Journal Homepage: -www.journalijar.com

INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI:10.21474/IJAR01/19540
DOI URL: http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/19540

RESEARCH ARTICLE

FAIRE DES ECONOMIES DE SURFACE AVEC L'ASSOCIATION MAÏS-LEGUMINEUSES TOUT EN MAINTENANT LE RENDEMENT DU MAÏS PAR RAPPORT A SA CULTURE PURE DANS LES CONDITIONS DE L'OUEST DU BURKINA FASO

Kalifa Coulibaly[1], Alain P.K. Gomgnimbou[2], Louis P. Yaméogo[2], Bernard Bacyé[1] and Hassan B. Nacro[1]

1. Laboratoire d'étude et de Recherche sur la Fertilité du Sol (LERF), Institut du Développement Rural/Université Nazi BONI (UNB); BP 1091, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.
2. Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique /Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA/CNRST), Laboratoire Sol-Eau-Plante, BP 910, Bobo Dioulasso, Burkina Faso.

Manuscript Info

Manuscript History
Received: 28 July 2024
Final Accepted: 30 August 2024
Published: September 2024

Key words:-
Crop Residues, Mulching, Burial, Fertilization, Associated Crops, Burkina Faso

Abstract

The aim of this study was to evaluate the impact of the interaction between crop residue management practices, cropping systems, and fertilization on the yield of associated crops in western Burkina Faso. To this end, an experimental design comprising three factors (crop residue management methods, cropping systems, and fertilization types) and four replications was established and monitored over three farming seasons (2018, 2019, and 2020). The grain and straw yields were determined, and the *landequivalentratio* (LER) was calculated. The results demonstrate that the management of crop residue through mulching or burial maintains crop yields at a level comparable to that achieved through ploughing with residue removal. In general, organo-mineral fertilization stands out as the fertilization practice that improves the production of maize (43.58% and 46.09% in 2018 and 2020, respectively) and legumes (58.42% and 66.11% in 2018 and 2020, respectively) compared to standardized mineral fertilization. Legume yields are significantly higher in monoculture (from 60% to 89% for amber and from 40% to 50% for cowpea) than in association. Additionally, the interaction between soil tillage and fertilization does not appear to be a significant factor in intercropping. However, the maize-legume association emerged as the cropping system with the greatest potential for area savings (LER>1) and crop diversification on the same plot when compared to monocropping. The study suggests that a combination of maize-legume associations, mulching or burying crop residues, and organo-mineral fertilization represents a successful strategy for the sustainable management of cropping systems in western Burkina Faso.

Copyright, IJAR, 2024,. All rights reserved.

Introduction:-

Des multiples recherches ont été menées sur les associations de cultures en raison de leurs avantages sur la régulation des adventices et des ravageurs des cultures, la fertilité du sol et les rendements agricoles (Coulibaly et al., 2017 ; Perrin et Lefèvre, 2019 ; Zongo et al., 2021 ; Tchegueni et al., 2022). Selon Perrin et Lefèvre (2019), l'association de

Corresponding Author:- Kalifa Coulibaly
Address**:-** Laboratoire d'étude et de Recherche Sur la Fertilité du Sol (LERF), Institut du Développement Rural/Université Nazi BONI (UNB) ; BP 1091, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

certaines espèces végétales peut réduire significativement la pression de certains ravageurs tels que les pucerons et l'oïdium blanc sur les cultures, mais la pression d'autres ravageurs tels que les thrips, les acariens et les aleurodes peut augmenter. Tchegueni et al. (2022) ont constaté que les associations maïs-manioc et maïs-soja ont réduit l'infestation, le nombre d'amas d'œufs et de larves, le taux d'attaque et les dégâts de la chenille légionnaire d'automne par rapport à la monoculture du maïs. Les travaux de Coulibaly et al. (2017) ont montré une baisse non significative des rendements de maïs sur les parcelles de cultures associées par rapport à la culture pure de maïs. En revanche, Zongo et al. (2021) ont démontré que l'association mixte sorgho-niébé a généralement entraîné une dépréciation des rendements de sorgho par rapport à la monoculture du sorgho. Toutefois, en combinant les rendements en grains de sorgho et de niébé, Zongo et al. (2021) ont obtenu un accroissement de plus de 10 à 58% par rapport à la monoculture du sorgho.

Dans la zone Nord du Burkina Faso, où les céréales sèches (sorgho, mil) dominent le système de culture, les associations céréales-légumineuses occupent plus de 80% des surfaces cultivées (Zongo et al., 2016). Par contre, dans la zone Ouest du Burkina Faso, où la rotation coton-maïs est le système dominant, les associations céréales-légumineuses sont presque inexistantes. Dans un contexte d'augmentation de la démographie et de rareté des surfaces cultivables, il est important de renforcer les cultures associées, à l'instar de la partie Nord du pays (Coulibaly et al., 2017). Pour y parvenir, il est nécessaire d'étudier les modes de conduite de ces cultures associées. La gestion durable des terres demeure un enjeu crucial de la durabilité des systèmes de production et fait l'objet de multiples recherches. Les plus récentes ont porté sur les modes de gestion des résidus de récolte au Burkina Faso. Elles ont montré des augmentations de rendement allant jusqu'à 38% pour le coton, 14% pour le sorgho et 34% pour le maïs, respectivement, avec le recyclage des résidus sous forme de compost ou de couverture du sol, par rapport à l'exportation des résidus (Ouattara et al., 2022).

En ce qui concerne la fertilisation du sol, les apports organo-minéraux tels que les fientes de poulet associées au Burkina Phosphate et à l'urée ont amélioré significativement le rendement paddy du riz (Sanon et al., 2021).

C'est au regard de l'intérêt agronomique manifeste des associations céréales-légumineuses pratiquées dans la région Nord du pays et dans le contexte de pression foncière que la présente étude se justifie dans la zone Ouest du Burkina Faso. Notre objectif était d'évaluer l'impact des modes de gestion des résidus de récolte et de la fertilisation sur les systèmes de culture intégrant des légumineuses en pure et en association avec le maïs. Nous émettons l'hypothèse que pour augmenter significativement les rendements des cultures associées, il est nécessaire d'adopter des pratiques de gestion des résidus de récolte, tels que le paillage ou l'enfouissement, ainsi qu'une fertilisation organo-minérale.

Matériel et Méthodes:-

Le dispositif expérimental qui a servi à cette étude, a fait l'objet d'une publication (Coulibaly et al., 2023). Ainsi, les descriptions de la zone d'étude, du matériel végétal, du dispositif expérimental et la conduite de l'expérimentation sont identiques à celles de cet article.

