

PERFORMANCES AGRONOMIQUE ET ECONOMIQUE DES SYSTEMES DE CULTURE A BASE DE MAÏS (*Zeamays L.*) ET D'ARACHIDE (*Arachishypogaea L.*) AU NORD DE LA CÔTE D'IVOIRE.

AKANZA K. P. ^{1*}, N'GUESSAN N. E. ²

Résumé

Une expérience pluri spécifique impliquant le maïs et l'arachide a été menée en 2015 à la station du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Ferkessedougou suivant un dispositif en bloc de Fisher à trois répétitions. Quinze traitements dont treize systèmes de cultures associées et deux cultures pures, l'une de maïs et l'autre d'arachide, ont été expérimentés. L'arachide a été semée deux semaines après le semis du maïs, pour permettre au système racinaire de la céréale qui croît de façon plus rapide et plus précoce que celui de l'arachide, d'épuiser rapidement l'azote minéral disponible dans le sol, forçant ainsi cette légumineuse à recourir à la fixation symbiotique pour répondre à ses besoins en azote. Les résultats montrent que tous les systèmes de cultures pluri spécifiques sont nettement plus performants tant sur les plans agronomique qu'économique en comparaison avec les cultures mono spécifiques. Les valeurs du Land Équivalent Ratio (LER) qui ont varié de 2,02 à 3,91 respectivement pour T05 et T04 mettent en évidence des productivités exceptionnelles, avec des gains de rendement oscillant de 102 à 291 % par rapport aux cultures pures. Deux systèmes pluri spécifiques (T04 et T13) se distinguent des autres comme étant les plus concurrentiels à double titre : agronomique et économique. Ces deux systèmes pluri spécifiques pourraient être conformes aux besoins du monde rural.

Mots-clés : Maïs, arachide, association, performance, rendement, azote

Abstract

A cropping system based on experiment involving maize and groundnuts was carried out at CNRA station in Ferkessedougou in 2015 following a device block of Fisher to three repetitions. Fifteen treatments including thirteen systems associated cultures and two pure cultures, one of corn and other peanut, were tested. The peanut was sown two weeks after sowing of corn, to allow the root system of the cereal to grow faster and earlier than that of the groundnut, in order to quickly removing available soil mineral nitrogen (N), thus forcing this legume use symbiotic fixation to meet its own nitrogen requirements. The results show that all crop association systems performed significantly better both agronomically and economically in comparison with specific mono croppings. The Land Equivalent Ratio (LER) which ranged from 2.02 to 3.91 respectively for T05 and T04 highlight exceptional productivity, with oscillating yield gains of 102 to 291% compared to pure cultures. Two systems combined crops systems (T04 and T13) differ from the others as the most competitive for two reasons: agronomic and economic. These two systems of combined crops could be suitable for the rural world.

Keywords: Maize, groundnut, association, performance, yield, nitrogen

Agro-pédologue, Centre National de Recherche Agronomique (CNRA)
01 BP 1740 Abidjan 01 (Côte d'Ivoire) ; Tél : (225) 02 02 10 94/09 09
91 34 ; E-mail : paul.akanza@yahoo.com

Agro-forestier, Université Jean Lorougnon GUEDE, BP150 Daloa
(Côte d'Ivoire) ; Tél : (225) 47 43 68 23.

* = auteur correspondant

INTRODUCTION

L'association constitue le système cultural le plus répandu dans le monde tropical notamment en Afrique, en Amérique latine et en Asie (Baldy et Stigter, 1993). Il s'agit d'une culture simultanée de deux espèces ou plus, sur la même surface, pendant une période significative de leur cycle de croissance (Willey, 1979). Les associations sont pratiquées depuis l'aube de l'agriculture mais elles ont progressivement disparu avec l'intensification, durant le 20ème siècle, au profit des systèmes fondés sur des peuplements cultivés mono spécifiques (Duc et al., 2010). Au cours des dernières décennies, l'utilisation d'intrants a permis d'accroître la productivité des agrosystèmes, mais dans le cas spécifique de l'azote (N) et du phosphore (P), cet accroissement s'est accompagné d'une diminution significative de l'efficacité de N et P (Hinsinger, 2012). Cela incombe aux pertes de N et P conduisant à des impacts négatifs sur l'environnement, tels que l'eutrophisation des eaux de surface, la pollution des nappes phréatiques ou l'émission de gaz à effet de serre (Hinsinger, 2012 ; Danhartigh et Metayer, 2015). En vue de maintenir une

haute productivité des agrosystèmes, de la stabiliser tout en minimisant ces impacts négatifs sur l'environnement, il est indispensable de développer des innovations pour tendre désormais vers une "intensification écologique" des agrosystèmes pour une meilleure efficacité d'utilisation des ressources en N et P du sol (Hinsinger, 2012 ; Danhartigh et Metayer, 2015). Aujourd'hui, ces systèmes sont remis en cause avec l'émergence des préoccupations d'économie d'intrants, la nécessité d'améliorer l'efficacité des facteurs de production, de préserver l'environnement et la biodiversité (Duc et al., 2010). Sur l'ensemble du territoire national ivoirien, les paysans pratiquent une diversification en associant des plantes variées au sein d'une même parcelle. La présence régulière de cultures associées dans les agricultures familiales des zones tropicales d'Afrique et d'Amérique Latine traduit leur importance (Beauval, 2013 ; Yama et al., 2007 ; Tonneau et al., 2005). Ces systèmes de culture font partie intégrante des stratégies anti-aléatoires des paysans pour lutter contre les aléas climatiques et optimiser de la main-d'œuvre agricole. Ils constituent également des moyens importants de gestion

