
Effet des fumures organiques et d'association des cultures sur les propriétés des sols et la sécrétion de la glomaline dans un champ de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) dans la zone de Saguia à Niamey

Ibrahim Jamilou Salissou^{1*}, **Dahiratou Ibrahim Doka**¹, **Abdoul Razack Harouna Maidoukia**², **Moussa Baradje**³, **Saidou Adam Kiari**⁴, **Sabiou Mahamane**⁴, **María Teresa Barral**⁵, **Remigio Paradelo Núñez**⁵

⁽¹⁾Université Abdou Moumouni. Ecole Normale Supérieure. Laboratoire Biologie. BP 10 960 Niamey (Niger). E-mail : ibrahimjamilou8@gmail.com

⁽²⁾Université Djibo Hamani. Faculté Sciences de l'éducation. Département didactique de l'Education. BP 255 Tahoua (Niger)

⁽³⁾Université Abdou Moumouni. Faculté d'Agronomie. BP 10 960 Niamey (Niger)

⁽⁴⁾Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN). Département de gestion des ressources naturelles. BP 429 Niamey (Niger)

⁽⁵⁾Universidad de Santiago de Compostela. Departamento de Edafología e Química Agrícola. BP 15782 Santiago de Compostela (Espagne).

Reçu le 05 mai 2024, accepté le 03 août 2024, publié en ligne le 28 septembre 2024

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v7i3.1>

RESUME

Description du sujet. Les fumures organiques et les associations des cultures influencent sur les propriétés des sols et la sécrétion de la glomaline chez la tomate.

Objectif. Ce travail vise à identifier le traitement ou l'association culturale idéale capable d'améliorer la production de tomate dans un sol pauvre en nutriments et en matière organique.

Méthodes. Les graines de la variété exotique de tomate «Tropimech ont été utilisées. Un dispositif expérimental de Fischer a été mis en place dans la zone de Saguia à Niamey et les traitements à base des fumures organiques (bouse de vaches, bouse de chèvres et fiente de volailles) à trois doses différentes ont été appliqués dans la culture de tomate. Les propriétés physico-chimiques et la glomaline ont été analysées sur le sol prélevé entre 0-20 cm.

Résultats. Les résultats obtenus ont montré que les sols étudiés présentent une texture sablo-limono-argileuse, un pH de 8,2 et une conductivité électrique faible allant de 196 à 615 μScm^{-1} . Le sol amendé avec la fiente de volailles est le plus riche en azote (1,3 g kg^{-1}) et carbone (14,0 g kg^{-1}), suivi par le sol amendé par la bouse de chèvres, puis par le sol ayant reçu la bouse de vaches avec (N=1,1 g kg^{-1} et C=11,5 g kg^{-1}). Un taux élevé de glomaline a été enregistré dans tous les traitements qui oscille de 0,6 à 0,8 mg kg^{-1} et un pourcentage élevé de la stabilité d'agrégat qui varie de 45,0 à 68,0 %. L'association tomate + maïs a enregistré la teneur la plus élevée en sodium ($\text{Na}^+=0,5 \text{ cmolc kg}^{-1}$), tandis que le traitement avec la bouse de vaches dose 1 a enregistré la valeur la plus faible (0,1 cmolc kg^{-1}). La teneur en sodium a été aussi plus élevée dans le système d'association culturale (0,21 cmolc kg^{-1}) que dans le système en culture pure (0,15 cmolc kg^{-1}). Les éléments des métaux lourds (Pb, Ni, Cr, Fr, Cu) sont à l'état de trace dans tous les traitements et les systèmes de culture.

Conclusion. Une forte corrélation positive a été enregistrée entre les éléments nutritifs et les indicateurs de la fertilité du sol. La fiente de volailles et l'association tomate + poivron améliorent plus les propriétés et la qualité des sols.

Mots-clés : Tomate, propriétés physico-chimiques du sol, glomaline, stabilité d'agrégat, Niamey.

ABSTRACT

Effect of Organic Fertilizers and Crop Combinations on Soil Properties and Glomalin Secretion in a Tomato Field (*Solanum lycopersicum* L.) in the Saguia Area of Niamey

Description of the Subject. Organic fertilizers and crop associations influence soil properties and glomalin secretion in tomatoes.

Objective. This work aims to identify the ideal treatment or combination capable of improving tomato production in soil deficient in nutrients and organic matter.

Methods. Tomato seeds of the exotic variety “Tropimech” were used. An experimental setup was established in the Saguia area of Niamey, and treatments based on organic manures (cow dung, goat dung, and poultry droppings) at three different doses were applied to the tomato crop. The physicochemical properties and glomalin content were analyzed in soil samples taken from a depth of 0-20 cm.

Results. The results showed that the soils studied have a sandy-silty-clay texture, a pH of 8.2, and low electrical conductivity ranging from 196 to 615 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Soil amended with poultry droppings was the richest in nitrogen (1.3 g kg^{-1}) and carbon (14.0 g kg^{-1}), followed by soil amended with goat dung, then soil amended with cow dung (N = 1.1 g kg^{-1} and C = 11.5 g kg^{-1}). The lowest values were observed in the peasant practice dose 1. A high level of glomalin was recorded in all treatments, ranging from 0.6 to 0.8 mg kg^{-1} , along with a high percentage of aggregate stability, ranging from 45.0 to 68.0 %. The tomato + corn combination recorded the highest sodium content ($\text{Na}^+ = 0.5 \text{ cmolc kg}^{-1}$), while the cow dung dose 1 treatment recorded the lowest value (0.1 cmolc kg^{-1}). Sodium content was also higher in the mixed crop system (0.21 cmolc kg^{-1}) compared to the pure culture system (0.15 cmolc kg^{-1}). Heavy metal elements (Pb, Ni, Cr, Fe, Cu) were found in trace amounts in all treatments and cultivation systems.

Conclusion. A strong positive correlation was observed between nutrients and soil fertility indicators. Poultry droppings and the tomato + pepper combination further improve soil properties and quality.

Keywords. Tomato, physicochemical properties of soil, glomalin, aggregate stability, Niamey

1. INTRODUCTION

La croissance démographique en Afrique subsaharienne a engendré une augmentation de la demande alimentaire. La pratique de la jachère de longue durée a tendance à disparaître, laissant place à une jachère de courte durée et à une agriculture sédentarisée (Saidou *et al.*, 2009 ; Kotaix *et al.*, 2013). Dans la plupart des pays sahéliens, les sols sont peu fertiles et les éléments nutritifs exportés ne sont pas adéquatement remplacés (Bationo *et al.*, 20011 ; Salou *et al.*, 2011 ; Bado *et al.*, 2012 ; Roose, 2017). Le succès de l'agriculture dite « conventionnelle » est basé sur un emploi intensif de fertilisants et de produits phytosanitaires ainsi que la recherche de nouvelles terres fertiles dont les effets néfastes sur l'environnement commencent à être très nettement perçus (Claude, 2007 ; Badabaté *et al.*, 2012). Parmi ces ressources, le sol constitue l'une des plus menacées, notamment en raison de l'impact de l'activité humaine sur leur dynamique (Ballot *et al.*, 2016) ; ce qui a pour conséquence, la baisse du rendement agricole (Shepherd *et al.*, 2003 ; Saidou *et al.*, 2009).

