



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Efficiences agronomiques et nutritionnelles suite à l'apport d'engrais aux plants d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) au Bénin

Ibouraïman BALOGOUN^{1*}, Tamègnon Roland MONTCHO²,
Olaïtan Diane Bernice BIAOU², Sylvain Ladékpo OGOUDJOBI¹, Aliou SAÏDOU²,
Léonard Essehou AHOTON² et Adam AHANCHEDE²

¹ Ecole de Gestion et de Production Végétale et Semencière, Université Nationale d'Agriculture, BP 43, Kétou, Bénin.

² Ecole des Sciences et Techniques de Production Végétale, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 03 BP 2819 RP Cotonou, Bénin.

*Auteur correspondant ; E-mail: iboualogoun@gmail.com; Tel : (+229) 97 60 45 98 / 95 56 55 85.

Received: 18-11-2023

Accepted: 26-02-2024

Published: 29-02-2024

RESUME

Malgré son importance, la culture de l'anacarde se fait au Bénin sans application d'engrais avec des conséquences néfastes sur la durabilité des systèmes de production. La présente étude visait à évaluer les efficiences agronomique, de recouvrement et physiologique suite à l'application des différentes fumures sur les anacardiers de différents âges. A cet effet, des arbres de quatre et huit ans d'âge ont été fertilisés au cours de deux campagnes de production (2013-2014 et 2014-2015) dans les plantations paysannes de Glazoué au centre Bénin. Les types de fumure considérés étaient : témoin absolu sans application d'engrais, fumure minérale et fumure organo-minérale. L'efficacité agronomique, l'efficacité de recouvrement et l'efficacité de l'utilisation du nutriment ont été les principaux paramètres testés. Les résultats ont montré que les efficiences agronomiques les plus élevées étaient obtenues au niveau des arbres ayant reçu la fumure organo-minérale (21,15 g/g ; 22,25 g/g ; 1,99 g/g ; 2,97 g/g). De même, les efficiences de recouvrement les plus élevées étaient obtenues au niveau des arbres ayant reçu la fumure organo-minérale (32,13% ; 28,25% ; 12,56% ; 17,75%). Par contre, la fumure minérale avait présenté les plus fortes valeurs d'efficacité physiologique. Une gestion intégrée de la fertilité des sols permettra de compenser durablement les exportations de nutriments dans les noix et les pommes cajou.
© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Plantation d'anacardier, exportation des nutriments, nutrition des plantes, gestion intégrée de fertilité des sols, Bénin.

Agronomic and nutritional efficiencies following the fertilizers application on cashew trees (*Anacardium occidentale* L.) in Benin

ABSTRACT

Despite its importance, cashew is cultivated in Benin without fertilizers with consequence on the durability of production systems. The present study aimed to evaluate the agronomic, nutritional and physiological efficiencies following the fertilizers application on cashew according to tree age categories. Four and eight years old cashew tree from farmers plantation were fertilized during two growing seasons (2013-2014

et 2014-2015) in Glazoué (centre Benin). Fertilizer types considered were: control without fertilizer, mineral fertilizer and combined organic manure and mineral fertilizer. Agronomic efficiency, cover efficiency and nutrient use efficiency were the main parameters tested. The results showed that high agronomic efficiency values were obtained with the combined organic manure and mineral fertilizer (21.15g/g; 22.25g/g; 1.99g/g; 2.97 g/g). Also, the high recovery efficiency values were obtained with the combined organic manure and mineral fertilizer (32.13%; 28.25%; 12.56%; 17.75%). On the other hand, mineral fertilizer presented high values of physiological efficiency. Integrated soil fertility management could sustainably compensate for nutrient exports in nuts and cashew apples.

© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Cashew plantation, nutrient uptake, integrated soil fertility management, Benin.

INTRODUCTION

L'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) constitue actuellement au Bénin l'une des meilleures cultures d'exportation après le cotonnier (Yabi et al., 2013 ; Balogoun et al., 2014 ; Yélouassi et al., 2021). Malgré la situation favorable au développement de la culture au Bénin, un grand nombre de contraintes freinent encore le développement de la filière en amont. Ainsi, la production de l'anacardier est strictement minière avec une quasi inexistence d'apport d'engrais spécifiques pour l'amélioration de la fertilité des sols (Balogoun et al., 2014 ; Balogoun et al., 2019). En conséquence, le niveau de rendement en pommes et en noix dans les plantations paysannes n'excède pas 300 kg/ha (Balogoun et al., 2014). Cette situation affecte considérablement la durabilité de ces systèmes de production agricole en ce sens que les nutriments exportés annuellement par les noix ne sont pas restitués au sol allant contre les lois de la fertilisation des sols. De plus, les sols destinés à la culture de l'anacardier sont ceux réservés à la jachère après de longues années d'exploitation pour les autres spéculations (Balogoun et al., 2015a). Cet état de baisse de fertilité des sols en zone soudano-guinéenne (Saïdou et al., 2012a ; Saïdou et al., 2012b) est la cause majeure de la faible productivité des arbres d'anacardier en zone tropicale (Balogoun et al., 2015b). En effet, l'amélioration de la productivité de ces arbres et celle de la quantité de nutriments dans les fruits nécessitent le développement des pratiques de gestion intégrée de la fertilité des sols avec un accent sur l'amélioration du stock

de matière organique, dont le faible taux dans les sols tropicaux est la principale cause de dégradation de ces sols (Sanchez et Jama, 2002 ; Amadji et al., 2009). La fertilisation de l'anacardier permettra non seulement d'améliorer la productivité des sols, mais surtout l'amélioration des rendements en noix et pommes (Balogoun et al., 2019).

Fernandopulle (2000) a montré que l'application régulière des éléments nutritifs majeurs (azote, phosphore et potassium) est bénéfique pour l'hygiène des arbres et l'augmentation du rendement de l'anacardier. Cependant, dans un contexte d'agriculture durable, l'on ne doit pas se limiter à une simple recommandation d'engrais aux cultures mais plutôt à l'optimisation de l'utilisation des éléments minéraux par les cultures (Malcolm, 2011). La non-utilisation ou l'utilisation non équilibrée, inadéquate ou excessive des engrais est l'une des causes majeures de la faiblesse des rendements obtenue dans la plus part des pays africains (Dobermann, 2007 ; Chabi et al., 2021).