Présentation de la zone d'étude

L'étude a été conduite sur le domaine de l'Université Nazi BONI (UNB), implanté dans le village de Nasso au Burkina Faso. Ce village est rattaché à la commune urbaine de Bobo-Dioulasso, chef-lieu de la région des Hauts-Bassins à l'Ouest du Burkina Faso. Les coordonnées du site sont : 11°13'0'' N et 4°25'60'' W (Figure 1)

Avec une pluviosité annuelle comprise entre 800 mm et 1200 mm, le village de Nasso appartient au climat sud soudanien (Fontes et Guinko, 1995). Les hauteurs d'eau ont été recueillies durant la période allant de la mise en place des cultures (juillet) jusqu'à l'arrêt des pluies (octobre) par un pluviomètre installé sur le dispositif expérimental. La pluviosité était de 1016,25 mm en 51 jours pour la campagne 2018, 1349,8 mm en 97 jours pour la campagne 2019 et de 1132,5 mm en 42 jours pour la campagne 2020. Le mois d'Août représente le mois le plus pluvieux avec 398,25 et 486 mm respectivement pour 2018 et 2020. En 2019, c'est le mois de juillet qui était le mois le plus pluvieux avec 18 jours de pluie et une hauteur de 354,7 mm.

La zone d'étude se distingue par la densité de sa végétation, qui abrite les formations forestières les plus opulentes du pays. En effet, la savane y est en moyenne plus haute et plus couvrante, comme l'a souligné Diallo (1997). Il s'agit d'une savane boisée, caractérisée par la présence de trois strates distinctes : la strate arborée, la strate arbustive ainsi que la strate herbacée.

Les sols de la zone d'étude sont des sols ferralitiques faiblement désaturés, remaniés modaux. Ils sont caractérisés par une texture sablo-limoneuse en surface (30 premiers cm), et limono-argilo-sableuse plus en profondeur, et un faible contenu en carbone organique et en azote total (Tour B7, 1998 cité par Nacroet al., 2006).

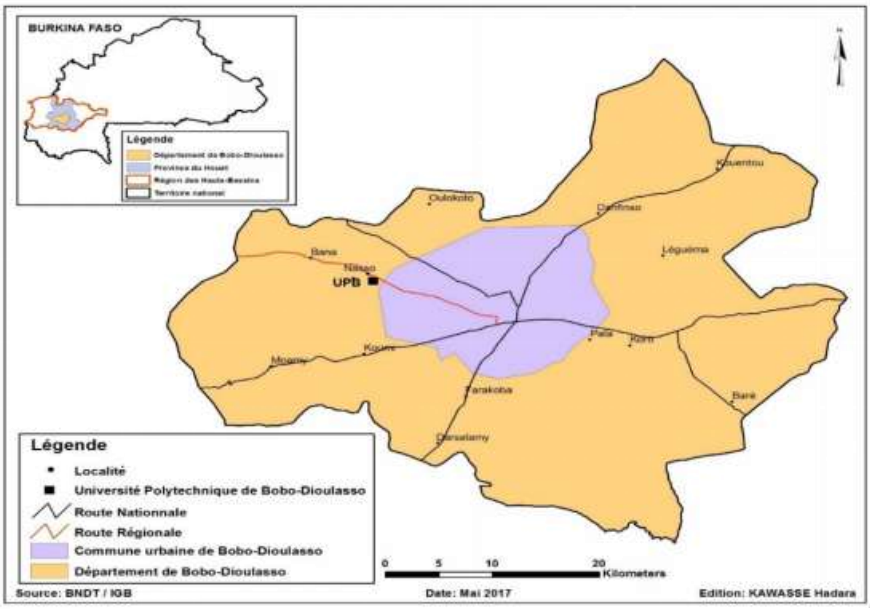

Figure 1:- Localisation de Nasso dans le département de Bobo-Dioulasso.

Matériel d'étude:-

Le matériel végétal utilisé est composé de la variété de maïs SR21 (*Zeamays* L.), l'ambérique (*Vignaradiata*L.Wilczek) et la variété de niébé KVX 745-11P (*Vignaunguiculata* L. Walp.). Les semences ont été acquises auprès de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles à Farakô-ba (INERA-Farakô-ba). La variété de maïs SR21 a un cycle de 95 jours. La variété de niébé KVX 745-11P a un cycle semis-maturité de 75 jours. L'ambérique a un cycle 75-90 jours.

Les fertilisants utilisés sont la fumure organique et les engrais minéraux à savoir le complexe NPK (15-15-15) et l'Urée (46% N). La fumure organique dont les caractéristiques sont présentées dans le Tableau 1 a été achetée au niveau de l'INERA-Farakô-ba en 2018 et au niveau d'une entreprise de commercialisation de fertilisants en 2020 (Tableau 2). Les fertilisants minéraux ont été achetés sur le marché local de Bobo-Dioulasso.

Tableau 1:- Teneurs des différents paramètres chimiques de la fumure organique (FO) utilisée en 2018.

Paramètres chimiques	pH-eau	pH-KCl	Carbone (%)	MO (%)	N (%)	C/N	P-total (mg/kg)	K-total (mg/kg)
Teneur dans la FO	8,30	7,63	22,10	38,10	1,67	13	2296,43	30439,33

Tableau 2:- Teneurs des différents paramètres chimiques de la fumure organique (FO) utilisée en 2020.

Paramètres chimiques	**N**	**P_20_5**	**K_2O**	**Oligo-éléments (Fe, B, Zn, Mo)**	**M.O**	**C/N**
Teneur dans la FO	2%	3%	2%	Traces	26%	12

Légende : M.O = matière organique, N = azote, P_total = phosphore total, K_total = potassium total, P_20_5 = pentoxyde de phosphore et K_2O = Oxyde de potassium

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental mis en œuvre était du type *strip split plot* en quatre répétitions. Trois facteurs étaient étudiés à savoir : le travail du sol, le système de culture ainsi que la fertilisation. L'étendue totale du dispositif était de 3 854 m², s'étirant sur une longueur de 94 mètres pour une largeur de 41 mètres. Les facteurs principaux, qui

correspondaient aux différentes modalités de gestion des résidus de culture, étaient séparées entre eux par une allée de 1 mètre, tandis que les parcelles élémentaires étaient quant à elles séparées par une allée de 0,5 mètre. Chacune de ces dernières présentait une superficie de 16 mètres carrés (soit 4 mètres sur 4 mètres).

Au total, on dénombrait cent quatre-vingt (180) parcelles élémentaires. Les différents traitements formulés tenant compte des différents facteurs, sont :

Travail du sol
T1 : *labour + exportation de résidus de récolte ;*
T2 : *labour + Enfouissement de tous les résidus de récolte de la parcelle ;*
T3 :*semis direct + paillage de la parcelle.*

Système de culture
S1 : *maïs en culture pure ;*
S2 :*ambérique en culture pure en rotation avec le maïs ;*
S3 : *niébé en culture pure en rotation avec le maïs ;*
S4 : *maïs en association avec le niébé ;*
S5 : *maïs en association avec l'ambérique*.