La volonté de promouvoir une agriculture dite « durable » respectueuse de l'environnement impose donc de rechercher des méthodes alternatives à la lutte chimique contre les maladies et les ravageurs (Claude, 2007). Parmi les méthodes alternatives de protection des plantes, l'emploi de microorganismes antagonistes est un domaine étudié depuis de nombreuses années et qui connaît un regain d'intérêt dans ce contexte d'agriculture durable (Claude, 2007). Le succès de la fertilisation dépend de son effet sur la qualité physico-chimique et biologique des sols et de la rétention des nutriments (RECA, 2016). Cela prouve que l'amendement en fumures organiques est indispensable pour améliorer la productivité des sols et optimiser le rendement des cultures. L'apport en fumures organiques favorise l'activité de certains microorganismes en particulier les champignons

mycorhiziens à arbuscules (CMA) qui assurent la nutrition de la plante et modifient la structure du sol à travers la sécrétion de la glomaline (Steinberg et Rillig, 2003). Des études ont été faites par plusieurs auteurs sur les cultures maraîchères en occurrence la tomate au Niger (Schankara, 2005 ; Habou *et al.*, 2008), mais jusqu'à présent, aucune étude n'a été faite sur la sécrétion de la glomaline. D'où l'intérêt de cette étude sur l'effet des fumures organiques et d'associations des cultures maraîchères sur les propriétés physico-chimiques des sols hydromorphes et sur la sécrétion de la glomaline dans un champ expérimental de tomate à Niamey.

L'objectif principal de l'étude est de contribuer à une gestion durable de la fertilité des sols pour l'amélioration de la productivité de la tomate. Plus spécifiquement, il s'agit de : (i) caractériser les propriétés physico-chimiques et la teneur en métaux lourds du sol sous fertilisation à base de différentes fumures organiques, en culture pure de tomate et en association ; (ii) déterminer le taux de la glomaline et le pourcentage de la stabilité structurale en fonction de fumures organiques ; (iii) déterminer la corrélation entre les indicateurs de la fertilité des sols et les éléments nutritifs, en vue d'identifier les fumures qui offrent les meilleures conditions de fertilité pour un rendement optimal de la tomate.

L'étude donne des éléments permettant d'apporter une contribution aux producteurs pour une meilleure valorisation de fumures organiques et des résidus de culture afin d'améliorer la fertilité du sol.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Zone d'étude

La zone d'étude se situe dans la vallée du fleuve Niger, dans l'arrondissement V de Niamey, à Saguia (Niger) (Figure 1). En effet, les sites expérimentaux

sont situés sur la rive droite du fleuve Niger dans l'arrondissement V de Niamey dont les coordonnées géographiques sont les suivantes : 13°27,534' Nord, 2°06,977' Est pour la position du site isolé ; 13°26,870' Nord, 2°06,451' Est ; 13°26,906' Nord, 2°06,317' Est pour la position des deux sites à côté de Kori ou de l'affluent d'eau. L'une des activités principales de la zone est la culture irriguée : la riziculture, les cultures maraîchères et l'arboriculture fruitière (RECA, 2016).

Le climat de la zone d'étude est de type sahélien, caractérisé par trois saisons : la saison sèche froide qui s'étend d'octobre à février, une saison sèche chaude allant de mars à mai et une saison pluvieuse qui

s'étend de juin à septembre (INS, 2016 ; Ozer *et al.*, 2017).

Le profil pédologique montre qu'on y rencontre deux types de sol qui sont : les sols ferrugineux tropicaux à texture sableuse, sur lesquels sont pratiquées les cultures pluviales et les sols hydromorphes consacrés aux cultures irriguées et maraîchères et abritant la plupart des vergers de la capitale en raison des possibilités d'irrigations qu'offre le fleuve (INS, 2016 ; Ozer *et al.*, 2017). Les analyses physico-chimiques des sols ont montré une faible teneur en nutriments et en matière organique avant la mise en place de l'expérimentation avec une texture sablo-argileuse, un pH neutre à basique (7,8), une teneur en phosphore assimilable (6,95 mg kg⁻¹), un pourcentage en MO (2,61 %) très faible.

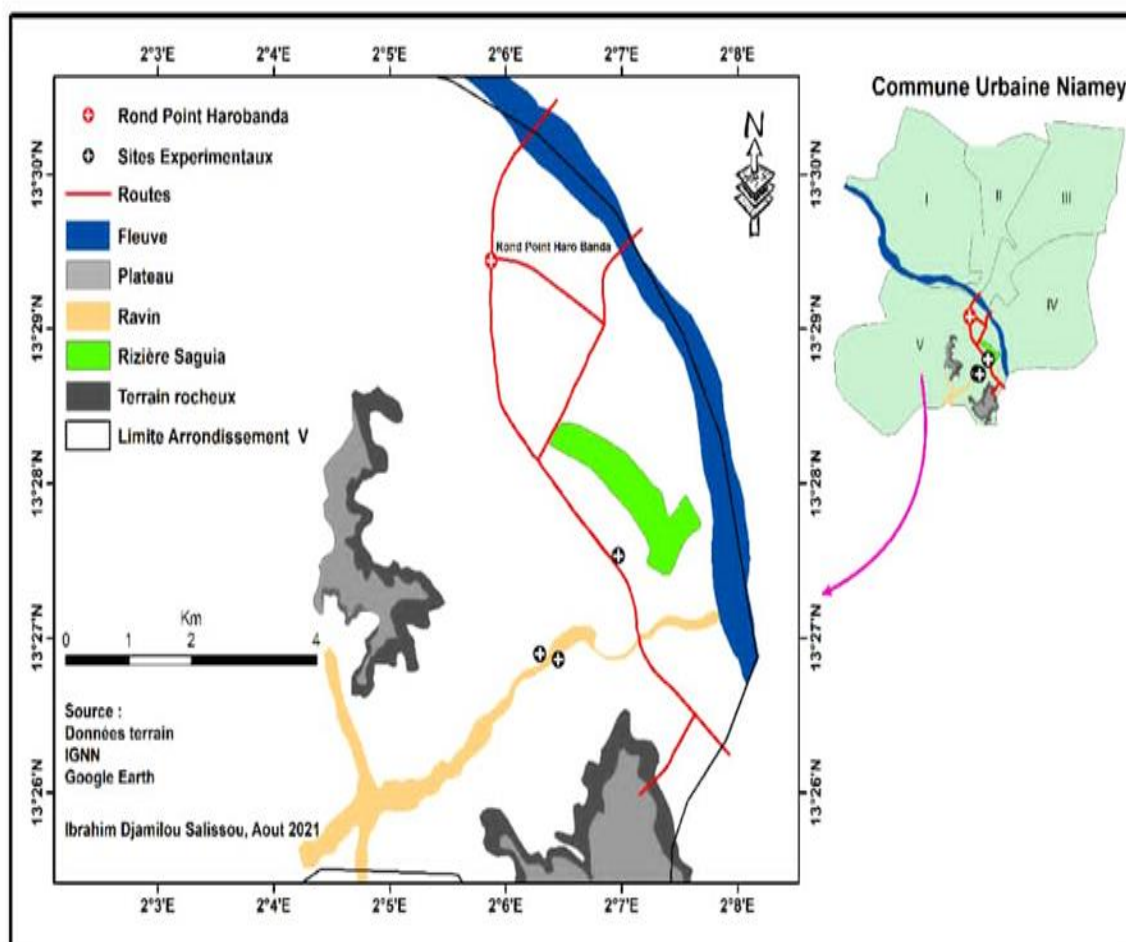


Figure 1. Localisation des sites expérimentaux (Jamilou, 2021)