L'inefficience de l'utilisation des nutriments contenus dans les engrais contribue à l'épuisement des ressources financières, une augmentation des coûts de production et de potentiels risques environnementaux (Tarekegne et Tanner, 2001). Cela implique l'amélioration de l'efficience d'utilisation des nutriments par les cultures, d'où la nécessité de déterminer les efficacités (Janssen, 1998). L'efficience d'utilisation des nutriments est un concept important pour l'évaluation des systèmes de production en général et peut être

significativement affectée par les engrais appliqués (Fixen et al., 2014).

Tous les nutriments contenus dans les fertilisants appliqués aux cultures ne sont pas prélevés par les cultures. Ainsi, dans une perspective de mesure de l'efficacité de la fertilisation, la détermination de la quantité de nutriment réellement absorbé et celle contribuant à la formation des différents produits de l'anacardier s'avèrent judicieuses. A cet effet, la détermination des efficacités agronomiques et les efficacités liées aux prélèvements des différents nutriments contenus dans les fertilisants appliqués permettra d'analyser la rentabilité due à l'apport des fertilisants, la réduction des potentiels risques de pertes (sources de pollutions) et l'augmentation soutenue des rendements ainsi que l'équilibre nutritionnel interne de la plante. Mais force est de constater que les études relatives à l'évaluation des efficacités des engrais appliqués sur l'anacardier au Bénin sont presque inexistantes. Les rares études de mesure d'efficacité n'ont été réalisées uniquement que sur les cultures annuelles notamment les céréales (Tarekegne et Tanner, 2001 ; Fan et al., 2004 ; Fixen et al., 2014). La présente étude contribuera à combler ce déficit. Ainsi, l'objectif général de l'étude était d'évaluer non seulement l'effet de la fumure minérale et organo-minérale sur les exportations des nutriments N, P et K par les pommes et noix mais également les efficacités agronomiques, de recouvrement et physiologique dues à l'application des différentes fumures sur l'anacardier suivant les catégories d'âge des arbres.

MATERIEL ET METHODES

Description du milieu d'étude

La présente étude a été conduite au centre du Bénin dans le village de Adourekoman (Commune de Glazoué) située à 7°91'58'' de latitude Nord et à 2°27'30'' de longitude Est et à 152 m d'altitude. La commune de Glazoué a été choisie suivant

l'importance des superficies emblavées pour l'anacardier et la production de noix au Bénin (Balogoun et al., 2014). La zone d'étude est sous l'influence du climat de transition entre le subéquatorial au Sud et le soudanien au Nord. La pluviométrie moyenne annuelle varie de 960 à 1256 mm et la température moyenne annuelle varie entre 24 et 29°C (Balogoun et al., 2019). Les sols sont majoritairement de types ferrugineux tropicaux lessivés formés sur des roches cristallines du Précambrien (granite et gneiss) classés comme Ferric Lixisol (IUSS Working Group WRB, 2022).

Matériel

Des engrais minéraux simples : KCl (60% de K₂O), super triple phosphate (46% P₂O₅) et urée (46% N), ont été utilisés pour la fertilisation des arbres d'anacardier. Le fumier constitué de déjections bovines a été utilisé comme fumure organique compte tenu de sa disponibilité en quantité dans la zone d'étude. Une balance électronique (de portée 3 kg) a été utilisée pour peser les engrais minéraux. Une balance de portée 40 kg pour peser les noix et les pommes et une balance de poche à ressort de portée 50 kg pour peser le fumier.

Choix des plantations, installation et conduite des essais

Les arbres étudiés ont été identifiés à la suite d'un inventaire forestier des plantations d'anacardier réalisé de juin à juillet 2013 (Chabi Sika et al., 2015). Ils ont été choisis en tenant compte de l'uniformité de l'âge des arbres du fait que les doses d'engrais recommandées sont fonction de l'âge des arbres. Ainsi, des arbres de 4 et 8 ans ont été sélectionnés au cours de la première saison (2013-2014). Cela voudrait dire que ces arbres étaient âgés respectivement de 5 et 9 ans au cours de la deuxième saison (2014-2015). Les informations sur l'âge des plantations d'anacardier ont été fournies par le producteur sur la base de la date de repiquage des plants achetés auprès des pépiniéristes de la région. Douze arbres par catégorie d'âge ont été

choisis à titre de répétition pour la collecte des données. Trois types de fumure présentés ci-dessous ont été considérés :

- T0 : Plants témoins sans apport d'engrais ;
- T1 : Plants fertilisés avec engrais minéral ;
- T2 : Plants fertilisés avec engrais minéral et organique (fertilisation organo-minérale).

Le Tableau 1 présente les quantités de fertilisants apportées par arbre selon les âges.

L'unité expérimentale était constituée de 2 catégories d'âges x 3 types de fumure x 12 répétitions, soit au total 72 arbres. Les doses des nutriments appliquées étaient celles recommandées par les services de vulgarisation pour l'anacardier au Bénin (Tandjiépkon et al., 2005). Le calcul de la quantité de fumier apportée a été fait sur la base de sa composition chimique. La teneur en nutriments du fumier utilisée se présente comme suit : N-total (3,29 g/kg), C-organique (255,41 g/kg), K (48,24 g/kg) et P (1,22 g/kg). La dose d'engrais organique apportée pour le type de fumure T2 a été calculée dans l'hypothèse d'un apport équitable des nutriments majeurs sous la forme minérale et organique. A cet effet, les calculs ont été faits considérant la composition en nutriments du fumier, la quantité de nutriments apportée sous la forme d'engrais minéral au niveau du T1 et du taux moyen de minéralisation annuelle de 2% en zone tropicale (Pieri, 1989). Le complément de nutriments majeurs (N, P et K) par rapport à l'équivalent du T1 a été fait sous la forme d'engrais minéral. Pour y parvenir, des engrais simples (urée 46% N ; TSP 46% P₂O₅ et KCl 60% K₂O) ont été utilisés. Le Tableau 2 présente les quantités de fumier bovin apportées par arbre et par catégorie d'âge pour le T2.

