

Artigo

Ibrahim Jamilou Salissou · Dahiratou Ibrahim Doka · Remigio Paradelo Núñez · Moussa Baradje · Abdoul R. Harouna Maidoukia · Saidou Addam Kiari · Sabiou Mahamane · Youssouf Mohamadou · Abdoul L. Youchaou

Impact des fumures organiques sur les rendements de la tomate et sur la densité des champignons à mycorhizes arbusculaires dans la zone de Saguiya (Niger)

Recibido: 24 outubro 2022 / Aceptado: 19 abril 2023
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2023

Résumé La rhizosphère est très importante pour la croissance et les rendements des cultures et peut être affectée par des facteurs comme les pratiques agricoles ou les fertilisants. L'effet du type de fumure organique sur la densité des spores mycorrhizogènes dans la rhizosphère de la tomate et sur les paramètres agronomiques a été évalué dans la zone de Saguiya (Niger). Le dispositif expérimental mis en œuvre comporte 48 parcelles traitées avec trois types de fumure organique (bouse de vache, bouse de chèvre et fumure de volaille) à trois niveaux de fertilisation (100%, 125% et 150%) en quatre replicats, pendant une campagne de trois mois. La variété de tomate exotique Tropimech a été cultivée avec suivi des paramètres agronomiques, et des échantillons du sol ont été prélevés

pour l'extraction et le dénombrement des spores de champignons mycorrhiziens arbusculaires (CMA). Le traitement T3 de l'essai 3 (soit 150% de la fiente de volaille plus matière organique) est le plus efficace parmi les traitements, avec 38 t ha⁻¹ pour le rendement en fruits, 13 t ha⁻¹ de rendement pour la partie foliaire et 6 t ha⁻¹ pour la partie racinaire. Les principaux genres de spores CMA trouvés sont des *Glomus sp*, *Gigaspora sp* et *Scutellospora sp*. La densité de *Scutellospora sp* est aussi plus élevée pour le traitement avec fiente de volaille, avec une forte corrélation positive entre la densité des spores et les paramètres agronomiques. Les résultats ont montré que les fumures, en particulier la fiente de volaille, améliorent la fertilité du sol de cette région ainsi que la densité des spores CMA.

Mots-clés Tomate, biodiversité, densité de champignons mycorrhiziens, rendements.

Impact of organic manures on tomato yield and density of arbuscular mycorrhizal fungi in the Saguiya area (Niger)

Abstract The rhizosphere is essential for crop growth and yields and can be affected by factors such as agricultural practices or fertilizers. The effect of the type of organic manure on the density of mycorrhizal spores in the tomato rhizosphere and on the agronomic parameters was evaluated in the Saguiya area. The experimental design comprised 48 plots treated with three types of organic manure (cow dung, goat dung and poultry manure) at three levels of fertilization (100%, 125% and 150%) with four replicates, during a campaign of three months. The exotic tomato variety Tropimech was grown with monitoring of agronomic parameters, and soil samples were taken for the extraction and counting of arbuscular mycorrhiza fungi spores. Treatment T3 of test 3 (i.e., 150% poultry manure plus organic matter) was the most effective, producing 38 t ha⁻¹ for fruit yield, 13 t ha⁻¹ yield for leaf part and 6 t ha⁻¹ for

Ibrahim Jamilou Salissou · Dahiratou Ibrahim Doka · Abdoul R. Harouna Maidoukia · Abdoul L. Youchaou
Laboratoire Biologie/ENS/ Université Abdou Moumouni Niamey, Niger.
Email: ibrahimjamilou8@gmail.com
Tel: +22796927433/+22795811044

Remigio Paradelo Núñez
CRETUS, Departamento de Edafología e Química Agrícola,
Universidade de Santiago de Compostela, Espagne.

Moussa Baradje
Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger

Saidou Addam Kiari · Sabiou Mahamane
Département de gestion des ressources naturelles, INRAN
Niamey, Niger.

Youssouf Mohamadou
Faculté d'Agronomie, Université de Say, Niamey, Niger.

<https://doi.org/10.15304/rr.id9551>



the root part. The main genera of CMA spores found are *Glomus sp*, *Gigaspora sp* and *Scutellospora sp*. The density of *Scutellospora sp* was the highest also for the poultry manure treatment and a strong positive correlation was found between spore density and agronomic parameters. The results show that organic amendments, in particular poultry manure, improve fertility and the density of AMF spores in the soils of this region.

Keywords Tomato, biodiversity organic manure, density of mycorrhizal fungi, yield.

Introduction

La tomate est une plante cultivée sous presque toutes les latitudes, sur une superficie de trois millions d'hectares à travers le monde, soit environ un tiers de superficie mondiale consacrée aux cultures de légumes (Naika et al. 2005). Une quantité de cent cinquante millions de tonnes de tomate est produite annuellement dans le monde (Bationo 2008; FAO 2017) avec un rendement moyen de 27,3 t ha⁻¹ (FAO 2004; Naika et al. 2005). Elle constitue une culture rentable et contribue énormément à l'amélioration des conditions de vie de la population.

Au Niger, la tomate est produite surtout en contre-saison sur six mois (janvier à juin) dans les régions du fleuve Niger, dans l'affluent de l'Ader-Doutchi-Magia, de Goulbi (Maradi), de Korama (Zinder) et autour des mares et autres retenues d'eau. Les variétés les plus fréquemment cultivées dans ces régions sont: Tropimech, Icrixina, Roma, Mongale, Marmande... La production annuelle est d'environ 141.500 t ha⁻¹, qui est insuffisante par rapport à la demande nationale, d'environ 240.000 t an⁻¹. Le souci de combler le gap, contraint le pays à l'importation de la tomate fraîche du Burkina Faso, du Nigeria, du Benin, du Ghana et depuis 2015 du Maroc (FAO 2017). On importe également du concentré plus de 10.000 t an⁻¹ au niveau international particulièrement de l'Italie. En termes de devise, cette importation, occasionne une dépense d'environ 10 milliards de francs chaque année (RECA 2016). Elle rentre dans les habitudes alimentaires de tous les ménages pour ses vertus pharmacologiques. De ce constat, la tomate constitue un grand enjeu socioéconomique et sanitaire pour lequel des dispositions méritent d'être prises afin d'accroître la production de cette culture à l'échelle nationale, au vu d'assurer un meilleur équilibre entre l'offre et la demande sur le marché.

