

Effet additif des légumineuses des systèmes multi-espèces sur la productivité du maïs, la fertilité des terres surexploitées et la rentabilité économique

[Additive effect of legumes in multi-species systems on maize productivity, fertility of overcultivated land and economic profitability]

Fofana Ben Ibrahima, Dominique Kadio Koua, Ediman Théodore Anicet Ebou, and Yao Casimir Brou

Laboratoire de Biotechnologies Végétale et Microbienne, UMRI 28-Sciences Agronomiques et Génie Rural, BP 1093
Yamoussoukro, Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The overexploitation of arable land has led to a decline in crop productivity in Côte d'Ivoire. In a context of scarcity of arable land, the search for innovative farming systems seems to be essential. This study was conducted in the Gôh region using a completely randomized block design to assess the effects of maize-legume associations on maize growth and productivity, profitability, and soil fertility restoration. Plantings were conducted at the same date for three cycles. The results showed that the maize-bean and maize-cowpea multispecies systems practiced on overexploited plots significantly improved the parameters: maize yields between the second and third year compared to maize simple crop and productivity evaluation and competitiveness. The total value of yield index (IER) and maize equivalent yield (MEY), concluded that even when poorly exploited, the maize-cowpea association was more profitable than purely cultivated maize. Chemical parameters were not significantly different. However, despite the use of minerals by the plants, the mineral contents remained the same or even high compared to the initial value. Multispecies systems are therefore a solution because they provide stable and sustainable yields and good profitability.

KEYWORDS: Multispecies system, productivity, competitiveness, monospecific crop, profitability, fertility, legume, maize.

RESUME: La surexploitation des terres cultivables a entraîné une baisse de la productivité des cultures en Côte d'Ivoire. Dans un contexte de rareté des terres cultivables, la recherche de systèmes agraires innovants semble primordiale. Cette étude conduite suivant une association culturale en lignes alternées a été menée dans la région du Gôh selon un dispositif en blocs aléatoires complètement randomisés, afin d'apprécier les effets des associations maïs-légumineuses sur la croissance et la productivité du maïs, la rentabilité, et la restauration de la fertilité du sol. Les semis ont été réalisés à la même date, pendant trois cycles. Les résultats ont montré que les systèmes plurispécifiques maïs-haricot et maïs-arachide pratiqués sur des parcelles surexploitées ont amélioré significativement les paramètres: de rendements maïs entre la deuxième et la troisième année par rapport à la culture pure, d'évaluation de productivité et de compétitivité. Les indices de la valeur totale du rendement (IER) et le rendement en maïs équivalent (MEY) ont permis de conclure que même mal exploité, l'association maïs-niébé a été plus rentable que les maïs en culture pure. Les paramètres chimiques n'ont pas été significativement différents. Cependant, malgré l'utilisation des minéraux par les plantes, les teneurs des minéraux sont restées identiques voire élevées par rapport à la valeur initiale. Les systèmes plurispécifiques sont donc une solution car ils fournissent des rendements stables et durables, et une bonne rentabilité.

MOTS-CLEFS: Plurispécifique, productivité, compétitivité, monospécifique, rentabilité, fertilité, Légumineuse, maïs.