Avant l'apport des engrais, un profil racinaire a été réalisé au niveau de certains arbres pour apprécier la distribution racinaire. La plupart des racines se trouvait dans un rayon

de 1,5 m du tronc et distribuée entre 35-40 cm de profondeur. Ainsi, l'application de l'engrais a été faite sous la forme de couronne autour des arbres sur un diamètre de 3 m et une profondeur de 40 cm sur la base des résultats de l'observation du profil racinaire. Puis les trous d'application ont été refermés afin de limiter les pertes par volatilisation et par lessivage.

Méthodes de collecte des données

Les paramètres de rendement mesurés ont concerné les poids des noix et des pommes par arbre. L'estimation des rendements en noix et en pommes par arbre a été faite pendant toute la période de production de fruits et ceci au cours des saisons de production 2013-2014 et 2014-2015. Ainsi, les noix ont été quotidiennement ramassées puis pesées séparément pour la détermination de la production par arbre. Le ratio poids pommes/poids noix a été calculé à partir des 10 fruits choisis au hasard afin de déterminer le poids des pommes à partir du poids total des noix.

Analyses chimiques des produits d'anacardier

Les échantillons de pommes et de noix récoltées ont été constitués, pré séchés à l'air libre sur le terrain puis à l'étuve à 65°C au Laboratoire des Sciences du Sol de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi. Compte tenu de leur nature périssable, les pommes, ont été dans un premier temps découpées en lamelles avant le pré séchage afin de réduire leur teneur en eau. Ensuite, un séchage à l'étuve a été effectué jusqu'à poids constant (96 heures). Les échantillons de noix ont été décortiqués pour la récupération des amandes et des coques. Les amandes et les coques ont été mises séparément dans les enveloppes en papier puis pesées. Chaque partie du fruit a été broyée à l'aide d'un mortier en fer pour les analyses au laboratoire. Au total, 72 échantillons par type de produits (pommes, amandes et coques) ont été

constitués. Les analyses ont été effectuées au Laboratoire des Sciences du Sol, Eau et Environnement de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (LSSEE/INRAB) accrédité ISO 17025 et ont porté sur la détermination de l'azote total (méthode de Kjeldahl) du phosphore total (méthode de Duval), du potassium, calcium et magnésium total par Spectrophotométrie à Absorption Atomique.

Détermination des exportations de nutriments par les différents produits de l'anacardier

Les quantités totales de nutriments exportées dans les pommes et les noix (amandes et coques) considérant l'âge des arbres et les différents traitements ont été déterminées en multipliant les teneurs en nutriments (des pommes et des noix) par le rendement en pomme et en noix de chaque arbre (Abegaz, 2008). Pour la pomme, les exportations des nutriments en g/kg de matières fraîches ont été estimées à partir de la teneur en eau moyenne des pommes qui est 87,5% (Lautié et al., 2001 ; Soro, 2012). Ainsi, les exportations de nutriments ont été calculées suivant : $U_x = Y_y * T_x$ avec U_x , l'exportation du nutriment x dans le produit y (g de nutriment x exporté par arbre). Y_y , le rendement du produit y (kg/arbre) ; T_x , la teneur en nutriment x du produit y (g de nutriment x par kg du produit y).

Calcul des efficacités des nutriments des différents produits de l'anacardier

Les efficacités déterminées dans le cadre de la présente étude sont : l'efficacité agronomique (EA), l'efficacité de recouvrement (ER) et l'efficacité de l'utilisation du nutriment (EU).

L'efficacité agronomique (EA) des nutriments N, P et K a été calculée pour chaque produit (pomme et noix) considérant les différents traitements et les catégories d'âge

des arbres suivant la formule de Dobermann (2007) :

$$EA_x = \frac{Y_T - Y_0}{F_x}$$

avec : EA_x : Efficacité agronomique du nutriment x pour le produit y (g de produit y par g de nutriment x par arbre) ; Y_T : Rendement du produit y obtenu au niveau des arbres fertilisés (g/arbre) ; Y_0 : Rendement du produit y obtenu au niveau des arbres témoins non fertilisés (g/arbre) ; F_x : Quantité totale de nutriment x apporté (kg/arbre).

L'efficacité de recouvrement (ER) des nutriments N, P et K a été calculée pour chaque produit (pomme et noix) considérant les différents traitements et les catégories d'âge des arbres suivant la formule développée par Dobermann (2007). Il s'agit d'une efficacité partielle car elle ne prend pas en compte les nutriments se trouvant au niveau de la biomasse. L'anacardier étant une espèce pérenne, on assiste à un recyclage des nutriments contenus dans les feuilles sous forme de litière au profit de l'arbre. L'efficacité de recouvrement (ER) a été déterminée par la formule :

$$ER_x = \frac{U_x - U_0}{F_x}$$

avec : ER_x : Efficacité de recouvrement du nutriment x pour le produit y (g de nutriment x exporté par g de nutriment x appliqué) ; U_x : la quantité totale de nutriment x prélevée par le produit y au niveau des arbres fertilisés (g nutriment x exporté par arbre) ; U_0 : la quantité totale de nutriment x prélevée par le produit y au niveau des arbres non fertilisés (g nutriment x exporté par arbre).

F_x : Quantité totale de nutriment x appliqué (g/arbre).

L'efficacité de l'utilisation des nutriments N, P et K a été calculée pour chaque produit (pomme et noix) considérant les différents traitements et les catégories d'âge des arbres par la formule développée par Janssen (1998).

$$EU_x = \frac{EA_x}{ER_x}$$

avec : EU_x : Efficience de l'utilisation du nutriment x (kg de produit y par g de nutriment x exporté) ; EA_x : Efficience agronomique du nutriment x (kg de produit y par g de nutriment x appliqué) ; ER_x : Efficience de recouvrement du nutriment x (g de nutriment x exporté par g de nutriment x appliqué).