Pour ce faire, l'amélioration de la production de tomate doit être nécessairement accompagnée par des techniques et pratiques culturales adaptées (Guéro et Dan Lamso 2006). Car, l'augmentation de la production agricole est en concert avec l'amélioration de la fertilité des sols (Soltener 2000; Huber et Schaub 2011; Alfred 2013). En effet, l'utilisation des amendements organiques améliore très significativement la productivité du sol et maintient l'équilibre écologique, en particulier le monde de microorganismes du sol (Gobat et al. 2003; Boureima et al. 2019).

Au cours des vingt dernières années, des éminents chercheurs ont prouvé que les rendements de cultures sur

les sols sableux pauvres peuvent être nettement améliorés avec une meilleure gestion des champignons à endomycorhizes arbusculaires qui, à travers les relations de symbioses, peuvent fournir à la disposition des plantes des éléments minéraux tels que le P, N, Ca, K, Cu, Zn (Gadkar et al. 2001; Dalpé 2005; Garbaye 2013; Alabouvette et al. 2018). Les microorganismes du sol en particulier les champignons à mycorhizes arbusculaires ont une relation gagnant-gagnant avec les plantes (Garbaye 2013). Les racines de plus de 80% des espèces de plantes vasculaires présentent des symbioses mycorhiziennes (Gadkar et al. 2001; Dalpé 2005) et certaines espèces végétales ne peuvent croître sans leur symbiote fongique (Issoufou 2014). Le mycorhize est formé de tissus de la plante hôte et du champignon mycorhizien et chaque partenaire optimise son développement grâce à cette symbiose. Le champignon profite des ressources carbonées synthétisées par la plante via la photosynthèse et qui sont indispensables à son métabolisme et à son cycle de développement. En retour, les hyphes fongiques améliorent la nutrition hydrique et minérale de la plante hôte grâce à l'augmentation du volume de sol prospecté et à la production de divers enzymes extracellulaires (phosphatase, phytase) susceptibles de mobiliser du phosphore à partir de composés complexes du sol (Nadia et al. 2002 ; Saidou et al. 2009). Malgré la prolifération des champignons mycorhiziens à arbuscules et leur importance dans le mouvement des nutriments entre les plantes et le sol, les connaissances sur la biodiversité et l'identification de ces microorganismes sur la tomate restent limitées et il en est de même de leur impact sur la productivité. L'objectif général de cette étude est l'amélioration de la fertilité du sol et la production de la tomate sur les sols pauvres en matière organique et spécifiquement: (i) analyser les paramètres agronomiques et le rendement optimal de la tomate en fonction des fumures organiques; (ii) déterminer la diversité des spores des champignons mycorhiziens et leur densité en fonction des traitements et de stades végétatifs; (iii) mettre en relation la densité des spores des champignons mycorhiziens, les paramètres agronomiques et le rendement de la tomate en fonction des traitements.

Matériel et Méthodes

Zone d'étude

La zone d'étude se situe dans la vallée du fleuve Niger (Figure 1). Elle couvre la zone de Saguiya (Sud-Ouest du Niger). En effet, les sites expérimentaux sont situés sur la rive droite du fleuve Niger dans l'arrondissement V de Niamey de coordonnées géographiques suivantes: 13°27.534' N et 2°06.977' E pour le site isolé ; 13°26.870' N 2°06.451' E et 13°26.906' N 2°06.317' E pour les sites à côté de Kori et l'affluent d'eau. L'une des activités principales de la zone est la culture irriguée qui concerne la riziculture, les cultures maraichères et l'arboriculture fruitière. La population de l'arrondissement communal Niamey 5 est estimée à 132.271 habitants (INS 2014). Le profil

pédologique montre qu'on y rencontre deux types de sol: des sols ferrugineux tropicaux à texture sableuse (Hypoluvic Arenosols), réservés à la campagne hivernale et des sols hydromorphes (Gleysols), réservés aux cultures de contre saison et abritant la plupart des vergers de la capitale en raison de leur fertilité et des possibilités d'irrigations qu'offre le fleuve. Ainsi, les sites expérimentaux sont caractérisés par un climat de type sahélien ou semi-aride à aride avec une moyenne des précipitations annuelles entre 300 à 400 mm dans les mois de juillet à septembre. Les températures varient de 17°C en janvier à plus de 42°C en avril. L'écoulement d'eau dans la vallée s'effectue tout au long de l'année et se jette dans le fleuve Niger. Ce dernier est un exutoire de la nappe phréatique situé le long de la vallée. Sur ces sites la pratique agricole est toujours en mode paysanne caractérisé par : le labour à la houe et le binage avec la binette. L'appareil GPS et le logiciel ArcGIS 12 ont servi à la géo localisation et la cartographie de la zone d'étude.

Matériel végétal

La tomate (*Lycopersicum esculentum* variété Tropimech), communément au Niger en langues nationales « Chaibo » en Haoussa et « Kangaou » en Zarma, a été utilisée. C'est une variété cultivée à la saison sèche fraîche, à croissance déterminée (cycle de vie déterminé qui n'accède plus d'un an), vigueur moyenne. Ses fruits ont une forme allongée, son collet légèrement vert, très bonne fermeté et se conserve bien. Le poids moyen d'un fruit est compris entre 90 et 100 g. La tomate (Tropimech) est une variété précoce pour la récolte (soit 65 à 70 jours après repiquage). Elle est aussi idéale pour la transformation industrielle.

