

Effets de doses variées du tourteau de *Jatropha curcas* sur la productivité du mil (variété HKP) en condition pluviale en Afrique de l'Ouest

M. Traore^{1*}, H.B. Nacro¹, W. F. Doamba¹, R. Tabo² & A. Nikiema³

Key words: Oilcake of *Jatropha curcas*- NPK (15,15,15)- Millet (HKP)- Grain and straw yields- Number of tillers- Niger

Résumé

Une étude concernant le potentiel de valorisation agronomique du tourteau de *Jatropha curcas* en agriculture pluviale a été menée au cours des campagnes agricoles 2009 et 2010 dans la station expérimentale de l'ICRISAT à Sadoré/Niger. Les objectifs de cette recherche étaient de mesurer les variations de la production de graines et de paille du mil (variété HKP) sur des parcelles amendées à chaque début de campagne agricole avec trois doses de tourteau de *J. curcas* (2,5 t.ha⁻¹, 5 t.ha⁻¹, 10 t.ha⁻¹) en comparaison avec la dose recommandée de 60 kg.ha⁻¹ d'engrais NPK (15-15-15). Le dispositif expérimental était constitué de blocs complètement randomisés. Les paramètres observés au cours des deux campagnes de production concernaient les rendements en grains et en paille, et le nombre d'épis arrivant à maturité. Ils ont permis de calculer l'efficacité des différentes doses de tourteau de *J. curcas*. Les résultats des deux campagnes de production ont montré que les rendements en grains et en paille étaient plus élevés pour le traitement J_10t, suivis des traitements J_5t et J_2,5t. La même tendance était observée pour le nombre de tiges. Le traitement J_2,5t est celui qui a montré la plus grande efficacité.

Summary

Effect of Soil Amendment with Various Doses of *Jatropha curcas* Oilcake on Millet (HKP) Productivity under Rainfed Conditions in West Africa

Investigations on agronomic valorization of *Jatropha curcas* oilcake on millet (HKP variety) planted in rainfed conditions were conducted in 2009 and 2010 at the research station of ICRISAT at Sadoré/Niger. The study was aimed at determining variation of straw and grain yield of millet (HKP variety) under various doses of oilcake of *J. curcas* (2.5 t.ha⁻¹, 5 t.ha⁻¹, 10 t.ha⁻¹) in comparison with 60 kg.ha⁻¹ NPK (15-15-15). Fertiliser application was done at the beginning of each production campaign. The experimental design was completely randomized blocs including four treatments with four replicates for each treatment. During the two production campaigns, data collected concerned: straw and grain yield, and the number of fructified tillers per area unit. The efficient dose of application of *J. curcas* oilcake was determined from these parameters. The results of the two production campaigns showed higher grain and straw yield in plots J_10t followed by J_5t and treatment J_2.5t had the lowest grain and straw yields. The same trend was recorded for the number of tillers. The application of 2.5 tons/ha of *J. curcas* oilcake was found to be the most efficient treatment.

Introduction

Des études anciennes et pertinentes ont montré que la dégradation des sols et les faibles rendements agricoles qui en découlent dans la plupart des pays en Afrique sub-saharienne sont dus en grande partie à la faible utilisation des fertilisants minéraux et/ou organiques (16). Malgré l'évidence du problème, et les propositions de solutions apportées

par la recherche en matière de gestion de la fertilité des sols afin d'accroître les rendements agricoles en agriculture de subsistance (3), les petits producteurs agricoles en Afrique sub-saharienne ont du mal à appliquer les doses de fertilisants recommandées. Selon Kelly (14) la dose moyenne d'application des engrais dans les pays soudano-sahélien n'est que de 4 kg.ha⁻¹, alors que les doses

¹Institut du Développement Rural, Laboratoire d'Etude de Recherche sur la Fertilité des sols (LERF), Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 01 BP 1091, Bobo Dioulasso, Burkina Faso.

² Forum for Agricultural Research in Africa (FARA), 12 Anmeda Street, Roman Ridge, Accra, Ghana.

³FAO (Rome), Viale Valentino Mazzolla, 00142 Roma, Italy.

*Auteur correspondant: E-mail: iribatraore@yahoo.com

Reçu le 27.06.2012 et accepté pour publication le 18.03.2013.

habituellement recommandées dépassent les 50 kg.ha⁻¹. Par conséquent, la productivité céréalière reste faible, entraînant ainsi les paysans dans un cycle infernal de pauvreté et d'insécurité alimentaire.