Analyses statistiques

Le logiciel Microsoft Excel (version 10) a été utilisé pour la saisie et le traitement des

données. Les analyses de variance à deux facteurs (âge de l'arbre et type de fumure) par type de produit (pomme et noix) ont été effectuées à l'aide du modèle linéaire général du logiciel Statistical Analysis System (SAS version 9.2) pour les exportations. Le test de Student Newman-Keuls au seuil de 5% a été utilisé pour la comparaison des moyennes. Concernant les efficaciences, le test T de Student a été fait surtout qu'il s'agit de la comparaison entre les valeurs des efficaciences obtenues pour la fumure minérale et la fumure organo-minérale.

Tableau 1 : Doses de fertilisants et quantités d'engrais minéraux apportées par arbre d'anacardier considérant l'âge des plantations pour le traitement T1.

Saison de production	Ages des plantations (années)	Doses de nutriments (g/arbre)*			Quantités (g) d'engrais minéral simple apportées par arbre		
		N	P	K	Urée	TSP	KCl
2013-2014	4	289	217	144	628	1081	290
	8	364	273	364	791	1360	731
2014-2015	5	356	267	178	774	1330	357
	9	364	273	364	791	1360	731

* Source : Tandjiékpon et al. (2005).

Tableau 2 : Quantités de fumier de bovin apportées et teneur en fertilisants par arbre considérant l'âge des plantations pour le traitement T2.

Saison de production	Age des plantations (années)	Quantité de fumier apportée (kg/arbre)	Complément par les engrais minéraux (g/arbre)			Quantités d'engrais (g) apportées par arbre		
			N	P	K	Urée	TSP	KCl
2013-2014	4	355,5	205,1	194,04	35,93	445	965	71
	8	589,5	222,75	234,92	184,8	484	1170	372
2014-2015	5	355,5	272,1	244,04	69,93	592	1215	140
	9	589,5	222,75	234,92	184,8	484	1170	372

RESULTATS

Effet des différents types de fumure sur les exportations de nutriments au niveau des noix et des pommes suivant les catégories d'âges des arbres

Le Tableau 3 présente les quantités totales de N, P et K exportées dans les pommes et les noix cajou suivant l'âge et les types de fumures appliqués. En général, les quantités totales de nutriments exportées dans les pommes et les noix varient d'un nutriment à un autre selon les types de fumure et l'âge des arbres ($P < 0,05$ à $P < 0,01$). Les quantités de nutriment mobilisées dans les pommes fraîches sont largement supérieures à celles déterminées dans les noix. L'azote est le nutriment le plus prélevé par les arbres tant au niveau des noix (en moyenne $75,71 \pm 6,41$ et $112,43 \pm 7,14$ g de N/arbre respectivement pour les arbres de 4 et 8 ans au démarrage de l'essai) qu'au niveau des pommes (en moyenne $173,85 \pm 9,28$ et $199,06 \pm 10,16$ g de N/arbre respectivement pour les arbres de 4 et 8 ans au démarrage de l'essai). Le phosphore par contre est faiblement mobilisé aussi bien dans les noix (en moyenne $0,44 \pm 0,08$ et $1,40 \pm 0,25$ g de P/arbre respectivement pour les arbres de 4 et 8 ans) que dans les pommes cajou (en moyenne $0,55 \pm 0,89$ et $2,50 \pm 1,50$ g de P/arbre respectivement pour les arbres de 4 et 8 ans au démarrage de l'essai).

Quel que soit l'âge des arbres, l'apport de la fumure organo-minérale avait le plus influencé la quantité totale de nutriment mobilisée aussi bien dans les pommes que dans les noix cajou. Ainsi, au niveau des arbres de 4 ans, la fertilisation organo-minérale a induit les plus importantes quantités de N et P mobilisées dans les pommes et les noix cajou ($234,13 \pm 10,4$ et $97,12 \pm 7,86$ g de N/arbre respectivement pour les pommes et les noix contre $0,59 \pm 0,06$ et $0,83 \pm 0,13$ g de P/arbre respectivement pour les pommes et les noix). Par contre, la fumure minérale a induit des exportations élevées de K dans les pommes ($0,85 \pm 1,24$ g de K/arbre).

Au niveau des arbres de 8 ans (saison de production 2014-2015), les exportations de N les plus élevées ont été obtenues avec la fumure organo-minérale ($260,36 \pm 12,5$ et $143,94 \pm 8,12$ g de N/arbre respectivement pour les pommes et les noix). Par contre, les plus

importantes exportations de P ont été induites par la fumure minérale ($3,40 \pm 1,05$ et $1,84 \pm 0,29$ g de P/arbre respectivement pour les pommes et les noix). Les plus grandes quantités de K mobilisées dans les pommes ont été induites par la fumure organo-minérale ($37,25 \pm 3,89$ g de K/arbre) tandis que la fumure minérale avait induit la forte mobilisation de K dans les noix ($9,24 \pm 1,65$ g K/arbre).

Efficiences agronomiques, de recouvrement et de l'utilisation des nutriments dues à l'application des différentes fumures sur l'anacardier suivant les catégories d'âge des arbres

Le Tableau 4 présente les résultats des efficacités agronomique, de recouvrement et de l'utilisation de chaque nutriment (N, P et K) en fonction des pommes et noix récoltées au niveau des arbres selon les âges des arbres et des fumures appliquées. Il ressort de l'analyse de ces résultats que les pommes ont une efficacité agronomique nettement supérieure à celle des noix quels que soient le type de nutriment, l'âge des arbres et le type de fumure appliqué (Tableau 4). En considérant, les âges des arbres et les différents nutriments, l'efficacité agronomique du K est plus élevée chez les arbres de 4 ans (1 g de K appliqué induit une augmentation de rendement variant entre $29,38 \pm 2,7$ g et $42,30 \pm 3,8$ g au niveau des pommes et $2,58 \pm 0,3$ à $3,99 \pm 0,5$ g au niveau des noix) comparativement aux N et P. Par contre, au niveau des arbres de 8 ans, l'efficacité agronomique du P était plus élevée que celle de N et K (1 g de P appliqué induit une augmentation de rendement variant entre $15,75 \pm 1,8$ et $29,67 \pm 3,1$ g au niveau des pommes et $2,86 \pm 0,2$ à $3,96 \pm 0,4$ g au niveau des noix). En considérant le type de produit, le type de fumure et le type de nutriment, la fumure organo-minérale permet d'obtenir les efficacités agronomiques supérieures à celles de l'application de la fumure minérale quel que soit le nutriment et le type de produit (noix et pomme).