Dispositif expérimental et traitements appliqués

Un dispositif expérimental de trois mois de durée a été mis en place sur des terrains de jardins cultivé depuis les années 1960s pour la culture pluviale et la culture irriguée et la plupart en association. Le sol est de type hydromorphe à

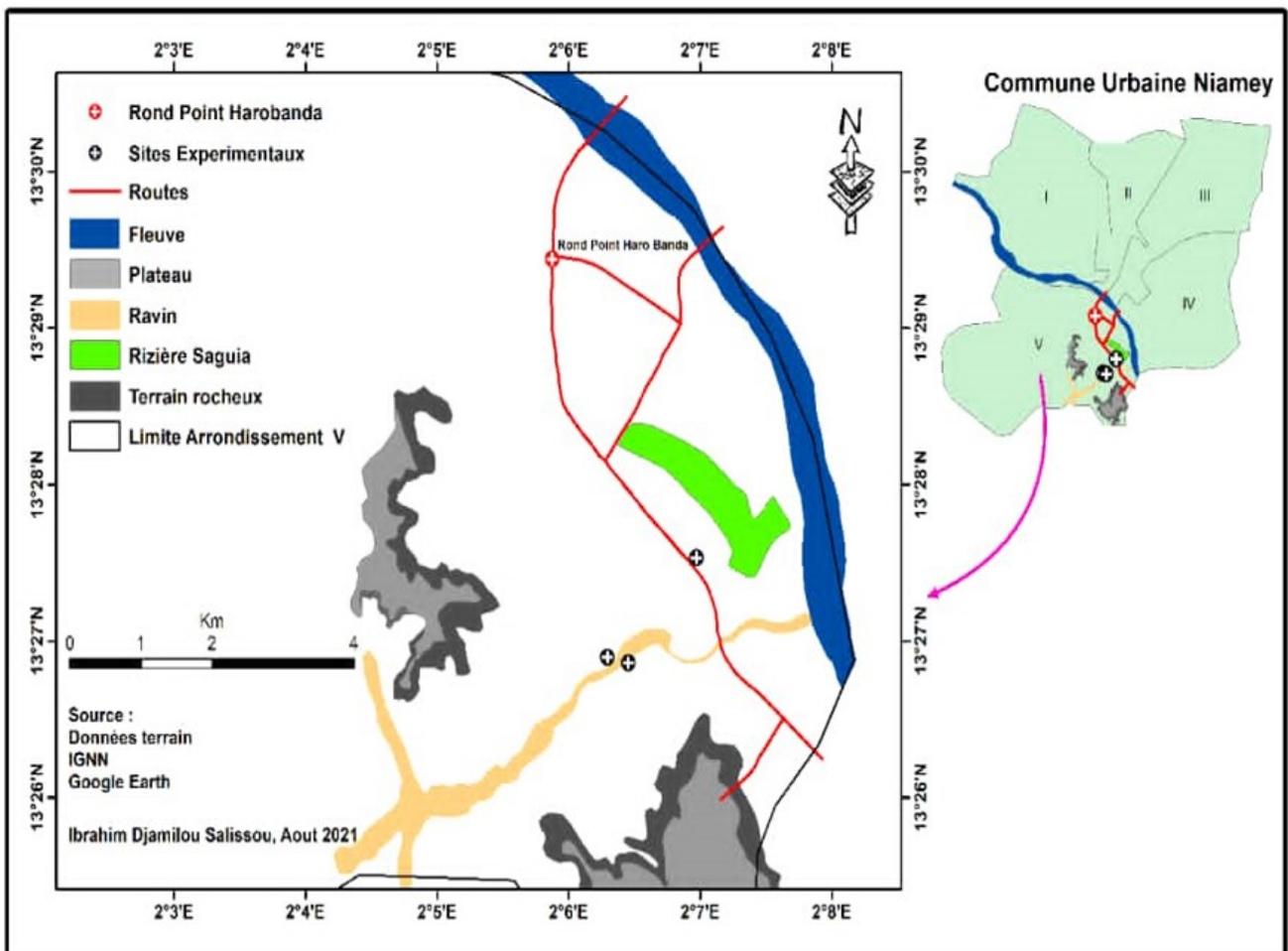


Figure 1.- Localisation des sites expérimentaux
Figure 1.- Location of experimental sites

texture sablo-argilo-limoneuse. Le dispositif expérimental est un block complet randomisé avec trois essais, composé de 16 parcelles par essai avec 4 répétitions, soit un total de 48 parcelles (Figure 2). La dimension de chaque planche est de 2 m² soit 2 m pour la longueur x 1 m pour la largeur. L'ensemble des planches couvrent une superficie de 281 m². Les amendements appliqués sont généralement de combinaison (fumure organique et minérale) et le labour se fait par la daba et la hilaire.

Pour les essais, les fumures organiques utilisées sont la bouse de vache, la bouse de chèvre et la fiente de volaille (tableau 1). Les fumures organiques ont été analysés par la méthode Kjeldahl pour la teneur en azote total, et par

digestion acide pour les teneurs en phosphore et potassium totales. Les résultats ont montré que la fumure de volaille est plus riche en NPK suivi de la fumure de caprin puis par celle de bovin (tableau 1). Ces résultats ont été utilisés pour la détermination de la dose de chaque traitement selon les recommandations faites par Naika et al. (2005) et Habou et al. (2008) afin d'améliorer le rendement de la culture de tomate. La matière organique (paille de mille) a été épandue dans chaque essai avant la préparation de terrain de culture, afin d'enrichir le sol en matière organique et corriger son appauvrissement en carbone. Les fumures organiques et l'engrais minéral NPK (15-15-15) ont été utilisés sous forme d'amendements de fond par épandage et par micro-dose pour l'entretien (tableau 2).

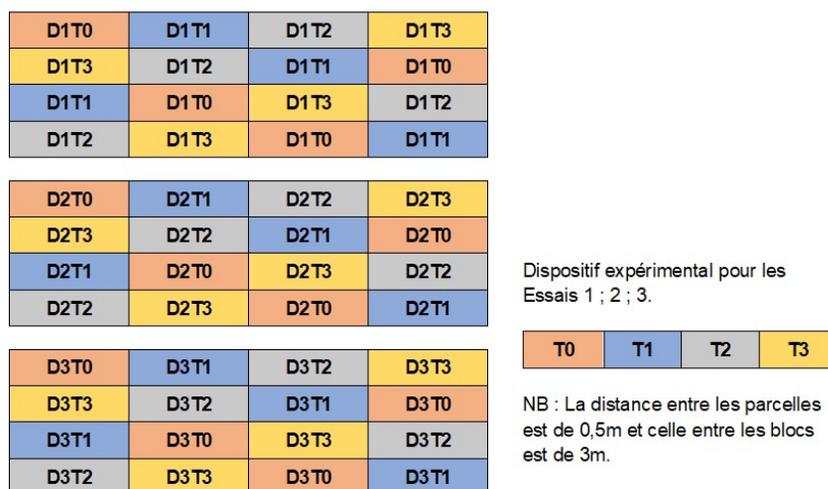


Figure 2.- Plan du dispositif expérimental pour les Essais 1, 2 et 3. La lettre (D) veut dire l'essai ou dose de traitement et la lettre (T) veut dire le traitement appliqué (voir tableau 2)
Figure 2.- Map of the experimental design for Trials 1, 2 and 3. The letter (D) stands for the trial or treatment dose and the letter (T) stands for the treatment applied (see Table 2)