de la fertilité du sol (Ouedraogo, 2003). Aussi, en Afrique de l'Ouest, le niébé, le soja et l'arachide contribuent-ils au maintien et/ou à l'amélioration de la fertilité des sols (Kergna, 2001). Les cultures céréalières sont toujours pratiquées en association les unes avec les autres ou avec d'autres cultures non céréalières. Le nombre de plantes associées par surface, chez le paysan, varie de 2 à 7 (Bahan *et al.*, 2012 ; Beninga, 2014). Et cette cohabitation, opérée souvent au hasard, ne tient compte d'aucun critère spécifique visant une association génératrice de bénéfices réciproques. Or, bien exploitée, cette technologie pourrait être la clef de l'autosuffisance, de la sécurité alimentaire mais également de la sédentarisation de l'agriculture vivrière. Du fait des interactions s'exerçant entre céréales et légumineuses, les rendements des associations sont comparables voire supérieurs à la moyenne des rendements des légumineuses et des céréales cultivées séparément, mais restent en général inférieurs à celui de la céréale pure (Revellin, 2011). En revanche, la matière azotée totale de l'association est toujours supérieure. L'effet synergique des légumineuses alimentaires comme source de fertilisant azoté en céréaliculture, n'a pas encore été suffisamment exploré. Très peu de conseils scientifiques, susceptibles d'aider les paysans, sont disponibles voire inexistant. La présente étude a pour objectif d'évaluer les performances agronomiques et économiques des modes d'associations culturales de maïs (*Zea mays* L.) et d'arachide (*Arachis hypogaea* L.) en vue de vérifier leur faisabilité technique dans les conditions réelles de production vivrière en milieu paysan.

MATERIEL ET METHODES

Caractéristiques du site

L'expérimentation a été conduite à la station CNRA de Ferkessédougou (longitude 5,1 °W, latitude 9,4 ° N), chef-lieu de la région du Tchologo dans le district des savanes du Nord de la Côte d'Ivoire. Le sol du site est de type ferrallitique remanié, avec une texture sablo-argileuse, de couleur ocre dominante. Il est marqué par une induration latéritique à moyenne profondeur (70-75 cm). Selon Zoro Bi *et al.* (2012), c'est un sol pauvre en matière organique (N = 1,15 g.kg⁻¹ et C = 12,5 g.kg⁻¹) assez bien décomposée (C/N = 10,87) avec un pH acide (5,5) et une faible capacité d'échange cationique (8 méq/100 g). Le climat de la région de Ferkessédougou est de type soudanais caractérisé par un régime pluviométrique monomodal dont le pic est centré sur les mois d'août et de Septembre. La saison humide s'étend sur 8 mois, d'avril à octobre, et la saison sèche sur 4 mois, de novembre à mars. Le cumul annuel de pluies est d'environ 1200 mm. Le déficit pluviométrique moyen subit par une culture vivrière dans la zone de Ferkessédougou approche les 600-700 mm (Péné et Koulibaly, 2011). La saison sèche est marquée par une période de vent sec celle de l'harmattan qui s'étend de mi-novembre à fin janvier, avec des écarts thermiques journaliers au-delà de 20 °C et une humidité relative de l'air atteignant parfois 30-35 %. Dans cette zone où le climat est de type soudanais et sub-soudanais avec une savane plus ou moins ligneuse et des forêts galeries (AISA, 1991), les espèces typiques rencontrées sont : le karité (*Vitellaria paradoxa*), le néré (*Parkia biglobosa*) et *Faidherbia albida*.

Matériels et conduite de l'expérimentation

Le matériel végétal utilisé dans cette étude comporte deux espèces améliorées : le maïs (var. EV 8728) et l'arachide (var. 3-5A). La variété de maïs, d'un cycle de 100-110 jours, est tolérante à la sécheresse, à la striure, à la rouille, à l'helminthosporiose et à la verse racinaire. Ces grains cornés, sont de couleur jaune. Son potentiel de rendement moyen varie de 3 à 5 t.ha⁻¹. Quant à la variété d'arachide 3-5A, elle a un cycle végétatif de 90 jours. Dans le cadre de cette association mettant en jeu le maïs et l'arachide, aucun fertilisant minéral ni organique n'a été apporté. Les systèmes de cultures n'ont reçu aucune fertilisation ni minérale ni organique. Le matériel chimique utilisé pour le contrôle de l'enherbement est un herbicide (Akizon 40 SE) sélectif du maïs appliqué en post levée, à 40-70 CC et à la dose de 2 l.ha⁻¹. Le traitement herbicide a été effectué à l'aide d'un pulvérisateur à dos de 15 litres.

