

Amélioration des propriétés physico-chimiques et microbiologiques des sols par des fertilisants biologiques sous cultures de la tomate en zone Soudano-sahélienne

Jacques SAWADOGO^{1*}, Pane Jeanne d'Arc COULIBALY¹, Boubacar TRAORE¹,
Marthe Sandrine Doignet BASSOLE², Aminata KABORE¹ et Jean Boukari LEGMA³

¹ Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, Département de Gestion des Ressources Naturelles et Systèmes de Productions, Laboratoire Sol- Eau Plante,
01 BP 476 Ouagadougou 01, Burkina Faso

² Université Joseph KI-ZERBO, UFR - Sciences de la Vie et de la Terre (UFR-SVT), Laboratoire Sols, Matériaux et Environnement (LSME), 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso

³ Université Saint Thomas d'Aquin (USTA), Faculté des Sciences et Technologies,
06 BP 10212 Ouagadougou 06, Burkina Faso

(Reçu le 02 Septembre 2021 ; Accepté le 11 Octobre 2021)

* Correspondance, courriel : jacquischimie@gmail.com

Résumé

La culture de la tomate est confrontée à de nombreux problèmes qui limitent sa production et une des contraintes est la baisse de la fertilité des sols. L'objectif de cette étude est d'évaluer les effets deux fertilisants biologiques (compost de *Bokashi* et compost enrichi de *Trichoderma harzianum*) dans la production de la tomate et sur les paramètres physico-chimiques et microbiologiques des sols en zone sub-saharienne du Burkina Faso. Un dispositif en bloc de Fisher complètement randomisé constitué de 6 traitements avec 3 répétitions a été installé. Les traitements comparés étaient : T0 : témoin absolu ; T1 : Compost enrichi au *Trichoderma harzianum* + 175 kg ha⁻¹ de NPK + 50 kg ha⁻¹ d'urée, T2 : Compost enrichi au *Trichoderma harzianum* ; T3 : 350 kg ha⁻¹ de NPK + 100 kg ha⁻¹ d'urée ; T4 : *Bokashi* + 175 kg ha⁻¹ de NPK + 50 kg ha⁻¹ d'urée ; T5 : compost *Bokashi*. Les résultats montrent que le compost enrichi au *Trichoderma harzianum* (170 %) et le compost *Bokashi* (76 %) ont entraîné une augmentation significative du rendement par rapport au témoin. Les bio-fertilisants seuls ont contribué à maintenir la neutralité du pH du sol et améliorer très sensiblement sa teneur en C, N, P et K. Le compost enrichi au *Trichoderma harzianum* se révèle être plus efficace dans la production de la tomate et sur les propriétés du sol comparativement au compost *Bokashi*. Ce dernier (*Bokashi*) n'est efficace qu'en association avec la fumure minérale vulgarisée (FMV). En effet, l'association compost *Bokashi* plus ½ FMV a entraîné une hausse de rendement de 274,5 % par rapport à T0. La vulgarisation de ces biofertilisants à la dose de 0,5 t/ha pourrait être recommandée pour une production durable de la tomate dans les zones sahéliennes du Burkina Faso.

Mots-clés : fertilité des sols, compost *Bokashi*, compost enrichi au *Trichoderma Harzianum*, Burkina Faso.

Abstract

Improvement of the soils physico-chemical and microbiological properties using organic fertilizers in tomato production in the Sudanese-Sahelian zone

Tomato production is facing many constraints that limit its yield. The major one of concern to farmers is soil fertility decline. This study was then conducted using two bio-fertilizers based on local substrates (*Bokashi* compost and compost enriched with *Trichoderma harzianum*) to evaluate their efficiency on soil physico-chemical and microbiological properties and on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) production in Sudanese Sahelian zone of Burkina Faso. The experiment was carried out using a completely randomized Fisher block design with 6 treatments in 3 replications. The applied treatments were : T0 : control; T1 : Compost enriched with *Trichoderma harzianum* + 175 kg ha⁻¹ NPK + 50 kg ha⁻¹ urea ; T2 : Compost enriched with *Trichoderma harzianum*; T3 : 350 kg ha⁻¹ NPK + 100 kg ha⁻¹ urea; T4: *Bokashi* + 175 kg ha⁻¹ NPK + 50 kg ha⁻¹ urea ; T5 : *Bokashi* compost. Results showed that T2 and T5 led to a significant yield increase up to 170 % and 76 % respectively, compared to the control treatment. Moreover, the bio-fertilizers alone contributed to maintain neutral soil pH and significantly improved its C, N, P and K contents. Therefore, soil fertility was enhanced. Results also indicated that compost enriched with *Trichoderma harzianum* influenced better tomato yield than that of *Bokashi* which was only efficient when combined with mineral fertilizer. This combination of the two fertilizers resulted in yield increase of 274.5 % compared to T0. Using the two composts in agriculture could be an alternative for sustainable production of tomato. Their extension at the rate of 0.5 t/ha could be recommended for a better yield.

Keywords : *soil fertility, Bokashi compost, compost enriched with Trichoderma Harzianum, tomato yield, Burkina Faso.*

1. Introduction

La baisse de la fertilité des sols en Afrique Subsaharienne constitue l'une des contraintes majeures à l'intensification de la production [1]. Les sols sont caractérisés par un faible taux de matière organique, une pauvreté en bases échangeables, une carence en phosphore et azote, un complexe adsorbant médiocre et une faible capacité de rétention en eau [2]. Les produits de la maraîche culture occupent une place importante dans l'alimentation des êtres humains en générale. La consommation de ces produits maraîchers contribue à la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations à travers leur association à la préparation des repas [3, 4]. Parmi ces produits, la tomate occupe une place de choix auprès des producteurs. La consommation régulière de tomate ou de produits à base de tomate réduit les risques de cancers, mais également de maladies cardiovasculaires, de diabète et d'ostéoporose [5]. Au Burkina Faso, la tomate est la deuxième culture maraîchère la plus importante après l'oignon [6] et l'une des cultures maraîchères cultivées dans tout le pays. Selon l'Organisation des Nation Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), la production nationale de tomate en 2019 s'élève à 19539 tonnes [7] avec des rendements estimés à 10861 kg/ha. Ce rendement est nettement inférieur à la moyenne africaine qui est de 13,8 t.ha⁻¹ [7]. En effet, la production de la tomate comme plusieurs autres cultures maraichères, est confrontée à plusieurs problèmes d'ordre biotiques et abiotiques. Selon certains auteurs [6, 8], la baisse des rendements de la tomate est due à l'augmentation de la pression des ravageurs, à l'intensification des traitements chimiques et les pertes post-récolte élevées. Les producteurs portent leur espoir sur les engrais chimiques dans la plupart du temps, car les effets sont très visibles dès les premiers apports. Cependant, ces fertilisants chimiques ne sont pas sans effet sur les propriétés physico-chimiques et biologiques des sols. L'application exclusive des engrais minéraux est néfaste pour la qualité des sols, elle n'est généralement efficace que pendant les premières