	Azote	Phosphore	Potassium
	%		
Bovin	0,20	0,017	0,03
Caprin	0,56	0,028	0,07
Volaille	5,13	0,039	0,12

Tableau 1.- Caractéristiques chimiques des fumures organiques

Table 1.- Chemical characteristics of organic manures

Technique culturale

Pour la bonne conduite de cette expérimentation, une pépinière a été mise en place, trois semaines après s'en est suivi le repiquage des plantes de tomate. Il a été effectué suivant l'écartement de 40 cm x 80 cm. Un désherbage manuel à la houe a été réalisé chaque semaine permettant d'éviter la concurrence des mauvaises herbes. L'arrosage a été fait manuellement deux fois par jour de la montaison au début de la floraison chaque trois jours et de la floraison à la fructification tous les deux jours à une hauteur de 2 mm sur chaque parcelle (équivalent de 40 litres d'eau). Les plants ont été également élagués pendant la montaison pour éviter le développement de rameaux auxiliaires conservant un bon

équilibre végétatif/génératif. Le système de tuteurage a été fait vers le 30^{ème} jour après repiquage (Bénard 2009).

Les paramètres agronomiques mesurés s'articulent sur trois axes : paramètres de croissance (hauteur et diamètre), de développement (nombre de feuilles, de boutons floraux et de fleurs) et paramètres de rendements (les fruits, la biomasse). Le pied à coulisse, règle graduée, balances numériques ont été utilisées pour la mensuration et le pesage des paramètres agronomiques. La mesure de hauteur de plant, de diamètre de tige a été effectué de la montaison une semaine après le repiquage au début de la fructification chaque une semaine et le comptage des feuilles et des boutons floraux a commencé 3 semaines après repiquage et s'est poursuivi chaque semaine jusqu' au

Essai	Traitement	Fertilisant	Dose	Composition de traitements
Essai 1	T0	PP	D1	120 kg ha ⁻¹ NPK (15-15-15) et 2 t ha ⁻¹ de paille de mil
	T1	BV	D1	48,9 t ha ⁻¹ de fumure bovin et 2 t ha ⁻¹ de paille de mil
	T2	BC	D1	18,36 t ha ⁻¹ de fumure caprin et 2 t ha ⁻¹ de paille de mil
	T3	FV	D1	240 kg ha ⁻¹ de fumure volaille et 2 t ha ⁻¹ de paille de mil
Essai 2	T0	PP	D2	150 kg ha ⁻¹ NPK et 2,5 t ha ⁻¹ de paille de mil
	T1	BV	D2	61,4 t ha ⁻¹ de fumure bovin et 2,5 t ha ⁻¹ de paille de mil
	T2	BC	D2	23,45 t ha ⁻¹ de fumure caprin et 2,5 t ha ⁻¹ de paille de mil
	T3	FV	D2	300 kg ha ⁻¹ de fumure volaille et 2,5 t ha ⁻¹ de paille de mil
Essai 3	T0	PP	D3	180 kg ha ⁻¹ de NPK et 3 t ha ⁻¹ de paille de mil
	T1	BV	D3	73,4 t ha ⁻¹ de fumure bovin et 3 t ha ⁻¹ de paille de mil
	T2	BC	D3	27,54 t ha ⁻¹ de fumure caprin et 3 t ha ⁻¹ de paille de mil
	T3	FV	D3	400 kg ha ⁻¹ de fumure volaille et 3 t ha ⁻¹ de paille de mil

Tableau 2.- Traitements appliqués. PP : pratique paysanne, BV : bouse de vache, BC : bouse de chèvre, FV : Fiente de volaille

Table 2.- Treatments applied. PP: peasant practice, BV: cow dung, BC: goat dung, FV: poultry droppings

début de la fructification. La récolte des fruits a été faite deux mois après le repiquage et a duré 30 jours. Cette opération s'est faite de façon régulière chaque trois jours. A chaque récolte, les fruits sont pesés à l'aide d'un peson numérique ou d'une balance pour déterminer le rendement fruits. Le rendement de la biomasse (partie aérienne et partie souterraine) a été mesuré aussi à l'aide d'une balance à la fin de la campagne après le défrichage et le séchage.

Caractérisation des champignons à mycorhize arbusculaire

Des échantillons de sol ont été prélevés pendant les stades de montaison, de floraison et de fructification au niveau de cinq points choisis au hasard dans chaque parcelle. Ces échantillons ont été prélevés au niveau de la rhizosphère de poquet du plant choisi au hasard, à une profondeur de 0-20 cm et mis dans des sachets en plastique. Après séchage sous abri et à l'air libre, ces échantillons de sols ont été analysés au laboratoire de mycologie de l'Ecole Normale Supérieure de l'Université Abdou Moumouni de Niamey. La technique adoptée pour l'extraction des spores de CMA du sol est celle de Walker (1982), Une quantité de 100 g de sol a été versée dans un sceau rempli d'eau. Après avoir été agité pendant 10 à 15 secondes, la suspension est passée au travers de 5 tamis superposés dont les mailles respectives sont de 63 µm, 160 µm, 250 µm, 315 µm, 630 µm en allant du bas vers le haut. Le dépôt dans le tamis de 630 µm de maille étant constitué de débris et contenant rarement de spores, a été jeté. Le refus des différents tamis restants a été recueilli dans des boîtes de Pétri. Le contenu de ces dernières a été ensuite mélangé et remué. Chaque boîte de Pétri contenant les spores est placée sous une loupe binoculaire, le dénombrement a été effectué à travers la méthode de Furlan et Fortin (1975) dont l'estimation du nombre de spores dans le sol est faite par comptage du

nombre de spores vivantes contenues dans 1ml de surnageant et par extrapolation sur le volume total (10 ml). L'identification macroscopique du genre des spores a été effectuée sur la base des critères de Schenck et Smith (1982). Les caractères observés sont le mode de groupement, la taille, la couleur, ainsi que la morphologie de l'hyphe soutenant la spore.