Au Niger, le mil est la principale culture et les doses de fertilisants recommandées pour sa production sont de 100 ou 60 kg.ha⁻¹ de NPK (15, 15, 15) selon que l'application est faite à la volée ou par la méthode de la microdose (2, 15). Concernant l'apport de fertilisants organiques, la recommandation est de 5 tonnes.ha⁻¹ en fumure de fond. Ces doses d'engrais minéraux sont difficilement applicables par les petits producteurs agricoles à cause de leur faible niveau de revenus, du coût élevé des intrants ainsi que leur indisponibilité physique (14). La production des fertilisants organiques est limitée du fait de la baisse de la production primaire de biomasse qui restreint la charge en ruminants et la possibilité de produire du compost.

Face à cette situation, l'exploration de nouvelles sources de fertilisants surtout à base de sous-produits non utilisables à d'autres fins pourrait être une solution pour améliorer à moindre coût la fertilité des sols en Afrique soudano-sahélienne. Parmi les sous-produits agricoles, le tourteau de *J. curcas* présente un intérêt particulier dans la mesure où sa toxicité rend impropre sa consommation par le bétail (4, 10). La teneur en éléments nutritifs majeurs (NPK) et le taux de minéralisation du tourteau de *J. curcas* ont été testés au laboratoire (1), et son potentiel fertilisant a été évalué sur le mil au Mali (12). De ces travaux, il ressort que *J. curcas* a une bonne teneur en NPK, un bon taux de minéralisation et permet une amélioration du rendement en grains du mil. Cependant, très peu d'informations sont disponibles concernant la dose optimale de tourteau à appliquer sur le mil. La présente étude vise à mesurer les variations de la production de biomasse (grains et paille) du mil sur des parcelles amendées avec trois doses de tourteau de *J. curcas* en comparaison avec la dose de NPK (15,15,15) recommandée d'une part, et d'autre part à déterminer la dose de tourteau de *J. curcas* la plus

rentable en agriculture pluviale sur des sols sableux très pauvres.

Matériels et méthodes

Description du site et dispositif expérimental

L'essai a été conduit en conditions d'agriculture pluviale durant les campagnes agricoles (Juin-Octobre) 2009 et en 2010 à la station expérimentale de l'ICRISAT à Sadoré (13°15'W, 2°18'E; 240 mètres d'altitude) au Niger. Les sols y sont du type Luvic Arenosols (9). En 2009 et en 2010, les pluviosités enregistrées étaient respectivement de 515,6 mm et 687,3 mm.

Les fertilisants testés étaient le tourteau frais obtenu après pressage des amandes de *J. curcas*, récoltées à Bérégadougou (Burkina Faso) et le NPK (15, 15, 15). Les différentes doses de tourteau de *J. curcas* ont été appliquées chaque année de manière homogène sur une profondeur d'environ 10 cm sur toute la surface de la parcelle deux semaines avant le semis. Quant au NPK (15, 15, 15), il a été appliqué à raison de 6 g de NPK/poquet au moment du semis. Le dispositif expérimental était constitué de quatre blocs complètement randomisés; chaque bloc correspondant à une répétition. A l'intérieur de chaque bloc se trouvaient quatre parcelles élémentaires de 104 m² (13 m x 8 m). De façon aléatoire, chaque parcelle élémentaire a reçu au début de chaque campagne de culture une des doses suivantes de tourteau de *J. curcas* (2,82% N; 0,77% P et 1,82% K): 10 tonnes, 5 tonnes et 2,5 tonnes par hectare, correspondant respectivement aux traitements: J_10t; J_5t et J_2,5t), ou 60 kg/ha de NPK (15, 15, 15). Le matériel végétal testé était la variété de mil HKP.

Opérations culturales et collecte des données sur les paramètres agronomiques
La préparation du lit de semis a consisté en un labour superficiel du sol (profondeur de labour inférieure à 10 cm). La densité de semis était de 1 m x 1 m; chaque parcelle élémentaire comptait huit lignes. Les différentes mesures ont été effectuées uniquement sur les quatre lignes centrales de chaque parcelle élémentaire, les autres lignes servant de bordure.

Les paramètres mesurés sur la surface utile de chaque parcelle (24 m²) au cours de l'essai

concernent le poids des tiges et des grains séchés au soleil pendant une semaine (température moyenne de $38,64 \pm 0,63$ °C en 2009 et, de $37 \pm 1,16$ °C en 2010) ainsi que le nombre d'épis.