2.2. Matériel végétal

L'étude a porté sur la variété exotique de tomate «Tropimech», communément appelée «Chaibo» en Haoussa et «Kangaou» en Zarma. Elle est utilisée comme semence pour obtenir des jeunes plants. La pratique agricole de l'association culturale inclut des plantes non mycorhizées (chou «*Brassica aleracea*» et carotte «*Daucus carota* L.») et des plantes mycorhizées (melon «*Cucumis melo* L.», maïs «*Zea mays*» et poivron «*Capsicum annum* L.») pour l'amélioration de la qualité du sol et juguler la pauvreté des sols dans la zone subsaharienne.

2.3. Méthodes

Pratiques agricoles et traitements appliqués

Les Pratiques agricoles et traitements appliqués sont présentés au tableau 1.

Tableau 1. Pratiques agricoles et traitements appliqués

Traitement	Système de culture	Type d'association	Fertilisants	Dose	Composition de traitements
PPD1	Tomate	Culture pure	PP	D1	120,0 kg NPK /ha et 2 t/ha de paille de mil
BVD1	Tomate	Culture pure	BV	D1	48,9 t/ha de fumure Bovin et 2 t/ha de paille de mil
BCD1	Tomate	Culture pure	BC	D1	18,3 t/ha de fumure caprin et 2 t/ha de paille de mil
FVD1	Tomate	Culture pure	FV	D1	240 kg/ha de fumure Volaille et 2 t/ha de paille de mil
PPD2	Tomate	Culture pure	PP	D2	150,0 kg/ha NPK et 2,5t/ha de paille de mil
BVD2	Tomate	Culture pure	BV	D2	61,4 t/ha de fumure Bovin et 2,5 t/ha de paille de mil
BCD2	Tomate	Culture pure	BC	D2	23,4 t/ha de fumure caprin et 2,5 t/ha de paille de mil
FVD2	Tomate	Culture pure	FV	D2	300,0 kg/ha de fumure Volaille et 2,5 t/ha de paille de mil
PPD3	Tomate	Culture pure	PP	D3	180,0 kg/ha de NPK et 3 t/ha de paille de mil
BVD3	Tomate	Culture pure	BV	D3	73,4 t/ha de fumure Bovin et 3 t/ha de paille de mil
BCD3	Tomate	Culture pure	BC	D3	27,5 t/ha de fumure caprin et 3 t/ha de paille de mil
FVD3	Tomate	Culture pure	FV	D3	400,0 kg/ha de fumure Volaille et 3 t/ha de paille de mil
APv	Tomate + Poivron	APNM	PP	D1	Tomate + Poivron + PPD1
ACh	Tomate + Chou	APM	PP	D1	Tomate + Chou + PPD1
AMa	Tomate + Mais	APNM	PP	D1	Tomate + Mais + PPD1
AMe	Tomate + melon	APNM	PP	D1	Tomate + Melon + PPD1
ACr	Tomate +carotte	APM	PP	D1	Tomate + Carotte + PPD1

Légende : PP (Pratique paysanne) ; BV (Bouse de vaches) ; BC (Bouse de chèvres) ; FV (Fiente de volailles) ; D (Dose) ; AMa (Association Tomate + Mais) ; APv (Association Tomate + Poivron) ; ACh (Association Tomate + Choux) ; ACr (Association Tomate + Carotte) ; Ame (Association Tomate + Melon) ; APNM (Association avec plante non mycorhizienne) ; APM (Association avec plante mycorhizienne).

Dispositif expérimental et traitements appliqués

Le jardin expérimental sert depuis les années 1960 pour la culture pluviale et la culture irriguée de la plupart de spéculations. Le dispositif expérimental appliqué est un bloc complet randomisé, composé de 48 planches pour la culture de tomate en culture pure et 20 parcelles pour la culture de tomate en association, soit un total de 68 parcelles mises en expérimentation, dont chaque traitement avec 4 répétitions. La dimension de chaque parcelle était de 2 m² soit 2 m pour la longueur x 1 m pour la largeur. Les résultats présentés de cette étude c'est un cumule des 4 ans d'expérimentations allant de 2018 à 2021.

Les traitements ont été distingués en 4 groupes : apport de fumure organique, associations culturales, apport fumure organique + associations culturales et témoin. Ces fumures organiques ont été analysées par la méthode de Kjeldahl en azote et Bray en phosphore. La fumure de volailles est la plus riche en nutriments avec N (5,13 %), P (0,039 %), K (0,12 %), suivie de la fumure de caprins N avec (0,56 %), P (0,028 %), K (0,07 %), puis celle de bovins avec N (0,20%), P (0,017 %), K (0,03 %). Les doses des fumures utilisées ont été calquées selon les recommandations des amendements

sur la culture de tomate dans les études faites par Schankara *et al.* (2005) et Habou *et al.* (2008). La matière organique (paille de mil) a été épandue dans chaque essai avant la préparation de terrain afin d'enrichir le sol en matières organiques et corriger son appauvrissement en carbone. Les fumures organiques et l'engrais minéral NPK (15-15-15) ont été utilisés sous forme de fertilisants de fond par l'épandage et par micro-dose pour l'entretien (Tableau 1), dans le but d'enrichir le sol en éléments nutritifs.

Itinéraire technique

Pour la bonne conduite de cette expérimentation, une pépinière a été mise en place, trois semaines après s'en est suivi le repiquage des plants. Il a été effectué suivant l'écartement de 80 cm x 40 cm. Un désherbage manuel à la houe a été réalisé chaque semaine permettant d'éviter la concurrence des mauvaises herbes. L'arrosage s'est fait deux fois par jour à raison de deux arrosoirs de 16 litres sur chaque parcelle. Les plants ont été également élagués pendant la montaison pour éviter le développement de rameaux auxiliaires afin de conserver un bon équilibre végétatif/génératif. Le système de tuteurage a été fait vers le 30^{ème} jour après

repiquage (Bénard, 2009). Les paramètres de rendements (les fruits et la biomasse) ont été récoltés et mesurés à l'aide des balances numériques.