Analyse statistique

Les données collectées des différents paramètres ont été soumises à des analyses de corrélation et à une analyse de variance (ANOVA) pour la distribution de données et les moyennes des variables ont été comparées en utilisant le test de Tukey au seuil de 5% à l'aide d'un logiciel Minitab version 19.

Résultats et discussion

Paramètres agronomiques de la tomate

Les paramètres de croissance, de développement et du rendement des essais 1, 2 et 3 en fonction de traitements à la fin de l'expérience sont présentés dans le tableau 3. Pour l'essai 1, la comparaison de moyenne sur les paramètres de croissance et de développement montre que le traitement T3 est plus productif suivi par le traitement T2 puis le traitement T1 et enfin T0. Dans le cas de l'essai 2, les paramètres de croissance et de développement montrent que le traitement T3 est plus efficace suivi par le traitement T2 puis suivi par le traitement T1 et enfin T0. Dans l'essai 3, tous les traitements sont plus efficaces que le traitement témoin T0 dans l'ordre suivant : T3 > T2 > T1 > T0. La

différence statistique est significative entre les traitements et témoin pour chaque essai. Il ressort que l'apport des fumures organiques à la culture de tomate a permis une amélioration significative sur les paramètres agronomiques comparativement à la pratique paysanne (PP). Pour les doses des fumures organiques, l'utilisation de fiente de volaille (dose 3) pour la fertilisation rapporte plus le bon développement végétatif que les doses 2 et 1. Par rapport au rendement, les résultats de l'essai 1 ont montré que le traitement T3 avec 30,4 t ha⁻¹ de rendement en fruits est plus productif que le T2 suivi par le traitement T1 et en fin le témoin avec 15,43 t ha⁻¹. Pour l'essai 2 l'efficacité de traitements varie de T3 (RFTS: 28,35 t ha⁻¹) à T0 (RFTS: 13,33 t ha⁻¹), en passant par le rendement de T2 qui est aussi supérieur au rendement de traitement T1. Pour la dose de fertilisant, le rendement en fruit de tomate est plus grand au niveau de la dose 3 puis de la dose 2 et en fin de la dose 1. Concernant le type de fertilisant, l'ordre est que la fiente de volaille a enregistré le rendement le plus élevé suivi de la bouse de vache puis de la bouse de chèvre et enfin de la pratique paysanne. Les résultats issus de ces trois essais sont supérieurs à ceux obtenus par Naika et al. (2005) et les résultats publiés par le ministère de l'Agriculture et de l'élevage (2019) et Weill et al. (2014). Ils sont conformes à ceux obtenus par Togun et al. (2004), sur l'impact des composts sur le rendement de la tomate et ceux de Bénard (2009) sur l'effet de la nutrition azotée sur la biodiversité et le rendement de la tomate. Également, les

résultats obtenus de cette étude corroborent à ceux de Kotaix et al. (2013), Nyembo (2014), et Outende (2016) sur l'amélioration de la fertilité du sol en culture maraîchère dans la zone tropicale à travers l'utilisation des engrais organiques et à ceux de Fondio et al. (2013), de Kotaix et al. (2013) et de Nacro (2018) sur l'amélioration de la culture de tomate et la productivité des sols au Sahel en rapport avec la fertilisation en compost et phosphate naturelle de Tahoua.

Biodiversité des champignons à mycorhize arbusculaire

Les types des spores retrouvés dans les échantillons du sol, à travers l'observation à la loupe binoculaire, sont identiques dans les différents traitements à travers l'observation à la loupe binoculaire (Figure 3). Les genres des spores identifiées sont des *Scutellospora sp*, *Gigaspora sp* et *Glomus sp* dont la densité moyenne est respectivement 53%, 24%, 23% dans un échantillon de 100 g de sol. Le nombre total des spores varie de 110 à 345 par l'échantillon. Les résultats de cette étude sur la biodiversité des spores de champignons à mycorhize arbusculaire sont supérieurs à ceux de González Penalta (2004), sur l'utilisation d'un bio fertilisant granulé à base de CMA et l'étude des champignons mycorrhiziens des sols en systèmes des grandes cultures biologiques en zone subhumide par Rivaton (2016).

Essai	Traitement	Croissance		Développement			Rendement (t ha ⁻¹)		
		H (cm)	D (mm)	NF	NBF	NFL	RFTS	RPF	RPR
1	T0	30c	25c	279b	11c	9c	15c	5c	1c
	T1	38b	33b	451a	19b	15b	22b	8b	2b
	T2	77a	58a	469a	26a	20a	25b	9b	3ab
	T3	39b	36b	462a	20b	16b	30a	11a	4a
	P-Value	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
2	T0	27b	22b	250b	18b	12c	13c	6c	2c
	T1	35a	28a	427a	21b	19b	16b	9b	3b
	T2	36a	29a	428a	23b	23b	24b	10b	3b
	T3	38a	32a	441a	38a	29a	28a	12a	4a
	P-Value	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,011	<0,001	<0,001
3	T0	28c	24c	259b	20b	13c	19c	9c	3c
	T1	35b	28b	433a	25b	19b	26b	10b	4b
	T2	38b	34b	444a	25b	21b	34b	13b	5b
	T3	79a	58a	460a	33a	28a	38a	13a	6a
	P-Value	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001

Tableau 3. - Paramètres agronomiques de la tomate. Les moyennes suivies des mêmes lettres et dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (test de Tukey). NF : Nombre des feuilles ; NBF : Nombre de boutons floraux ; NFL : Nombre de fleurs ; RFTS : Rendement fruits ; RPF : Rendement Partie Foliaire ; RPR : Rendement Partie Racinaire

Table 3. - Agronomic parameters of tomato. The means followed by the same letters and in the same column are not significantly different at the 5% level (Tukey's test). NF: Number of leaves; NBF: Number of flower buds; NFL: Number of flowers; RFTS: Fruit yield; RPF: Yield Leaf Part; RPR: Yield Root Part