années d'apports continus [9, 10]. Par ailleurs, l'utilisation de formules d'engrais minéraux non adaptées aux cultures maraîchères conduit à des apports déséquilibrés et à long terme, à une accumulation de certains métaux lourds dans le sol [11, 12]. L'effet polluant des engrais chimiques est une contrainte qui limite l'intensification de la production maraîchère [13]. Toutefois, la perte de la fertilité des sols des périmètres maraichers au Burkina Faso pourrait être résolue avec l'utilisation des fertilisants biologiques qui inondent les marchés des intrants agricoles du pays. En effet ces fertilisants concourent à l'amélioration de la matière organique et de l'activité microbienne du sol. Ces paramètres jouent un rôle très déterminant dans l'amélioration de la productivité des terres. La biomasse microbienne sert de source et de puits pour les nutriments du sol [14]. Ainsi, les biofertilisants peuvent être d'un apport non négligeable pour réduction des apports d'engrais chimiques sur les périmètres maraichers. Parmi les fertilisants biologiques disponibles sur le marché au Burkina Faso, le compost *Bokashi* et le compost enrichi au *Trichoderma* occupent une place non négligeable et ont fait l'objet de plusieurs travaux. Leur apport en termes de rendement des cultures a été démontré par plusieurs résultats de recherches expérimentations [15 - 17]. La présente étude vise à déterminer l'effet du compost enrichi au *Trichoderma* et le compost *Bokashi* sur les propriétés physico-chimiques et sur l'activité microbienne des sols sous culture de tomate. Cette étude permettra de définir la contribution des biofertilisants associés ou non aux engrais chimiques sur les teneurs de matière organique et d'éléments majeurs du sol ainsi que le rapport C/N et l'activité microbienne du sol d'un sol ferrugineux tropical.

2. Matériel et méthodes

2-1. Description de la zone d'étude

Cette étude a été réalisée sur une parcelle de la ferme d'expérimentation de GIE-Bioprotect du Burkina Faso. Le site de l'étude est localisé dans le village de Soala situé dans la région du Centre ouest, précisément le département de Nanoro, Province du Boukhiemdé. Il est localisé entre 12°39' et 12°18' de latitude Nord et entre 1°57' et 1°37' de latitude Ouest. Le site est à 62,8 km de la capitale Ouagadougou suivant l'axe Ouagadougou-Yako (*Figure 1*) dans la zone Soudano-sahélienne avec une pluviométrie comprise entre 600 et 1000 mm [16].

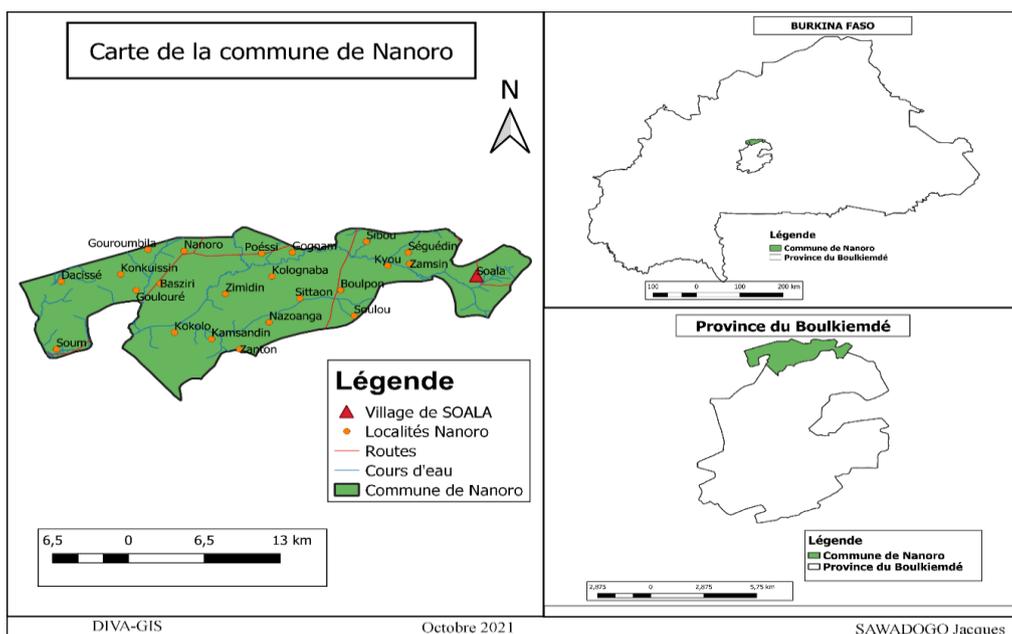


Figure 1 : Localisation du site d'étude

2-2. Matériel végétal et Fertilisants biologiques

La variété F1 Mongal de tomate (*Lycopersicon esculentum*) a été utilisée dans le cadre de cette expérimentation. Elle a un cycle de maturité de 65 jours avec un rendement potentiel qui varie entre 30 et 50 t/ha [17].

2-3. Dispositif expérimental et pratique culturale

Le dispositif expérimental était un bloc de Fisher complètement randomisé à six traitements et trois répétitions. Ce dispositif a pris en compte les facteurs fertilisants (compost enrichi au *Trichoderma*; compost *Bokashi* et fumure minérale) et l'apport d'eau pour la spéculation de tomate. La combinaison de ces facteurs a donné six (06) traitements qui ont été appliqués avec trois répétitions, ce qui a donné au total dix-huit (18) parcelles élémentaires distribuées de façon aléatoire sur la parcelle du site. Les traitements étaient les suivants : T0 (sans fertilisant) ; T1 (Compost enrichi au *Trichoderma harzianum* + 175 kg ha⁻¹ de NPK (14-23-14) + 50 kg ha⁻¹ d'urée (46 %)) ; T2 (Compost enrichi au *Trichoderma harzianum*) ; T3 (350 kg ha⁻¹ de NPK (14-23-14) + 100 kg ha⁻¹ d'urée (46 %)) ; T4 (compost *Bokashi* + 175 kg ha⁻¹ de NPK (14-23-14) + 50 kg ha⁻¹ d'urée (46 %)) ; T5 (compost *Bokashi*). La variété Mongal F1 a été repiquée selon les écartements de 80 cm x 40 cm. Les parcelles élémentaires étaient de dimension 3 m x 2 m soit 6 m² de surface. Trois sarclages manuels ont été effectués après repiquage. Au début du repiquage, les arrosages étaient réalisés deux fois par jour. Par contre, le rythme d'arrosage a été réduit à un par jour à partir du 25^{ème} jour après repiquage. Le tuteurage a été effectué au cinquantième jour repiquage afin d'éviter le contact direct des fruits avec le sol.