Fertilisation
FM : *fumure minérale : 150 kg/ha de NPK et 50 kg/ha d'Urée pour le maïs (en pur ou en association) ; 100 kg/ha de NPK pour les légumineuses ;*
fom : *fumure organo-minérale faible dose (2 t/ha de fumure organique et FM) ;*
FOM : *fumure organo-minérale forte dose (5 t/ha de fumure organique et FM).*
Une rotation de cultures entre les légumineuses et le maïs a été effectuée sur les parcelles de culture pure de légumineuse.

Conduite de l'expérimentation
En 2018, toute la parcelle a été défrichée et labourée à une profondeur de 20 cm. Il n'y avait donc pas de différence entre T1, T2 et T3 durant cette campagne. La fumure organique a été apportée à des doses de 2 t/ha tous les ans, et 5 t/ha en 2018 et 2020 suivant les traitements. Le semis du maïs a été fait à raison de 2 à 3 grains par poquet, avec des écartements de 40 cm entre les poquets et 80 cm entre les lignes. Un démariage à 2 plants par poquet a été effectué 15 jours après semis (JAS). L'apport de NPK a été fait aux poquets, à raison de 150 kg/ha dans les parcelles du maïs à 15 JAS. Au 30^{e} JAS en 2018 et au 35^{e} JAS en 2020, l'Urée a été apporté aux poquets, à la dose de 50 kg/ha dans les parcelles du maïs. Les semis du niébé et de l'ambérique ont été réalisés 15 JAS du maïs, aussi bien en association qu'en culture pure. Le semis de ces légumineuses a été effectué entre les lignes du maïs sur les parcelles d'association à un écartement de 40 cm entre les poquets et aux écartements de 40 cm x 80 cm en culture pure. Un apport de 100 kg/ha de NPK aux parcelles des légumineuses en pure et en association, a été effectué au 15^{e} JAS des légumineuses dans les poquets. Deux à trois sarclages ont été effectués selon le niveau d'enherbement des parcelles.

Variables collectées
Les variables déterminées sont les rendements des cultures et le *Land Equivalent Ratio* (LER).

Les rendements en grain et en paille de maïsont été déterminés, après la récolte sur les 4 lignes centrales de la parcelle utile (3 m x 3 m = 9 m²), de chaque parcelle élémentaire, aussi en association qu'en culture pure. Les épis de maïs récoltés ont été égrenés à la main, après séchage au soleil pendant 4 semaines, par traitement et par répétition. Les grains obtenus ont été pesés à l'aide d'une balance électronique. Les tiges de maïs ont été coupées au niveau du collet et leurs poids pris à l'aide d'un peson. Pour chaque parcelle utile, a été prélevé un échantillon de deux tiges séchées à température ambiante pendant sept (7) jours, afin de déterminer la matière sèche. La formule permettant d'obtenir les rendements en grains est la suivante :

$$\textbf{Rendement en grain } (kg/ha) = \frac{P*10000}{9\ m^2*1000}$$ Avec **P** : le poids des grains secs de chaque parcelle unitaire en gramme.
La formule permettant d'obtenir les rendements en paille en kilogramme par hectare (kg/ha) est la suivante :

$$\textbf{Rendement en paille (kg/ha)} = \frac{\text{Prod} * 10000}{9\ \text{m}^2 * 1000}$$

Avec **Prod** : la production en pailles du maïs de chaque parcelle unitaire

Les Rendement en graine et en fane des légumineuses ont égalementété effectués sur les 4 lignes centrales de la parcelle utile (3 m x 3 m = 9 m²) de chaque parcelle élémentaire, aussi en association qu'en culture pure. Les gousses obtenues ont été séchées au soleil pendant cinq (05) jours. Puis battues pour obtenir les graines. Le rendement à l'hectare (en kg) a été estimé à travers le poids total des graines de chaque parcelle utile, suivi d'une extrapolation des résultats obtenus. La biomasse aérienne (tiges et feuilles) a été immédiatement pesée à l'aide d'une balance électronique pour déterminer le poids frais en gramme (g). Ensuite, un échantillon de deux plants a été prélevé, pesé et séché à température ambiante pendant quatorze (14) jours. Le poids sec obtenu a permis de calculer le rendement fane suivant le même procédé que le rendement paille du maïs.
Le Land Equivalent Ratio (LER) correspond à la surface de sol nécessaire pour obtenir en culture pure les mêmes rendements qu'en culture associée. Lorsque le LER est supérieur à 1, cela signifie que l'association utilise les ressources du milieu avec une meilleure efficacité que les cultures pures. Lorsque le LER est inférieur à 1, ce sont les cultures pures qui sont plus efficaces que les cultures associées. Si le LER est égale à 1, les cultures associées et les cultures pures ont la même efficacité d'utilisation des ressources du milieu.

$$\boldsymbol{LER} = \frac{\textit{Rendement maïs associé}}{\textit{Rendemendt maïs en culture pure}} + \frac{\textit{Rendement légumineuse associée}}{\textit{Rendement légumineuse en culture pure}}$$

Analyse de données:-

Les données ont été analysées avec le logiciel Stata version 12.0. Les analyses de variance (ANOVA) ont été réalisées et le test de Newman StudentKeuls au seuil de 5% a permis de comparer les moyennes lorsque les différences étaient significatives.

Résultats:-

Effet du travail du sol, du système de culture et de la fertilisation sur le rendement du maïs

Le Tableau 3 présente la variation des rendements du maïs en fonction du travail du sol, du système de culture et de la fertilisation. Les interactions entre les différents facteurs se sont révélées non significatives excepté celle entre le travail du sol et le système de culture sur le rendement paille en 2019.

Concernant le travail du sol, on note que le rendement en grain a varié entre 993 kg/ha (T1) et 1187 kg/ha (T3) en 2019 et entre 754 kg/ha (T1) et 811 kg/ha (T3) en 2020. Quant au rendement en paille, il a varié entre 2465 kg/ha (T1) et 2967 kg/ha (T3) et entre 2019 et 1519 kg/ha (T1) et 1790 kg/ha (T2) en 2020. Excepté le rendement en paille de 2019, les analyses de variance montrent qu'il n'y a pas de différence significative au seuil de 5% entre les différentes techniques du travail.

Les résultats concernant les systèmes de culture montrent que le rendement en grain a varié entre 1248 kg/ha (S5) et 1435 kg/ha (S4) en 2018, entre 828 kg/ha (S2) et 1348 kg/ha (S5) en 2019 et entre 506 kg/ha (S4) et 1164 kg/ha (S1)en 2020. Le rendement en paille a varié entre 2829 kg/ha (S1) et 3748 kg/ha (S4) en 2018, entre 2459 kg/ha (S5) et 2898 kg/ha (S1) en 2019 et entre 1423 kg/ha (S5) et 1855 kg/ha (S1) en 2020. Les différences enregistrées entre les systèmes de culture ne sont significatives que pour le rendement en paille en 2018 ($p = 0{,}001$) et pour le rendement en grain en 2019 ($p = 0{,}005$) et en 2020 ($p<0{,}001$).