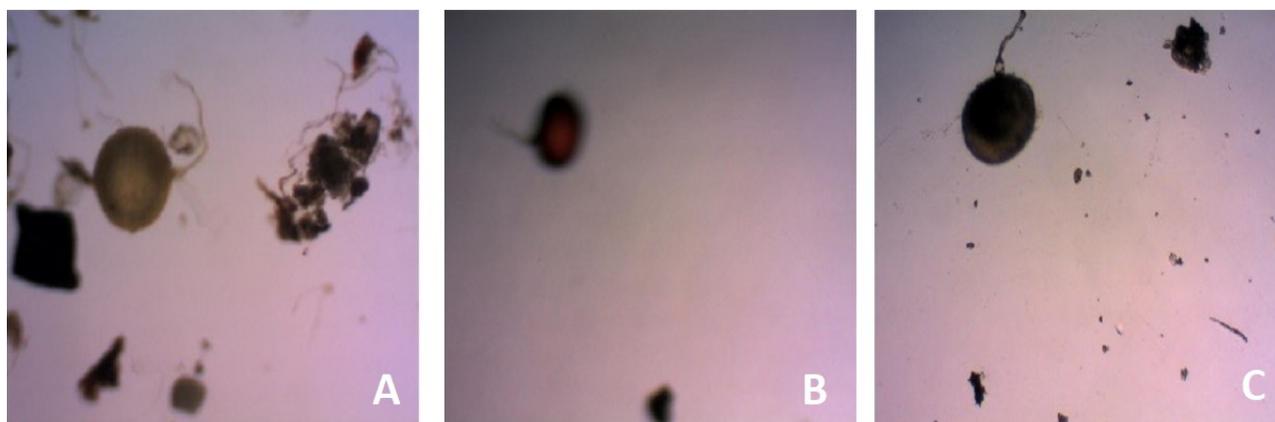


Figure 3.- Types de spores. A : Scutellospora sp ; B : Glomus sp et C : Gigaspora sp. G : 10×10
Figure 3.- Types of spores. A: Scutellospora sp; B : Glomus sp and C : Gigaspora sp. G : 10×10

Comparaison intra-spécifique sur la diversité des spores

Les échantillons de sol prélevés dans la zone rhizosphérique des cultures ont été traités afin d'identifier et décrire les genres de champignons à mycorhize arbusculaire (tableau 4). Trois genres de spores ont été identifiés dans ces échantillons: *Glomus* sp, *Gigaspora* sp et *Scutellospora* sp. Ces derniers ont été examinés pour distinguer leur diversité intra-spécifique sur la base de forme, de couleur, de taille et du point d'attache. En effet, les genres *Gigaspora* se sont distingués de celles *Glomus* et *Scutellospora* par la présence de bulbe ou point d'attache, entre le filament et le sporocyste. Les genres *Glomus* sp, *Gigaspora* sp et *Scutellospora* sp sont de couleur respectivement noir, rouge brun et blanc claire. La taille en longueur de ces spores a enregistré comme la plus grande valeur 550 μm . Les spores trouvées ont les mêmes caractéristiques intra-spécifiques que celles trouvés par Martensson et Carlgren (1994), González Penalta (2004) et Gosling et al. (2006). Suite à l'inoculation de champignon mycorhizien *Glomus* on constate les mêmes caractéristiques sur les spores dans la rhizosphère de vigne, le trèfle rouge, le pâturin des prés et l'oignon d'après les études menées par Giovannetti et al. (1988) et par Rivaton (2016) sur la culture de pois.

Densité des spores de CMA en fonction de stades végétatifs et de traitements

On constate que la densité moyenne des spores est plus élevée au niveau de la floraison par rapport aux autres stades de montaison et de fructification, cependant entre les stades de montaison et de fructification la différence n'est pas significative sur aucun des trois essais (tableau 5). Les résultats obtenus par cette étude sur la densité des spores CMA corroborent ceux de Gosling et al. (2006) et de Rivaton (2016) sur l'étude de l'effet des champignons mycorhiziens dans l'agriculture biologique. Les résultats du tableau 6, qui montrent l'effet de fumures organiques sur la densité des spores, montrent que la densité obtenue avec la fiente de volaille est supérieure à celle obtenue avec la bouse de chèvre suivie par celle obtenue avec la bouse de vache pour tous les essais, avec une différence significative au seuil de 5%. Pour la dose de fertilisant, la densité des spores est significativement plus élevée au niveau de la dose 3 puis de la dose 2 et en fin de la dose 1. Concernant le type de fertilisant l'ordre est que la fiente de volaille a enregistré une densité plus grande suivi de la bouse de vache puis de la bouse de chèvre et en fin de la pratique paysanne. Les résultats de densité des spores sont supérieurs à ceux de Gosling et al. (2006) sur l'agriculture biologique, mais sont inférieurs à ceux montrés par Dalpé (2005) sur la phytoprotection.

Spores	Position taxonomique	Taille (μm)	Couleur paroi externe		Forme de spore	Forme du point d'attache
A	Glomus	90-350	Noir	2	Sphérique à ellipsoïde	Cylindrique
B	Gigaspora	180-450	Rouge brun	2	Sphérique à ellipsoïde	Bulbeux
C	Scutellospora	90-350	Blanc claire	2	Sphérique	Bulbeux

Tableau 4.- Comparaison intra-spécifique sur la diversité des spores
Table 4.- Intra-specific comparison on spore diversity

Essai	Stades phénologiques	<i>Glomus</i>	<i>Gigaspora</i>	<i>Scutellospora</i>	Total
1	Montaison	20,23a	26,12a	82,52ab	131,21ab
	Floraison	32, 89b	36,47b	90,31ab	159,45b
	Fructification	27,15ab	28,52ab	62,18a	107,34a
	P-value	0,011	0,002	0,003	0,012
2	Montaison	16,13a	23,21a	75,22ab	114,34ab
	Floraison	25, 59b	34,41b	85,21ab	145,21b
	Fructification	21,21ab	26,42ab	55,18a	107,21a
	P-value	0,003	0,001	0,002	0,011
3	Montaison	13,33a	20,32a	78,42ab	112,23ab
	Floraison	28, 69b	40,43ab	95,13b	166,13b
	Fructification	19,17ab	24,62ab	65,17a	109,12a
	P-value	0,013	0,003	0,004	0,013