Il ressort également des résultats du Tableau 4 que les pommes ont une efficacité de recouvrement supérieure à celle des noix quels que soient l'âge des arbres et le type de fumure appliqué. De plus, l'efficacité de

recouvrement de N est nettement plus élevée que celle de P et K ($0,06 \pm 0,01$ à $0,32 \pm 0,03$ g de N exporté pour 1 g de N appliqué contre $10^{-4} \pm 0,001$ à $8,8.10^{-3} \pm 0,001$ g de P exporté pour 1 g de P appliqué et $5.10^{-4} \pm 0,001$ à $6,45.10^{-2} \pm 0,01$ g de K exporté pour 1 g de K appliqué).

Dans les pommes, la forte valeur de l'efficacité de recouvrement de N a été obtenue au niveau des arbres de 4 ans ayant reçu la fumure organo-minérale ($0,32 \pm 0,03$ g de N exporté pour 1 g de N appliqué). Par contre, la plus forte valeur de l'efficacité de recouvrement de P a été obtenue au niveau des arbres de 8 ans ayant reçu la fumure minérale ($8,8.10^{-3} \pm 0,001$ g de P exporté pour 1 g de P appliqué). La forte valeur de l'efficacité de recouvrement de K a été obtenue au niveau des arbres de 8 ans ayant reçu la fumure organo-minérale ($6,45.10^{-2} \pm 0,01$ g de K exporté pour 1 g de K appliqué).

En ce qui concerne les noix, la plus forte valeur de l'efficacité de recouvrement de N a été obtenue au niveau des arbres de 8 ans ayant reçu la fumure organo-minérale ($0,18 \pm 0,02$ g de N exporté par g de N appliqué). Par contre, la plus forte valeur de l'efficacité de recouvrement de P a été obtenue au niveau des arbres de 8 ans ayant reçu la fumure minérale ($4,3.10^{-3} \pm 0,002$ g de P exporté pour 1 g de P appliqué). La plus forte valeur de l'efficacité de recouvrement de K a été obtenue au niveau

des arbres de 8 ans ayant reçu la fumure minérale ($1,34.10^{-2} \pm 0,001$ g de K exporté pour 1 g de K appliqué).

Les pommes ont en général une efficacité de l'utilisation des nutriments supérieure à celle des noix. De plus, l'efficacité de l'utilisation du P est nettement plus élevée que celle de N et K (1 g de phosphore prélevé et retrouvé dans les pommes/noix a induit une augmentation de rendement variant entre $1,78 \pm 0,4$ et $117,08 \pm 4,1$ kg de pommes/arbre et de $0,66 \pm 0,5$ à $23,23 \pm 2,3$ kg de noix/arbre).

Dans les pommes, la plus forte valeur de l'efficacité d'utilisation de N a été obtenue au niveau des arbres de 8 ans ayant reçu la fumure minérale ($0,20 \pm 0,1$ kg de pommes par g de N appliqué). Par contre, les plus fortes valeurs de l'efficacité de l'utilisation des nutriments P et K ont été obtenues au niveau des arbres de 4 ans ayant reçu la fumure organo-minérale ($117,08 \pm 4,1$ kg de pommes par g de P exporté et $5,49 \pm 1,5$ kg de pommes par g de K exporté). En ce qui concerne les noix, les plus fortes valeurs de l'efficacité de l'utilisation des nutriments P et K ont été obtenues au niveau des arbres de 4 ans ayant reçu la fumure organo-minérale ($23,23 \pm 2,3$ kg de noix par g de P exporté et $5,04 \pm 1,7$ kg de noix par g de K exporté).

Tableau 3 : Quantités totales de N, P et K mobilisées (valeurs moyennes \pm erreurs standards en g/arbre) dans les pommes et les noix selon l'âge des arbres au démarrage de l'essai et les types de fumure appliqués

Ages	Type de fumure	Pommes			Noix		
		N	P	K	N	P	K
4 ans	Témoin	119,76 \pm 8,56c	0,53 \pm 0,02a	6,95 \pm 1,01b	52,40 \pm 5,02c	0,23 \pm 0,06b	3,27 \pm 0,74b
	Fumure minérale	167,65 \pm 8,89b	0,52 \pm 0,02a	8,85 \pm 1,24a	77,60 \pm 6,34b	0,25 \pm 0,05b	2,35 \pm 0,52c
	Fumure organo-minérale	234,13 \pm 10,4a	0,59 \pm 0,06a	8,32 \pm 1,27a	97,12 \pm 7,86a	0,83 \pm 0,13a	4,52 \pm 0,35a
8 ans	Témoin	157,53 \pm 8,74c	0,98 \pm 0,34b	13,78 \pm 2,43b	79,34 \pm 5,84c	0,66 \pm 0,12b	4,38 \pm 1,05b
	Fumure minérale	179,29 \pm 9,23b	3,40 \pm 1,05a	34,96 \pm 4,25a	114,01 \pm 7,45b	1,84 \pm 0,29a	9,24 \pm 1,65a
	Fumure organo-minérale	260,36 \pm 12,5a	3,12 \pm 1,27a	37,25 \pm 3,89a	143,94 \pm 8,12a	1,69 \pm 0,33a	8,35 \pm 1,58a

Les moyennes suivies de différentes lettres alphabétiques par âge, par type de fumure et type de produit sont significativement différentes ($P < 0,05$) selon le test de Student Newman-Keuls.