Echantillonnage et analyses physico-chimiques du sol

Des échantillons de sol ont été prélevés à la tarière manuelle dans les vingt premiers centimètres du sol, sur les parcelles de tomate en culture pure et en association avec les plantes mycorhizées (melon, maïs, poivron) et non mycorhizées (chou et carotte). Les échantillons du sol ont été mis dans des plastiques à zip préalablement étiquetés, avant et après la mise en place de culture. Sur chaque parcelle, des composites représentatifs ont été constitués selon les traitements et mode d'association culturale à partir des échantillons pris sur les quatre côtés et la médiane de la parcelle. Ces échantillons ont été prélevés chaque année durant quatre ans d'expérimentation et ont été séchés à la température ambiante (25 à 30 °C) au laboratoire, à l'air libre.

Pour des analyses physico-chimiques, la séparation des éléments grossiers a été réalisée à l'aide d'un tamis à maille de 2 mm. La granulométrie a été déterminée par la méthode de la pipette de Robinson après destruction de la matière organique et les carbonates et dispersion avec hexametaphosphate sodique. Le carbone et l'azote totaux ont été dosés sur le sol broyé par un analyseur élémentaire LECO. Le pH a été mesuré en suspensions 1:2.5 (sol:eau) avec une électrode Crison. La conductivité électrique a été mesurée avec un conductivimètre Hannah en extraits aqueux en relation 1:2. Le phosphore assimilable a été extrait avec NaHCO_3 0,5 M (Olsen et Sommers, 1982). Les bases échangeables (Ca, Mg, K et Na) ont été extraites avec acétate d'ammonium 1 N à pH 7 ; la lecture de la concentration a été réalisée par spectrophotométrie

d'absorption atomique pour Ca et Mg et d'émission pour K et Na (Varian Cary 100). La capacité d'échange cationique (CEC) total a été déterminé après lessivage de l'excès d'ammonium avec KCl, suivi du dosage du NH_4 par distillation. Les métaux totaux (Pb, Cu, Zn, Ni et Cr) ont été dosés après digestion acide ($\text{HF} + \text{HNO}_3$) des sols broyés à l'aide de microondes. La glomaline facilement extractible (Wright et Upadhayaya, 1996) a été déterminée après extraction du sol avec le citrate tri-sodique (20 mM, pH = 7,0) et dosé par la méthode de Bradford (1976). Enfin, la stabilité des agrégats à l'eau a été déterminée par la méthode de Kemper et Rosenau (1986).

Analyse statistique

Les résultats des échantillons analysés ont été enregistrés dans le tableur Microsoft Excel 2010. Différents tests statistiques ont été effectués afin de réaliser le traitement des données des paramètres physico-chimiques du sol à l'aide du logiciel R (version 4.0.2). L'analyse de la variance ANOVA, le test ACP, le test de comparaison de Pearson ont été réalisés. L'intervalle de confiance utilisé pour évaluer le degré de précision est de 95 %. Le test de Shapiro-Wilk a été appliqué sur chaque variable pour la loi de normalité.

3. RESULTATS

3.1. Texture du sol

L'analyse texturale (Tableau 2) a montré que les sols étudiés sont sablo-limono-argileux, avec pourcentage de sable fin variant de (5,8 % à 9,1 %) ; sable grossier (40,4 % à 40,9 %) ; de limon fin (9,42 % à 12,3 %) ; limon grossier (19,0 % à 25,0 %) et d'argile (16,0 % à 22,0 %).

Tableau 2. Texture du sol

	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier
PPD1	22,0	12,3	19,0	5,8	40,9
PPD2	16,0	9,4	25,0	9,1	40,4

Légende : PPD1 (pratique paysanne, dose1) ; PPD2 (pratique paysanne, dose2)

3.2. Propriétés physico-chimiques des sols

Le pH des sols étudiés, moyennement basique avec le pH 8,2 (Tableau 3), est resté pratiquement constant dans tous les traitements avec des différences non significatives entre les traitements ($P > 0,1$). La conductivité électrique (CE) des sols analysés a été très faible et non saline, inférieure à $0,5 \text{ dS m}^{-1}$, les échantillons des sols de tous les traitements ne dépassent pas la teneur limite de 3 dS m^{-1} avec une différence non significative ($P\text{-value} = 0,231$).

La pratique paysanne dose 3 (PPD3) a enregistré la plus haute teneur en C= $18,0 \text{ g kg}^{-1}$, et en N= $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ suivie par le traitement de la fiente de volaille dose 2 (FVD2) avec une valeur C= $16,8 \text{ g kg}^{-1}$ et (N= $1,6 \text{ g kg}^{-1}$ en azote, puis le traitement de l'association tomate + poivron et enfin la pratique paysanne dose 2 (C= $9,5 \text{ g kg}^{-1}$ N= $0,9 \text{ g kg}^{-1}$). La teneur en azote extractible est homogène et statistiquement non significative entre les différents traitements et pour le système de culture en association (21 g kg^{-1}). L'utilisation des fumures organiques (fiente de volailles, bouse de vaches et bouse de chèvres) ont le même apport en azote extractible au fil du temps.