Le maïs a été semé aux écartements de 0,8 m x 0,25 m, à raison de deux (02) grains par poquet. Le démariage a été effectué à un plant/poquet soit une densité de 50 000 plant.ha⁻¹. L'arachide a été semée à des écartements de 40 cm x 20 cm. Lorsqu'une légumineuse est cultivée en association avec une graminée, la part d'azote fixée augmente de 10 à 20% (Naudin *et al.*, 2010 ; Bedoussac et Justes, 2010a). Cet effet est lié à la différence de pénétration des racines dans le sol, plus rapide chez la céréale. Ainsi, cette céréale explore avant l'arachide les horizons du sol et utilise l'azote minéral au détriment de la légumineuse. De telles associations optimisent la fixation chez la légumineuse. Ainsi, il n'est pas utile de fertiliser les légumineuses à graines dont la fixation symbiotique est efficace. En vertu des raisons ci-dessus, le semis de l'arachide a été effectué 15 jours après celui du maïs.

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est un bloc de Fisher complètement randomisé à trois répétitions et à quinze traitements. La parcelle élémentaire mesure 10 m de long sur 8,5 m de large soit une superficie de 85 m². Dans l'association, l'arrangement spatial est alternatif (tableau I) pour permettre à l'arachide d'avoir suffisamment accès à la lumière et accomplir la synthèse chlorophyllienne. Quinze traitements sont testés dans cette expérience d'arrangements spatiaux alternatifs de culture mixte maïs-arachide. Il s'agit de : treize systèmes pluri spécifiques auxquels s'ajoutent deux systèmes mono spécifiques l'un de maïs et l'autre d'arachide (tableau I). Quatre types d'itinéraires techniques en cultures pluri spécifiques sont expérimentés (tableau I). Il s'agit, selon Woomer (2010), de : (i) itinéraire technique à simple rang comportant quatre traitements (T01, T02, T03 et T04) ; (ii) itinéraire technique à double rang autorisant trois traitements (T05, T06 et T07) ; (iii) itinéraire technique à triple rang admettant trois traitements (T08, T09 et T10) ; et enfin (iv) itinéraire technique à quadruple rang recevant trois traitements (T11, T12 et T13). A ces quatre itinéraires techniques pluri spécifiques s'ajoutent deux systèmes mono spécifiques traditionnels en culture pure de maïs et d'arachide.

Tableau I : Définition des arrangements spatiaux des deux espèces associées et itinéraire technique

Traitements expérimentaux	Arrangements spatiaux alternatifs de culture mixte maïs-arachide		
	Nombre lignes de maïs	Nombre lignes d'arachide	Itinéraire technique
T01	1	1	Simple rang
T02	1	2	Idem
T03	1	3	Idem
T04	1	4	Idem
T05	2	2	Double rang
T06	2	3	Idem
T07	2	4	Idem
T08	3	2	Triple rang
T09	3	3	Idem
T10	3	4	Idem
T11	4	2	Quadruple rang
T12	4	3	Idem
T13	4	4	Idem
T14	Maïs pur	0	Culture pure
T15	0	Arachide pure	Culture pure

Source : Woomer, 2010

Collecte de données et analyse statistique

Diverses variables ont été collectées en cultures de maïs et d'arachide. Ce sont notamment le poids de l'épi principal et le rendement en grains du maïs d'une part, le nombre de gousses par plant et le rendement en grains de l'arachide d'autre part. Les données ainsi collectées ont été soumises à l'analyse de variance à l'aide du logiciel GenStat (Payne, 2007). La comparaison multiple des moyennes est le résultat du test de Scheffé au seuil $\alpha = 5\%$.

Performances agronomiques des systèmes pluri spécifiques

La performance des systèmes de cultures associées en comparaison avec des cultures pures est basée sur un critère de comparaison, calculé à partir des données de rendement. Selon Lawane et al. (2009), le Land Équivalent Ratio (LER) est le plus pertinent. Le LER, défini par Willey et Rao (1980) est égal à la superficie nécessaire pour obtenir en culture pure la même production que sur un hectare de cultures associées. Le LER pour deux cultures données (a) et (b) est chiffré comme suit :

$$LER = LER a + LER b = \frac{P_a}{P'_a} + \frac{P_b}{P'_b} \quad (1)$$

LER a et LER b étant les LER partiels des plantes (a) et (b) ;

P_a et P_b étant les rendements des plantes (a) et (b) à l'hectare en cultures associées ;

P'_a et P'_b sont les rendements des plantes (a) et (b) à l'hectare en culture pure.

Évaluation des performances économiques des systèmes de cultures associées

Au plan économique et social, les prix moyens bord champ du kilogramme de maïs et d'arachide ont été

respectivement égaux à 130 F et 345 F CFA durant la campagne 2015 (OCPV, 2015) en Côte d'Ivoire.