Pour la fertilisation, le rendement en grain a varié entre 982 kg/ha (FM) et 1703 kg/ha (FOM) en 2018, entre 1080kg/ha (FM) et 1255 kg/ha (fom) en 2019 et entre 614kg/ha (FM) et 897 kg/ha (FOM) en 2020. Le rendement en paille a varié entre 2584kg/ha (FM) et 3822 kg/ha (FOM) en 2018, entre 2521kg/ha (FM) et 2799 kg/ha (FOM) en 2019 et entre 1599kg/ha (fom) et 1722 kg/ha (FM) en 2020. Il est à noter que l'observation des résultats a révélé une différence significative entre les options de fertilisation, mais seulement en ce qui concerne les rendements en grain ($p<0{,}0001$) et en paille ($p<0{,}001$) en 2018, ainsi que pour le rendement en grain ($p=0{,}008$) en 2020.

En ce qui concerne les interactions entre les facteurs étudiés, aucune d'entre elles n'est significative, à l'exception de celle entre le travail du sol et le système de culture, qui a donné une différence significative (p=0,020) pour le rendement en paille en 2019.

Tableau 3:- Variation des rendements du maïs (kg.ha) en fonction du travail du sol, du système de culture et de la fertilisation.

Traitements		2018		2019		2020	
		Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille
Travail du sol	**T1**	-	-	993±60	2465^{a}±112	745±78	1519±130
	T2	-	-	1149±89	2490^{a}±102	790±82	1790±157
	T3	-	-	1187±61	2967^{b}±118	811±83	1633±150
	Pr > F	-	-	0,466	<0,001	0,765	0,408
	Significatif	-	-	NS	HS	NS	NS
Systèmes de culture	**S1**	1411±119	2829^{a}±176	1164^{ab}±96	2898±151	1164^{c}±77	1855±152
	S2	-	-	828^{a}±77	2671±144	-	-
	S3	-	-	1216^{b}±95	2629±143	-	-
	S4	1435±115	3748^{b}±239	1080^{ab}±73	2540±132	506^{a}±54	1664±134
	S5	1248±97	2932^{a}±190	1348^{b}±96	2459±164	676a^{b}±66	1423±146
	Pr > F	0,367	0,001	0,005	0,332	<0,001	0,108
	Significatif	NS	S	S	NS	THS	NS
Fertilisation	**FM**	982^{a}±77	2584^{a}±184	1080±76	2521±101	614^{a}±63	1722±152
	Fom	1410^{b}±112	3102^{a}±190	1255±55	2634±112	835^{b}±94	1599±137
	FOM	1703^{c}±107	3822^{b}±217	1100±53	2799±131	897^{bc}±76	1620±152
	Pr > F	<0,0001	<0,001	0,441	0,559	0,008	0,809
	Significatif	THS	HS	NS	NS	HS	NS
TdS*SdC	**Pr >F**			0,883	**0,02**	0,467	0,424
TdS * Fertilisation				0,972	0,703	0,844	0,331
SdC*Fertilisation		0,957	0,971	0,194	0,538	0,322	0,825
TdS*SdC*Fertilisation				0,803	0,961	0,842	0,123

Légende : TdS = Travail du sol ; SdC = Système de culture ; *T1 : labour + exportation de résidus de récolte ; T2 : labour + Enfouissement de tous les résidus de récolte de la parcelle ; T3 : semis direct + paillage de la parcelle ; S1 : maïs en culture pure ; S2 : ambérique en culture pure en rotation avec le maïs ; S3 : niébé en culture pure en rotation avec le maïs ; S4 : maïs en association avec le niébé ; S5 : maïs en association avec l'ambérique*; *FM : fumure minérale : 150 kg/ha de NPK et 50 kg/ha d'Urée pour le maïs (en pur ou en association) ; 100 kg/ha de NPK pour les légumineuses ; fom : fumure organo-minérale faible dose (2 t/ha de fumure organique et FM) ; FOM : fumure organo-minérale forte dose (5 t/ha de fumure organique et FM) ; NS = non significatif ; HS = hautement significatif ; THS = très hautement significatif ; T1, T2 et T3 sont identiques en 2018 ; S2 et S3 étaient en légumineuses en 2018 et 2020*

Effet de l'interaction des facteurs sur le rendement des légumineuses

L'analyse des interactions montre que la production des grains et des fanes des légumineuses a été différemment affectés par les traitements en fonctions des années. En 2018, le rendement en grain et en fane des parcelles sous

différents systèmes de cultures a varié en fonction de la fertilisation (p = 0,025 pour le rendement en grain et p =0,012 pour le rendement en fanes). En 2019, en plus de l'interaction entre les systèmes de culture et la fertilisation (p=0,005), l'interaction entre le travail du sol et les systèmes de culture (p=0,034) a été significatif pour le rendement en fane des légumineuses.

Effet de l'interaction entre le système de culture et la fertilisation sur le rendement des légumineuses

Les résultats pour le rendement en grain, montrent que la valeur la plus faible a été enregistré avec la combinaison S5*FM (56 g/kg) et la plus élevée avec S2*FOM (675 kg/ha) (Tableau 4). Pour les fanes de légumineuses, le rendement a varié entre 32 et 1652 kg/ha. La différence entre les combinaisons est significative aussi bien pour le rendement en grain (p=0,025) qu'en fane (p=0,012). L'ambérique a les rendements les plus faibles en association avec le maïs et les rendements les plus élevés en culture pure quelle que soit la fertilisation.

Tableau 4:- Variation des rendements (kg/ha) des légumineuses selon l'interaction entre système de culture et fertilisation en 2018.