Tableau 3. Propriétés physico-chimiques des sols

Paramètres	pH	CE	C	N	C/N	P ass	N ext	CEC	Ca	Mg	Na	K	GL	SA
		$\mu\text{S cm}^{-1}$	g kg^{-1}	g kg^{-1}		mg kg^{-1}	mg kg^{-1}			cmolc kg^{-1}			mg kg^{-1}	%
PPD1	8,1	389,0	13,8	1,3	10,0	19,0	53,0	15,0	6,9	9,3	0,2	1,3	0,8	51,0
BVD1	8,3	220,0	9,9	0,9	10,0	21,0	55,0	12,3	4,8	5,3	0,1	0,7	0,7	45,0
BCD1	8,4	219,0	15,4	1,3	12,0	29,0	50,0	12,8	6	6,2	0,2	1,8	0,7	49,0
FVD1	8,3	247,0	10,5	1,0	10,0	18,0	55,0	16,9	4,9	4,9	0,2	0,9	0,7	50,0
PPD2	8,3	209,0	9,5	0,9	12,0	15,0	65,0	11,6	4,8	5,1	0,2	1,5	0,7	53,0
BVD2	8,3	196,0	10,7	1,0	10,0	30,0	45,0	12,7	6,4	6,8	0,2	2,7	0,7	54,0
BCD2	8,0	490,0	14,6	1,4	11,0	26,0	55,0	12,4	5,8	6,1	0,3	1,1	0,8	57,0
FVD2	8,1	254,0	16,8	1,6	11,0	27,0	58,0	14,1	6,5	8,8	0,2	2,0	0,8	64,0
PPD3	8,0	424,0	18,0	1,5	12,0	26,0	43,0	14,6	5,1	6,9	0,3	1,3	0,8	50,0
BVD3	8,2	340,0	14,0	1,3	11,0	16,0	65,0	11,1	4,6	5,6	0,3	0,8	0,8	55,0
BCD3	8,1	370,0	9,9	0,9	11,0	22,0	45,0	13,8	4,4	4,9	0,2	1,5	0,7	62,0
FVD3	8,2	267,0	11,4	1,2	9,0	20,0	55,0	12,2	5,6	7,1	0,2	1,1	0,7	54,0
APv	8,3	267,0	15,9	1,5	9,0	20,0	55,0	18,3	6,8	7,3	0,2	1,1	0,8	68,0
ACh	8,0	546,0	12,2	1,3	10,0	18,0	60,0	11,6	4,8	5,6	0,4	1,4	0,8	57,0
AMa	8,2	615,0	11,4	1,2	9,0	22,0	58,0	16,8	4,3	5	0,5	1,6	0,6	47,0
AMe	8,2	292,0	14,5	1,4	10,0	20,0	65,0	13,7	4,9	5,2	0,1	1,2	0,8	63,0
ACr	8,2	262,0	11,4	1,2	11,0	23,0	50,0	12,2	5,6	7,1	0,3	1,9	0,7	54,0
P-v	0,237	0,231	0,06	0,046	0,5	0,97	0,316	0,000	0,702	0,216	0,027	0,385	0,683	0,000
Culture pure	8,1	302,0	13,1	1,2	10,0	18,0	53,9	12,8	5,6	6,4	0,2	1,5	0,8	54,0
Association	8,1	396,0	13,0	1,3	10,0	16,2	57,5	14,5	5,3	6,1	0,2	1,4	0,8	58,0
P-v	0,849	0,307	0,957	0,479	0,026	0,635	0,319	0,096	0,561	0,577	0,089	0,981	0,940	0,086
PP	8,1	340,0	13,3	1,29	11,0	15,5	55,9	14,2	5,4	6,4	0,2	1,4	0,7	55,5
BV	8,3	252,0	11,5	1,1	10,0	18,4	55,0	12,03	5,2	5,7a	0,1	1,4	0,7	51,2
BC	8,1	359,0	13,3	1,2	12,0	21,9	50,0	11,87	5,3	5,9	0,1	1,4	0,7	56,2
FV	8,1	256,0	14,0	1,3	10,0	17,4	57,5	13,90	6,1	6,9a	0,1	1,4	0,8	54,8
P-v	0,303	0,527	0,788	0,527	0,405	0,600	0,525	0,133	0,735	0,58	0,487	0,998	0,623	0,5
D1	8,2	269,0	12,7	1,2	10,0	17,0	55,6	14,4	5,4	6,2	0,2	1,3	0,8	54,0
D2	8,2	287,0	12,8	1,2	11,0	19,8	55,6	11,9	5,9	6,7	0,2	1,8	0,8	57,0
D3	8,1	350,0	14,1	1,3	10,0	16,4	53,1	12,6	5,3	6,1	0,2	1,3	0,8	54,0
P-v	0,062	0,183	0,492	0,843	0,425	0,756	0,583	0,042	0,902	0,954	0,280	0,767	0,831	0,594
APM	8,2	403,8	14,0	1,3	10,0	20,5	59,3	14,2	4,9	5,8	0,3	1,3	0,8	72,0
APNM	8,1	391,0	12,4	1,4	11,0	20,5	55,0	15,0	5,7	6,5	0,3	1,6	0,7	82,0
P-v	0,663	0,924	0,535	0,846	0,426	1	0,909	0,717	0,403	0,476	0,816	0,412	0,133	0,222

Légende : PP (Pratique paysanne) ; BV (Bouse de vaches); BC (Bouse de chèvres) ; FV (Fiente de volailles) ; D (Dose) ; AMa (association tomate + maïs); APv (Association Tomate + Poivron) ; ACh (Association Tomate + Choux) ; ACr (Association Tomate + Carotte) ; AMe (Association Tomate + Melon) ; APM (Association avec plante mycorhizienne) ; APNM (Association avec plante non mycorhizienne) ; GL (glomaline) ; SA (Stabilité d'Agrégats) ; N ext (N extractible).

Les valeurs de P assimilable sur l'ensemble des échantillons de sols étudiés sont importantes, avec la valeur la plus élevée ($30,5 \text{ mg kg}^{-1}$) pour la bouse de vaches dose 2 (BVD2) à la valeur la plus faible ($42,5 \text{ mg kg}^{-1}$) pour la pratique paysanne dose 2 (PPD2) par rapport aux autres traitements.

La valeur la plus élevée de CEC a été enregistrée au niveau du traitement de l'association tomate + carotte ($18,3 \text{ cmolc kg}^{-1}$) et la valeur la plus faible a été enregistrée au niveau du traitement bouse de vaches dose 3 (BVD3) ($11,1 \text{ cmolc kg}^{-1}$) et la différence entre les traitements est très significative ($P\text{-value}<0,001$). La CEC des différents doses sont dans l'ordre suivant : $D2>D3>D1$ avec une différence significative ($P=0,042$). Par rapport aux bases échangeables, les teneurs oscillent en calcium ($4,3\text{-}6,9 \text{ cmolc kg}^{-1}$) et en magnésium (avec $4,3\text{-}9,3 \text{ cmolc kg}^{-1}$). Les teneurs en potassium et en sodium présentent des valeurs acceptables pour l'ensemble des échantillons de sol, comparées aux valeurs de référence respectives $0,15\text{-}0,2 \text{ cmolc kg}^{-1}$ pour sodium et $0,3\text{-}0,7 \text{ cmolc kg}^{-1}$ pour potassium. L'analyse de la variance ANOVA a montré qu'il n'y a pas de différences significatives entre les valeurs de la composition du complexe d'échange obtenues dans les différents traitements, sauf en sodium, avec une valeur maximale obtenue avec le traitement tomate + maïs ($0,5 \text{ cmolc kg}^{-1}$) et le minimum avec le traitement bouse de vaches dose 1 (BVD1) ($0,1 \text{ cmolc kg}^{-1}$). La teneur en sodium a été aussi plus élevée dans le système d'association culturale ($0,21 \text{ cmolc kg}^{-1}$) que dans le système en culture pure ($0,15 \text{ cmolc kg}^{-1}$). Ces résultats

prouvent que les fumures organiques ne montrent pas une très grande différence entre elles pour la teneur de la majorité des bases échangeables.

Concernant la stabilité d'agrégats, l'association de la tomate avec la carotte est plus efficace avec un pourcentage élevé de $68,0 \%$ de la stabilité d'agrégat suivi par le traitement de la fiente de volailles dose 2 avec un pourcentage de la stabilité d'agrégat de $65,0 \%$. L'analyse statistique de la comparaison des moyennes deux à deux a montré une différence statistique très significative du traitement le plus efficace (l'association de la tomate avec la carotte) au traitement le moins efficace (bouse de vaches dose 1). Aussi, le type d'association de plante mycorhizée avec la tomate et le type d'association de plante non mycorhizée ont présenté un taux très élevé de stabilité d'agrégat, respectivement de $82,0 \%$ et $72,0 \%$.

Le taux de la glomaline secrété par les champignons mycorhiziens à arbuscules est plus élevé au niveau de traitement de la fiente de volailles dose 3 avec $0,84 \text{ mg/kg}$ suivi par l'association de culture de la tomate + carotte et l'association de la tomate + maïs avec le même taux de la glomaline ($0,83 \text{ mg/kg}$) par rapport aux autres traitements. Dans l'ensemble, les fumures organiques favorisent la sécrétion de la glomaline qui est très importante pour la structure de sols.

