Pr	NS		***	
	T_initial	0,72		450	
<i>Crotalaria retusa</i>	BP	1,07 ± 0,02	0,95 ± 0,007 ^{ab}	460,0 ± 11,3 ^c	599,8 ± 17,1 ^c
	MO	1,10 ± 0,04	1,08 ± 0,003 ^a	527,9 ± 31,6 ^a	761,6 ± 29,1 ^b
	MO+BP	1,12 ± 0,03	1,09 ± 0,009 ^a	504,5 ± 65,1 ^b	853,6 ± 43,9 ^a
	T0	1,06 ± 0,02	0,89 ± 0,05 ^b	357,9 ± 26,4 ^d	481,7 ± 34,2 ^d
	Pr_traitements	NS	***	***	***
	Moyenne/Année	1,09 ± 0,0015	1,1 ± 0,009	462,6 ± 33,6 ^b	674,2 ± 31,1 ^a
	Pr	NS		***	
	T_initial	0,72		450	

Légende : *** Hautement significatif ($p < 0,001$ et $p \leq 0,001$) ; NS ($p > 0,05$) : non significatif ; T0 : témoin ; MO : matière organique ; BP : Burkina phosphate ; Pr : Probabilité, T_initial : Sol initial, COT : Carbone organique total qCO₂ : Quotient de respiration ; les valeurs ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes.

III. Discussion

III.1. Effet des espèces de *Crotalaria* et des traitements sur l’émission journalière du CO₂

C. mucronata et *C. retusa* étaient les deux espèces de *Crotalaria* utilisées en 2023 et 2024 pour améliorer la fertilité des sols à Noumouso. Les traitements incluait la matière organique (MO)

seule et sa combinaison avec le Burkina phosphate (MO+BP). L'expérience de 2023, menée sous des conditions pluviométriques annuelles normales (environ 1100 mm), a produit une biomasse élevée qui a été incorporée au sol. L'incorporation de cette biomasse végétale des *Crotalaria* a significativement amélioré ($p < 0,001$) la teneur en matière organique du sol et la biomasse végétale en 2024, particulièrement avec les traitements MO+BP et MO (Coulibaly *et al.*, 2025). Il faut aussi souligner que les campagnes agricoles de 2023 et 2024 ont connu des pluviométries normales à excédentaire dans la région (ANAM, 2023 et 2024). Cette bonne pluviométrie a contribué à la décomposition de la biomasse végétale et la minéralisation de la MO dans le sol. Les émissions significatives de CO₂ observés avec les traitements MO+BP et MO pourraient donc s'expliquer par un ensemble de conditions réunis comme l'apport en MO, la décomposition de la biomasse végétale qui a été enfouie, la bonne pluviométrie et une activité microbienne intense qui ont contribué à la minéralisation de la matière organique dans le sol.

En outre, l'émission journalière de CO₂ suivait le schéma classique dans la décomposition des végétaux : (1) une émission élevée au début ; (2) une baisse régulière jusqu'au 7^{ème} jour et (3) une brève augmentation entre le 7^{ème} et 8^{ème} jour, suivie d'une diminution finale jusqu'à un minimum au 14^{ème} jour. Ce schéma correspond à la dynamique typique de décomposition microbienne de la biomasse végétale de *C. retusa* et *C. mucronata*, où les composés carbonés labiles entraînent des taux de minéralisation initiaux élevés. Ce résultat concorde avec celui de Marhan *et al.* (2007), qui ont rapporté que les taux de production de CO₂ étaient généralement les plus élevés dans tous les traitements pendant les deux premières semaines d'incubation. Dans cette étude, les émissions précoces élevées reflètent une colonisation microbienne rapide des sucres et glucides facilement dégradables dans la biomasse fraîche ; la diminution régulière jusqu'au 7^{ème} jour signale l'épuisement de ces fractions labiles, avec un passage à une dégradation plus lente des composants récalcitrants comme la cellulose. L'augmentation brève entre les jours 7-8 peut résulter d'une adaptation microbienne ou d'une libération de carbone lié, suivie d'une stabilisation finale à mesure que les substrats s'épuisent au jour 14.

Les traitements MO et MO+BP ont généré des émissions de CO₂ les plus élevées en raison de la biomasse incorporée en 2023 alimentant la croissance microbienne, tandis que le BP seul et le témoin (T0) limitaient l'activité en raison d'une faible disponibilité en carbone. Le

Burkina phosphate a probablement amélioré la décomposition indirectement en optimisant l'équilibre nutritionnel, stimulant l'activité phosphatase et le renouvellement du carbone dans les sols pauvres en P de ce site de Noumouso. Les différences significatives entre les traitements soulignent comment les amendements organo-minéraux accélèrent la minéralisation par rapport au P minéral ou au sol non amendé. Ces émissions de CO₂ correspondent aux augmentations de biomasse de 2023 à Noumouso (64,8% pour MO, 73,1% pour MO+BP et 38,6% pour BP par rapport à T0 (Coulibaly *et al.*, 2025).