2-4. Fertilisants biologiques et engrais minéraux testés

Le fertilisant *Bokashi* est un engrais organique fermenté et inventé par le professeur Higa [16, 18]. Il est issu de la dégradation aérobie ou anaérobie de matériaux d'origine végétale et/ou animale. Il permet de ce fait l'augmentation de la teneur en microorganismes efficaces du sol ainsi que sa biodiversité microbienne et la production d'engrais organique pour le sol [16]. Le compost simple enrichi au *Trichoderma harzianum* regroupe plusieurs champignons imparfaits saprophytes du sol. Il est efficace lorsqu'on lui permet de s'installer avant l'arrivée des champignons pathogènes et a une action est donc préventive. En plus, il permet au niveau des racines de créer un manchon protecteur autour des plants et ainsi contrer l'entrée des agents pathogènes à l'intérieur de ces racines. Une fois que le *Trichoderma* est installé, il peut avoir un effet stimulant pour la plante en l'absence de champignons pathogènes [19]. Les deux fertilisants biologiques ont été caractérisés au Bureau National des Sols (BUNASOLS) du Burkina Faso (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Teneur en élément majeur des fertilisants biologiques

Type de fertilisant biologique	MO %	Carbone g kg ⁻¹	N _{total} mg kg ⁻¹	K _{total} g kg ⁻¹	P _{total} g kg ⁻¹	C/N	pH	T° (C)
Compost enrichi au <i>Trichoderma harzianum</i>	19,8	11,56	1,08	11,42	10,44	11	7,9	27,5
Compost <i>Bokashi</i>	21	12,25	0,81	7,85	4,68	15	8,2	25,6
AFNOR	> 5	-	> 0,25 %	> 1 %	> 0,3 %	< 20		
FAO		-	0,5	0,4-2,3	-	15- 20		

Les fertilisants biologiques à raison de 30 t/ha (*Bokashi* ainsi que le compost enrichi au *Trichoderma harzianum*) ainsi que les engrais minéraux (NPK (14-23-14) et l'urée (46 %)) ont été utilisés. Le pesticide biologique Solsain a été utilisé et prélevée à la dose de 2 mL/ha, le Piol à la levée pour lutter contre les ravageurs des feuilles de l'oignon et le BioPoder pour lutter contre les ravageurs souterrains tous à la dose de 2 mL/ha.

2-5. Rendement de la culture

Le rendement a été évalué dans la parcelle utile de chaque traitement à la récolte. L'estimation a été faite par pied de tomate avant toute extrapolation à l'hectare à l'aide de la **Formule** suivante [17] :

$$\text{Rdt (kg/ha)} = \frac{\text{Rdt (g/pied)} \times 31250}{1000} \quad (1)$$

31250 étant le nombre de pieds/ha et $\frac{1}{1000}$ le facteur de conversion.

2-6. Prélèvement et préparation des échantillons de sol

Les échantillons de sol ont été prélevés suivant la méthode de diagonales dans 18 parcelles élémentaires de 6 m² (3 m x 2 m). Ces échantillons ont été collectés dans une profondeur de 0 - 20 cm sur un site expérimental du village de Soala. Pour chaque parcelle élémentaire, un échantillon composite a été obtenu par le mélange de 4 échantillons élémentaires. Les échantillons de sols prélevés ont par la suite été séchés à 40°C pendant quatre jours dans une étuve de marque SHIMADZU et de type STAC S-50M, puis broyés à l'aide d'un appareil mécanique de type TM-25S et tamisés à 2 mm et ensachés pour les analyses.

2-7. Mesure des caractéristiques chimique et biologique du sol

Les analyses des paramètres chimiques ont été faites suivant les méthodes d'analyses développées par Blume [20, 21]. Ces analyses ont consisté à la détermination du pH (eau et KCl), l'azote total, le carbone organique, le phosphore assimilable [17, 22, 23]. La respiration du sol a été mesurée par respirométrie. La respiration du sol exprime l'activité biologique potentielle du sol qui dépend de la matière organique biodégradable présente. Le test sur la respirométrie (CO₂) a consisté à mesurer la quantité de CO₂ dégagé par des échantillons de sols incubés. Pour sa mesure, cinquante grammes (50 g) de chaque échantillon de sol tamisé à 2 mm et humidifié aux 2/3 de leur capacité maximale de rétention ont été placés dans un bocal en verre. Les bocaux fermés hermétiquement sont incubés à la température ambiante. Chaque échantillon est répété trois (03) fois. Les mesures du dégagement de CO₂ ont été faites chaque vingt-quatre (24) heures pendant une semaine puis chaque 48 heures jusqu'au 14^{ème} jour d'incubation [24]. Toutes ces mesures ont été réalisées au Laboratoire Sol-eau-plante eau plante du Centre de Recherches Environnementales, Agricoles et de Formation de Kamboinsé (CREAF - K), Burkina Faso.

2-8. Analyse statistique des données collectées

Pour apprécier les différences et identifier les corrélations entre les paramètres, les données obtenues ont fait l'objet d'une analyse de la variance (ANOVA) à un facteur. Les tests de comparaison des moyennes sont effectués selon le test de Student Newman-Keuls (SNK) au seuil de 5 % à l'aide du logiciel GenStat Release 12.1. Les courbes d'évolution et les histogrammes ont été construits avec le tableur Excel 2016. Aussi, les changements sur les caractéristiques de sol entre le début et la fin de l'étude ont été calculés à l'aide de la **Formule** [25 - 27] :

$$Y (\%) = \frac{Y_2 - Y_1}{Y_1} \times 100 \quad (2)$$

avec, Y₂ : valeur du paramètre considéré à la fin de l'expérimentation et Y₁ : valeur du paramètre considéré en début de l'essai [25 - 27]. En effet, les valeurs négatives suggèrent les pertes des propriétés des sols par contre les valeurs positives suggèrent une amélioration de la fertilité des sols. Par ailleurs, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a servi à sélectionner les différents traitements (fertilisants) pour lesquels les plants ont eu les meilleures caractéristiques physico-chimiques des sols.

3. Résultats

3-1. Composition chimique des fertilisants biologiques utilisés

Le **Tableau 1** présente les résultats de l'analyse chimique des fertilisants organiques utilisés lors de l'expérimentation. Les valeurs observées dans ce tableau montrent que les différents fertilisants seront une source des éléments qui pourraient combler les besoins de la plante de tomate. En effet, l'aptitude d'un compost à améliorer la productivité d'un sol dépend de son rendement en biomasse, de la qualité de cette biomasse et de sa vitesse de décomposition (11 et 15). Cependant, il existe des variabilités en éléments majeurs, sur le carbone organique, le pH et la teneur en matière organique entre le compost enrichi au *Trichoderma* et le compost *Bokashi*. Cela montre que le fertilisant enrichi au *Trichoderma* est plus riche en éléments nutritifs. Par conséquent, ce compost (enrichi au *Trichoderma*) présente d'énormes potentialités par rapport au compost *Bokashi* utilisé pour améliorer la fertilité du sol. En effet, comparativement aux normes standards (AFNOR et FAO), les valeurs en éléments nutritifs des deux fertilisants restent comprises dans la gamme prescrite.

3-2. Caractéristiques physico-chimiques initiales du sol

Le **Tableau 2** présentant les résultats du sol initial (T0'), montre que le sol du site d'étude est acide ($\text{pH}_{\text{eau}} = 5,34$). Le phosphore disponible (85 g.kg^{-1}) et de calcium échangeable ($30,4 \text{ g.kg}^{-1}$) est en accord avec les valeurs de référence trouvées par d'autres auteurs [16] dans la zone agroécologique, mais semblent être très élevé conformément à la norme du BUNASOLS (Bureau National des Sols). Les analyses de sol du site de recherche de référence en culture maraîchère ont montré que les sols de départ ont un rapport de C/N égal à 11.