3.3. Contamination des sols

Par rapport à la contamination des sols, les métaux lourds analysés (Tableau 4) ont montré des valeurs très faibles, sans différences significatives entre les

traitements, ce qui confirme que les fumiers utilisés n'apportent pas de quantités importantes de ces polluants.

Tableau 4. Teneurs en métaux totaux (mg kg⁻¹)

Traitements	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr
PPD1	41	6	37	25	24
BVD1	43	8	61	27	33
BCD1	49	9	52	29	32
FVD1	41	6	49	25	24
PPD2	49	8	51	28	31
BVD2	39	7	50	28	31
BCD2	50	7	56	30	31
FVD2	51	9	59	33	33
PPD3	53	8	58	31	31
BVD3	53	7	51	31	27
BCD3	55	6	45	31	26
FVD3	50	9	48	29	34
APv	50	9	48	29	34
ACh	49	8	52	29	33
AMa	49	8	55	28	32
AMe	44	5	42	27	25
ACr	55	7	54	30	29
P-value	0,212	0,502	0,106	0,239	0,427
Culture pure	17	8	52	29	16
Association	19	8	50	28	21
P-value	0,494	0,394	0,499	0,453	0,238
PP	18	7	54	28	18
BV	12	7	54	29	17
BC	23	8	51	30	19
FV	16	8	49	30	14
P-value	0,287	0,701	0,521	0,412	0,811
D1	15	7	54	27,56	18
D2	15	8	52	30	21
D3	25	8	50	31	14
P-value	0,058	0,871	0,403	0,001	0,297
APM	51	7	55	25	16
APNM	60	8	57	26	16
P-value	0,243	0,304	0,285	0,666	0,448

Légende : PP (Pratique paysanne); BV (Bouse de vaches); BC (Bouse de chèvres); FV (Fiente de volailles); D (Dose); AMa (Association Tomate + Maïs); APv (Association Tomate + Poivron); ACh (Association Tomate + Choux); ACr (Association Tomate + Carotte); Ame (Association Tomate + Melon); APM (Association avec plante mycorhizienne); APNM (Aavec plante non mycorhizienne).

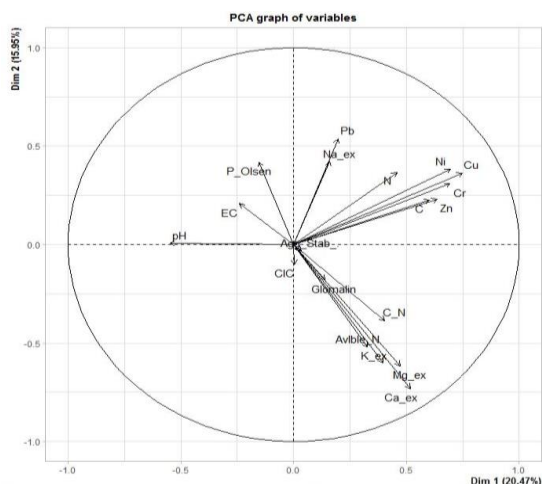
3.4. Corrélations entre les variables et analyse des composantes principales

Le test de Pearson (Tableau 5) montre des corrélations positives typiques entre calcium et le magnésium, la glomaline et la stabilité d'agrégat, et entre les éléments majeurs (carbone et azote, ...). L'analyse des composantes principales (Figure 2) permet de vérifier les relations entre les paramètres physico-chimiques des sols étudiés. Les variables telles que les bases

échangeables (Ca, Mg), la CEC, la teneur en carbone et azote, la glomaline et la stabilité d'agrégat sont bien représentées dans le cercle de corrélation et se rapprochent de l'axe 1 qui est de coordonnée positive. Les variables telles que P assimilable et Na sont très proches de l'axe 2. Enfin, les variables pH et CE, bien qu'elles soient dans le cercle, sont négativement corrélés aux éléments nutritifs des sols.

Tableau 5. Matrice de corrélations de Pearson

	pH	EC	C	N	C/N	Nass	Pass	CEC	Ca	Mg	Na	K	SA	GL	Cu	Pb	Zn	Ni
pH	1,00																	
EC	-0,19	1,00																
C	-0,29	-0,28	1,00															
N	-0,23	-0,19	0,94	1,00														
C/N	-0,09	-0,31	0,12	-0,18	1,00													
Nass	-0,14	0,07	-0,03	-0,20	0,39	1,00												
Pass	0,08	0,08	-0,15	-0,10	-0,09	-0,37	1,00											
CEC	0,13	-0,04	0,17	0,16	-0,02	-0,02	-0,24	1,00										
Ca	-0,37	-0,23	0,15	0,01	0,34	0,43	-0,18	0,00	1,00									
Mg	-0,39	-0,15	0,22	0,13	0,20	0,28	-0,16	0,09	0,83	1,00								
Na	-0,25	0,45	0,08	0,19	-0,35	-0,07	0,11	0,09	-0,16	-0,04	1,00							
K	-0,11	-0,16	-0,01	-0,09	0,31	0,40	-0,34	0,13	0,59	0,42	0,00	1,00						
SA	-0,04	-0,02	0,10	0,13	-0,04	-0,04	0,07	0,11	0,08	0,08	-0,14	0,19	1,00					
GL	-0,15	0,57	-0,02	-0,02	-0,03	0,17	0,00	0,01	0,36	0,38	0,17	0,08	0,03	1,00				
Cu	-0,13	-0,02	0,00	-0,03	0,15	-0,10	0,20	0,03	-0,01	-0,14	0,11	0,09	0,09	0,07	1,00			
Pb	0,12	0,05	-0,10	-0,01	-0,15	-0,38	0,32	-0,20	-0,20	-0,31	0,10	-0,29	-0,15	-0,03	0,32	1,00		
Zn	0,00	-0,27	0,09	0,16	-0,14	-0,46	0,27	-0,12	-0,08	-0,17	-0,17	-0,42	-0,05	0,03	0,31	0,56	1,00	
Ni	-0,01	-0,16	0,01	0,06	-0,03	-0,29	0,31	-0,04	-0,04	-0,15	0,12	-0,02	-0,06	-0,02	0,81	0,42	0,48	1,00
Cr	0,09	-0,03	0,10	0,20	-0,20	-0,32	0,29	-0,17	-0,06	-0,21	0,13	-0,27	-0,08	0,02	0,25	0,90	0,63	0,40

**Figure 2.** Analyse de composantes principales des propriétés physico-chimiques des sols

4. DISCUSSION

Les sols analysés révèlent une texture sablo-limono-argileuse légèrement semblable à celle de la région de Bouskoura (Cameroun) qui sont de type limono-sableux avec des pourcentages d'argiles variant entre 6,3, % et 8,3 %, des pourcentages de limons variant entre 19,0 % à 35,0 % et des pourcentages de sables variant entre 57,0 % à 74,0 % (Saber *et al.*, 2014).