Détermination de la dose efficace de tourteau de *J. curcas*

La dose optimale de *J. curcas* a été déterminée selon les formules I et II:

$$\beta g = \frac{(Pg_{Tn})}{D\alpha} \quad [I] \quad \beta p = \frac{(Pp_{Tn})}{D\alpha} \quad [II]$$

PgTn et PpTn sont respectivement les poids des grains et les poids pailles produits sur les traitements J_2,5t, J_5t et J_10t ; D = Dose de tourteau de *J. curcas*.

Analyse des données

Le logiciel GenStat Twelfth Edition a été utilisé pour l'analyse des données. Les données ont été traitées selon la méthode standard d'analyse de la variance et la séparation des moyennes a été faite par le test de Newman et Keuls au seuil de signification de 5%.

Résultats

Production de paille et rendements en grains

Le tableau 1 présente la production de paille, le rendement grains et les indices de récolte du mil au cours des campagnes agricoles 2009 et 2010.

Production de paille et rendement en grains

Au cours de la campagne agricole 2009, les parcelles fertilisées avec 10 t.ha^{-1} de tourteau de *J. curcas* produisent le plus de paille ($33,2 \text{ t.ha}^{-1}$). Elles sont suivies des parcelles J_5t et J_2,5t. Les parcelles fertilisées à l'engrais minéral [60 kg/ha de NPK (15, 15, 15)] ont produit le moins de paille. Cependant, seules les parcelles fertilisées avec 10 tonnes de tourteau de *J. curcas* ont eu une production de paille significativement plus élevée que celles des autres traitements. Au cours de la campagne agricole 2010, la même tendance a été observée mais avec cette fois, les parcelles du traitement NPK_60 kg ont produit significativement moins de paille que les autres. Aucune différence significative n'a été observée entre les parcelles J_5t et J_2,5t même si la production de paille dans les parcelles J_5t apparaît plus élevée que celle des

parcelles J_2,5t. Pour la campagne agricole 2010, la production de paille dans les parcelles J_10t a encore été significativement plus élevée que dans toutes les autres parcelles.

Comparativement aux parcelles fertilisées avec le NPK, en 2009, l'application du tourteau de *J. curcas* a induit une augmentation du rendement en grains de 75,71%; 39,52% et 16,67% respectivement dans les parcelles J_10t; J_5t et J_2,5t. Seules les doses 10 t.ha^{-1} et 5 t.ha^{-1} ont entraîné une augmentation significative du rendement en grains ($p=0,008$). En 2010, ni le type d'engrais, ni la dose de fertilisants appliqués n'ont entraîné une variation significative des rendements en grains. Néanmoins les rendements les plus élevés ont été observés dans les parcelles amendées avec 10 t.ha^{-1} de tourteau de *J. curcas*, suivies des parcelles ayant reçu 5 t.ha^{-1} et des parcelles fertilisées avec le NPK. Le plus faible rendement en grains a été observé dans les parcelles amendées avec $2,5 \text{ t.ha}^{-1}$ de tourteau de *J. curcas*.

Indice de récolte

En 2009, les indices de récolte ont variés de 11,5% à 13,90% dans les parcelles fertilisées avec le tourteau de *J. curcas* tandis que dans les parcelles recevant le NPK il était de 16,54% (Tableau 1). La même tendance était observée en 2010 avec des valeurs plus faibles dans les parcelles ayant reçu le *J. curcas* comme fertilisant alors que dans les parcelles fertilisées avec le NPK une hausse de l'indice de récolte a été observée (20,38%).

Effet de l'application des fertilisants sur le nombre d'épis

Le tableau 2 montre une variation significative du nombre d'épis par hectare entre les traitements pour la campagne agricole 2009 ($p=0,03$). En effet, en 2009, le nombre moyen d'épis des parcelles J_10t était de 17,28% et 31,51% plus élevé que les parcelles J_5t et J_2,5t respectivement. Concernant le nombre moyen d'épis des parcelles NPK_60 kg, il était de 34,76% inférieur à celui des parcelles J_10t.

En 2010, les mêmes tendances ont été observées toutefois, aucune différence significative n'a été enregistrée entre les traitements ($p=0,61$).

Tableau 1

Variation des rendements en grains et en paille au cours des campagnes agricoles 2009 et 2010.