3-3. Effet de la fertilisation sur les propriétés physico-chimiques et biologique du sol

3-3-1. Effet des traitements sur les paramètres physico-chimiques du sol

Les propriétés physiques et chimiques du sol ont été analysées à la fin de l'étude en vue de déterminer l'effet des différents fertilisants sur le sol. Un échantillon représentatif a été analysé au début de l'essai ; alors qu'à la fin de l'étude les analyses ont été faites pour chaque parcelle expérimentale. Le **Tableau 2** présente les résultats de ces analyses et les taux de changements de chaque élément survenu dans ce sol pendant l'étude sont présentés dans le **Tableau 3**. Les résultats de ces deux tableaux révèlent une différence significative entre les traitements au seuil de 5 % selon le test de Student Newman Keuls (SNK). Les résultats du **Tableau 2** montrent que pour l'ensemble des paramètres mesurés, la combinaison du *Trichoderma* à la fumure minérale (T1) présente des moyennes significativement supérieures aux autres traitements. Parmi les traitements ayant reçu les différents fertilisants, c'est la fumure minérale vulgarisée (T3) qui a entraîné une acidification du sol avec des valeurs du $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ et du pH_{KCl} inférieur à 6. Par contre, avec tous les traitements ayant reçu les fertilisants biologiques (Compost enrichi au *Trichoderma* et *Bokashi*) on observe une augmentation de la valeur du pH, preuve d'une réduction de l'acidité des sols. Par rapport aux valeurs initiales, la tendance générale (**Tableau 3**) montre une augmentation du pourcentage de changement pour la majorité des paramètres mesurés excepté le phosphore total qui a connu une baisse pour tous les traitements. Les plus forts pourcentages de changement pour les paramètres carbone total (251,5 %), azote total (143,42 %), potassium total (49,13 %), matière organique (249,5 %) ont été obtenus avec le traitement qui associe le *Trichoderma* à la fumure minérale vulgarisée (T1). Les résultats montrent que tous les traitements incluant les fertilisants biologiques ont amélioré les teneurs des sols en Carbone, azote, potassium de même que le rapport C/N par rapport au témoin.

Tableau 2 : Propriétés de sol (0-20 cm) avant et à la fin de l'étude

Traitements	pH	pH	C	N	P	K	Ca	Mg	MO	C/N
	eau	KCl	%	g.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹	g.kg ⁻¹	%	
T0' : avant essai	5,34	5,453	1,3	1,226	85	1,017	30,4	0,85	2,241	11
T0 : témoin absolu	6,3 ^b	5,7 ^a	0,383 _a	0,233 ^a	80 ^b	1,133 ^b	73 ^b	1,243 ^b	0,657 ^a	17 ^{cd}
T1 : compost enrichi + ½ FMV	7,2 ^e	6,6 ^a	4,570 _e	2,984 ^e	96 ^d	1,517 ^d	108 ^c	1,267 ^b	7,833 ^e	15 ^{bc}
T2 : compost enrichi	6,95 ^d	6,5 ^a	3,907 _d	2,953 ^e	88 ^c	1,47 ^{cd}	101,93 ^c	0,86 ^a	6,696 ^d	13 ^a
T3 : FMV	5,9 ^a	5,9 ^a	3,050 _b	1,811 ^b	71 ^a	1,3 ^b	35 ^a	1,103 ^b	5,228 ^b	17 ^d
T4 : compost <i>Bokashi</i> + ½ FMV	6,8 ^c	6,2 ^a	3,460 _c	2,32 ^c	79 ^b	1,32 ^b	65 ^b	0,93 ^a	5,93 ^c	15 ^b
T5 : compost <i>Bokashi</i>	6,3 ^b	6,4 ^a	3,470 _c	2,424 ^d	74,67 ^{ab}	1,41 ^c	39,67 ^a	1,22 ^b	5,948 ^c	14 ^{ab}
Cv (%)	0,7	8,8	1,2	2	3,4	3,2	10,8	8,7	1,2	4,6
Probabilité	<0,001	0,389	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Signification	THS	NS	THS	THS	THS	THS	THS	THS	THS	THS

Légende : FMV : Fumure Minérale Vulgarisée (350 kg ha⁻¹ de NPK + 100 kg ha⁻¹ d'urée); THS : Très Hautement Significative ; NS : Non Significative ; Cv : Coefficient de variation

Tableau 3 : Pourcentage de changement des propriétés physico-chimiques des sols

Traitements	pH	pH	C	N	P	K	Ca	Mg	MO	C/N
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
T0 : témoin absolu	18,54 ^d	4,84 ^a	-70,5 ^e	-80 ^e	-78,19 ^d	11,44 ^d	140,1 ^b	49,02 ^a	-70,7 ^e	55,21 ^{ab}
T1 : compost enrichi + ½ FMV	34,83 ^a	20,06 ^a	251,5 ^a	143,42 ^a	-59,02 ^a	49,13 ^a	255,3 ^a	46,27 ^a	249,5 ^a	44,42 ^{bc}
T2 : compost enrichi	30,15 ^b	18,59 ^a	200,5 ^b	140,86 ^a	-64,53 ^b	44,54 ^{ab}	235,3 ^a	1,18 ^b	198,8 ^b	24,76 ^d
T3 : FMV	11,24 ^e	8,08 ^a	134,6 ^d	47,72 ^d	-86,78 ^e	27,83 ^c	15,1 ^c	29,8 ^a	133,3 ^d	58,83 ^a
T4 : compost <i>Bokashi</i> + ½ FMV	27,9 ^c	13,39 ^a	166,2 ^c	89,21 ^c	-67,17 ^c	29,79 ^c	113,8 ^b	9,41 ^b	164,6 ^c	40,77 ^c
T5 : compost <i>Bokashi</i>	18,54 ^d	17,98 ^a	166,9 ^c	97,72 ^b	-78,18 ^d	38,64 ^b	30,5 ^c	43,53 ^a	165,4 ^c	35,03 ^{cd}
Cv (%)	3,7	72,7	2,1	4,7	1,4	12,6	18,9	37,8	2,1	15,2
Probabilité	< 0,001	0,389	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Signification	THS	NS	THS	THS	THS	THS	THS	THS	THS	THS

Légende : FMV : Fumure Minérale Vulgarisée (350 kg ha⁻¹ de NPK + 100 kg ha⁻¹ d'urée); THS : Très Hautement Significative ; NS : Non Significative ; Cv : Coefficient de variation

3-4. Effet de la fertilisation sur les propriétés biologiques des sols en fin campagne

La **Figure 2** présente les résultats du dégagement de CO₂ des échantillons de sol des différents traitements sous culture de tomate. Les valeurs de CO₂ dégagé les plus élevées sont obtenues avec le compost enrichi au *Trichoderma* plus ½ FMV (T1 = 7,92 mg. 100g⁻¹) et du compost *Bokashi* (T5 = 6,82mg. 100g⁻¹). Le compost enrichi au *Trichoderma* (T2 = 4,033 mg. 100g⁻¹), le témoin absolu (T0 = 3,222 mg. 100g⁻¹) et le compost Bokashi plus ½ FMV (T4 = 3,007 mg. 100g⁻¹) enregistrent un dégagement de CO₂ moyennement élevé. Tandis que le dégagement de CO₂ le plus faible est observé au niveau du traitement T3 (FMV) avec une valeur de CO₂ dégagé de 1,98 mg. 100g⁻¹ de sol.