Variables économiques

Les prix bord champ, ci-dessus indiqués, ont servi de base au calcul des produits bruts de chacune des deux espèces associées. Les marges brutes observées intègrent l'ensemble des coûts d'opérations agricoles réalisées du semis à la récolte. L'estimation des valeurs économiques a reposé sur le calcul du coût des travaux, le produit brut, la charge brute et la marge brute. Le produit brut total est la somme des produits bruts partiels du maïs et de l'arachide, obtenue à partir de la formule suivante :

$$PB = PV_m \times P_m + PV_a \times P_a \quad (2)$$

Où PB est le produit brut total ; PV_m et PV_a sont respectivement les prix de vente du maïs et de l'arachide ; P_m et P_a sont respectivement les productions de maïs et d'arachide.

La charge brute englobe l'ensemble des dépenses relatives à l'association (semences, engrais, produits phytosanitaires) et le coût total du travail (obtenu par le produit ôté du coût de la main d'œuvre occasionnelle). La marge brute est la différence entre le produit brut et la charge brute.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Composantes de rendement du maïs en association avec l'arachide

Poids de l'épi principal de maïs

Certains plants de maïs présentent deux ou trois épis. Parmi ceux-ci, l'épi principal représente celui qui est le plus gros et par conséquent commercialisable. Le poids de l'épi principal de maïs, séché à l'air ambiant, a été compris entre 83,08 et 113,61 g avec une moyenne générale estimée à 97,9 g (tableau II). L'analyse de variance n'a pu déceler aucune différence significative ($P = 0,499$) entre les moyennes du poids de l'épi principal de maïs liées au système de culture. En d'autres termes, le système de culture n'a pu affecter le poids de l'épi principal de maïs dans le cadre de cette association maïs-arachide.

Rendement en grains du maïs

Le rendement en grains du maïs à 15 % d'humidité a varié de 0,86 à 2,39 t.ha⁻¹, respectivement, en T14 (culture pure de maïs) et T04 (système de culture à rang simple impliquant une ligne de maïs alternant avec quatre lignes d'arachide). La moyenne générale est estimée à 1,11 t.ha⁻¹ (tableau II). L'analyse de variance du rendement a mis en évidence des différences très hautement significatives ($P < 0,001$) entre les moyennes selon les systèmes de culture expérimentés. Les rendements du maïs en association avec l'arachide se répartissent en trois groupes distincts : (i) le groupe de tête ne renferme qu'un seul et unique système à savoir T04; (ii) le second groupe, celui des autres cultures pluri spécifiques englobe les treize traitements suivants, statistiquement égaux : T01, T02, T03, T04, T05, T06, T07, T08, T09, T10, T11, T12, T13; (iii) le dernier groupe, à l'instar du premier, ne renferme qu'un seul et unique objet notamment T14 c'est à dire le système de culture mono spécifique de maïs (tableau II).

C'est le groupe du témoin de référence, en d'autres termes l'itinéraire technique conventionnel de la culture pure de maïs. Il ressort de cette analyse que les rendements des associations maïs-arachide sont statistiquement supérieurs à celui de la culture pure.

Tableau II : Composantes de rendement du maïs associé à l'arachide

Traitements expérimentaux	Poids de l'épi (g)	Rendement du maïs (t.ha ⁻¹)
T01	118,7 a	1,07 b
T02	137,7 a	1,39 b
T03	151,7 a	1,36 b
T04	152,7 a	2,39 a
T05	134,8 a	1,09 b
T06	142,0 a	1,25 b
T07	143,7 a	1,52 b
T08	121,3 a	1,25 b
T09	135,3 a	1,09 b
T10	120,5 a	1,24 b
T11	125,3 a	1,06 b
T12	125,0 a	1,06 b
T13	115,8 a	1,22 b
T14	133,7 a	0,86 c
Moyenne générale	132,7	1,113
CV %	17,5	19,4
Effet système	NS	***

CV = coefficient de variation ; NS = Non significatif ; *** = significatif au seuil $\alpha = 0,1$ %

Ce résultat est conforme à ceux obtenus par Coulibaly et al.(2012) sur les associations maïs/niébé. Cette supériorité de rendement des associations culturales traduit une meilleure efficacité des mélanges pluri spécifiques pour l'utilisation des ressources du milieu (eau, lumière, nutriments dont l'azote et le phosphore). Ce résultat confirme l'intérêt tangible des systèmes pluri spécifiques dans l'amélioration de la productivité agricole (Coulibaly et al.,2012). Les performances agronomiques des cultures pluri spécifiques s'expliquent par des transferts à la céréale de l'azote fixé par la légumineuse pendant le temps de la culture associée. En effet, selon Fustec et al.(2010), l'enchevêtrement des racines des deux espèces associées est nécessaire pour favoriser les transferts d'azote entre le pois et le blé. Ainsi, de bonnes complémentarités, assurant le partage des ressources précoces et efficaces contribuent aux performances de l'association. Grâce à son système racinaire plus profond et à sa croissance plus rapide, la céréale est plus compétitive que la légumineuse pour l'utilisation de l'azote minéral du sol,"forçant"ainsi la légumineuse à dépendre davantage de l'azote atmosphérique pour sa nutrition azotée au moyen de la fixation symbiotique. Cette complémentarité de niche entre les deux espèces associées pour l'utilisation des deux sources d'azote explique en grande partie les performances couramment supérieures observées pour les associations par rapport aux cultures mono spécifiques (Pelzer et al., 2014).