Traitements	Campagne agricole 2009			Campagne agricole 2010		
	Rendement paille (t.ha ⁻¹)	Rendement grain (t.ha ⁻¹)	Indice de récolte (%)	Rendement paille (t.ha ⁻¹)	Rendement grain (t.ha ⁻¹)	Indice de récolte
J_10t	33,24 ^b ± 7,34	3,69 ^b ± 0,23	11,11	57,63 ^b ± 15,59	5,28 ^a ± 0,65	9,17
J_5t	21,91 ^a ± 4,67	2,93 ^{ab} ± 0,6	13,9	47,38 ^{ab} ± 18,91	5,09 ^a ± 1,41	10,74
J_2,5t	18,92 ^a ± 8,42	2,45 ^a ± 0,96	12,96	42,69 ^{ab} ± 16,47	4,07 ^a ± 0,79	9,46
NPK_60 kg	12,68 ^a ± 1,76	2,10 ^a ± 0,35	16,54	23,50 ^a ± 4,85	4,79 ^a ± 0,48	20,38
CV(%)	25	18,1	-	30,6	11,6	-
l.s.d	8,68	0,81	-	20,96	0,91	-

Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%.

Tableau 2

Variation du nombre moyen d'épis et du pourcentage des épis avortés (sans grains) à l'hectare.

Traitements	Campagne 2009		Campagne 2010	
	Nombre moyen des épis	% des épis avortés	Nombre moyen des épis	% des épis avortés
J_10t	121979 ^a ± 29373	23,71 ± 5,00	198750 ^a ± 29333	40,01 ± 9,53
J_5t	101146 ^{ab} ± 84801	29,85 ± 6,34	190000 ^a ± 36856	31,42 ± 5,33
J_2,5t	83542 ^a ± 1603	34,77 ± 17,70	186250 ^a ± 69177	33,01 ± 16,04
NPK_60 kg	79583 ^a ± 17321	32,80 ± 18,63	155000 ^a ± 27386	33,34 ± 7,58
p	0,03	-	0,61	-
Cv (%)	18,3	-	26,3	-

Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%.

Tableau 3

Détermination de la dose efficace de tourteau de J. curcas.

Traitements	β_p (2009)	β_p (2010)	β_g (2009)	β_g (2010)
J_10t	3,32	5,76	0,369	0,528
J_5t	4,38	9,48	0,586	1,018
J_2,5t	7,56	17,08	0,98	1,628

Détermination de la dose efficace de tourteau de J. curcas

Le tableau 3 montre que le ratio β_g et β_p représentant respectivement les quantités de grains et de paille produits par unité de poids de tourteau de J. curcas baisse avec l'augmentation de la dose.

Discussions

Les résultats montrent que comparativement à l'apport de NPK (60 kg/ha), l'application du tourteau de J. curcas a amélioré significativement la production de paille et le rendement en grains du mil, en particulier quand la dose d'application du tourteau est d'au moins 5 tonnes/ha (Tableau 1). En effet, des augmentations de la production de grains de l'ordre de 17% à 76% et de paille de

l'ordre de 32 à 63% dues à l'application du tourteau de J. curcas à des doses variant de 2,5 à 10 t/ha ont été enregistrées. Ces augmentations s'expliqueraient d'une part par la teneur en NPK du tourteau de J. curcas (N 2,82 g.kg⁻¹; P 0,77 g.kg⁻¹ et K 1,82 g.kg⁻¹); et d'autre part par sa teneur en matières organiques qui aurait amélioré les propriétés biologique et physique du sol. En effet, bien que l'application de 60 kg/ha NPK (15, 15, 15) soit la dose recommandée, les nutriments dans le NPK (15, 15, 15) se trouvent sous la forme minérale et sont vite lessivés du fait de la nature torrentielle des pluies et de la texture sableuse des sols du site d'expérimentation (96,7% sable; 2,2% argile et 1,6% limon). Dans le tourteau de J. curcas, en plus de la présence des éléments majeurs (N, P et K), la