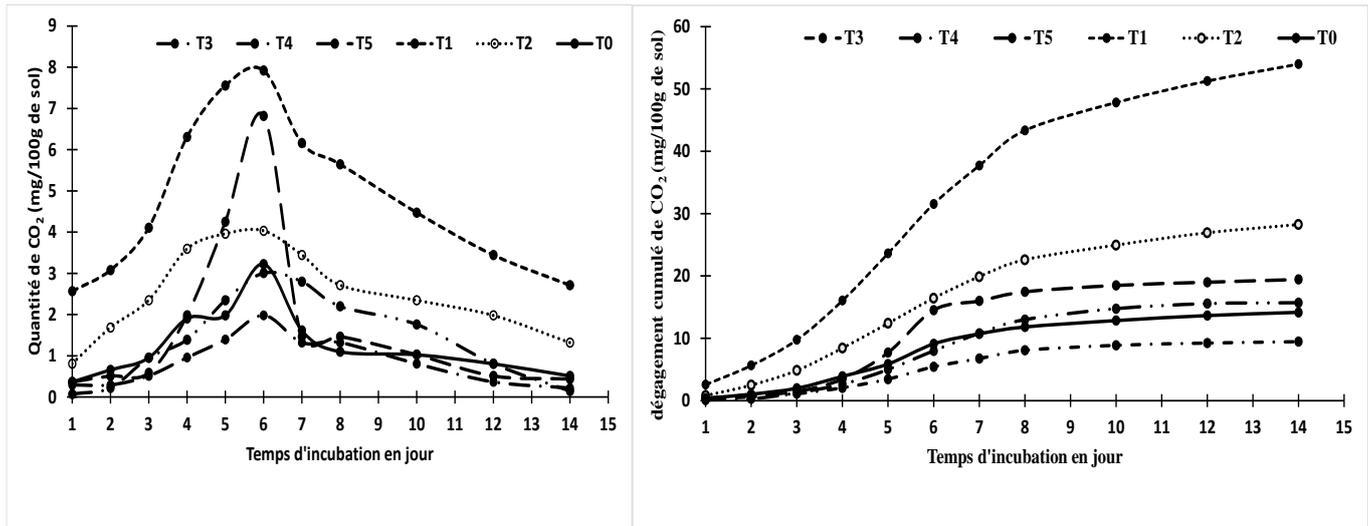


Figure 2 : Effet des traitements sur la respiration du sol sous culture de tomate

Légende : T0 : témoin absolu ; T1 : Compost enrichi + 175 kg ha⁻¹ de NPK + 50 kg ha⁻¹ d'urée ; T2 : Compost enrichi ; T3 : 350 kg ha⁻¹ de NPK + 100 kg ha⁻¹ d'urée ; T4 : compost Bokashi + 175 kg ha⁻¹ de NPK + 50 kg ha⁻¹ d'urée ; T5 : compost Bokashi

3-5. Effets des fertilisants biologiques sur le rendement de la culture de tomate

L'observation des moyennes (**Figure 3**) montre une différence significative entre les traitements, du point de vue statistique ($p = 0,001$) au seuil de 5 %. Les résultats de l'analyse statistique montrent (**Figure 3**) que les rendements les plus élevés ont été obtenus avec le traitement T1 (Compost enrichi au *Trichoderma harzianum* + ½ FMV), suivi du traitement T4 (Compost *Bokashi* + 1/2 FMV). Ces deux traitements ont donné respectivement des rendements de 32,05 t. ha⁻¹ et 27,23 t. ha⁻¹. Ces deux rendements correspondent respectivement à des augmentations de rendements de 332,5 % et 267,5 % pour T1 et T4 par rapport au témoin T0. Les rendements obtenus avec le traitement Compost enrichi au *Trichoderma harzianum* (20,02 t. ha⁻¹) n'est pas significativement différent de celui du traitement de compost enrichi au *Bokashi* (16,77 t. ha⁻¹). Le plus faible rendement a été obtenu avec le témoin absolu (T0 = 7,41 t. ha⁻¹).

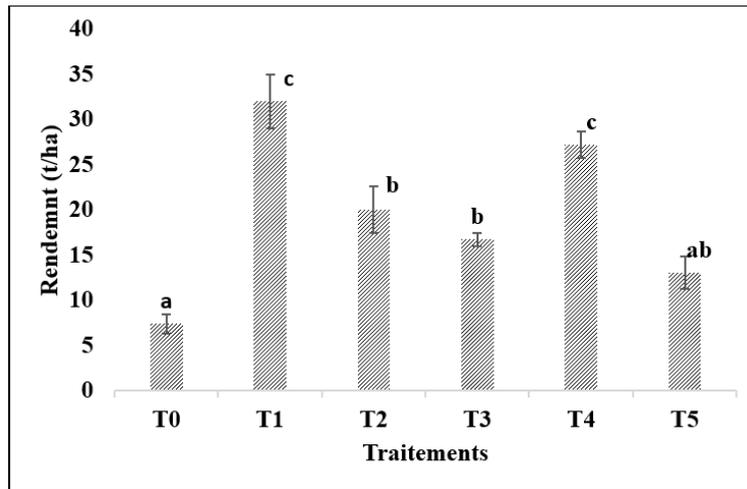


Figure 3 : Effets des fertilisants sur le rendement et le gain de rendement

Légende : T0 : témoin absolu ; T1 : Compost enrichi + 175 kg ha⁻¹ de NPK + 50 kg ha⁻¹ d'urée ; T2 : Compost enrichi ; T3 : 350 kg ha⁻¹ de NPK + 100 kg ha⁻¹ d'urée ; T4 : compost Bokashi + 175 kg ha⁻¹ de NPK + 50 kg ha⁻¹ d'urée ; T5 : compost Bokashi

3-6. Choix des traitements performants sur la base des paramètres physico-chimiques des sols

Une Analyse en Composantes Principales a permis de cribler les traitements fertilisants étudiés sur la base des paramètres physico-chimiques (Figure 4). Les axes 1 et 2 ont caractérisé les traitements évalués au niveau des physico-chimiques. Ces axes ont contribué pour 58,86 % à la variation observée. Les paramètres physico-chimiques (pH, Ca, Pt, Kt, Nt) et la matière organique (MO) ont été fortement et positivement corrélés à l'axe 1 tandis que le magnésium et le rapport C/N sont corrélés à l'axe 2. Ainsi, l'axe 1 a permis de répartir les traitements fertilisants en trois groupes homogènes. Les traitements T1, T2 et T4, caractérisés par de meilleurs taux de Nt, Kt, Pt, pH, Ca, constituent le premier groupe. Ce premier groupe est suivi du second constitué par le témoin sans fertilisant T0 ayant induit les taux de Mg et le meilleur C/N). Les traitements T3 et T5 ont formé le dernier groupe avec les plus faibles taux des paramètres physico-chimiques.