Composantes de rendement de l'arachide en association avec du maïs

Nombre de gousses par plant d'arachide

Le nombre de gousses formées par plant d'arachide (var. 3-5A) en association avec le maïs a été compris entre 10,10 et 19,07 en fonction des systèmes de culture étudiés

(tableau III). L'analyse de variance a décelé des différences significatives ($P = 0,036$) entre les moyennes du nombre de gousses par plant d'arachide selon les systèmes de culture expérimentés.

Tableau III : Composantes de rendement de l'arachide en association avec du maïs

Traitements	Nombre de gousses par plant	Rendement grains (t.ha ⁻¹)
T01	13,17 b	2,73 bcd
T02	12,20 b	1,89 de
T03	13,53 b	1,33 de
T04	16,10 ab	1,28 de
T05	10,70 c	1,72 de
T06	10,70 b	1,32 de
T07	10,70 ab	1,58 de
T08	10,10 c	2,22 cde
T09	18,17 a	3,48 bc
T10	12,63 b	2,02 de
T11	13,10 b	6,65 a
T12	12,63 b	2,38cde
T13	19,07 a	3,88 b
T15	16,17ab	0,73 e
Moyenne générale	13,98	2,34
CV %	22,2	25,2
Effet système	*	***

CV = coefficient de variation ; * = significatif au seuil $\alpha = 5$ % ; *** = significatif au seuil $\alpha = 0,1$ %

Rendement en grains de l'arachide

Le rendement en grains à 14 % d'humidité de l'arachide a fluctué entre 0,73 et 6,65 t.ha⁻¹ en fonction des systèmes culturaux (tableau III). L'analyse de variance révèle des différences très hautement significatives ($P < 0,001$) entre les moyennes de cette composante arachide selon les systèmes de culture expérimentés. Les rendements en grains de l'arachide démontrent, à l'instar du rendement en grains du maïs, que les systèmes de cultures pluri spécifiques sont nettement plus performants que le système conventionnel de culture mono spécifique. L'observation des données permet de repérer trois systèmes plus intéressants vis-à-vis de la production d'arachide en grains. Ce sont : T09, T13 et T11 dont les rendements plafonnent respectivement à 3,48; 3,88 et 6,65 t.ha⁻¹ avec des écarts par rapport à la culture pure T15 de 2,75 ; 3,15 et 5,92 t.ha⁻¹, ce qui correspond à des taux d'amélioration très impressionnants respectivement évalués à 376,71 ; 431,51 et 810,96 %. De tels taux de bonification exceptionnels du rendement en grains de l'arachide en culture pluri spécifique avec le maïs pourraient constituer, à l'instar des rendements du maïs, des preuves tangibles de la performance des systèmes de cultures associées face à la culture mono spécifique et par conséquent une authentification éloquente de l'attachement indéfectible des paysans aux systèmes de cultures associées en Côte d'Ivoire (Bahan et al., 2012). Les légumineuses ont cette particularité de fixer l'azote atmosphérique et de produire des graines riches en protéines (Voisin et al., 2015). La teneur en protéines des graines de légumineuses protéagineuses varie de 23 à 42 % de matière sèche respectivement pour le pois et le soja tandis qu'elle est de l'ordre de 10-15 % pour les céréales comme le blé, même bien fertilisées en azote. Cette qualité protéique constitue

l'un des atouts majeurs des légumineuses et la spécificité des systèmes de cultures pluri spécifiques. Le rendement en protéines des légumineuses à graines est plus élevé que celui des céréales fertilisées (Voisin *et al.*, 2015).

Performances agronomiques des systèmes pluri spécifiques

Le fonctionnement et les performances des associations céréale-légumineuse dépendent fortement de la disponibilité en azote du milieu (Corre-Hellou *et al.*, 2006 ; Naudin *et al.*, 2010). Le LER (Land Equivalent Ratio) est un indicateur utilisé pour évaluer la performance relative des systèmes de cultures pluri spécifiques par rapport aux cultures mono spécifique (Willey and Rao, 1980). Dans le cadre de cette expérience, les valeurs du LER des systèmes de cultures associées ont varié de 2,02 à 3,91 respectivement pour T05 et T04 (figure 1) indiquant un très important gain de productivité oscillant entre 102 et 291 %. Ces gains, consécutifs aux cultures pluri spécifiques par rapport aux cultures mono spécifiques, s'expliquent par des relations bénéfiques de complémentarité et de facilitation entre les deux espèces associées pour l'utilisation des ressources du milieu (Louarn *et al.*, 2010 ; Talbot, 2011 ; Justes *et al.*, 2014). Nos résultats montrent que les LER des modes d'arrangements spatiaux des systèmes pluri spécifiques sont supérieurs à 1, cette valeur correspondant au LER des cultures pures de maïs et d'arachide. Ainsi le traitement T04, caractérisé par une ligne de maïs alternant avec quatre lignes d'arachide, se différencie des autres objets par le LER (3,91) le plus élevé. T04 est suivi au second rang par T13 (quatre lignes de maïs alternant avec quatre lignes d'arachide), ayant une valeur du LER de 3,42. Bien que tous les systèmes de cultures pluri spécifiques soient performants, T04 et T13 qui se confirment comme les plus compétitifs peuvent, de préférence, être recommandés au monde rural. Les associations végétales sont connues pour avoir des effets tangibles en termes de productivité, en particulier en situations contraignantes d'un point de vue du niveau de ressources disponibles dans le milieu ou d'aléas climatiques. Ces avantages des cultures associées par rapport aux cultures pures sont surtout expliqués par des relations bénéfiques de complémentarité et de facilitation entre espèces pour les ressources (Louarn *et al.*, 2010 ; Justes *et al.*, 2014). Les valeurs obtenues des LER indiquent qu'il faudrait de 2,02 à 3,91 ha de cultures mono spécifiques pour obtenir la même production qu'avec 1 ha de cultures pluri spécifiques. Les arrangements spatiaux des cultures en T04 et T13 seraient les deux systèmes les plus performants en termes de productivité et de gestion de l'espace cultural voire de protection de l'environnement.