1 INTRODUCTION

La forte croissance démographique dans les pays de l'Afrique subsaharienne a engendré une augmentation de la demande alimentaire. Selon une équipe de l'université de l'Illinois (2012) le rendement d'une culture continue de maïs diminuait de 2 à 30 % par rapport à celui d'une culture rotative de maïs-soja sur les mêmes périodes et cela malgré l'augmentation de la superficie agricole [1]. D'autres études ont montré que le rendement du maïs a baissé de 2,3 % à 1,9 % de 1990 à 2007 et de 24,6% par rapport à 2021 [2], [3]. Ainsi, l'agriculture intensive qui nécessite des intrants coûteux et la recherche de nouvelles terres fertiles semblent être la solution à cette problématique. Cependant elles exercent une pression néfaste sur l'écosystème par l'accroissement de la dégradation et la diminution de la fertilité des sols [4], [5]. Ces situations sont à l'origine d'une baisse continue de la productivité des cultures [6], [7]. Dès lors, les associations culturales qui impliquent des légumineuses apparaissent comme une alternative agroécologique pour la restauration de la fertilité des sols agricoles et l'accroissement des rendements et de la rentabilité. En réalité, les associations culturales sont pratiquées depuis l'aube de l'agriculture, mais elles ont progressivement disparu avec l'intensification durant le 20^e siècle, au profit des systèmes fondés sur des peuplements cultivés mono spécifiques [8]. Ces dernières années, l'utilisation d'intrants a permis d'accroître la productivité agricole. Malheureusement, certains intrants tels que l'azote (N) et le phosphore (P), subissent des pertes qui entraînent la pollution des nappes phréatiques, l'émission des gaz à effet de serre, l'eutrophisation des eaux de surface,... [9], [10]. Ces systèmes (*monospécifique, utilisation d'intrants...*) sont remis en cause aujourd'hui, avec l'émergence des préoccupations d'améliorer les facteurs de production, de préserver l'environnement et la biodiversité [8]. En vue de minimiser ces impacts négatifs sur l'environnement, tout en maintenant la productivité haute et stable, il est indispensable de développer des innovations destinées à l'intensification écologique des agrosystèmes [9], [10]. Un regain d'intérêt est alors observé pour les associations céréales-légumineuses qui pourraient être une piste pour une agriculture conciliant productivité, qualité et réduction des intrants. Le nombre de plantes associées par unité de surface chez le paysan varie de 2 à 7 [11], [12]. Ces associations opérées souvent au hasard, ne tiennent compte d'aucun critère spécifique visant une association génératrice de bénéfices réciproques, alors qu'une bonne exploitation de cette technique agricole pourrait être à l'origine d'une productivité durable et conséquemment, de l'autosuffisance et de la sécurité alimentaire. La présente étude a pour objectif d'évaluer la productivité du maïs suivant deux itinéraires (monospécifique et plurispécifique) impliquant trois légumineuses alimentaires répandues dans la région du Gôh, au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, afin d'évaluer les effets de ces associations sur les paramètres agromorphologiques du maïs, les paramètres d'évaluation de la productivité et de compétitivité des associations culturales, sur la rentabilité et la restauration de la fertilité du sol.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 LE SITE D'ÉTUDE

L'expérimentation a été conduite dans le village de Barouho, un quartier de la commune de Gagnoa (entre 5° 40 et 6° 10 N et 5° 50 et 6° 10 O) [13]. Les sols observés sont des ferrisols [14]. Le climat de la région de Gagnoa est de type subéquatorial à faciès attiéen. Le régime pluviométrique est bimodal. L'hygrométrie moyenne est de 77,9 %. L'écart moyen des températures varie 2,5°C à 4,3°C [13]. La végétation de Gagnoa appartient au domaine Guinéen, principalement au secteur mésophile [13].

2.2 MATÉRIELS ET LA CONDUITE DE L'EXPÉRIMENTATION

Le matériel végétal de cette étude est constitué de la variété de maïs KEJ à cycle court (*75 jours*) dont les grains sont jaunes. La variété contender de haricot nain. Il s'agit d'une variété dont le cycle semis-récolte est en moyenne de 50 à 60 jours et les grains sont volumineux et marrons. La variété de niébé KVX775-33-2G dont les grains ont une couleur blanche. La durée du cycle est de 90 jours. Enfin, la variété d'arachide 3-5A dont le cycle végétatif est de 90 jours. La parcelle utilisée dans le cadre de cette étude est une jachère de moins d'un an ayant des précédents culturaux manioc et abandonnée après un constat de la baisse considérable du rendement du manioc. Dans le cadre de cette étude qui associait le maïs aux différentes légumineuses ci-dessus, aucun fertilisant minéral ni organique n'a été apporté. Le Viper 46 BC (*m. a. Acétamipride 16 g/L + Indoxacarbe 30 g/L*) à la dose de 1 L/ha a été utilisé pour le contrôle des insectes ravageurs (*chenilles, mouches, pucerons, etc.*). Ce produit a été utilisé dès que les premières feuilles des plantes ont été dévorées par les insectes.

2.3 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

L'essai a été mis en place selon un dispositif en blocs aléatoires complètement randomisés avec trois (3) répétitions. Chaque bloc comporte 7 parcelles élémentaires de surface 16 m² (4m X 4m) qui portent les cultures. L'arrangement spatial du maïs et des légumineuses dans l'association est constitué de lignes alternées de maïs et de la légumineuse considérée (figure 1). Les

semis ont été effectués à la même date à une profondeur d'environ 3 à 4 cm, à raison de 2 à 4 grains par poquet selon l'espèce. Après la germination des graines, l'entretien des sous-parcelles tout le long de l'essai a été fait manuellement.