SdC * Fertilisation	Grains	Fane
S5*FM	$56^{a} \pm 08$	$32^{a} \pm 09$
S5*fom	$74^{ab} \pm 12$	$38^{a} \pm 07$
S5*FOM	$102^{abc} \pm 16$	$55^{a} \pm 17$
S4*FM	$139^{abc} \pm 17$	$380^{ab} \pm 52$
S4*fom	$155^{abc} \pm 20$	$739^{bc} \pm 104$
S4*FOM	$166^{abc} \pm 23$	$699^{bc} \pm 105$
S3*FM	$214^{abcd} \pm 21$	$917^{c} \pm 105$
S3*FOM	$263^{bcd} \pm 26$	$1508^{d} \pm 106$
S3*fom	$288^{cd} \pm 29$	$1652^{d} \pm 173$
S2*FM	$315^{d} \pm 62$	$356^{ab} \pm 111$
S2*fom	$513^{e} \pm 77$	$403^{ab} \pm 117$
S2*FOM	$675^{f} \pm 108$	$532^{b} \pm 147$
Pr > F	0,025	0,012
Signification	S	S

Légende : SdC = Système de culture ; *S2 : ambérique en culture pure en rotation avec le maïs ; S3 : niébé en culture pure en rotation avec le maïs ; S4 : maïs en association avec le niébé ; S5 : maïs en association avec l'ambérique*; *FM : fumure minérale : 150 kg/ha de NPK et 50 kg/ha d'Urée pour le maïs (en pur ou en association) ; 100 kg/ha de NPK pour les légumineuses ; fom : fumure organo-minérale faible dose (2 t/ha de fumure organique et FM) ; FOM : fumure organo-minérale forte dose (5 t/ha de fumure organique et FM) ; S = significatif*

La combinaison S5*fom (45 kg/ha) a enregistré le plus faible rendement en fane tandis que la combinaison S5*FOM (340 kg/ha) a obtenu le rendement en fane le plus élevé (Tableau 5). La différence entre les différentes combinaisons est significative au seuil de 5% avec 3 classes. La première classe (S5*fom) et la troisième classe (S5*FOM) sont constituées chacune d'une seule combinaison. La deuxième classe qui est intermédiaire au 2 précédentes, est composée des combinaisons S4*FOM, S5*FM, S4*FM et S4*fom.

Tableau 5:- Variation des rendements en fane (kg/ha) des légumineuses selon l'interaction entre système de culture et fertilisation en 2019.

SdC * Fertilisation	Fane
S5*fom	$45^{a} \pm 9,41$
S4*FOM	$152^{ab} \pm 36,73$
S5*FM	$169^{ab} \pm 83,70$
S4*FM	$176^{ab} \pm 71,44$
S4*fom	$190^{ab} \pm 118,80$
S5*FOM	$340^{b} \pm 36,08$
Pr > F	0,005
Signification	S

Légende : SdC = Système de culture ; *S4 : maïs en association avec le niébé ; S5 : maïs en association avec l'ambérique*; *FM : fumure minérale : 150 kg/ha de NPK et 50 kg/ha d'Urée pour le maïs (en pur ou en association) ; 100 kg/ha de NPK pour les légumineuses ; fom : fumure organo-minérale faible dose (2 t/ha de fumure organique et FM) ; FOM : fumure organo-minérale forte dose (5 t/ha de fumure organique et FM) ; S = significatif*

Effet de l'interaction entre le travail du sol et la fertilisation sur le rendement des légumineuses

Les valeurs du rendement en fane ont varié entre 94 kg/ha pour l'interaction T2*fom et 314 kg/ha pour l'interaction T3*FOM (Tableau 6). La différence entre les interactions est significative au seuil de 5% avec un premier groupe constitué par T2*fom, T3*fom, T2*FOM, T3*FM, T1*fom et T2*FM. Le second groupe est constitué par les interactions T1*FM et T1*FOM. Le troisième groupe est constitué par l'interaction T3*FOM.

Tableau 6:- Variation des rendements en fane (kg/ha) des légumineuses selon l'interaction entre le travail du sol et fertilisation en 2019.

TdS * Fertilisation	**Fane**
T2*fom	94^{a} ±13,26
T3*fom	103^{a} ±9,38
T2*FOM	144^{a} ±82,81
T3*FM	144^{a} ±71,44
T1*fom	157^{a} ±118,92
T2*FM	160^{a} ±69,03
T1*FM	213^{ab} ±85,00
T1*FOM	254^{ab} ±54,67
T3*FOM	341^{b} ±90,36
Pr > F	0,034
Signification	S

Légende : TdS = Travail du sol ; *T1 : labour + exportation de résidus de récolte ; T2 : labour + Enfouissement de tous les résidus de récolte de la parcelle ; T3 : semis direct + paillage de la parcelle ; FM : fumure minérale : 150 kg/ha de NPK et 50 kg/ha d'Urée pour le maïs (en pur ou en association) ; 100 kg/ha de NPK pour les légumineuses ; fom : fumure organo-minérale faible dose (2 t/ha de fumure organique et FM) ; FOM : fumure organo-minérale forte dose (5 t/ha de fumure organique et FM) ; S = significatif*

Effet du travail du sol, du système de culture et de la fertilisation sur le rendement des légumineuses

Pour le travail du sol, les données montrent qu'il n'a pas affecté significativement ($p>0,05$) les rendements des légumineuses (Tableau 7). Le rendement en grain a varié entre 60 kg/ha (T1) et 71 kg/ha (T2) en 2019 et entre 223kg/ha (T3) et 278 kg/ha (T1) en 2020. Le rendement en fane a varié entre 133 kg/ha (T2) et 204 kg/ha (T1) 2019 et entre 978 kg/ha (T3) et 1078 kg/ha (T2) en 2020.

Pour les systèmes de culture, le rendement en grain a varié entre 77 kg/ha (S5) et 513 kg/ha (S2) en 2018, 59 kg/ha (S5) et 74 kg/ha (S4) en 2019 et entre 131kg/ha (S5) et 347 kg/ha (S2) en 2020. Le rendement en fane a varié entre 42 et 1712 kg/ha pour les 3 campagnes agricoles. Des différences très hautement significatives ($p<0,0001$) ont été observées entre les systèmes de culture en 2018 et 2020 pour les rendements du niébé. Par contre aucune différence significative n'a été observée en 2019.

Concernant le facteur fertilisation, on note que les rendements en grain des légumineuses les plus bas ont été observés en 2019. Le rendement en grain le plus élevé (301 kg/ha) a été enregistré en 2018 avec le traitement FOM. Le rendement en fane a varié entre 110 et 1224 kg durant les années d'expérimentation. La différence observée entre les fertilisations, a été significative en 2018 pour le rendement en grain ($p=0,003$) et en fane ($p<0,001$), en 2019 pour le rendement fane ($p=0,037$) et en 2020 pour le rendement en grain ($p=001$).

Les résultats montrent une interaction significative en 2018 entre le système de culture et la fertilisation pour le rendement en grain ($p=0,025$) et en fane ($p=0,012$). En 2019, l'interaction a également été significative entre le travail du sol et le système de culture ($p=0,034$) et entre le système de culture et la fertilisation ($p=0,005$) pour le rendement en fane uniquement.

Tableau 7:- Variation des rendements (kg/ha) des légumineuses en fonction du travail du sol, du système de culture et de la fertilisation.