Les sols montrent un pH basique dans tous les traitements, ce qui est favorable à la culture irriguée dont notamment la tomate (Garba *et al.*, 2022). Un bon rendement est envisageable, si les éléments minéraux indispensables sont fournis en quantités importantes par la fumure organique pour le bon développement de la culture. Le pH du sol est une expression synthétique des conditions physico-chimiques du site qui montre la structuration du sol, l'activité microbienne et la disponibilité des éléments

nutritifs (Genot *et al.*, 2007), en bref, la qualité du sol. Ces résultats montrent que les traitements appliqués n'influencent pas sur la variation du pH du sol du milieu. Cette alcalinité des sols étudiés peut être rapportée soit à la nature de la roche mère qui est riche en calcaire ou bien à un enrichissement des sols par les engrais chimiques de ces régions riches en cations (Ca^{2+} et Mg^{2+}) (Hajar *et al.*, 2015). La conductivité électrique n'est pas élevée, ce qui indique que la salinité ne pourrait pas influencer sur la croissance des plantes (Soumaré *et al.*, 2002). La valeur maximale de la CE de cette étude concorde à celle obtenue au cours des travaux de Chennaoui *et al.* (2016), Doucet (2006) et Borah *et al.* (2010).

Le traitement par la fiente de volailles donne plus de nutriments particulièrement en carbone et azote que les autres traitements. Ces résultats sur la teneur en carbone et azote corroborent à ceux d'une étude sur les paramètres agronomiques de tomate et de la

fertilité du sol au Centre Nord du Burkina Faso (Coulibaly *et al.*, 2022). Cette teneur s'explique par les apports constants des fumures organiques et matières organiques en quantité suffisante (Coulibaly *et al.*, 2022). L'apport de phosphore assimilable est presque le même entre les différentes fumures organiques, ce qui démontre la bonne qualité de ces dernières dans l'amélioration de la fertilité du sol, ainsi qu'un meilleur rendement. Ces résultats sont en accord avec ceux des études de Sadi *et al.* (2020) sur la tomate en culture irriguée ou de Ballot *et al.* (2016) sur la productivité du manioc dans la région de Damara en Centrafrique. De même, ils sont conformes aux résultats obtenus sur les effets de la fertilisation à base de la biomasse de *Sida Cordifolia* L. en culture de tomate au Niger (Hajar *et al.*, 2015); à ceux obtenus par Koull et Halilat (2016), sur les nutriments des sols de la région d'Ouargla (Algérie); et à ceux de Kaho (2011) sur les sols en culture de maïs au Cameroun.

Les types de fumures organiques et la dose appliquée influencent sur la CEC et cela montre leur richesse en éléments nutritifs. Les résultats de cette étude sont similaires aux valeurs de référence respectives 7,5-15 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ et 10-20 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ (La France *et al.*, 2012) et supérieurs aux taux obtenus sur les sols de la zone rizicole de Saga (Tahirou *et al.*, 2022). La capacité d'échange cationique (CEC) suit en général la même distribution que celle de la MO car celle-ci est porteuse de nombreuses charges négatives contribuant à l'établissement de la CEC (Soumoy, 2018). De part et d'autre, la majorité de traitements et la pratique agricole ont apporté un pourcentage supérieur à 50 %, ce qui veut dire que tous les traitements apportent en moyenne une bonne stabilité d'agrégat au niveau de chaque parcelle et des systèmes de culture en association que les systèmes en culture pure. Cela prouve que la biomasse de la rhizosphère contribue à l'amélioration de la structure de sols. Ces résultats obtenus sont en conformité avec ceux de Habou *et al.* (2008); RECA (2016); Sadi *et al.* (2020).

La glomaline est un acteur majeur dans l'agrégation des particules du sol et dans leur stabilité (Rillig *et al.*, 2002), puisqu'il agit comme une colle biologique et lie les particules du sol, des plus fines aux plus importantes pour former des agrégats (Steinberg & Rillig, 2003). Le taux de glomaline a été aussi élevé et homogène statistiquement sur tous les différents traitements.

5. CONCLUSION

Les sols étudiés présentent une texture sablo-limono-argileuse et un pH basique favorable à la culture de tomate. Le bilan nutritif révèle une bonne disponibilité en éléments minéraux libérés par les fumures organiques appliquées (azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium), ainsi que la teneur en matière organique, sans apporter des quantités importantes de

métaux lourds, ce qui permet d'améliorer l'équilibre écologique pour un environnement sain. Le taux de la glomaline qui était élevé sur tous les traitements et les pratiques agricoles, ce qui montre que leur utilisation assure une bonne stabilité de la structure du sol. En plus, Les résultats obtenus montrent que les systèmes de culture de tomate en association stabilisent plus la structure de sols que les systèmes en culture pure. Donc, l'incorporation des fumures organiques en quantité suffisante et les systèmes de cultures en association constituent des solutions envisageables pour l'entretien des cultures et l'amélioration de la fertilité des sols.

En perspectives, il est important de : (i) Caractériser les champignons à mycorhize arbusculaire des sols de la zone d'étude par des analyses de biologie moléculaire et génétique; (ii) Déterminer le pouvoir potentiel mycorrhizogène du sol; (iii) Étudier le domaine d'application des microorganismes en agriculture, celui de la protection des cultures et plus particulièrement celui de la lutte biologique contre les maladies et les ravageurs.

Remerciements

Le présent article a été rendu possible grâce à l'appui financier de l'Agence d'Erasmus + KA 107 et de l'équipe « Évaluation de la Qualité des Sols » de l'Université de Saint Jacques de Compostelle (Espagne), et du laboratoire de biologie de l'Université Abdou Moumouni de Niamey. Nos remerciements sincères à Monsieur Juan Silva Tojo pour son appui technique.

Références

- Badabat D., Koffi H., Kpérkouma W., Komlan B., Thierry T. & Koffi A., 2012. Agriculture de contre saison sur les berges de l'Oti et ses affluents. *African Crop Science Journal*, 20(S2), 613 - 624.
- Bado B., Bationo A. & Cescas M., 2012. *Rôles des légumineuses sur la fertilité des sols; Opportunités pour une gestion intégrée de la fertilité des sols*. In: O.H.G, S.L. (Ed.). Editions Universitaires Européennes, Berlin, pp. 1-168.
- Ballot C.S.A., Mawussi G., Atakpama W., Moita-Nassy M., Yangakola T.M., Zinga I., Silla S., Kpérkouma W., Dercon G., Komlan B. & Koffi A., 2016. Caractérisation physico-chimique des sols en vue de l'amélioration de la productivité du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) dans la région de Damara au centre-sud de Centrafrique. *Agronomie Africaine*, 28(1), 9-23.
- Bationo A., Kimetu J., Vanlauwe B., Bagayoko M., Koala S. & Mokwunye A., 2011. *Comparative analysis of the current and potential role of legumes in integrated soil fertility management in West and Central Africa. Fighting Poverty in Sub-Saharan Africa: The Multiple Roles of Legumes in Integrated Soil Fertility Management*. Springer, pp. 117-150.
- Bénard C., 2009. *Étude de l'impact de la nutrition azotée et des conditions de culture sur le contenu en polyphénols chez*