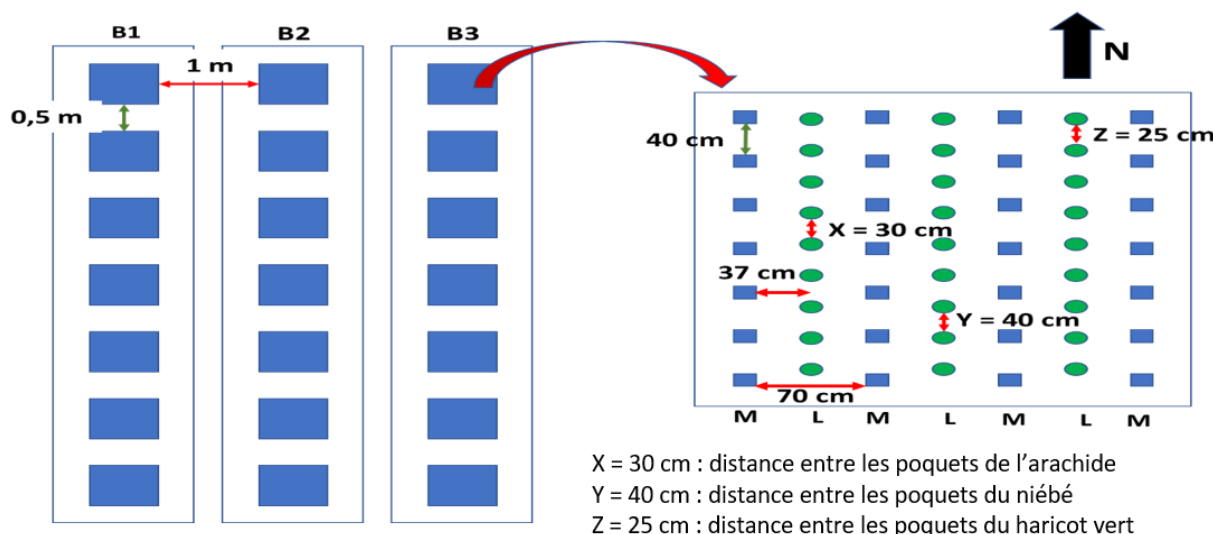


Fig. 1. Dispositif expérimental montrant l'espacement spatial et les distances entre poquets

2.4 COLLECTE DES DONNÉES ET ANALYSE STATISTIQUE

Des échantillons composites de sols ont été prélevés à l'aide d'un tube à échantillonnage adapté, à une profondeur de 15 cm par la méthode des diagonales. Cette méthode consiste à prélever les échantillons sur les diagonales et entre les mailles afin d'avoir un échantillon homogène représentatif de la parcelle. Ces échantillons ont été séchés à l'ombre, débarrassés des impuretés, tamisés, puis stockés dans des plastiques étiquetés. Ensuite ils ont été acheminés au laboratoire des sols de l'École Supérieure d'Agronomie de Yamoussoukro (ESA) pour analyse de paramètres chimiques (Ph, Nt, C, Pass, CEC, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+). Cette opération a été effectuée avant les essais et après récoltes.

Divers paramètres ont été collectés au cours de cette étude sur les parcelles élémentaires contenant différentes techniques de culture du maïs. Ainsi par la méthode du carré de rendement, nous avons mesuré: la hauteur des plantes; le poids moyen des grains d'épi de maïs; le rendement en grains de maïs et à partir de ce dernier, nous avons obtenu le poids de mille grains de maïs. D'autres données ont été déterminées à partir de celles collectées. Ces données sont:

- Le taux de surface équivalente (*LER*) qui a été défini par [15] indique la superficie nécessaire pour obtenir en culture pure, la même production que les cultures associées [16]. Ce paramètre supérieur à 1, indique si les associations culturales sont avantageuses [17].
- Le taux de surface équivalente par unité de temps (*ATER*). Ce paramètre a été utilisé par [18], quand il a fait intervenir des espèces de cycles biologiques très différent. Lorsque $\text{ATER} > 1$, cela signifie que les rendements des associations ne sont pas affectés par la différence de durée de cycle entre les espèces en association par rapport à celle des cultures pures [19], [17].
- Le taux de compétitivité (*CR*) a été introduit comme indicateur d'évaluation de la compétition entre les espèces en association par [20] cité par [21]. Un *CR* du maïs supérieur à 1, indique la supériorité du maïs dans la compétition avec la légumineuse [17].
- Les indices de la valeur totale du rendement (*IER*) sont obtenus par la somme des produits de chaque rendement moyen des cultures associées par son prix sur le marché par rapport au rendement moyens des cultures pures maïs correspondantes [22].
- Les rendements en maïs équivalent (*MEY*). Cet indice est calculé à partir des rendements moyens des cultures associées et pures et des prix des légumineuses et du maïs [22].