		2018		2019		2020	
		Grain	**Fane**	**Grain**	**Fane**	**Grain**	**Fane**
Travail du sol	T1	-	-	60±10	204±46	278±29	1021±167
	T2	-	-	71±12	133±29	234±23	1078±169
	T3	-	-	69±10	196±42	223±28	978±168
	Pr > F	-	-	0,723	0,264	0,209	0,881
	Significatif	-	-	NS	NS	NS	NS
Système de culture	**S2**	513^{d}±52	430^{b}±72	-	-	347^{b}±44	337^{a}±76
	S3	255^{c}±15	1359^{d}±91	-	-	336^{b}±24	1712^{b}±206
	S4	153^{b}±11	606^{c}±57	74±09	169±30	166^{a}±14	342^{a}±105
	S5	77^{a}±08	42^{a}±07	59±08	185±35	131^{a}±11	1711^{b}±197
	Pr > F	<0,0001	<0,0001	0,240	0,764	<0,0001	<0,0001
	Significatif	THS	THS	NS	NS	THS	THS
Fertilisation	FM	190^{a}±10	421^{a}±41	70±08	172^{ab}±29	180^{a}±21	929±176
	Fom	258^{b}±09	672^{b}±33	63±08	110^{a}±23	256^{b}±21	925±146
	FOM	301^{bc}±12	734^{bc}±41	65±10	246^{b}±29	299^{bc}±34	1224±178
	Pr > F	0,003	<0,001	0,892	0,037	0,001	0,229
	Significatif	S	HS	NS	S	HS	NS
TdS*SdC	**Pr >F**			0,221	0,034	0,974	0,529
TdS * Fertilisation				0,519	0,397	0,984	0,423
SdC*Fertilisation		0,025	0,012	0,760	0,005	0,322	0,545
TdS*SdC*Fertilisation				0,483	0,135	0,994	0,908

Légende : TdS = Travail du sol ; SdC = Système de culture ; *T1 : labour + exportation de résidus de récolte ; T2 : labour + Enfouissement de tous les résidus de récolte de la parcelle ; T3 : semis direct + paillage de la parcelle ; S2 : ambérique en culture pure en rotation avec le maïs ; S3 : niébé en culture pure en rotation avec le maïs ; S4 : maïs en association avec le niébé ; S5 : maïs en association avec l'ambérique*; *FM : fumure minérale : 150 kg/ha de NPK et 50 kg/ha d'Urée pour le maïs (en pur ou en association) ; 100 kg/ha de NPK pour les légumineuses ; fom : fumure organo-minérale faible dose (2 t/ha de fumure organique et FM) ; FOM : fumure organo-minérale forte dose (5 t/ha de fumure organique et FM) ; S = significatif ; NS = non significatif ; HS = hautement significatif ; THS = très hautement significatif ; T1, T2 et T3 sont identiques en 2018 ; S2 et S3 étaient en maïs en 2019*

Effet du travail du sol et de la fertilisation sur land equivalent ratio (LER)

Les résultats montrent que quel que soit le mode de travail du sol en 2020, le LER global (grain + paille) est supérieur à 2 pour le système associant le maïs et le niébé et compris entre 1,60 et 2 pour le système associant le maïs et le mucuna (Tableau 8). Pour le grain, le traitement T1 a un LER (1,34) significativement plus élevé que celui du traitement T3 (LER = 0,71) dans le système maïs-niébé.

Pour la fertilisation, tous les LER sont supérieurs à 1 quel que soit le système de culture en 2018. En 2020, les valeurs du LER sont également supérieur à 1, excepté pour le grain (LER < 1) dans le système avec le niébé. Les différences enregistrées entre les types de fertilisation ne sont pas significatives au seuil de 5% pour tous les systèmes d'association et quelle que soit l'année.

Tableau 8 : Variation des land equivalent ratio (LER) des systèmes de culture en fonction du travail du sol et de la fertilisation

		2018				2020			
		Système avec niébé		Système avec ambérique		Système avec niébé		Système avec ambérique	
		Grain	Grain+Paille	Grain	Grain+Paille	Grain	Grain+Paille	Grain	Grain+Paille
Travail du sol	T1	-	-	-	-	1,34[a]	2,39	2,30	1,65
	T2	-	-	-	-	0,97[ab]	3,13	1,52	1,62
	T3	-	-	-	-	0,71[b]	2,63	1,53	2,11
	Pr > F	-	-	-	-	0,016	0,822	0,163	0,524
	Signification	-	-	-	-	S	NS	NS	NS
Fertilisation	FOM	1,88	1,70	1,31	1,16	0,91	2,55	5,81	1,96
	Fom	1,82	1,76	1,18	1,20	0,98	2,09	1,32	1,48
	FM	2,09	2,06	1,54	1,42	1,13	3,50	6,66	1,94
	Pr > F	0,771	0,374	0,616	0,379	0,618	0,487	0,515	0,547
	Signification	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Légende : *T1 : labour + exportation de résidus de récolte ; T2 : labour + Enfouissement de tous les résidus de récolte de la parcelle ; T3 : semis direct + paillage de la parcelle ; FM : fumure minérale : 150 kg/ha de NPK et 50 kg/ha d'Urée pour le maïs (en pur ou en association) ; 100 kg/ha de NPK pour les légumineuses ; fom : fumure organo-minérale faible dose (2 t/ha de fumure organique et FM) ; FOM : fumure organo-minérale forte dose (5 t/ha de fumure organique et FM) ; S = significatif ; NS = non significatif.*

Discussion:-

La gestion des résidus de culture par paillage ou par enfouissement induit les mêmes effets que le labour sur le rendement des cultures

Les résultats obtenus mettent en évidence que, sur une période de deux campagnes, les méthodes de semis direct sous couverture végétale et d'enfouissement des résidus de culture n'ont pas influencé de manière significative les rendements des cultures, par rapport à la méthode de labour avec exportation des résidus. Ces résultats sont en accord avec les observations de Razafindramanana et al. (2012), qui ont constaté l'absence de différence significative entre les systèmes labourés et les systèmes sous couverture végétale pour les rendements en grain du riz et du maïs. Ainsi, il est possible de considérer le paillage ou l'enfouissement des résidus de récolte comme une alternative viable pour la valorisation de ces derniers (Scopel et al., 2005 ; Djenontin et al., 2013 ; Badou et al., 2013 ; Ouattara et al., 2021 ; Bacyé et al., 2021). Les travaux de Scopel et al. (2005) ont montré qu'en 5 années d'expérimentation, le rendement en grain de maïs avait augmenté de plus de 170 % avec le semis sous paillage par rapport au labour conventionnel. Badou et al. (2013) ont trouvé que l'enfouissement des résidus de soja a accru le rendement du maïs en grain de 67% par rapport à une parcelle sans précédent soja et de 29 % par rapport à une parcelle où les résidus de soja ont été brûlés. Ouattara et al. (2021) ont montré que pendant 10 années de rotation des cultures, l'effet du semis direct avec ou sans plante de couverture sur les rendements de coton et de maïs était statistiquement équivalent à celui du travail conventionnel du sol. Bacyé et al. (2021) qui ont travaillé avec le paillis à base de feuilles de bananier, ont obtenu des rendements en grains du maïs qui ont augmenté de 24 à 66,2% respectivement avec le paillage et l'enfouissement par rapport au brûlage et au ramassage. Comme l'indiquent Djenontin et al. (2013), le paillage ou l'enfouissement des paillis avec les résidus de récolte constituent des techniques simples et peu coûteuses pouvant remplacer la coupe suivie d'un ramassage ultérieure ou d'un assemblage pour incinération.