Cette étude révèle aussi que l'émission journalière de CO₂ dans *C. retusa* en 2023 et 2024 est supérieur à celui de *C. mucronata*, ce qui peut refléter des performances écotypiques spécifiques à cette espèce. En effet, ce résultat a été expliqué par la qualité inhérente de la biomasse (ratios C/N, teneur en lignine), qui pourrait influencer le taux de décomposition de la matière organique issue de *C. retusa* (Ramirez-May *et al.*, 2026).

L'étude a montré également une faible émission de CO₂ dans le sol prélevé avant l'implantation de l'essai en 2023. Cette émission reflète la respiration naturelle du sol dans des conditions non amendées et a servi de référence pour comparer les effets des traitements ultérieurs. Les résultats ont montré des valeurs de CO₂ dégagé plus faibles par rapport à celles des traitements appliqués en 2023, indiquant une émission minimale de CO₂ avant l'essai. Le flux de CO₂ montrant ensuite une baisse progressive du jour 1 (J1) au jour 7 (J7), est probablement due à l'épuisement de la matière organique facilement respirable, ou à une activité microbienne réduite liée au séchage du sol ou à une stabilisation de la respiration post-perturbation. De J7 à J8, les valeurs augmentent, possiblement en raison d'un rebond microbien. Enfin, ces valeurs ont chuté à nouveau de J8 au jour 14 (J14), suggérant un retour à la base alors que les traitements s'intègrent ou que les ressources s'épuisent. Ces résultats sont similaires à ceux de De Klein *et al.* (2006) et FAO (2017) qui lient les faibles émissions de CO₂ dans les sols non amendés à une respiration basale minimale due à une faible teneur en matière organique (MO) et nutriments disponibles.

III.2. Effet des *Crotalaria* et des traitements sur la biomasse microbienne du sol, le rendement microbien, le taux global de minéralisation et le quotient respiratoire

L'étude a révélé des effets significatifs des années, de l'amendement organo-minéral et des espèces de *Crotalaria* sur la biomasse

microbienne (BM) du sol et le carbone organique total (COT). Les effets étaient non significatifs pour le rendement microbien (RM), le taux global de minéralisation (TGM) et le quotient respiratoire (qCO_2). Ces résultats mettent en évidence la manière dont les dynamiques temporelles et le type d'amendement dominent les réponses microbiennes, plus que la variabilité des espèces. Ceci est lié aux apports organiques sur les deux années qui ont pu accumuler progressivement la BM et le COT par stabilisation des résidus. Les traitements MO+BP et MO ont systématiquement maximisé la production de tous les paramètres et pour toutes les espèces et années. C'est ce qui reflètent les pics journaliers de CO_2 , et qui est en accord avec les résultats de Coulibaly *et al.* (2025). Dans les sols acides argilo-sableux de Noumouso (faibles teneurs en C, N, P, K, CEC), les espèces de *Crotalaria* combinées à l'amendement organo-minéral ont induit des fortes productions de biomasse qui ont directement amélioré la teneur en BM, en RM (qui s'est stabilisé à 48-50%) et le TGM. Ces résultats confirment la synergie légumineuse-organo-minérale pour la minéralisation du C/N labile, un anabolisme efficace (qCO_2 faible, autour de 1) et la restauration du sol de ce site de Noumouso en Phosphore (P) (Feng *et al.*, 2021).

Les indicateurs montrent que le sol est biologiquement sain car le rendement microbien (RM) est largement supérieur à 2%, le quotient respiratoire (qCO_2) est inférieur à $20 \text{ mg g}^{-1} \text{ jour}^{-1}$, et le taux global de minéralisation (TGM) est inférieur à 2%, tous significativement supérieurs aux valeurs indicatives des sols dégradés. Cela confirme que la restauration des sols à base des espèces de *Crotalaria* est une réalité. Ces résultats sont en accord avec ceux de Hori *et al.* (2011) qui rapportent que les feuilles et tiges de *Crotalaria* (similaires au traitement MO) ont rapidement boosté la biomasse microbienne à $1700 \text{ mg C kg}^{-1}$ de sol en seulement 1 jour et augmenté la respiration plus que le compost à base de fumier. Ils ont classé les apports organiques en types selon qu'ils amélioreraient la biomasse, la respiration ou les deux. Ainsi, *Crotalaria* associé à MO+BP favorise une stabilisation à long terme du carbone organique du sol.