Tableau 5.- Densité moyenne de genres de spores en fonction de stades phénologiques. Les moyennes suivies des mêmes lettres et dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (test de Tukey)

Table 5.- Average density of spore genera as a function of phenological stages. The means followed by the same letters and in the same column are not significantly different at the 5% level (Tukey's test)

Essai	Traitement	<i>Glomus</i>	<i>Gigaspora</i>	<i>Scutellospora</i>	Total
1	T0	14a	18a	52a	85c
	T1	20ab	30ab	69b	104b
	T2	29b	37b	79c	111b
	T3	17ab	22ab	62ab	138a
	P-value	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2	T0	16a	23a	55a	95c
	T1	31b	39ab	105c	126b
	T2	26ab	34ab	85b	145b
	T3	21ab	27a	75ab	176a
	P-value	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
3	T0	19a	24a	60a	104c
	T1	40ab	56b	12c	135b
	T2	29b	37ab	90b	146b
	T3	25ab	31ab	79ab	200a
	P-value	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Tableau 6.- Densité moyenne de genres des spores (nombre de spores CMA par 100 g de sol) en fonction des amendements organiques. Les moyennes suivies des mêmes lettres et dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (test de Tukey)

Table 6.- Average density of spore genera (number of CMA spores per 100 g of soil) as a function of organic amendments. The means followed by the same letters and in the same column are not significantly different at the 5% level (Tukey's test)

Corrélation entre la densité des microorganismes et les paramètres du rendement

La figure 4 montre que la corrélation entre la densité des spores et les rendements est très significative dans le sens positif. Cela indique que la densité des spores CMA est fortement liée aux paramètres agronomiques, au rendement de fruits et de biomasse, et que l'utilisation des fumures organiques stimulent la colonisation des spores CMA et la production de la tomate. Cela corrobore les résultats issus des études sur la fertilisation organique (Ryan et al. 1994; Alloush et Clark 2001) et ceux de Gobat et al. (2003), de Boureima et al. (2019).

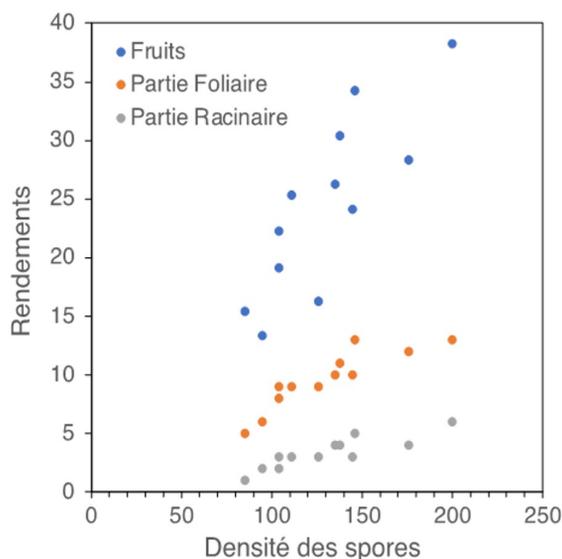


Figure 4.- Corrélation entre la densité moyenne des spores et les paramètres du rendement

Figure 3.- Correlation Between Average Spore Density and Yield Parameters

Conclusions

A l'issu des résultats obtenus par l'expérimentation sur la base de recommandation de fertilisants organiques, les rendements de chaque traitement est appréciable et moins couteux par rapport au rendement obtenu à l'utilisation de fumures minérales. La dose 3 de la fiente de volaille + matière organique est plus efficace pour le rendement en fruits de tomate avec 38,23 t ha⁻¹. L'investigation des échantillons du sol sur la présence de champignons à mycorhize arbusculaire en fonction des pratiques de gestion de la fertilité du sol a prouvé trois types de spores: *Scutellospora* sp, *Gigaspora* sp et *Glomus* sp. Aussi leur densité est plus grande au stade de la floraison par rapport aux autres stades et de même qu'au traitement qui est composé de la fiente de volaille. La corrélation est très significative entre les paramètres agronomiques, la densité des spores de champignons endomycorhiziens et les paramètres du rendement. Il ressort que l'utilisation des amendements organiques peut favoriser la fonction de spores CMA qui sont bénéfiques pour la culture.

Remerciements La présente étude a été rendue possible grâce à l'appui financier du programme Erasmus+ KA107 de l'Université de Santiago de Compostela (Espagne) et du laboratoire de biologie de l'Université Abdou Moumouni de Niamey (Niger).

Références bibliographiques

- Abbasi, P.A., Al-Dahmani, J., Sahin, F., Hoitink, H.A.J. & Miller, S.A. (2002). Effect of compost amendments on disease severity and yield of tomato in conventional and organic production systems. *Plant Disease* 86(2): 156-161. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2002.86.2.156>
- Alabouvette, C. & Cordier, C. (2018). Fertilité biologique des sols : des microorganismes utiles à la croissance des plantes. *Innovations Agronomiques INRAE* 69: 61-70. <https://doi.org/10.15454/UIJG8L>
- 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.
- Boureima, S., Ibrahim, M., Ibrahim, D. & Lawali, S. (2019). Les pratiques paysannes de régénération naturelle assistée des arbustes favorisent le développement des champignons mycorhiziens arbusculaires. *Agronomie Africaine* 31(2): 147-158.
- Dalpe, Y. (2005). Les mycorhizes : un outil de protection des plantes mais non une panacée. *Phytoprotection* 86(1): 53-59. <https://doi.org/10.7202/011715ar>
- F.A.O. (2017). Directives volontaires pour une gestion durable des sols. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome. Italie.
- Fondio, L., Djidji, H.A., N'Gbesso, F.P.M., & Koné, D. (2013). Évaluation de neuf variétés de tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) par rapport au flétrissement bactérien et à la productivité dans le Sud de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 7: 1078-1086. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v7i3.15>
- Gadkar, V., David-Schwartz, R., Kunik, T., & Kapulnik, Y. (2001). Arbuscular Mycorrhizal Fungal Colonization. Factors Involved in Host Recognition. *Plant Physiology* 127(4): 1493-1499. <https://doi.org/10.1104/pp.010783>
- Garbaye, J. (2013). La symbiose mycorhizienne : Une association entre les plantes et les champignons. Editions QUAE, Paris.
- Giovannetti M., Schubert A., Cravero M.C., & Salutini L. (1988). Spore production by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus monosporum* as related to host species, root colonization and plant growth enhancement. *Biology and Fertility of Soils* 6 (2): 120-124. <https://doi.org/10.1007/BF00257660>
- Gobat, J.M., Aragno, M., & Matthey, W. (2003). Le Sol Vivant: Base de pédologie, Biologie des sols, 2ème édition. Presses Polytechniques Universitaires Romandes, Lausanne.