Tableau 4 : Valeurs moyennes (\pm erreurs standards) des efficacités agronomique, de recouvrement et d'utilisation des pommes et noix suivant le type de fumure et les âges des arbres

Type de produits	Age	Type de fumure	Efficacité agronomique (g/g)			Efficacité de recouvrement (%)			Efficacité d'utilisation (kg/g)		
			N	P	K	N	P	K	N	P	K
Pomme	4 ans	Fumure minérale	14,69 \pm 1,2b	19,59 \pm 1,5b	29,38 \pm 2,7b	13,45 \pm 1,1b	0,03 \pm 0,01a	1,07 \pm 0,5a	0,11 \pm 0,4a	67,49 \pm 3,2b	2,75 \pm 1,0b
		Fumure organo-minérale	21,15 \pm 2,7a	28,20 \pm 2,9a	42,30 \pm 3,8a	32,13 \pm 3,1a	0,02 \pm 0,01a	0,77 \pm 0,6a	0,07 \pm 0,2a	117,08 \pm 4,1a	5,49 \pm 1,5a
	8 ans	Fumure minérale	11,81 \pm 1,1b	15,75 \pm 1,8b	11,81 \pm 1,0b	5,98 \pm 0,6b	0,88 \pm 0,12a	5,82 \pm 0,5a	0,20 \pm 0,1a	1,78 \pm 0,4b	0,20 \pm 0,1a
		Fumure organo-minérale	22,25 \pm 2,5a	29,67 \pm 3,1a	22,25 \pm 2,4a	28,25 \pm 2,6a	0,78 \pm 0,17a	6,45 \pm 0,7 a	0,08 \pm 0,2 b	3,80 \pm 1,2a	0,35 \pm 0,2a
Noix	4 ans	Fumure minérale	1,29 \pm 0,4a	1,72 \pm 0,3b	2,58 \pm 0,3b	7,08 \pm 1,05b	0,01 \pm 0,0b	0,05 \pm 0,0b	0,02 \pm 0,0a	23,23 \pm 2,3a	5,04 \pm 1,7a
		Fumure organo-minérale	1,99 \pm 0,3a	2,66 \pm 0,4a	3,99 \pm 0,5a	12,56 \pm 1,8a	0,22 \pm 0,1a	0,70 \pm 0,2a	0,02 \pm 0,0a	1,18 \pm 0,6b	0,57 \pm 0,3b
	8 ans	Fumure minérale	2,14 \pm 0,8a	2,86 \pm 0,2b	2,14 \pm 0,1a	9,52 \pm 1,02b	0,43 \pm 0,2a	1,34 \pm 0,1a	0,02 \pm 0,0a	0,66 \pm 0,5a	0,16 \pm 0,0a
		Fumure organo-minérale	2,97 \pm 1,1a	3,96 \pm 0,4a	2,97 \pm 0,3a	17,75 \pm 2,1a	0,38 \pm 0,2a	1,09 \pm 0,2a	0,02 \pm 0,0a	1,05 \pm 0,2a	0,27 \pm 0,1a

Les moyennes suivies de différentes lettres alphabétiques par âge, par type de fumure et type de produit sont significativement différentes ($P < 0,05$) selon le test T de Student

DISCUSSION

Les résultats de la présente étude ont montré d'une part que les quantités totales de nutriments exportés par les pommes étaient plus élevées que celles des noix et d'autre part, que l'azote était le nutriment le plus prélevé par les arbres. Ces résultats s'expliquent par le fait que les rendements en pommes étaient plus élevés que les rendements en noix, l'exportation étant le produit du rendement par la teneur en nutriment des produits (Samaneh *et al.*, 2014). Le fait que l'azote soit le nutriment le plus prélevé par les arbres s'explique par la forte demande exprimée par les arbres par rapport à ce nutriment et de la teneur non négligeable dudit nutriment dans le sol (Mossedaqq, 1999). Le phosphore reste le nutriment le plus faiblement retrouvé dans les pommes et les noix malgré que l'apport de la fumure organo-minérale a considérablement amélioré les propriétés chimiques du sol notamment en carbone, azote, potassium et phosphore quel que soit l'âge des arbres (Balogoun *et al.*, 2019). Cependant, on ne peut pas dire directement à travers ces résultats que tout ce qui est appliqué au sol comme phosphore n'est presque pas prélevé par les arbres car les pommes et noix de cajou occupent moins de 10% de la production totale de matière sèche (Richards, 1993).

La fumure organo-minérale a amélioré les quantités totales de nutriments exportées surtout pour les arbres de 8 ans. Ceci s'explique par une meilleure disponibilité de ces éléments aux arbres à travers ces types de fumure et facilitant du coup leur absorption puisque l'absorption des éléments nutritifs est fonction de la disponibilité de celle-ci (Cantarella, 2007). Les pommes comparativement aux noix exportant la grande partie des nutriments contenues dans les engrais appliqués. Ces pommes nécessitent d'être mieux valorisées en vue de rentabiliser au mieux les engrais appliqués et le revenu monétaire des producteurs avec la valeur ajoutée liée à la transformation agroalimentaire de ces pommes en jus, alcool et autres.

Les résultats de l'étude ont révélé que les meilleures efficacités agronomiques ont été