- la tomate. Thèse de Doctorat, Université de Lorraine, France, 268 p.
- Borah K.K., Bhuyan B. & Sarma H.P. 2010. Lead, arsenic, fluoride, and iron contamination of drinking water in the tea garden belt of Darrang district, Assam, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 169, 347–352. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1176-2>
- Chennaoui M., Salama Y., Makan A. & Mountadar M. 2016. Valorisation agricole d'un compost produit à partir du compostage en cuve des déchets municipaux. *European Scientific Journal*, 12(35), 247-265. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n35p247>
- Claude A., 2007, *Microorganismes utiles en agriculture : microorganismes agents de lutte biologique*. INRA, UMR Microbiologie Géochimie des sols. Académie d'Agriculture de France pp : 2
- Coulibaly A. Ouedraogo J., Nacro S.R. & Serme I., 2022. Effets des fertilisants organiques sur la production de la tomate et les paramètres chimiques du sol au Centre Nord du Burkina Faso. *Afrique Sciences*, 21(4), 10-27.
- Doucet R., 2006. *Le climat et les sols agricoles*. Edition Berger Eastman, Québec. Vol. 15, 443 p.
- Garba O., Zanguina A., Mella M.T. & Saidou A.K., 2022. Étude de l'efficacité agronomique de composts de déchets de récolte sur deux cultures maraichères : la tomate et la laitue. *IOSR Journal of Applied Chemistry (IOSR-JAC)*, 15, 68-77. DOI: 10.9790/5736-1508016877 www.iosrjournals.org
- Genot V., Colinet G. & Bock L. 2009. L'état de fertilité des terres agricoles et forestières en région wallonne (adapté du chapitre 4 - sol 1 de « L'État de l'Environnement wallon 2006-2007 ». *BASE - Biotechnologie Agronomique Sociologie Environnement*, 13(1), 121-138.
- Habou Z.A., Mohamed N., Salifou I. & Bakoye N. 2008. *Fertilisation minérale chez les cultures maraichères*. INRAN, Maradi, 4 p.
- Hajar M., Saber N., Moustarhfer K., Rafik F., Zaakour F., Matech F. & Marrakchi C., 2015. Qualité physico-chimique des sols agricoles de la région de l'Oulja entre Sidi Abed et Oulad Ghanem (Sahel des Doukkala, Maroc). *European Scientific Journal*, 11(21), 168-181.
- INS (Institut National De Statistique, 2016. *Annuaire statistique régional : Région de Niamey*, pp. 94.
- Kaho F., Yemefack M., Feujio-teguefouet P. & tchantchaouang J., 2011. Effet combiné des feuilles de tithonia diversifolia et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au Centre Cameroun. *Tropicultura*, 29, 39-45.
- Kotaix J.A., Angui P.T.K., Pierre C.Z.K, Diby N.L., Dao D., & Bonfoh B., 2013. Effet de l'engrais organique liquide (Dragon 1), sur le développement de la tomate au Sud et Au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 25, 37-52.
- Schankarara N., JoepV., Marja G., Martin H. & Barbara V., 2005. La culture des tomates : production, transformation et commercialisation. *Série Agrodok*, No. 17, Agrodok n°17, Publisher, CTA/ 107 p.
- Koull N. & HalilatM.T., 2016. Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols la région d'Ouargla (Algérie). *Etude et Gestion des Sols*, 23, 9-19.
- La France D., Leblanc M., Gilbert P, A., Moreau G., Lefebvre M., Weill A., Duval J., Painchaud J. & Houle Y., 2012. *Mise au point et validation d'un système de travail minimum du sol avec planches permanentes en culture maraichère biologique*. Centre d'expertise et de transfert en agriculture biologique et de proximité (CETAB+), Victoriaville, Canada, 20 p.
- Ozer P., Laminou Manzo O., Tidjani A.D., Djaby B. & Longueville DE., 2017. Evolution récente des extrêmes pluviométriques au Niger (1950-2014). *Géo-Eco-Trop.*, 41(3), 375-384.
- RECA (Réseau National des Chambres d'Agriculture du Niger), 2016. *La tomate au Niger*. Réseau National de Chambres d'Agriculture du Niger, 25 p.
- Rillig M.C., Wright S.F. & Eviner V.T., 2002. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. *Plant and Soil*, 238(2), 325-333. <https://doi.org/10.1023/A:1014483303813>
- Roose E., Arabi M., Bourougaa A., Hamoudi A., MorsliB., Mededjel N., Mazour M. & Brahamia K., 2017. *La lutte antiérosive, la GCES et la restauration de la productivité de sols dans les montagnes du nord de l'Algérie*. En : Roose E., ed. *Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens : Contribution à l'agroécologie*, IRD Éditions, pp. 429-446.
- Saber N., Chems Z., Zaakour F., Matech F., Moustarhfer K. & Mohcine H., 2014. Distribution des éléments traces métalliques dans les sols avoisinant la cimenterie de Bouskoura-Maroc. *European Scientific Journal*, 10 (27),206-223. <https://doi.org/10.19044/esj.2014.v10n27p%p>
- Sadi S.M., Saidou A.K., Boube M. & Aune J.B., 2020. Effets de la fertilisation à base de la biomasse du *Sida cordifolia* L. sur les performances agronomiques et la rentabilité économique de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en culture irriguée. *European Scientific Journal*, 16(3), 127-150. <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n3p127>
- Saidou A., Kossou D., Azontonde A. & Hougni D.J.M., 2009. Effet de la nature de la jachère sur la colonisation de la culture subséquente par les champignons endomycorhiziens : cas du système 'jachère' manioc sur sols ferrugineux tropicaux du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3(3), 587-597. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v3i3.45330>
- Salou M., Gandah M., Bassirou A. & Ramadjita T., 2011. Les phosphates, une richesse pour l'agriculture Ouest africaine qui présente les résultats obtenus par ce projet dans chacun des pays. *Coraf Action*, n°59 / 2^{ème} trimestre,

- Shepherd, K.D., Palm C.A., Gachengo C.N. & Vanlauwe, B. 2003. Rapid characterization of organic resource quality for soil and livestock management in tropical agroecosystems using near-infrared spectroscopy. *Agronomy Journal*, 95-5, 1314-1322. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.1314>
- Soumaré M., Demeyer A., Tack F.M.G. & Verloo M.G., 2002. Chemical characteristics of Malian and Belgian solid waste composts. *Bioresource Technology*, 81(2), 91-101. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00125-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00125-0)
- Soumoy R., 2018. Le strip-till végétal : effets sur les propriétés physico-chimiques du sol. Mémoire, Faculté des Bioingénieurs, Université Catholique de Louvain, 127 p.
- Steinberg P.D. & Rillig M.C., 2003. Differential decomposition of arbuscular mycorrhizal fungal hyphae and glomalin. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(1), 191–194. <https://doi.org/10.1139/cjb-2015-024>
- Tahirou S., Zerbo P., Ouattara S., Sanou Y. & Ado M.N., 2022. Caractérisation des paramètres physico-chimiques du sol de la zone rizicole de Saga (Niamey) dans la vallée du fleuve Niger. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16(2), 842-854. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i2.26>