matière organique qu'il contient permet une augmentation de la CEC et de la rétention en eau du sol, ce qui est un paramètre essentiel pour les sols à texture sableuse (17). Ces résultats corroborent ceux obtenus par Fatondji et al. (7) avec des fertilisants organiques dans des conditions similaires. D'autres auteurs, Gubitz et al. (11) ont montré qu'au vu de la teneur du tourteau de *J. curcas* en N, P et K, il pouvait remplacer les engrais chimiques couramment utilisés. Ces résultats sont également en concordance avec ceux obtenus au Mali où l'application de 5 t.ha⁻¹ de *J. curcas* a donné des rendements nettement supérieurs à ceux dus à l'apport d'engrais minéral (100 kg.ha⁻¹ nitrate d'ammonium + 50 kg.ha⁻¹ d'urée) (12). En 2010, l'application de tourteau de *J. curcas* quelle que soit la dose n'a pas induit une augmentation significative de la production de grains malgré une augmentation significative de la production de paille dans les parcelles fertilisées avec le tourteau de *J. curcas*. Cela pourrait s'expliquer par la forte variabilité de la production des grains à l'intérieur des parcelles ayant reçu le même traitement (l.s.d=0,91). Aussi l'analyse de variance a montré que la part de variation de rendement en grains non liée aux traitements était de 3,59 et 7,44 respectivement en 2009 et 2010. Le fort taux d'épis avortés en 2010 pourrait aussi expliquer ces résultats inattendus. L'avortement des épis a aussi eu pour conséquence la faible valeur des indices de récolte avec des valeurs extrêmes dans les parcelles J_10t (9,17%) pour de la campagne 2010 (Tableau 2). Une explication probable est que les applications de tourteau aux doses les plus élevées se sont traduites par une augmentation très importante de la masse végétative et qu'au moment de l'épiaison il y a eu une période de stress hydrique qui a fait avorter ces derniers car les besoins en eau pour les tiges et les feuilles étaient très élevés. Bien que l'influence du type de fertilisant ne soit pas significatif, la tendance du taux d'avortement des épis était élevé dans les parcelles fertilisées avec le tourteau de *J. curcas* probablement parce que l'épiaison y est intervenue deux semaines plus tôt. Cela aurait exacerbé la pression des ravageurs tels que les insectes et les oiseaux (Tableau 2). L'absence de différence significative entre les

rendements en grains pourrait aussi s'expliquer par l'arrière-effet du tourteau appliqué en 2009, à cause de sa lente minéralisation dans le sol. En effet, les éléments nutritifs contenus dans le tourteau de *J. curcas* le sont sous forme de matière organique. Suite à sa minéralisation, celle-ci, met progressivement à la disposition des plants de mil les éléments nutritifs qu'elle contient. L'hypothèse de l'arrière effet du tourteau de *J. curcas* sur les paramètres du mil se confirme par l'évolution de l'efficacité interne du tourteau de *J. curcas* en fonction de la dose d'application (Tableau 3). En effet, l'augmentation de la dose d'application du tourteau de *J. curcas* s'est traduite par une diminution de son efficacité interne. Ce qui veut dire qu'au-delà de 2,5 t/ha, le surplus de tourteau de *J. curcas* serait stocké dans le sol pour la campagne agricole avenir. Ce qui n'est pas le cas pour le NPK (15, 15, 15) où l'arrière-effet est très vite annulé par l'érosion ou la lixiviation. De ce point de vue, on peut donc imaginer un apport fort de tourteaux (5 t/ha) en première année, puis une forte réduction de la dose dès la 2^{ème} campagne (2,5 t/ha), ou un apport de (10 t/ha) tous les 3 ans. Le nombre d'épis/ha⁻¹ donne des informations sur l'impact des fertilisants testés sur le tallage qui est un paramètre déterminant de la productivité du mil dans les conditions du Sahel. Le nombre moyen de talles dans les parcelles fertilisées avec différentes doses le tourteau de *J. curcas* (Tableau 2) est 6,6 - 6,2 fois plus que celui rapporté par ICRISAT (13). Il s'en est suivi une augmentation de la production de paille dans les parcelles fertilisées avec *J. curcas* donnant des valeurs extrêmes en 2010: 57,6 t/ha, 47,4 t/ha et 42,7 t/ha respectivement dans les traitements J_10t, J_5t et J_2,5t. Comparativement NPK_60 kg, le nombre élevé de talles dans les parcelles amendées par le tourteau de *J. curcas* s'expliquerait par la méthode de mise à la disposition des nutriments aux plants de mil. En effet, en plus de l'amélioration des paramètres physiques du sol signalée précédemment, le tourteau de *Jatropha* agit comme un pool de nutriments qui est progressivement minéralisé et mis à la disposition des plants de mil tout le long de leur phase végétative. Aussi, à cause de la matière organique qu'il contient, le tourteau de *J. curcas*