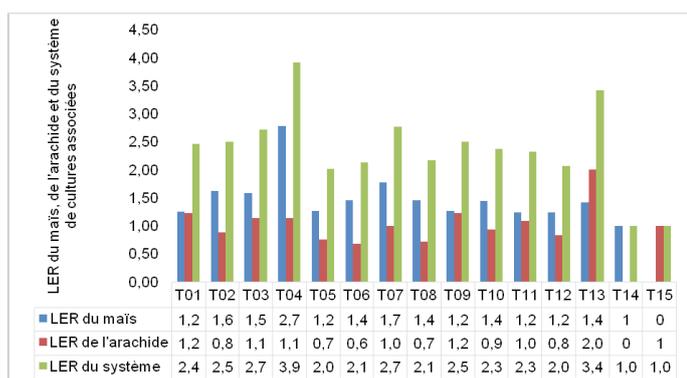


Figure 1 : LER des deux composantes de l'association (maïs, arachide) et du système de cultures multi spécifique

Performances économiques des systèmes pluri spécifiques

Le produit brut, en milliers de F CFA, du composant principal maïs de l'association a varié de 137,80 à 310,70 respectivement pour T11 et T12 d'une part et pour T04 d'autre part (figure 2). De même, le produit brut, en milliers de F CFA, de la composante arachide de l'association a fluctué entre 224,3 et 662,40 respectivement pour T06 et T13 (figure 2). Le produit brut, en milliers de F CFA, des systèmes de cultures associées a oscillé entre 386,80 et 821,00 respectivement pour T06 et T13 (figure 2). Quant à la marge brute, en milliers de F CFA, des systèmes de cultures associées, elle a varié de 332,10 à 621,00, respectivement pour T06 et T04. Par contre, le produit brut, en milliers de F CFA, de la monoculture de maïs et d'arachide s'est établi, respectivement à 111,80 et 331,20 (figure 2). Enfin, la marge brute, en milliers de F CFA, de la monoculture de maïs et d'arachide estimée, respectivement à 94,5 pour T14 et 518,40 pour T15, semble plus attractive pour la légumineuse. Ces résultats montrent bien que les produits bruts des différents modes d'arrangements spatiaux des systèmes de cultures associées sont nettement supérieurs à ceux des cultures pures de maïs et d'arachide. Cependant, en contradiction avec le LER, l'observation des marges brutes indique qu'à l'exception des deux systèmes de cultures associées T04 et T13, la monoculture d'arachide se particularise par une marge brute de 518,40 milliers de F CFA largement plus intéressante que celles de certains systèmes de cultures associées. Cette supériorité de marge de la culture pure d'arachide pourrait s'expliquer par le prix bord champ des grains d'arachide qui paraît 2,65 fois plus rentable que celui du maïs. Nos résultats confirment ceux obtenus par Coulibaly *et al.* (2012). Ces auteurs affirment que la marge brute des associations est plus élevée que la moyenne des marges brutes des cultures pures. En effet, le coût de revient des engrais minéraux importés pour satisfaire les besoins des cultures, en réduisant la marge brute, est de plus en plus intolérable par les exploitants agricoles. Divers travaux montrent que l'introduction des légumineuses dans les systèmes de culture peut permettre d'améliorer la fertilité des sols par la fixation symbiotique de l'azote de l'air (Bado, 2002) et peut devenir une alternative à l'emploi des engrais. Cependant, les avantages liés à la pratique des cultures pluri spécifiques ne se limitent pas seulement aux performances agronomiques et économiques mais s'étendent également aux performances vis-à-vis de l'environnement (Voisin *et al.*, 2015). Les valeurs du LER (figure 1) soutiennent qu'il faudrait de 2,02 à 3,91 ha de cultures mono spécifiques pour obtenir la même production qu'avec 1 ha de cultures pluri spécifiques. Les arrangements spatiaux des cultures en T04 et T13, au regard des résultats acquis, sont les deux systèmes les plus performants en termes de production et de gestion de l'espace cultural voire de protection de l'environnement. Les cultures pluri spécifiques sont donc à l'origine de nombreux avantages environnementaux.