obtenues au niveau des arbres ayant reçu la fumure organo-minérale. Ceci pourrait s'expliquer par la capacité de ce type de fumure à assurer une disponibilité dans le temps des nutriments aux arbres facilitant ainsi une nutrition minérale maximale et un risque de réduction de perte de nutriment par lessivage (Fan *et al.*, 2004 ; Chien *et al.*, 2009). L'efficacité de recouvrement de N obtenue était nettement plus élevée que celles de P et K. Ces résultats peuvent s'expliquer par un prélèvement rapide de N par les arbres comparativement aux P et K. En effet, le N est un des éléments les plus utilisés par les plantes (Bado, 2002). Ces résultats de l'efficacité d'utilisation de l'azote étaient restés cependant faibles comparativement aux valeurs de 51%, 50%, 30 à 35% trouvées respectivement par Dobermann (2007), Cantarella (2007) et Fan *et al.* (2004) pour les céréales. Par contre, les valeurs obtenues étaient proches de celles trouvées par Quaggio *et al.* (2005) et Chien *et al.* (2009) au niveau des espèces pérennes comme le citronnier (25 à 50%). Les résultats de l'efficacité d'utilisation ont démontré qu'elle était plus élevée pour le P comparativement au N et K. Ceci peut s'expliquer par le fait que l'efficacité de recouvrement du P est la plus faible comparativement aux autres nutriments. Par la même occasion, malgré le fait qu'une efficacité de recouvrement plus élevée de N comparativement aux P et K était observée, on note les plus faibles valeurs d'efficacité de l'utilisation de N. Ceci s'explique par les teneurs élevées en N des pommes et des noix. Les meilleures efficacités, que ce soit agronomique, de recouvrement et d'utilisation étaient obtenues au niveau des arbres ayant été fertilisés avec la fumure organo-minérale, ce qui démontre la capacité de ce type d'engrais à assurer une meilleure nutrition minérale des arbres et ceci se justifie par une disponibilité dans le temps des nutriments suite à la minéralisation de la fraction organique.

Les pommes ont présenté en général de meilleures efficacités du point de vue agronomique, de recouvrement et d'utilisation des nutriments comparativement à celles des

noix. En effet, du point de vue agronomique, 1 g de N, P ou K apporté à l'anacardier a permis d'obtenir une augmentation de 21 à 42 g de pommes par arbre, soit 2,1 à 4,2 kg/ha (avec une densité de 100 arbres/ha). Du point de vue utilisation des nutriments, 1 g de N, P ou K exporté, l'anacardier a induit une augmentation de 120 kg de pommes par arbre environ, soit une augmentation de 12 tonnes/ha (avec une densité de 100 arbres/ha). La valorisation des pommes de cajou permettra d'améliorer considérablement le niveau de revenu des producteurs de l'anacardier.

Conclusion

Les exportations en nutriment suivent la même tendance avec cependant une exportation en azote plus élevée que celle des autres nutriments quels que soient le produit et l'âge des arbres. Les efficacités agronomique, de recouvrement et de l'utilisation des nutriments N, P et K sont meilleures au niveau des arbres ayant reçu la fumure organo-minérale. Un apport de fumure organo-minérale permet de compenser durablement les exportations de nutriments des noix et pommes cajou. Les pommes présentent en général une meilleure efficacité du point de vue agronomique, de recouvrement et d'utilisation des nutriments comparativement à celles des noix. La valorisation des pommes de cajou permettra d'améliorer considérablement le niveau de revenu des producteurs de l'anacardier tout en rentabilisant au mieux les engrais appliqués sans oublier la transformation agroalimentaire.

REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leurs sincères remerciements au Programme de Fonds Compétitifs de Recherche (PFCR 2ème phase) de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC) et à la Fondation Internationale pour la Science (IFS en anglais) à travers la bourse N° D/5767-1 pour le financement des présents travaux de recherche. Ils adressent également leurs sincères remerciements aux évaluateurs pour leur importante contribution dans l'amélioration de la qualité du manuscrit.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêts pour cet article.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

IB est l'auteur principal de ce travail et a participé à toutes les étapes de sa réalisation. TRM, ODBB et SLO ont participé aux travaux d'expérimentation et surtout à la collecte des données sur le terrain ainsi qu'à l'analyse de ces données. AS, LEA et AH ont contribué à améliorer le protocole de recherche ainsi que le manuscrit de l'article.

REFERENCES

- Abegaz A. 2008. Indigenous soil nutrient supply and effects of fertilizer application on yield, N, P and K uptake, recovery and use efficiency of barley in three soils of Toghane, the Northern Highlands of Ethiopia. *Afr. J. Agric. Res.*, **3** (10): 688-699.
- Amadji LG, Saïdou A, Chitou L. 2009. Recycling of organic residues in compost to improve coastal sandy soil properties and cabbage shoot in Benin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **3**(2): 192-202. DOI: 10.4314/ijbcs.v3i2.444947
- Bado BV. 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina-faso. Thèse doctorat, Université de Laval, Québec, 197 p.
- Balogoun I, Saïdou A, Ahoton EL, Amadji GL, Ahohuendo CB, Adebo IB, Babatoundé S, Chougourou D, Adoukonou SH, Ahanchédé A. 2014. Caractérisation des systèmes de production à base d'anacardier dans les principales zones de culture au Bénin. *Agronomie africaine*, **26** (1): 9-22.
- Balogoun I, Saïdou A, Ahoton EL, Amadji GL, Ahohuendo CB, Adebo IB, Babatoundé S, Chougourou CD, Ahanchédé A. 2015a. Diagnostic et axes de recherche pour exploitation rationnelle de l'anacarderaie au Bénin. *Annales des Sciences Agronomiques*, **19**(2): 29-52.