Conclusion

Cette étude avait pour objectif d'évaluer les effets de *C. mucronata* et *C. retusa* sur la fertilité biologique des sols afin de proposer des

stratégies de restauration des sols dégradés au Burkina Faso. Elle a démontré que *C. retusa* et *C. mucronata*, particulièrement en combinaison avec des amendements à base de matière organique (MO) et du Burkina phosphate (BP), ont amélioré significativement l'activité biologique du sol. Les émissions journalières de CO₂ ont révélé trois phases distinctes de décomposition, avec des émissions maximales sous MO+BP (jusqu'à 34 mg 100 g⁻¹ de sol). Les valeurs de 2024 sont supérieures à celles de 2023 grâce à l'accumulation de la biomasse végétale enfouie des deux espèces dans le sol et à l'amorçage microbien. Les indicateurs d'un sol sain confirment la récupération de ces sols par le fait que le rendement microbien s'est stabilisé à 48-50% (> 2%), qCO₂ optimal (autour de 1, < 20 mg g⁻¹ jour⁻¹), et TGM inférieur à 2%. Les fortes augmentations de biomasse végétale à Noumouso (73,1% avec MO+PB) augmentent directement les émissions de C-CO₂, la biomasse microbienne (BM) et le carbone organique total (COT) en laboratoire. Cela prouve l'efficacité de la combinaison *Crotalaria* + amendements organo-minéraux. Ces résultats confirment un sol biologiquement sain et valident les jachères améliorées à base de *Crotalaria* comme stratégie agroécologique pour une restauration durable des sols, recommandée aux agriculteurs.

Remerciements

Tous les auteurs remercient le Fonds National de la Recherche et de l'Innovation pour le Développement (FONRID) pour le financement des activités, ainsi que les Associations paysannes WA-FAABA et YANTA, et l'INERA pour leur appui à la mise en œuvre.

Conflit d'intérêt

Tous les auteurs déclarent aucun conflit d'intérêt.

Contribution des auteurs

Conception, désignation, méthodologie : PJAC, LO, FB, BF, AS, TF, BO, BOD ; Traitement et Analyse des données : PJAC, BT ; Rédaction, correction et finalisation de l'article : PJAC, FB, BT et LO.

Financement

Cette recherche a été financée par le FONRID.

Références bibliographiques

ANAM (2023, 2024). Etat du climat au Burkina Faso. Rapport annuel, 12 p.

Anderson, T.H. et Domesch K.H. (2010). “Soil microbial biomass: The eco-physiological approach.” *soil biology and biochemistry*, 142, pp. 2039-43.

Akchaya, K., Parasuraman, P., Pandian, K., Vijayakumar, S., Thirukumaran, K., Mustaffa, M.R.A.F., Rajpoot, S.K. and Choudhary, A.K. (2025). Boosting resource use efficiency, soil fertility, food security, ecosystem services, and climate resilience with legume intercropping: a review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, 1527256.

Arone, G.J., Ocaña, R., Sánchez, A., Villadas, P.J. and Fernández-López, M. (2024). Benefits of *Crotalaria juncea* L. as green manure in fertility and soil microorganisms on the Peruvian Coast. *Microorganisms*, 12: 2241.

Bikienga, I.M. (2011). Les phosphates naturels du Burkina Faso : Caractérisation efficacité agronomiques et intérêt économique. Editions Techniques et Professionnelles Groupe Horizon.

Coulibaly, P.J.A., Ouédraogo, L., Sandwidi, A., Fofana, B., Blagna, F., Fayama, T., Ouattara, B. et Diallo, O. (2025). Soil fertility improvement by using *Crotalaria* species combined to organic amendment. *Open Journal of Soil Science*, 15, pp. 22-42.

De Klein, C., Novoa, R.S.A., Ogle, S., Smith, K.A., Rochette, P., Wirth, T. C., Mcconkey, B.G., Mosier, A. et Rypdal, K. (2006). Émissions de N₂O des sols gérés, et émissions de CO₂ dues au chaulage et à l’application d’urée (Chap 1). In Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Volume 4 : Agriculture, foresterie et autres affectations des terres, 60 p.

Dommergues, Y. (1960). The concept of carbon mineralization coefficient in soils. *Agronomie Tropicale*, 15(11), pp. 54-60.

Dugue, P., Andrieu, N. et Bakker, T. (2024). Pour une gestion durable

des sols en Afrique subsaharienne. *Cahier d'Agriculture*, 33(6), pp. 1-122.

FAO (2017). Carbone organique du sol : une richesse invisible. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome, Italie, 90 p.