Les données obtenues ont été soumises à une analyse multiple de la variance (MANOVA). Cette analyse nous a permis de vérifier si les différentes données de chaque paramètre étaient significativement différentes aux seuils de 5%, afin de poursuivre l'analyse statistique. Lorsque la différence était significative, nous utilisons le test de comparaison multiple des moyennes du test de student au seuil $\alpha = 5\%$ du logiciel statistique Gnuméric (version 1.10.16). Cette deuxième étape de l'analyse statistique a permis d'obtenir les groupes homogènes dégagés par chaque paramètre, permettant ainsi une classification au sein de chaque paramètre étudié.

3 RESULTATS

L'objectif de notre article est de montrer les effets de l'introduction de trois légumineuses alimentaires dans les systèmes de cultures incluant le maïs sur la productivité du maïs et aussi sur la fertilité du sol. Pour répondre à cette problématique, nous avons vérifié l'impact de l'addition des légumineuses sur la croissance et la productivité du maïs, sur des paramètres d'évaluation de la productivité et de la compétitivité des associations, sur des paramètres chimiques du sol et sur la rentabilité économique pour le paysan. Les résultats obtenus sont consignés dans les tableaux ci-après.

3.1 EFFETS ANNÉES DES SYSTÈMES DE CULTURES MONOSPÉCIFIQUES ET PLURISPÉCIFIQUES SUR LA CROISSANCE ET LA PRODUCTIVITÉ DU MAÏS

3.1.1 HAUTEURS DU MAÏS

L'analyse multiple de la variance a montré une différence hautement significative ($p < 0,05$) entre les hauteurs du maïs pour les systèmes de culture maïs pur (témoins) et le système de culture maïs associé au niébé au cours des trois années tandis que pour les systèmes qui associent le maïs au haricot et à l'arachide les différences entre les hauteurs du maïs n'ont pas été significatives (tableau 1).

Les résultats ont montré une chute des hauteurs du maïs dans les systèmes de cultures monospécifiques maïs seul (témoin) et plurispécifiques maïs-niébé (Manie) respectivement à partir de la deuxième et troisième année de 176 cm à 165 cm et de 173 cm à 66 cm. Tandis que les systèmes de culture plurispécifique maïs-haricot (Mahar) et maïs-arachide (Maara) ont stabilisé les hauteurs du maïs respectivement en moyennes à 183 cm et à 178 cm au cours des trois années (tableau 1).

Tableau 1. Effets années sur les hauteurs du maïs en culture seule et en cultures associées aux légumineuses

Effet année/paramètres	Hauteur maïs (Seul)	Hauteur maïs (Manie)	Hauteur maïs (Mahar)	Hauteur maïs (Maara)
Année 1	176,73 a	158,13 b	184,06 a	186,6 a
Année 2	165,05 b	173,20 a	184,53 a	178,6 a
Année 3	166,93 b	66,66 c	180,93 a	169,06 a
Écartype	5,81	50,07	2,59	9,21
$p < \alpha = 0,05$	0,0077	$1,92e^{-07}$	0,127	0,102
Significativité	***	***	NS	NS

*** très hautement significatif; NS: non significatif, les lettres identiques dans la même colonne indiquent que les moyennes des hauteurs du maïs ne sont pas significativement différentes alors que les lettres différentes indiquent le contraire. Manie = maïs + niébé; Mahar = maïs + haricot; Maara = maïs + arachide; Seul = maïs en culture pure

3.1.2 LE POIDS MOYEN DES GRAINS D'UN ÉPI DE MAÏS

L'analyse multiple de la variance a montré une différence hautement significative ($p < 0,05$) entre les poids des grains d'épi du maïs pour tous les systèmes de culture au cours des trois années (tableau 2).