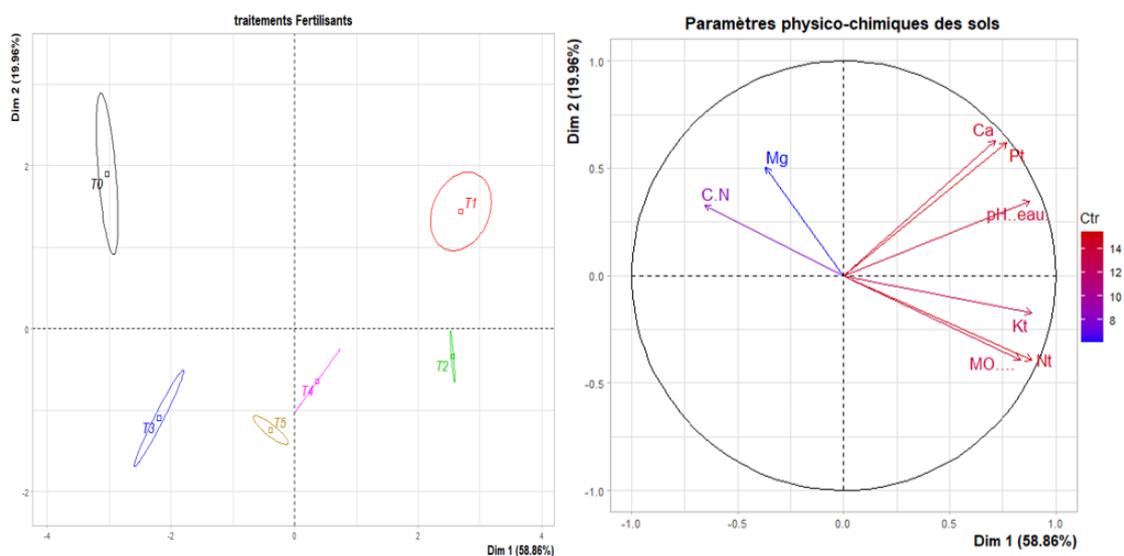


Figure 4 : Répartition des traitements fertilisants en fonction des paramètres physico-chimiques selon l'axe 1 et 2 d'une Analyse en Composantes Principales

Légende : T0 : témoin absolu ; T1 : Compost enrichi + 175 kg ha⁻¹ de NPK + 50 kg ha⁻¹ d'urée ; T2 : Compost enrichi ; T3 : 350 kg ha⁻¹ de NPK + 100 kg ha⁻¹ d'urée ; T4 : compost Bokashi + 175 kg ha⁻¹ de NPK + 50 kg ha⁻¹ d'urée ; T5 : compost Bokashi ; Nt : Azote total ; Pt : phosphore total ; Kt : potassium total ; MO : matière organique ; Ca : calcium ; Mg : magnésium ; C/N : rapport de carbone et azote

4. Discussion

4-1. Effets des traitements sur les paramètres physico-chimique et biologique du sol

La baisse du pH dans les traitements ayant été fertilisés avec la fumure minérale vulgarisée seule corrobore les résultats des travaux antérieurs qui ont révélé l'effet acidifiant des engrais chimiques sur les sols ferrugineux tropicaux menés au Burkina Faso [11, 28, 29]. La diminution de l'acidité des sols dans les parcelles fertilisées avec les composts biologiques serait liée à la richesse de ces fertilisants en cations. En effet, les cations basiques se lient au complexe argilo-humique et permettent de baisser la concentration des ions Al³⁺ et H⁺ dans la solution du sol. Les cations basiques sont indispensables pour neutraliser une bonne partie de l'acidité des sols [30, 31]. L'effet des deux fertilisants biologiques utilisés dans cette étude (Compost enrichi au *Trichoderma* et *Bokashi*) associée ou non aux engrais minéraux sur les paramètres physico chimiques que sont la matière organiques, l'azote total, le potassium total, le rapport C/N corroborent les résultats précédents trouvés par plusieurs auteurs [32, 33] avec différents fertilisants organiques. En effet, les engrais organiques et les composts augmentent le carbone organique, l'activité biologique, l'humidité du sol et aussi l'azote, le phosphore, le potassium, le magnésium et le calcium du sol [34 - 36]. Les taux de variations élevés observés pour la matière organique, l'azote, le phosphore, le potassium ainsi que le pH avec les traitements *Trichoderma* seul et fumure minérale + *Trichoderma* confirment la capacité du compost enrichi au *Trichoderma* à restaurer la fertilité des sols d'étude par sa richesse en nutriment. Cela proviendrait de l'activité des champignons emprisonnés dans ce compost qui est un activateur de l'activité microbienne du sol. Ces résultats sont en accord avec ceux des auteurs [16, 37, 38], qui ont confirmé la capacité du compost à restaurer les propriétés des sols acides en République Démocratique du Congo (RDC).

Les auteurs [16] ont montré que le compost enrichi au *Trichoderma* de même que le *Bokashi* permettent de maintenir la neutralité du pH des sols et d'améliorer ses teneurs en carbone, en azote, en phosphore et en potassium sous culture d'oignon au Burkina Faso. La production biologique du CO₂ est fonction de la population microbienne, principalement des décomposeurs, de leur diversité et des enzymes métaboliques sécrétées [2, 39]. Les courbes de dégagement de CO₂ en fonction du temps d'incubation montrent que les différentes phases de minéralisation sont similaires à celles évoquées par Zombre [40] ; les faibles dégagements de CO₂ observées à moins de 24 heures (1 jour) montrent une faible activité biologique dans le sol c'est-à-dire que les microorganismes du sol seraient toujours en état de dormance et seraient de fait peu actif. Les dégagements élevés au cours des six (06) premiers jours d'incubation correspondraient à la levée de la dormance amorçant l'activité biologique du sol et la dégradation des produits facilement biodégradables. Les espèces microbiennes sortant donc de leur dormance après un apport d'eau ont trouvé à cet effet des sources d'énergie en condition de pH favorable [2]. Cette phase de croissance correspondrait à la biodégradation des microorganismes morts pendant la phase de dessiccation et des composés labiles tels que les sucres et les composés protéiques [2, 40, 41]. Ce phénomène se traduit par un pic de dégagement de CO₂ culminant dès le 6^{ème} jour. Il ressort de nos résultats que, les fertilisants biologiques combinés à une demi-dose de la fumure minérale à savoir le compost enrichi au *Trichoderma* + ½ dose de Fumure minérale vulgarisée (FMV) et le compost *Bokashi* + ½ dose de FMV ainsi que leurs apports non combinés (compost enrichi au *Trichoderma* et le compost *Bokashi*) favorisent le dégagement du CO₂ comparativement au témoin. Ce dégagement est