retiendrait plus d'eau que le NPK (15, 15, 15) entraînant une meilleure conservation de l'humidité dans les parcelles fertilisées avec le tourteau de *J. curcas* et par conséquent, une meilleure utilisation de l'eau de pluie par les plants. Les études de Fatondji et al. (8) et de Esse et al. (6) ont également mis en exergue l'amélioration des rendements en paille et en grains du mil sous fertilisation organique à cause de la mise à la disposition progressive des nutriments aux plants. Dans notre étude l'amélioration de la production de graines et de paille s'est traduite par une augmentation du nombre de talles par poquet de semis au niveau des parcelles fertilisées avec le tourteau de *J. curcas*. Dans les conditions du Sahel où les mauvais rendements sont souvent imputables aux poches de sécheresse, un fertilisant qui optimise la mise à la disposition de l'eau de pluie aux plants en plus des nutriments qu'il apporte aura un impact plus significatif sur la productivité. Le tourteau de *J. curcas* agirait sur le mil en améliorant le tallage et par conséquent le nombre d'épis/ha⁻¹. Du fait du taux d'avortement très élevé observé au niveau des épis, l'augmentation du nombre d'épis par ha ne se traduit pas par une augmentation sensible du rendement en grains. Le problème est qu'en conditions d'incertitude pluviométrique et de faible niveau global de pluviosité comme c'est le cas en région sahélienne, une augmentation importante de la biomasse aérienne pendant la phase végétative risque de se traduire par une perte importante de rendement au moment de la formation et de la maturation des graines car l'eau disponible dans le sol a été consommée par la biomasse végétative et n'est pas suffisante pour assurer la production d'une quantité aussi importante de grains. Cependant, une augmentation importante de la production de paille peut par contre être intéressante pour l'alimentation du bétail en saison sèche.

Conclusion

Comparativement à l'apport de NPK, l'application du tourteau de *J. curcas* a amélioré de façon significative les rendements en paille et en grains du mil ainsi que le nombre de talles. L'augmentation du nombre de talles s'est traduite par une diminution

de l'indice de récolte au niveau des parcelles recevant le tourteau de *J. curcas*. La diminution du poids de grains porté par les épis pourrait s'expliquer en partie à cause de la pression des ravageurs. Une autre explication serait l'augmentation de l'avortement des grains suite au stress hydrique accru subi en fin de cycle cultural du fait de l'augmentation sensible de la production de paille induite par les fertilisants appliqués. Néanmoins, ceci représente une amélioration de l'offre fourragère pour les animaux ou une disponibilité plus grande de matière pour le compostage. Le ratio β qui représente l'efficacité interne du tourteau de *J. curcas* était plus élevé dans les parcelles J_2,5t en 2009 comme en 2010; cette efficacité interne a décliné avec l'augmentation de la dose appliquée. Au stade actuel de notre investigation, l'apport de 2,5 t.ha⁻¹ de tourteaux de *J. curcas* est la plus efficace. Dans le contexte où l'étude a été conduite, le tourteau de *J. curcas* représente une opportunité pour les petits producteurs agricoles car c'est un sous-produit qui pourrait être utilisé comme fertilisant afin de réduire les coûts de production. Cependant, des investigations sur des doses d'application inférieures à 2,5 t.ha⁻¹ sont nécessaires pour déterminer la dose optimale d'application du tourteau de *J. curcas*. Compte tenu de l'épiaison précoce constatée dans les parcelles recevant le tourteau de *J. curcas*, des mesures de lutte contre les ravageurs devraient être associées à l'application du tourteau de *J. curcas* pour diminuer le taux d'avortement des épis afin d'améliorer le rendement grains.

Remerciements

Nous remercions H. Ousmane et I. Maikano tous deux techniciens à l'ICRISAT - Niamey pour leur soutien quotidien lors de la collecte des données. Nos remerciements vont à l'endroit de l'ICRISAT – Niamey et l'Université Polytechnique de Bobo pour les facilités matérielles et administratives dont nous avons bénéficiés dans le cadre de la réalisation de cette étude. Nous tenons à remercier "the global change SysTem for Analysis, Research and Training (START)" pour avoir entièrement financé cette étude dans le cadre du African Climate Change Fellowship Programme.