Les résultats ont montré une baisse significative du poids des grains d'épi de maïs pour les systèmes de culture monospécifiques maïs pur et plurispécifiques maïs-niébé (manie) respectivement à la deuxième année de 38 g à 33 g et à la troisième année de 42 g à 30 g. Tandis que l'effet contraire est observé avec les systèmes de cultures plurispécifiques maïs-haricot et maïs-arachide qui ont vu le poids grains épi augmenté significativement à partir de la troisième année respectivement de 49 g à 54 g et de 43 g à 52 g (tableau 2).

Tableau 2. Effets années sur le poids grains épi du maïs en culture seule et en cultures associées aux légumineuses

Effet année/paramètres	Poids grains épi maïs (Seul)	Poids grains épi maïs (Manie)	Poids grains épi maïs (Mahar)	Poids grains épi Maïs (Maara)
Année 1	38,50 a	38,13 b	45,73 b	39 b
Année 2	33,20 b	42,33 a	49,06 b	43 ab
Année 3	32,93 b	30,33 c	54,93 a	52 a
Écartype	2,83	9,48	4,46	5,85
p < α= 0,05	0,0005	8,8 e ⁻⁰⁸	0,006	0,005
Significativité	***	***	***	***

*** très hautement significatif, les lettres identiques dans la même colonne indiquent que les moyennes des poids grains épi de maïs ne sont pas significativement différents alors que les lettres différentes indiquent le contraire. Manie = maïs + niébé; Mahar = maïs + haricot; Maara = maïs + arachide; Seul = maïs en culture pure

3.1.3 LE POIDS DE MILLE GRAINS DE MAÏS

L'analyse multiple de la variance a montré une différence hautement significative ($p < 0,05$) entre les poids de mille grains de maïs des différents systèmes de culture à l'exception de la culture maïs pure au cours des trois années (tableau 3).

Les systèmes de cultures plurispécifiques maïs-haricot, maïs-arachides et maïs-niébé ont amélioré significativement les poids de mille grains de maïs à partir de la deuxième année, respectivement de 174 g à 222 g; 166 g à 229 g; 173 g à 206 g. Ces résultats ont été confirmés à la troisième année. Par contre le système de culture monospécifique maïs pur (témoin) a montré une baisse significative du poids de mille grains à partir de la deuxième année de 178 g à 155 g (tableau 3).

Tableau 3. Effets années sur le poids mille grains de maïs en culture seule et en cultures associées aux légumineuses

Effet année/paramètres	Poids mille grains maïs (Seul)	Poids mille grains maïs (Manie)	Poids mille grains maïs (Mahar)	Poids mille grains maïs (Maara)
Année 1	178,66 a	173 c	174 c	166,66 c
Année 2	155,33 b	206 b	222,33 b	229,33 b
Année 3	169,33 b	248 a	287,66 a	267,33 a
Écartype	16,91	33,57	52,21	62,67
p < α= 0,05	0,240	0,0002	0,0011	0,007
Significativité	NS	***	***	***

*** très hautement significatif, NS: non significatif, les lettres identiques dans la même colonne indiquent que les moyennes les poids mille grains de maïs ne sont pas significativement différents alors que les lettres différentes indiquent le contraire. Manie = maïs + niébé; Mahar = maïs + haricot; Maara = maïs + arachide; Seul = maïs en culture pure

3.1.4 RENDEMENTS GRAINS DE MAÏS

L'analyse multiple de la variance a montré des différences hautement significatives ($p < 0,05$) entre les rendements grains de maïs pour tous les systèmes de cultures (monospécifique et plurispécifique) au cours des trois années (tableau 4).

Les résultats ont montré une baisse significative des rendements grains de maïs dans les systèmes de culture monospécifique maïs seul et plurispécifique maïs-niébé (manie) respectivement à partir de la deuxième année de 2890 kg à 2495 kg et à partir de la troisième année de 3174 kg à 2275 kg. Cependant les rendements grains ont été améliorés dans les systèmes cultures plurispécifiques maïs-haricot (mahar) et maïs-arachides (manie) à partir de la troisième année (tableau 4).

Il ressort que le système de culture monospécifique maïs-pur a fait baisser la croissance et la productivité du maïs, tandis que les systèmes de culture plurispécifique maïs-haricot et maïs-arachide ont amélioré significativement la croissance et la productivité du maïs, à l'exception du système plurispécifique maïs-niébé (tableau 4).