néanmoins plus important sous le compost *Bokashi* que le compost enrichi au *Trichoderma*. La richesse de ces deux (02) fertilisants particulièrement celle en azote (N) et en phosphore (P) pourrait expliquer les quantités plus importantes de dégagement de CO₂ comme rapporté par plusieurs auteurs [2, 42, 43]. Le dégagement de CO₂ dans le sol se traduit par la réponse biologique à une modification du milieu. L'application du compost enrichi augmenterait la minéralisation de la matière organique provoquée par de meilleures conditions hydriques et de pH favorable. Ce résultat est en accord avec ceux de [44]. En outre, selon [45], les pics de minéralisation sont une preuve de la dynamique de l'activité biologique du sol. Cette activité biologique serait due à la diversité des microorganismes du sol, les teneurs élevées en éléments fertilisants et les propriétés physico-chimiques du sol. La phase descendante observée à partir du 7^{ème} jour d'incubation traduirait la baisse de l'activité biologique justifiée par la baisse du niveau des substances facilement biodégradables dans tous les traitements. Cette baisse du dégagement de CO₂ pourrait aussi être due à la présence de composés récalcitrants pouvant inhiber la croissance microbienne [40].

4-2. Effet des traitements sur la production de la tomate

Les résultats de l'analyse statistique ont montré que les rendements de tomate ont été significativement améliorés d'une part avec les traitements combinant les biofertilisants aux engrais minéraux et d'autre part, dans une moindre mesure avec les biofertilisants seuls. La formation des fruits, quel qu'en soit le traitement considéré serait dû au rôle des minéraux libérés par les différents fertilisants apportés. Ces résultats sont conformes avec ceux de [16, 46] qui ont montré que la minéralisation des fertilisants biologiques libèrent des minéraux permettant de corriger les carences dont les plantes devraient subir durant leur cycle. En effet, les biofertilisants sont très enrichis en macronutriment (Azote, Phosphore et potassium) et en carbone organique (**Tableau 1**). La minéralisation de ces composts libère les nutriments essentiels pour la formation des fruits. Le rôle primordial du potassium et de l'azote dans la production de la tomate a été démontré par Mpika et al., (2015). Selon ces auteurs, le potassium et l'azote jouent des rôles déterminants aussi bien dans la quantité que la qualité de la récolte de tomate. Selon [27], une bonne association du phosphore et de l'azote améliorerait la production des fruits et le corolaire serait l'augmentation du rendement. Les biofertilisants combinés à la fumure minérale vulgarisée, (T1 et T4) ont entraîné des augmentations de rendement de 332,5 % et 267,5 % respectivement par rapport au témoin. Cette augmentation pourrait s'expliquer également par la réduction de l'acidité des sols expérimentaux par les deux composts biologiques durant la période de l'expérimentation. L'effet des biofertilisants sur le rendement de la tomate observé dans cette étude est en conformité avec les résultats précédents des travaux des auteurs [15, 17, 32] sur l'oignon et la tomate au Burkina Faso.

5. Conclusion

L'objectif de cette étude est d'évaluer les effets de deux fertilisants biologiques dans la production de la tomate et sur les paramètres physico-chimiques et microbiologiques des sols en zone sub-saharienne du Burkina Faso. Il ressort que les biofertilisants testés permettent de réduire l'acidité des sols et d'améliorer significativement son activité microbienne ainsi que ses teneurs en carbone, en azote, en phosphore et en potassium sous culture de tomate. Les biofertilisants combinés (Compost enrichi au *Trichoderma* + 1/2 FMV et compost de *Bokashi* + 1/2 FMV) ou non aux engrais minéraux ont contribué à l'amélioration des rendements de la tomate. Toutefois c'est le compost enrichi au *Trichoderma* + 1/2 FMV qui présente le rendement le plus élevé de même que les meilleures propriétés physico-chimiques et biologiques des sols après récolte. Entre les deux biofertilisants testés seul, c'est aussi le traitement de *Trichoderma* qui a occasionné de plus haut rendement ainsi que les meilleures propriétés physico-chimiques et biologiques des sols. Au regard des

résultats de cette étude, le compost enrichi au *Trichoderma harzianum* et le compost *Bokashi* semblent constituer des alternatives à la production durable de tomate. Ces deux biofertilisants étant des ressources locales, pourraient contribuer à réduire l'usage des engrais chimiques et à préserver les sols des périmètres maraîchers. Leur association ou non à la fumure minérale apparaît ainsi comme une stratégie de fertilisation écologique.

Remerciements

Nos remerciements vont à l'endroit de GIE-Bioprotect- Burkina pour avoir mis à notre disposition le site d'expérimentation et les différents fertilisants biologiques. À monsieur Jean Boukari LEGMA, professeur de chimie analytique à l'Université Saint Thomas d'Aquin (USTA) du Burkina Faso pour l'encadrement scientifique dans le traitement des données.

Références

- [1] - M. AKANDE, *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, 1 (11) (2011) 471 - 480
- [2] - Z. KONFE, B. ZONOU, E. HIEN, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13 (4) (2019) 2129 - 2146
- [3] - A. SOMA, *Revue Espace, Territoires, Sociétés et Santé*, 3 (5) (2020) 67 - 78 <https://www.retssa-ci.com/index.php?page=detail&k=87>
- [4] - B. ANGUSSIN, P. M. MAPONGMETSEM, A. IBRAHIMA, G. FAWA, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15 (2) (2021) 524 - 535 <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i2.12>
- [5] - R. B. VAN BREEMEN, N. PAJKOVIC, *Cancer letters*, 269 (2) (2008) 339 - 351
- [6] - D. SON, I. SOMDA, A. LEGREVE, B. SCHIFFERS, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12 (1) (2018) 101 - 119
- [7] - FAOSTAT, *Consulté le 20/08/2021 à 15h 30*, (2021)
- [8] - A. GARANE, K. SOME, J. NIKIEMA, K. OUANGO, M. TRAORE, M. SAWADOGO, J. BELEM, *Afrique SCIENCE*, 15 (3) (2019) 190 - 207
- [9] - U. S. YANNICK, B. L. LOUIS, N. K. LUCIENS, M. MUBEMBA, *Journal of Applied Biosciences*, 54 (2012) 3935 - 3943
- [10] - S. PALE, A. BARRO, M. KOUMBEM, A. SERE, H. TRAORE, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15 (2) (2021) 497 - 510 <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i2.10>
- [11] - D. I. KIBA, "Diversité des modes de gestion de la fertilité des sols et leurs effets sur la qualité des sols et la production des cultures en zones urbaine, péri-urbaine et rurale au Burkina Faso", Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, (2012) 120 p.
- [12] - B. V. BADO, "Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et Soudanienne du Burkina Faso", Laval, Université Laval, (2002) 184 p.
- [13] - A. SOME, K. TRAORÉ, O. TRAORÉ, M. TASSEMBEDO, *BASE*, 11 (3) (2007) 245 - 252
- [14] - J. L. SMITH, E. A. PAUL, The significance of soil microbial biomass estimations. *Soil biochemistry*. J. M. Bollag, G. Stotzky. New York, N.Y., Marcel Dekker, (1990) 357 - 396
- [15] - S. JACQUES, Editions Universitaires Européennes, (2019) 49 p.
- [16] - J. SAWADOGO, P. J. A. COULIBALY, F. J. BAMBARA, A. C. SAVADOGO, E. COMPAORE, J. B. LEGMA, *Afrique SCIENCE*, 17 (6) (2020) 44 - 57 <http://www.afriquescience.net>
- [17] - P. J. D. A. COULIBALY, J. SAWADOGO, Y. A. BAMBARA, W. B. OUÉDRAOGO, J. B. LEGMA, E. COMPAORÉ, *Current Agriculture Research Journal*, 9 (1) (2021) 1 - 11 <http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.9.1.06>