References bibliographiques

1. Ali N., Kurchania A.K. & Bebel S., 2010, Biomethanisation of *Jatropha curcas* defatted waste, *J. Eng. Technol. Res.*, 2, 3, 38-43.
2. Bationo A. & Mokwunye A.U., 1991, Alleviating soil fertility constraints to increased crop production in West Africa: The experience in the Sahel, *Fert. Res.*, 29, 95-115.
3. Bationo A., Kihara J., Vanlauwe B., Waswa B. & Kimetu J., 2007, Soil organic carbon dynamics, functions and management in West African agro-systems, *Agric. Syst.*, 94, 13-25.
4. Becker K. & Makkar H.P.S., 1998, Toxic effects of phorbol esters in carp (*Cyprinus carpio* L.), *Vet. Human Toxicol.*, 40, 82-86.
5. Brouwer J. & Bouma J., 1997, Soil and crop growth variability in the Sahel: highlights of research (1990-1995) at ICRISAT Sahelian Centre. Information Bulletin 49. ICRISAT, Patancheru, Andhra Pradesh, India.
6. Esse P.C., Buerkert A., Hiernaux P. & Assa A., 2001, Decomposition of and nutrient release from ruminant manure on acid sandy soils in the Sahelian zone of Niger, West Africa, *Agric. Ecosyst. Environ.*, 83, 1-2, 55-63.
7. Fatondji D., Martius C., Biélers C.L., Vlek P.L.G., Bationo A. & Gerard B., 2006, Effect of planting technique and amendment type on pearl millet yield, nutrient uptake, and water use on degraded land in Niger, *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 76, 203-217.
8. Fatondji D., Martius C., Zougmore R., Vlek P.L.G., Biélers C.L. & Koala S., 2009, Decomposition of amendment and nutrient release under the *zai* technique in the Sahel, *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 85, 3, 225-239.
9. Food and Agriculture Organization (FAO), 2006, World reference base for soil resources 2006. A framework for international classification, correlation and communication. Pp. 105 - 120.
10. Goel G., Makkar H.P.S., Francis G. & Becker K., 2007, Phorbol Esters: Structure, biological activity, and toxicity in animals, *Int. J. of Toxicol.*, 26, 279-288. <http://dx.doi.org/10.1080/10915810701464641>
11. Gubitza G.M., Mittelbach M. & Trabi M., 1999, Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L., *Bioresour. Technol.*, 67, 1, 73-82.
12. Henning R., Samake F. & Thiero I., 1995, The nutrient value of *Jatropha* meal. Bamako, Mali. Projet Pourghere DNHE-GTZ.
13. International Crops Research Institute for Semi Arid Tropics (ICRISAT), 1999, Fiches techniques. ICRISAT, BP 12404, Niamey, 2 p.
14. Kelly V., 2006, Factors affecting demand for fertilizers in sub Saharan Africa. Agriculture and Rural Development, Discussion paper 23 p.
15. Muehlig-versen B., Buerkert A. & Bationo A., 2003, Phosphorus placement on acid Arenosols of the west African Sahel, *Expl. Agric.*, 39, 307-325
16. Smaling E.M.A., Nandwa S.M. & Janssen B.H., 1997, Soil in Africa is at Stake in: Replenishing soil fertility in Africa SSSA Special Publication Number 51. Soil Science society of America American Society of Agronomy Madison, Wisconsin, USA. Pp. 63 -77.
17. Traore M., Nacro H.B., Tabo R., Nikiema A. & Ousmane H., 2012, Potential for agronomical enhancement of millet yield via *Jatropha curcas* oilcake fertilizer amendment using placed application technique, *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 6,2, 808-819, April 2012. France, 203.

M. Traore, Burkinabé, PhD, Enseignant Chercheur, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Institut du Développement Rural, Laboratoire d'Etude de Recherche sur la Fertilité des sols (LERF), Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

H.B. Nacro, Burkinabé, PhD, Maître de Conférence, Vice-président de l'Université Polytechnique de Bobo. Directeur du Laboratoire d'Etude de Recherche sur la Fertilité des sols (LERF), Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

W.F. Doamba, Burkinabé, Doctorante, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Institut du Développement Rural, Laboratoire d'Etude de Recherche sur la Fertilité des sols (LERF), Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

R. Tabo, Tchadien, PhD, Directeur adjoint, Forum for Agricultural Research in Africa (FARA), Accra, Ghana.

A. Nikiema, Burkinabé, PhD, Forestry Officer FAO, Roma, Italy.