Tableau 4. Effets années sur le rendement grains de maïs en culture seule et en cultures associées aux légumineuses

Effet année/paramètres	Rendement grains maïs (Seul)	Rendement grains Maïs (Manie)	Rendement grains maïs (Mahar)	Rendement grains maïs (Maara)
Année 1	2890 a	2860 a	3430 b	2990 b
Année 2	2495 b	3174,75 a	3680 b	3230 b
Année 3	2450 b	2275 b	4190 a	3865 a
Écartype	213,46	295,69	377,5	404
p < $\alpha = 0,05$	0,0005	0,019	0,009	0,002
Significativité	***	**	***	***

*** très hautement significatif, **: hautement significatif, les lettres identiques dans la même colonne indiquent que les moyennes des rendements grains de maïs ne sont pas significativement différents alors que les lettres différentes indiquent le contraire. Manie = maïs + niébé; Mahar = maïs + haricot; Maara = maïs + arachide; Seul = maïs en culture pure

3.2 EFFETS DE L'INTRODUCTION DES LÉGUMINEUSES SUR LA CROISSANCE, LA PRODUCTIVITÉ ET LA COMPÉTITIVITÉ

3.2.1 EFFETS DES LÉGUMINEUSES SUR LA CROISSANCE ET LA PRODUCTIVITÉ

L'analyse multiple de la variance a montré des différences hautement significatives entre les moyennes des paramètres de croissance et de productivité du maïs (agro-morphologiques) des différents systèmes de culture (tableau 5).

Les résultats ont montré que les associations plurispécifiques maïs-haricot et maïs-arachides à l'exception du maïs-niébé ont amélioré significativement la hauteur, le poids grains épi, le poids mille grains et le rendement grains du maïs par rapport à la culture monospécifique maïs seul (témoin). Ces résultats ne nous pas permis de départager véritablement la culture plurispécifique maïs-niébé de la culture maïs pure. Cependant, le haricot a été plus efficace que l'arachide au niveau des poids grains épi et le rendement grain de maïs (tableau 5).

3.2.2 EFFETS DES LÉGUMINEUSES SUR LA COMPÉTITIVITÉ DU MAÏS

L'analyse multiple de la variance a aussi montré des différences hautement significatives entre les moyennes des critères d'évaluation de la productivité et de compétitivité des associations (ler; ater; cr) des différents systèmes de cultures (tableau 5).

Ces résultats ont montré des taux de surface équivalent (ler) supérieur à 1 pour toutes les associations culturales. Cela indique une meilleure gestion des surfaces et des rendements par les associations par rapport à la culture pure. Les taux de surface équivalent par unité de temps (ater) ont été aussi supérieur à 1 pour toutes les associations. Cela signifie que la différence de durée d'occupation des parcelles entre les espèces en association n'a eu aucun effet négatif sur les rendements. Le taux de compétitivité (Cr) a été supérieur à 1. Cela signifie que le maïs a été plus compétitif pour les ressources que la légumineuse dans les associations. Ce dernier critère est très intéressant dans le choix des légumineuses à associées au maïs pour un bon rendement du maïs. Plus le Cr est grand moins la légumineuse est compétitive. Cependant, le haricot a été plus efficace dans les associations avec le maïs que les autres légumineuses (tableau 5).

Tableau 5. Effets associations sur les paramètres agro-morphologiques et d'évaluation de la productivité et de compétitivité

Traitement/paramètres	Hauteur	Poids grain épi	Poids mille grains	Rendement grains	LER	ATER	CR
Maïs seul	170,7 c	34,91 c	162 c	2692 d	1 d	1 d	1 b
Maïs + arachides	182,3 a	45,06 b	221 a	3110 b	1,63 b	1,48 c	2,78 a
Maïs + haricot	184,6 a	49,91 a	228 a	3555 a	1,78 a	1,92 a	3,08 a
Maïs + niébé	165,6 d	34,04 d	209 ab	2860 c	1,54 c	1,58 b	2,77 a
P. value < $\alpha = 0,05$	1,65e ⁻¹⁸	2,97e ⁻¹⁷	4,83e ⁻⁰⁸	4,94e ⁻¹⁵	2,42e ⁻¹⁸	2,55 e ⁻²⁰	5,5e ⁻⁰⁸
Significativité	***	***	***	***	***	***	***

***: très hautement significatif, les lettres identiques dans la même colonne indiquent que les moyennes des poids grains d'épi du maïs ne sont pas significativement différents alors que les lettres différentes indiquent le contraire

3.3 EFFETS DES SYSTÈMES MONOSPÉCIFIQUES ET PLURISPÉCIFIQUES SUR LA FERTILITÉ DES PARCELLES

Les résultats relatifs à l'évolution des paramètres chimiques du sol des sous parcelles sont consignés dans le tableau 5 ci-dessous.