Feng, J., Zeng, X.M., Zhang, Q., Zhou, X.Q., Liu Y.R. et Huang, Q. (2021). Soil microbial trait-based strategies drive metabolic efficiency along an altitude gradient. *ISME Communication*, 1(71), pp. 1-9.

Fotio, D., Simon, S., Ondo, J.A., Mfopou, M.Y., Nguéack, J., Njomgang, R., Nguéguim, M. and Feudjio, T.P. (2013). "Impacts of land use on soil microbial biomass and soil organic status in Western Cameroon." *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 1(13), pp. 2224-3208.

Hao, L., Jun, Y., Jianli, L., Ning, M. and Geoffrey, S. (2024). Effects of soil metal(loid)s pollution on microbial activities and environmental risks in an abandoned chemical smelting site. *Journal of Environmental Sciences*, 143, pp. 60-70.

Hori, K., Sorin, T., Urashima, Y. and Shiomi, F. (2011). Effects of *Crotalaria* or compost application on soil microbial biomass and respiratory activity. *Soil Microorganisms*, 65(1) pp. 11-17.

IPBES (2018). The IPBES Assessment Report on Land Degradation and Restoration. IPBES, 744.

Jenkinson, D.S. and Powlson, D.S. (1976). The effect of biocidal treatments on metabolism in soil-V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 18, 209-13.

Kaboré, W.T., Masse, D., Dugue, P., Hien, E. et Lepage M. (2006). « Pratiques innovantes d'utilisation de la fumure organique dans les systèmes de culture et viabilité des agrosystèmes en zone soudano-sahélienne : cas de Ziga (Yatenga, Burkina Faso) ». 15 p. URL: https://agritrop.cirad.fr/536613/1/document_536613.pdf

Kihara, J., Mkiza, M., Mutambu, D., Kinyua, M., Mwangi, O. and Bolo, P. (2023). Soil health challenges in Sub-Saharan Africa: Status and Solutions. *Growing Africa*, 2, pp. 16-22.

Lacombe, B., Palé, F.O.K., Sodter, F. et Traoré, S. (2002). *Études sur la jachère dans le Sud-Ouest du Burkina Faso*. Rapport, 22 p.

Luo, Y., Liang, J. and Zhou, C. (2024). The combination of mineral

fertilizer with organic fertilizer improved soil phosphorus availability. *Taylor and Francis*, 17(1), pp. 1-13.

Marhan, S., Demin, D., Erbs, M., Kuzyakov, Y., Fangmeier, A. and Kandeler, E. (2007). Soil organic matter mineralization and residue decomposition of spring wheat grown under elevated CO₂ atmosphere. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 123(2008), pp. 63-68.

Ouédraogo, L., Sandwidi, A., Coulibaly, P.J.D., Bassolé-Doignet, M.S., Fofana, B., Blagna, F., Fayama, T., Ouattara, B. and Diallo O.B. (2024). Effect of legume ecotypes in some physicochemical properties of soil. *Universal Journal of Agricultural Research*, 12, pp. 310-320.

Ramírez-May, A.G., Rivera-Cruz, M.D.C., Mendoza-López, M.R., Acosta-Pech, R.G., Trujillo-Narcía, A. and Bautista-Muñoz, C. (2026). The use of rhizospheric microorganisms of *Crotalaria* for the determination of toxicity and phytoremediation to certain petroleum compounds. *Plants (Basel)*, 15(1), 103.

Sanon, A., Gomgnimbou, A.P.K., Coulibaly, K., Zongo, K.F., Bambara, C.A., Fofana, S., Sanou, Z. et Nacro, H.B. (2021). Caractéristiques chimiques d'un lixisol sous les effets synergiques de biodéchets et de fertilisants minéraux dans la zone sud-soudanienne du Burkina Faso. *International Journal of Development Research*, 11(07), pp. 48668-48673.

Somé, N.A., Traoré, K., Traoré, O. and Tassembedo, M. (2007). Potential of artificial fallows with *Andropogon spp.* in the improvement of chemical and biological properties of soils in the Sudanian Zone (Burkina Faso). *Biotechnology Agronomy Society and Environment*, 3(111), pp. 245-52.

Traoré, B., Traoré, M., Bényé, A. et Nacro, H.B. (2023). Amélioration des propriétés chimiques d'un sol ferrugineux tropical lessivé par le phosphate naturel calciné. *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 6(4), pp. 120-129.

Tully, K., Sullivan, C., Weil, R. and Sanchez, P. (2015). The state of soil degradation in Sub-Saharan Africa: Baselines, Trajectories, and Solutions. *Sustainability*, 7(6), pp. 6523-655.