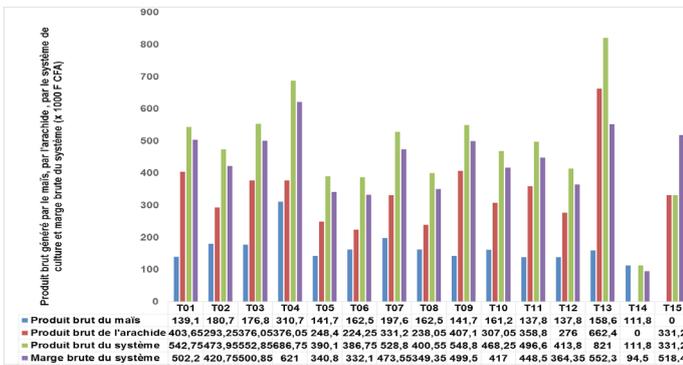


Figure 2 : Produit brut de chaque composante de l'association, du système et marge brute du système de culture.

CONCLUSION

Dans la présente étude, les valeurs du LER des systèmes de cultures associées ont varié de 2,02 à 3,91 faisant ressortir d'impressionnants gains de productivité oscillant entre 102 et 291 % par rapport à la culture pure. Ces valeurs du LER indiquent qu'il faudrait de 2,02 à 3,91 ha de cultures mono spécifiques pour obtenir la même production qu'avec 1 ha de cultures pluri spécifiques. En outre, la marge brute, en milliers de F CFA, des systèmes de cultures associées, a varié de 332,10 à 621,00, respectivement pour T06 et T04. Ces résultats authentifient clairement que des alternatives à l'utilisation des engrais minéraux ou organiques existent. La culture de légumineuses serait l'une de ces solutions : non seulement leur culture ne nécessite pas toujours un apport azoté, mais de plus, la fixation d'azote atmosphérique qu'elles garantissent rend le sol sur lequel elles poussent plus fertile pour la culture suivante. La culture de légumineuses pourrait consentir à une baisse notable de l'utilisation des engrais azotés.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AISA, 1991. Le développement agro-pastoral et agro-industriel du nord de la Côte-d'Ivoire: cas des départements de Korhogo, Boundiali, Ferkessedougou, Abidjan, 133 p.

Bado B.V., 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéennes et soudanienne du Burkina Faso. Mémoire de thèse. Ph. D. Université Laval, Québec (Canada), 184 p.

Baldy C. et Stigter C. J., 1993. Agro météorologie des cultures multiples en régions chaudes. INRA (Ed). Paris, France, 245 p.

Bahan F., Kéli J., Yao-Kouamé A., Gbakatché H., Mahyao A., Bouet A., et Camara M., 2012. Caractérisation des associations culturales à base de riz (*Oryzasp*) : cas du Centre-Ouest forestier de la Côte d'Ivoire. J. Appl. Biosci. 56, 4118-4132.

Beauval V., 2013. Présentation des cultures associées dans les agricultures africaines. Cotonou, p. 5.

Bedoussac L., Justes E., 2010a. The efficiency of a durum wheat-winter pea intercrop to improve yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth. Plant and Soil 330, 19-35.

Beninga M. B., 2014. Diagnostic des systèmes de culture

à base de mil [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] en Côte d'Ivoire et perspectives d'amélioration. J. Appl. Biosci. 79, 6878-6886.

Corre-Hellou G., Fustec J. and Crozat Y., 2006. Interspecific Competition for Soil N and its Interaction with N₂ Fixation, Leaf Expansion and Crop Growth in Pea-Barley Intercrops. Plant Soil 282,195-208.

Corre-Hellou G., Bédoussac L., Bousseau D., Chaigne G., Chataigner C., Celette F., Cohan J.P., Coutard J.P., Emile J.C., Floriot M., Foissy D., Guibert S., Hemptinne J.L., Le Breton M., Lecompte C., Marceau C., Mazoué F., Mérot E., Métivier T., Morand P., Naudin C., Omon B., Pambou I., Pelzer E., Prieur L., Rambaut G. et Tauvel O., 2013. Associations céréale-légumineuse multi-services. Innovations Agronomiques 30, 41-57.

Coulibaly K., E. Vall, P. Autfray et Sedogo P. M., 2012. Performance technico-économique des associations maïs/niébé et maïs/mucuna en situation réelle de culture au Burkina Faso : potentiels et contraintes. Tropicicultura 30, 3, 147-154

Danhartigh C. et Metayer N., 2015. Diagnostic des filières de légumineuses à destination de l'alimentation humaine en France. Intérêt environnemental et perspectives de développement. 53 p. <http://redirect.hp.com/svs/rdr>.

Duc G., Mignolet C., Carrouée B., Huyghe C., 2010. Importance économique passée et présente des légumineuses : rôle historique dans les assolements et facteurs d'évolution. Innovations agronomiques 11, 1-24.