Avec une interaction significative entre le travail du sol et la fertilisation pour le rendement en fane des légumineuses, nos résultats suggèrent que l'efficacité du paillage peut être améliorée, si on applique une fertilisation combinée de 5 t/ha de fumure organique tous les 2 ans et de fumure minérale.

La fertilisation organo-minérale est la pratique de fertilisation appropriée pour une meilleure production des cultures

Les résultats montrent que c'est la fertilisation organo-minérale qui se dégage globalement comme la pratique de fertilisation qui améliore la production du maïs et des légumineuses. Cela peut s'expliquer par le fait que ces fertilisants améliorent l'offre nutritive du sol pour les cultures. Les travaux de Kouassi et al. (2019) qui vont dans le sens que les nôtres, montrent que les fertilisants organiques créent un environnement favorable pour le développement des racines des cultures ; ce qui améliore leur accessibilité aux nutriments. Nos résultats sont en accord avec ceux de Ouédraogo et Hien (2015) qui ont obtenu de meilleures croissances et les biomasses les plus importantes du niébé et du maïs avec les traitements combinant la fumure organo-minérale. Les résultats similaires obtenus également par Palé et al. (2021), montrent que la fertilisation minérale en combinaison avec la fertilisation organique comme le compost permet des gains substantiels en rendements du mil allant de 33 à 42% pour le grain et de 25 à 41% pour la paille, comparativement à l'application de l'engrais minéral seul. Concernant les 2 types de fertilisation organo-minérale utilisés dans notre étude, les résultats ne sont pas suffisamment clairs pour fixer un choix, car dans la plupart des cas, les résultats sont similaires. Il serait donc pertinent que l'option de combinaison de fumure organique (FO) et de fumure minérale soit déterminée suivant les capacités de production et de transport de la FO de chaque producteur. Toutefois, si la capacité de production de FO le permet, le producteur peut opter pour une application de 2 t/ha chaque année car dans un contexte de forte chaleur, la minéralisation de la matière organique est très importante (Koulibaly et al., 2015), ce qui peut réduire l'arrière effet de l'application de 5 t/ha tous les 2 ans.

L'association maïs-légumineuses permet de faire une économie de surface tout en maintenant le rendement du maïs par rapport à sa culture pure

Globalement, les résultats montrent que quel que soit le type de travail du sol ou le mode de fertilisation, l'association maïs-légumineuses permet de faire une économie de surface. Cette économie de surface peut dépasser 100 % lorsqu'il s'agit de l'association maïs-niébé. Cette efficacité des associations culturales dans la gestion des terres agricoles a été démontré par plusieurs auteurs (Tchegueni et al., 2022 ; Toé et al., 2022). En termes d'utilisation du sol, Tchegueni et al. (2022) ont montré que les associations maïs-soja et maïs-manioc (LER> 1) sont plus efficientes que la monoculture mais qu'elles n'entrainent pas l'amélioration des rendements du maïs. Toé et al. (2022) attribuent un effet positif à l'association sorgho-niébé à double objectif, du fait des valeurs du LER comprises entre 1,74 et 1,57 pour le fourrage et entre 1,89 et 1,58 pour les grains.

Il ressort de notre étude, une stabilité des rendements du maïs en association comparativement à la culture pure. Cela est un avantage pour le système de culture à l'ouest du Burkina Faso, basé sur la rotation coton-céréale et où les légumineuses ont une place marginale. Coulibaly et al. (2017) qui ont obtenu les mêmes résultats, suggèrent que la promotion des associations maïs-légumineuses soit envisagée en milieu paysan, dans la mesure où elles ne compromettent pas significativement les rendements de la culture principale, mais favorisent une diversification des productions sur une même parcelle avec un avantage d'améliorer la durabilité des systèmes de production. Nos données indiquent par ailleurs que l'association était à la défaveur des légumineuses qui ont vu leurs rendements baissés significativement par rapport à ceux des cultures pures. Selon Toé et al. (2022) qui ont obtenu des résultats similaires aux nôtres, la faible production de niébé en association pourrait s'expliquer d'une part, par la faible densité de niébé dans les parcelles en association, et d'autre part par la concurrence entre les cultures associées pour l'espace, l'eau et certains éléments nutritifs.

Conclusion:-

Cette étude a été conduite sur le site expérimental sous climat sud soudanien. L'objectif était de mesurer les effets des différents modes de travail du sol, des systèmes de culture avec des légumineuses, et de la fertilisation sur le rendement des cultures. Les principales conclusions de cette étude sur le plan agronomique sont les suivantes : la gestion des résidus de culture par paillage ou enfouissement, a les mêmes effets que le labour sur le rendement des cultures ; la fertilisation organo-minérale est la pratique de fertilisation recommandée pour une production optimale des cultures associées ; et l'association de maïs et de légumineuses permet de réaliser des économies de surface tout en maintenant le rendement du maïs par rapport à sa culture pure. Dans l'ensemble, les résultats ont indiqué que l'interaction entre le travail du sol et la fertilisation n'est pas significative pour les cultures associées.

Ces résultats ont des implications importantes pour les exploitants agricoles en termes de choix des modes de travail du sol, de la fertilisation et des cultures associées. En fonction de leurs préférences et de leurs capacités, les agriculteurs peuvent envisager la gestion des résidus de culture par paillage ou enfouissement, ainsi que la

fertilisation organo-minérale pour optimiser les rendements des cultures. De plus, l'association de maïs et de légumineuses peut permettre une utilisation plus efficace des surfaces cultivables (LER>1). L'autre alternative qui se présente, est la possibilité de diversifier les productions végétales sur la même parcelle comparativement aux cultures pures.