- González Penalta, B. (2004). Preparación y pre-evaluación de un biofertilizante granulado basado en hongos formadores de la simbiosis - micorriza arbuscular. Tesis Doctoral, Universidade de Santiago de Compostela, España.
- Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G., & Bending, G.D. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 113, 17-35. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.09.009>
- Guéro, Y., & Dan Lamso, N. (2006). Les projets de restauration des ressources naturelles et de la fertilité des sols. Centre Régional d'Enseignement Spécialisé en Agriculture CRESA, Niamey.
- Habou, Z.A., Mohamed, N., Salifou, I., Bakoye, N. (2008). Fertilisation minérale chez les cultures maraichères. INRAN, Ma.
- Huber, G., & Schaub, C. (2011). La fertilité des sols: L'importance de la matière organique. Chambre d'agriculture du Bas-Rhin, Strasbourg.
- Ibrahim, J.S., Saidou, A.K., Sabiou, M, Bouba, H., & Abdourahmane, A.T. (2018). Combined Effects of Organic and Mineral Fertilizers on Soil Productivity in Tomato Production: Experiments on Soils of the Coast Road of Yantala-Bas. *Agronomie-Ecosystème* 2: 186-192. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58792-9_11
- INS (2014). Le Niger en chiffre. Institut National de la Statistique du Niger, Niamey.
- Issoufou, O.D. (2014). Effet de l'utilisation du compost sur la mycorrhization du mil et du niébé cultivés en milieu paysan dans les régions de Tillabery et de Niamey. Mémoire de fin d'étude. Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger.
- Kotaix, J.A., Angui, P.T.K., Pierre, C.Z.K, Diby, N.L., Dao, D., et 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.
- Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage (2019). Recueil des fiches techniques en gestion des ressources naturelles et de productions agro-sylvo-pastorales. INRAN et PMERSA-MTZ, Ny.
- Meddich, A., Hafidi, M., Ait El Mokhtar, M., & Boumezzough, A. (2015). Caractérisation des paramètres physicochimiques et des potentialités mycorrhizogènes des sols salés de la palmeraie Nord-est de Marrakech. *Journal of Materials and Environmental Science* 6(9): 2469-2475.
- Hermann Batamussi, M., Tovihoudji, P.G., Tokore, S.B.J., Boulga, J., & Essegnon, M.I. (2016). Effet des engrais organiques sur la croissance et le rendement de deux variétés de tomate (*Lycopersicum esculentum*) dans la commune de Parakou (Nord Bénin). *International Journal of Innovation and Scientific Research* 24: 86-94.
- Nacro, S.R. (2018). Effet des fertilisants organiques sur la production de la tomate et les paramètres chimiques du sol au centre Nord du Burkina Faso. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina-Faso.
- Naika, S., van Lidt de Jeude, J., de Goffau, M., Hilmi, M., & van Dam, B. (2005). La culture des tomates: production, transformation et commercialisation. Série Agrodok 17, Fondation Agronomique et CTA, Wageningen.
- Nyembo, L., Useni Y., Chinawej, D., Kyabuntu, D., Kaboza, Y., Mpundu, M. & Baboy, L. (2014). Amélioration des propriétés physiques et chimiques du sol sous l'apport combiné des biodéchets et des engrais minéraux et influence sur le comportement du maïs (*Zea mays* L. variété Unilu). *Journal of Applied Biosciences* 74: 6121-6130. <https://doi.org/10.4314/jab.v74i1.7>
- RECA (2016). La tomate au Niger. Réseau National de Chambres d'Agriculture du Niger.
- Rivaton, D. (2016). Étude des champignons mycorrhiziens arbusculaires des sols en systèmes de grandes cultures biologiques sans élevage : application à la nutrition phosphatée. Mémoire de fin d'études. AgroCampusOuest, Rennes, France.
- Saidou, A., Kossou, D., Azontonde, A., & Hougni, D. (2009). Effet de la nature de la jachère sur la colonisation de la culture subsequeute par les champignons endomycorhiziens: cas du système 'jachère' manioc sur sols ferrugineux tropicaux du Benin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 3(3): 587-597. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v3i3.45330>
- Schenck, N., & Smith, G.S. (1982). Responses of six species of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi and their effects on soybean at four soil temperatures. *New Phytologist* 92: 193-201. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1982.tb03376.x>
- Soltner, D. (2000). Les bases de la production végétale. Tome 1 : Le sol et son amélioration. Collection Sciences et Techniques Agricoles, Bressuire, France.
- Togun, A.O., Akanbi, W.B., & Adediran, J.A. (2004). Growth, nutrient uptake and yield of tomato in response to different plant residue composts. *Food, Agriculture & Environment* 2(1): 310-316. <https://doi.org/10.1234/4.2004.143>
- Outende, T. (2016). Évaluation des caractéristiques chimiques et agronomiques de cinq composts de déchets et étude de leurs effets sur les propriétés chimiques du sol, la physiologie et le rendement du maïs (*Zea mays* L. Var. Ikenne) et de la tomate (*Lycopersicum esculentum* L. Var. Tropimech) sous deux régimes hydriques au Togo. Thèse de Doctorat, Université de Lomé, Université de Limoges.
- Tchabi, V.I., Azocli, D., & Biaou, G.D. (2012). Effet de différentes doses de bouse de vache sur le rendement de la laitue à Tchatchou au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 6(6): 5078-5084. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v6i6.26>
- Weill, A., Roy-Fortin V., & Duval, J. (2014). Optimisation de la fertilisation pour la production de tomates en grands tunnels. Rapport final. Centre d'Expertise et de Transfert en Agriculture Biologique et de Proximité, Victoriaville, Canada.