Fustec J., Lesuffleur F., Mahieu S and Cliquet J. B., 2010. Nitrogenrhizodeposition of legumes. A review. Agron. Sustain. Dev. 30, 57-66

Hinsinger P., 2012. Les cultures associées céréales/légumineuses en agriculture "bas intrants" dans le Sud de la France. Projet PerfCom. Peuplements complexes en agricultures bas intrants. 27 p. <http://www6.montpellier.inra.fr/systerra-perfcom>.

Justes E., Bedoussac L., Corre-Hellou G., Fustec J., Hinsinger P., Jeuffroy M.H., Journet E.P., Louarn G., Naudin C. et Pelzer E., 2014. Les processus de complémentarité de niche et de facilitation déterminant le fonctionnement des associations végétales et leur efficacité pour l'acquisition des ressources abiotiques. Innovations Agronomiques, 40, 1-24.

Kergna A. O., 2001 - Evaluation économique de l'impact de la recherche sur le niébé au Mali. Rapport provisoire. Ministère du Développement Rural. République du Mali, 22 p.

Lawane G., Sougnabe S. P., Landzemo V., Gnokreo F., Djimasbehe N. et Ndoutamia G. 2009. Efficacité de l'association des céréales et du niébé pour la production de grains et la lutte contre le *Strigahermonthica* (Del.). In : Savanes africaines en développement : innover pour durer. (Ed : Seiny-Boubacar L., Boumard P. 2010. Actes du colloque du 20-23/04/2009. Garoua, Cameroun. 8 p.

Louarn G., Corre-Hellou G., Fustec J., Lô-Pelzer E., Julier B., Litrico I., Hinsinger P., Lecomte C., 2010. Déterminants

- écologiques et physiologiques de la productivité et de la stabilité des associations graminées-légumineuses. *Innovations Agronomiques*, 11, 79-99.
- Naudin C., Corre-Hellou G., Pineau S., Crozat Y., Jeuffroy M. H., 2010. The effect of various dynamics of N availability on winter pea-wheat intercrops: Crop growth, N partitioning and symbiotic N₂ fixation. *Field Crops Research*, 119, 2-11.
- OCPV, 2015. Les nouvelles des prix agricoles. Bulletin sur le marché du maïs. <http://nouvellesdesprixagricoles.blogspot.com>. Consulté chaque mois en 2015.
- Ouédraogo S., 2003. Impact économique des variétés améliorées du niébé sur les revenus des exploitations agricoles du plateau central du Burkina Faso. *Tropicicultura*, 21, 4, 204-210.
- Payne R., 2007. A guide to Anova and Design. GenStat Discovery, Nairobi (Kenya), ICRAF, 113 p.
- Pelzer E., Bedoussac L., Corre-Hellou G., Jeuffroy M. H., Métivier T., Naudin C., 2014 Association de cultures annuelles combinant une légumineuse et une céréale : retours d'expériences d'agriculteurs et analyse. *Innovations Agronomiques*, INRA, 40, 73-91.
- Péné C. B., Koulibaly S. G., 2011. Sugarcane yield variations in northern and central Ivory Coast as influenced by soil water balance over two critical growth stages. *Journal of Agricultural Science and Technology* 5 (2 serial n°33), 5, 2, 220-225
- Revellin C., 2011. Les symbioses fixatrices d'azote. INRA Dijon, 5.p. <http://www.rhizobia.co.nz/taxonomy/rhizobia.html>
- Talbot G., 2011. L'intégration spatiale et temporelle du partage des ressources dans un système agroforestier noyers-céréales : une clef pour en comprendre la productivité ? *Ecosystèmes. Thèse de Doctorat. Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc*, 281 p.
- Tonneau J. P., J. Rufino de Aquino, Teixeira O. A., 2005. Modernisation de l'agriculture familiale et exclusion. Le dilemme des politiques agricoles. *Cahiers Agricultures* vol. 14, 1, 30-34.
- Voisin A. S., Cellier P., et Jeuffroy M. H., 2015. Fonctionnement de la symbiose fixatrice de N₂ des légumineuses à graines : impacts agronomiques et environnementaux. *Innovations Agronomiques*, 43, 139-160.
- Willey R.W., 1979. Intercropping - its importance and research needs. 1. Competition and yield advantages. *Field Crops Abstracts*, 32, 1-10.
- Willey R.W., Rao M.R., 1980. A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. *Exploration agricole*, 16, 117-125.
- Woomer P. L., 2010. Fixation biologique de l'azote et entreprise de légumineuse à graine : directives des maîtres fermiers pour N2Africa. *Tropical Soil Biology and Fertility Institute of the International Centre for Tropical Agriculture*. Nairobi, 17 p.
- Yama S., Castellanet C., Alpha A., 2007. Revue de la littérature sur les agricultures familiales, des « classiques » à aujourd'hui quels sont les arguments pro et contre les agricultures familiales, Document de travail interne GRET, 254 p.
- Zoro Bi G. F., Yao-Kouamé A. et Kouamé K. F., 2012. Evaluation statistique et spatiale de la fertilité des sols hydromorphes (gleysols) de la région du Béliér (Côte d'Ivoire). *Tropicicultura*, 30, 236-242