Références Bibliographiques:-

1. Bacyé, B., Kambiré, H. S., Sawadogo, M. O., &Zonga, A. M., 2021. Effets des modes de gestion des résidus du bananier et d'options de fumure minérale sur le rendement du maïs et les caractéristiques chimiques du sol dans un système de rotation bananier /maïs à l'Ouest du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.,15(3)*, 1208-1221, DOI : https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i3.26
2. Badou, A., Akondé P. T., Adjanohoun, A., Adjé I. T., Aïhou, K. &Igué, A. M., 2013. Effets de différents modes de gestion des résidus de soja sur le rendement du maïs dans deux zones agroécologiques du Centre-Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB), Numéro spécial Fertilité du maïs*, 34-38
3. Coulibaly, K., Traoré, M., Gomgnimbou, A. P. K., Yaméogo, P. L., Bacyé, B. & Nacro, H. B., 2023. Effets de différents modes de gestion de la fertilité du sol sur les performances du niébé (*Vignaunguiculata*) et de l'Ambérique (*Vignaradiata*) à l'Ouest du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.,17(1), 267-280, DOI : https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i1.19*
4. Coulibaly, K., Gomgnimbou, A. P. K., Traoré, M., Nacro, H. B.,&Sédogo, P. M., 2017. Effets des associations maïs-légumineuses sur le rendement du maïs (*Zeamays* L.) et la fertilité d'un sol ferrugineux tropical à l'Ouest du Burkina Faso. *Afrique science, 13(6)*, 226 - 235, 19.pdf (afriquescience.net)
5. Diallo, M. S., 1997**.** Recherches sur l'évolution de la végétation sous l'effet du pâturage dans l'ouest du Burkina Faso (zone soudanienne). Cas de Bondoukuy, Kassaho et Kourouma. Thèse de Doctorat de troisième cycle. Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 132p.
6. Djenontin, J. A., Amidou, M., Baco, N. M., &Wennink, B., 2013. Valorisation des résidus de récolte dans l'exploitation agricole au nord du Bénin « Production de fumier et enfouissement des résidus de récolte pour la gestion de la fertilité des sols ». *In : Dugué P., Jouve Ph., (éds.),Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux.* Actes du colloque international, 25-27 février 2003, Montpellier, France. UMR SAGERT, CNEARC.
7. Fontes, J. &Guinko, S., 1995. Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso. Notice explicative. Ministère de la coopération Française. Projet Campus (88 313 101) p.57
8. Kouassi, N'D. J., Kouamé, N'G., Ayolie, K., Yao, K. J. &Yatty, K. J., 2019. Influence de la fertilisation sur la capacité de nodulation de deux espèces de legumineuses, *Vignaradiata*L.Wilczek et *Vignaunguiculata*L.Walp (Fabaceae). *Int. J. Biol. Chem. Sci.13(7)*, 3079-3086. DOI:https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i7.9
9. Koulibaly, B., Dakuo, D., Ouattara, A., Traoré, O., Lompo, F., Zombré, P. N., & Yao Kouamé, A., 2015. Effets de l'association du compost et de la fumure minérale sur la productivité d'un système de culture à base de cotonnier et de maïs au Burkina Faso. *Tropicultura, 33(2),*125-134.
10. Nacro, H. B., Sawadogo, L. & Sanon, D., 2006. Etude exploratoire sur l'agriculture urbaine dans la ville de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). Rapport, Coordination du Projet Agriculture Urbaine de Bobo-Dioulasso CP/AU-B, Burkina Faso, 71p.
11. Ouattara, A., Koulibaly, B., Dakouo, D., Bazongo, P., Coulibaly, K., Mowrer, J. & Nacro, H. B., 2022. Effects of crops residues management systems on crops yields and chemical characteristics of tropical ferruginous soil in Western Burkina Faso. Afr. J. Agric. Res., *18(3)*, 231-237, DOI: 0.5897/AJAR2021.15724
12. Ouattara, A., Koulibaly, B., Dakouo, D., Coulibaly, K., Bazongo, P., Traore, O. & Nacro H. B., 2021. Effects of Direct Sowing under Mulch-Based Cropping System (DMC) on Cotton and Maize Yield and Chemical Characteristics of Ferruginous Soil (Lixisoil) in the South Sudan Area of Burkina Faso. *Open Journal of Soil Science*, 11, 352-365. https://doi.org/10.4236/ojss.2021.116018
13. Ouédraogo, E. & Hien, E., 2015. Effet d'un compost enrichi par des spores du clone *Trichodermaharzianum* (rifaï) sur le rendement du niébé et du maïs sous abris au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci., 9(3):* 1330-1340, DOI : http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i3.18
14. Palé, S., Barro, A., Koumbem, M., Séré, A. & Traoré, H., 2021. Effets du travail du sol et de la fertilisation organo-minérale sur les rendements du mil en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.,15(2)*, 497-510, DOI : https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i2.10
15. Perrin B. & Lefèvre A., 2019. L'association culturale, un levier pour améliorer santé des plantes, fertilité du sol et production des systèmes de culture maraichers diversifiés ? *Innovations Agronomiques*, 76, 51-70, 10.15454/z7mn3u. hal-02473708

16. Razafindramanana, N. C., Douzet, J-M., Barthès, B., Rabeharisoa, L.,& Albrecht, A., 2012. Evaluation des effets de systèmes de semis direct à couverture végétale pérenne (SCV) sur l'érosion hydrique et la production agricole sur les Hautes-Terres de Antsirabe (Madagascar). In Lutte antiérosive, réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles, Roose E., Duchaufour H. et De Noni G. (ed). IRD Editons, Marseille, France ; 1-13
17. Sanon, A., Gomgnimbou, A. P. K., Coulibaly, K. &Nacro, H. B., 2021. Effets de biodéchets et de fertilisants inorganiques sur la production du riz pluvial strict en zone Sud-Soudanienne du Burkina Faso. *Afrique SCIENCE,18(1)*, 230 - 241
18. Scopel, E., Findeling, A., Guerra Chavez, E.,&Corbeels, M., 2005. Impact of direct sowing mulch-based cropping systems on soil carbon, soil erosion and maize yield. *Agron. Sustain. Dev.*, 25, 425-432, doi : 10.1051/agro:2005041
19. Tchegueni, M., Tounou, A. K., Kolani, L., Tchao, M., Gnon, T., Agboka, K. & Sanda, K., 2022. Effet des associations culturales maïs-soja et maïs-manioc sur la dynamique et les dégâts de la chenille légionnaire d'automne *Spodopterafrugiperda*(Lepidoptera:Noctuidae) et le rendement en grains de maïs au Sud Togo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.,16(4)*, 1399-1410, DOI:https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i4.4
20. Toé, A., Sanon, H. O., Obulbiga, F., &Bougouma, V. M. C., 2022. Amélioration du disponible fourrager par différents modes de cultures de sorgho et de niébé à double objectif. *Journal of Animal & Plant Sciences, 54 (1),* 9808-9821, ***https://doi.org/10.35759/JAnmPlSci.v54-1.2***
21. Zongo K, F., Hien, E., Maré, B. T., &Guébré, D., 2021. Performance de l'association mixte sorgho-niébé sur les productivités du sorgho et des sols en zone Soudano-Sahélienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.,* 15(3), 987-1005, DOI : https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i3.12
22. Zongo, K, F., Hien, E., Drevon, J-J., Blavet, D., Masse, D. & Clermont-Dauphin, C., 2016. Typologie et logique socio-économique des systèmes de culture associant céréales et légumineuses dans les agro-écosystèmes soudano-sahéliens du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.,* 10(1), 290-312, DOI : http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i1.23.