- Balogoun I, Saïdou A, Kindohoundé NS, Ahoton EL, Amadji GL, Ahohuendo BC, Babatoundé S, Chougourou D, Baba-Moussa L, Ahanchédé A, 2015b. Soil fertility and biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with cashew's (*Anacardium occidentale* L.) cultivars characteristics in Benin (West Africa). *Int. J. Plant Soil Sci.*, **5**(1): 50-63. DOI: 10.9734/IJPSS/2015/13817
- Balogoun I, Saïdou A, Biaou ODB, Montcho TR, Ahoton EL, Bello DO, Amadji LG, Ahohuendo CB, Babatoundé S, Chougourou CD, Ahanchédé A. 2019. Effet de la fumure organo-minérale et minérale sur la productivité et la teneur en nutriments des produits d'anacardier au Bénin. Actes du Colloque International d'Échanges Scientifiques sur l'Anacarde (CIESA), Grand-Bassam du 26 – 28 septembre 2017. *Presses agronomiques de Liège, Agronomie, Gembloux (Belgique)*, D/2019/1665/166 ; pp 75-86.
- Cantarella H. 2007. Nitrogen. In *Soil Fertility*, Novais RF, Alvarez VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL (eds). Brazilian Soil Science Society: Vic,osa, MG (in Portuguese); 375–470.
- Chabi FO, Dagbenonbakin GD, Agbangba EC, Oussou BT, Agban BK, Dakpo M, Ahoton LE, Amadji GL, Saïdou A. 2021. Fertilizer recommendations for optimal soybean production in North and Center Benin. *J. Soil Sci. Environ. Manage.*, **12**(2): 29-43. DOI: 10.5897/JSSEM2021.0860
- Chabi Sika K, Adoukonou-Sagbadja H, Ahoton LE, Adebo I, Adigoun FA, Saïdou A, Ahanchede A, Kotchoni SO, Baba-Moussa L. 2015. Morphological characterization and agronomic performances of cashew (*Anacardium occidentale* L.) accessions from Benin. *J. Agric. Crop Res.*, **3**(2): 27-40.
- Chien SH, Prochnow LI, Cantarella H. 2009. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. *Adv. Agron.*, **102**: 267-323. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(09\)01008-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(09)01008-6)
- Dobermann A. 2007. Nutrient use efficiency-measurement and management. In *Fertilizer Best Management Practices: General Principles, Strategy for Their Adoption and Voluntary Initiatives Versus Regulations*, Krauss A, Isherwood K, Heffer P (eds). International Fertilizer Industry Association: Paris, France; 1–28.
- Fan X, Li F, Liu F, Kumar D. 2004. Fertilization with a new type of coated urea: Evaluation for nitrogen efficiency and yield in winter wheat. *J. Plant. Nutr.*, **27**: 853–865. DOI: 10.1081/PLN-120030675
- FAO 2014. Base des données de la FAO 2011. Food and Agriculture Organization (FAO), Rome, Italie, <http://faostat3.Fao.org>. Visité le 04 Septembre 2014 à 13h.
- Fernandopulle MN. 2000. Fertilizer use in cashew. *Cashew Bull.*, **3**(1): 1-6.
- Fixen P, Brentrup F, Bruulsema T, Garcia F, Norton R, Zingore S. 2014. Chapter 1. Nutrient/Fertilizer Use Efficiency: Measurement, Current Situation and Trends. In *Managing Water and Fertilizer for Sustainable Agricultural Intensification*, Drechsel P, Heffer P, Magen H, Mikkelsen R, Wichelns D (eds). IFA, IWMI, IPNI and IPI.
- IUSS Working Group WRB 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria. 236p.
- Janssen H. 1998. Efficient use of nutrients: an art of balancing. *Field Crops Res.*, **56** : 197-201. DOI: 10.1016/S0378-4290(97)00130-5
- Lautié E, Dornier M, De Souza Filho M, Reynes M. 2001. Les produits de l'anacardier: caractéristiques, voies de valorisation et marchés. *Fruits*, **56**(4): 235-248. DOI: ff10.1051/fruits:2001126

- Malcolm JH. 2011. An Overview of Nutrient Use Efficiency and Strategies for Crop Improvement. In *The Molecular and Physiological Basis of Nutrient Use Efficiency in Crops Plant Sciences*, Malcolm JH, Barraclough P (eds). Department and Project Leader of the Nutrition Group at Rothamsted Research Book, UK; 5-20.
- Mossedaqq F, Moughli L. 1999. Fertilisation azotée des céréales : Cas des blés en bour et en céréales. Transfert de technologie en agriculture. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA N° 62.
- Quaggio JA, Mattos DJr, Cantarella H. 2005. Soil fertility management in citrus. In *Citros*, Mattos DJr, Negri JD, Pio RM, Pompeu JJr (eds). Instituto Agronomico, Campinas (in Portuguese); 483–507.
- Richards NK. 1993. Cashew tree nutrition related to biomass accumulation nutrient composition and nutrient cycling in sandy red earths. Cashew Research in Northern Territory, Australian, 1987-1991. NT. *Department of Primary Industry and Fisheries Technical Bulletin*, **202**: 50-64.
- Saïdou A, Kossou D, Acakpo C, Richards P, Kuyper WT. 2012a. Effect of farmers practices of fertilizer application and land use types on subsequent maize yield and nutrients uptake in central Benin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(1): 365-378. DOI: 10.4314/ijbcs.v6i1.32
- Saïdou A, Balogoun I, Koné B, Gnanglè C, Aho N. 2012b. Effet d'un système agroforestier à karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn) sur le sol et le potentiel de production du maïs (*Zea maize*) en zone Soudanienne du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(5): 2066-2082. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i5.16>
- Sanchez PA, Jama BA. 2002. Soil fertility replenishment takes off in East and Southern Africa. In *Integrated Plant Nutrient Management in Sub-Saharan Africa: from Concept to Practice*, Vanlauwe B, Diels J, Sanginga N, Merckx R (eds). CAB International ; 23-45.
- Soro D. 2012. Couplage de procédés membranaires pour la clarification et la concentration du jus de pomme de cajou : Performances et impacts sur la qualité des produits. Thèse de Doctorat, Centre International d'Etudes Supérieures en Sciences Agronomiques, Montpellier Sup Agro Institut des régions chaudes, p.156.
- Tandjiékpon A, Teblekou K, Dah-Dovonon JZ, N'Djlosse K, Adjahouinou LT, Midingoyi Jun S. 2005. *Mieux Produire l'Anacarde au Bénin: Référentiel Technico-Economique* (2ème édition). Edition INRAB; 63 p.
- Tarekegne AT, Tanner DG. 2001. Effects of fertilizer application on N and P uptake, recovery and use efficiency of bread wheat grown on two soil types in central Ethiopia. *Ethiop. J. Nat. Resour.*, **3**: 219-244.
- Yabi I, Yabi Biaou F, Dadeignon S. 2013. Diversité des espèces végétales au sein des agro-forêts à base d'anacardier dans la commune de Savalou au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **7**(2): 696-706. DOI: 10.4314/ijbcs.v7i2.24
- Yelouassi D, Akpo E, Adandonon A, Balogoun I. 2021. Efficacité des techniques de greffage pour l'adéquation aux porte-greffes de cajou. *Afr. Crop Sci. J.*, **29**(3): 339–354. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/acsj.v29i3.2>