- [18] - C. E. H. AYIDEGO, "Etude de l'efficacité des bokashis, du compost et de la solution de biopesticide promus par le centre Songhaï pour améliorer la production de la laitue et de l'amarante au Sud du Bénin.", Master de spécialisation en production intégrée et préservation des ressources naturelles en milieu urbain et péri-urbain, Université de Liège, (2019) 103 p.
- [19] - K. ABIDET, A. DJABIL, "L'effet de trichoderma sp et acide salicylique sur la réduction de l'incidence de la maladie et l'efficacité sur la croissance de la variété de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) contaminée par *Fusarium oxy*", Université Larbi Ben M'hidi Oum ElBouaghi, (2018) 120 p.
- [20] - H. P. BLUME, A. PAGE, RH MILLER, D. KEENEY, (Ed., 1982) : *Methods of soil analysis ; 2. Chemical and microbiological properties, 2. Aufl. 1184 S., American Soc. of Agronomy (Publ.), Madison, Wisconsin, USA, gebunden 36 Dollar*, 148 (3) (1985) 360 - 368
- [21] - F. L. J. BAMBARA, "Etude de l'efficacité de deux fertilisants organo-biologiques sur le production de l'oignon (*Allium cepa* L.) et les propriétés chimiques des sols dans la région du centre Ouest du Burkina Faso", Institut Polytechnique Privé Shalom (IPS), (2020)
- [22] - J. ANDERSON, J. INGRAM, *CAB International, Wallingford, Oxfordshire*, 221 (1993) 62 - 65
- [23] - K. A. TSHINYANGU, T. J. M. MUTOMBO, M. A. KAYOMBO, M. M. NKONGOLO, N. G. YALOMBE, M. J. CIBANDA, *Journal of Applied Biosciences*, 112 (2017) 10996 - 11001
- [24] - D. BAUZON, R. VAN DEN DRIESSCHE, Y. DOMMERGUES, *Sci. Sol*, 2 (1968) 55 - 78
- [25] - F. KAHU, M. YEMEFACK, P. FEUJIO-TEGUEFOUET, J. TCHANTCHAOUANG, *Tropicultura*, 29 (1) (2011) 39 - 45
- [26] - J. T. UPITE, A. K. MISONGA, E. K. M. LENGE, L. N. KIMUNI, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13 (7) (2019) 3411 - 3428
- [27] - M. A. KITABALA, U. J. TSHALA, M. A. KALENDA, I. M. TSHIJIKA, K. M. MUFIND, *Journal of Applied Biosciences*, 102 (1) (2016) 9669 - 9679 - 9669 - 9679
- [28] - B. V. BADO, M. P. SEDOGO, M. P. CESCAS, F. LOMPO, A. BATIONO, *Cahiers Agricultures*, 6 (6) (1997) 571 - 575
- [29] - F. LOMPO, "Effets induits des modes de gestion de la fertilité sur les états du phosphore et la solubilisation des phosphates naturels dans deux sols acides du Burkina Faso", Université de Cocody, (2009) 254 p.
- [30] - R. D. HARTE, "Les sols acides des tropiques", 17391 Durrance Road, North Fort Myers, FL 33917, USA, (2007) 12 p.
- [31] - L. YE, "Caractérisation des déchets urbains solides utilisables en agriculture urbaine et périurbaine : cas de Bobo-Dioulasso", Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso), (2007) 48 p.
- [32] - J. SAWADOGO, P. J. D. A. COULIBALY, F. J. BAMBARA, A. C. SAVADOGO, E. COMPAORE, J. B. LEGMA, *Afrique Science*, 17 (6) (2020) 44 - 57
- [33] - E. COMPAORÉ, L. S. NANEMA, S. BONKOUNGOU, M. P. SEDOGO, *Journal of applied biosciences*, 33 (1) (2010) 2076 - 2083
- [34] - A. JEPTOO, J. AGUYOH, M. SAIDI, *Global Journal of Biology, Agriculture and Health Sciences*, 2 (24) (2013) 136 - 142
- [35] - J. CHEPKEMOI, R. N. ONWONGA, G. N. KARUKU, V. M. KATHUMO, *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 3 (2) (2014) 145 - 156
- [36] - G. KARUKU, R. ONWONGA, V. KATHUMO, *Journal of Agriculture and Sustainability*, 12 (1) (2018)
- [37] - M. MUKALAY, "Identification et classification des sols sous les nouvelles normes et étude de bio-identification et restauration des unités dégradées dans la zone agricole du Haut-Katanga/RD Congo", Université de Lubumbashi, Lubumbashi, (2016) 255 p.
- [38] - M. MPUNDU MUBEMBA, Y. USENI, L. NYEMBO, G. COLINET, *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 18 (3) (2014) 367 - 375
- [39] - A. DABRE, E. HIEN, D. SOME, J. J. DREVON, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11 (1) (2017) 473 - 487

- [40] - P. N. ZOMBRE, *BASE*, 10 (2) (2006) 139 - 148
- [41] - F. LOMPO, Z. SEGDA, Z. GNANKAMBARY, N. OUANDAOGO, *Tropicultura*, 27 (2) (2009) 105 - 109
- [42] - Z. GNANKAMBARY, U. ILSTEDT, G. NYBERG, V. HIEN, A. MALMER, *Soil Biology and Biochemistry*, 40 (2) (2008) 350 - 359
- [43] - B.-G. DIARRA, "Influence du phosphore ,de l'azote et du houppier sur les rendements du sorgho (*Sorghumbicolor*), les fractions du phosphore et l'activité des microorganismes du sol d'un parc agroforestier de la zone soudanienne du BurkinaFaso.", Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, (2009) 88 p.
- [44] - J. M. K. AMBOUTA, I. B. MOUSSA, *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 15 (1) (2004) 49 - 55
- [45] - H. ZEINABOU, S. MAHAMANE, N.H. BISMARCK, B.V. BADO, F. LOMPO, A. BATIONO, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8 (4) (2014) 1620 - 1632 <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i4.24>
- [46] - F. NZUKI BAKWAYE, E. KINKWONO, B. SEKLE, *Tropicultura*, 29 (2) (2011) 114 - 120