L'analyse multiple de la variance a montré que les différences entre les paramètres chimiques des parcelles n'ont pas été significative ($p > 0,05$) (tableau 6). Cependant, la comparaison des données des minéraux essentiels (azote (N), phosphore (P) et le potassium (K)), par rapport à la valeur initiale (valeur d'avant début des essais) a montré des tendances au cours des trois années par rapport à la valeur initiale (tableau 7).

Tableau 6. Comparaison des paramètres chimiques du sol entre les cultures

Traitements	PH	MO	C%	Nt%	C/N	P. assi (mg /kg)	CEC	Ca ²⁺ C.mol.kg1	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
Maïs pur	6,23	2,774	1,61	0,137	11,66	45,666	8,166	1,96	9,46	1,7	0,69
Mahar	6,26	2,619	1,52	0,134	12,2	48,666	7,946	1,93	9,57	1,26	0,59
Maara	5,9	2,648	1,54	0,139	11,75	50,33	8,4	1; 93	8,753	1,52	1,63
Manie	6,23	2,774	1,61	0,130	13	49,666	8,64	2,06	10,043	1,19	1,266
Val initial	6,2	2,88	1,68	0,12	14	67	10,56	2,43	0,704	0,099	0,034
p<0,05	0,0701	0,4546	0,913	0,893	0,099	0,7354	0,2442	0,9914	0,6459	0,4547	0,5293
Significativité	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Ns: non significatif, MO: matière organique, C: carbone; N: azote, Passi: phosphore assimilable;

Au niveau de l'azote (N), le système monospécifique maïs pur a connu une amélioration de l'azote les deux premières années (0,15 et 0,16) avant de chuter à 0,10 à la troisième année en dessous de la valeur initiale (0,12). Par contre les systèmes plurispécifiques maïs-haricot, maïs-arachide et maïs-niébé, bien qu'avec un taux d'azote faible les deux premières années ont pu améliorer ce taux la troisième année respectivement à 0,18, 0,15, 0,14 et le rendre supérieur à la valeur initiale (0,12) (tableau 7). Tous les systèmes de cultures monospécifique et plurispécifique ont amélioré le potassium (k) à la troisième année par rapport à la valeur initiale, cependant nous avons observé l'effet contraire sur le phosphate assimilable.

Tableau 7. Evolution des minéraux essentiels indispensables au développement du maïs

Trait /ME	AZOTE (N)				PHOSPHORE (P)				POTASSIUM (k)			
	An 0	An 1	An2	An3	An 0	An1	An2	An3	An 0	An1	An2	An3
Maïs pur	0,12	0,15	0,16	0,10	67	71	32	34	0,099	0,120	0,138	0,147
Mahar		0,12	0,10	0,18		73	39	34		0,093	0,08	0,129
Maara		0,13	0,13	0,15		69	37	45		0,094	0,146	0,130
Manie		0,15	0,10	0,14		67	47	35		0,103	0,087	0,108

An: année; trait: traitement; ME: minéraux essentiels

3.4 EFFETS DES SYSTÈMES DE CULTURES MONOSPÉCIFIQUES ET PLURISPÉCIFIQUES SUR LA RENTABILITÉ

La rentabilité économique des systèmes de culture a été évaluée par l'indice de la valeur totale du rendement (IER) et les rendements en maïs équivalent (MEY). Les résultats sont consignés dans les tableaux ci-dessous.

3.4.1 EFFETS DES SYSTÈMES SUR L'INDICE DE LA VALEUR TOTALE (IER)

Les analyses statistiques n'ont pas été réalisées car ces valeurs ont été obtenues à partir de données qui ont déjà été analysées statistiquement.

Les résultats ont montré des IER > 1 pour toutes les associations. Cela signifie que les associations maïs-haricot, maïs-arachide et maïs-niébé sont plus rentable économiquement par rapport au maïs en culture pure (tableau 8). A partir de cet indice, nous pouvons constater que malgré sa mauvaise influence sur le maïs en association, l'association maïs-niébé (IER>1)

est plus rentable pour le paysan par rapport à la culture pure de maïs. Cependant pour rendre encore cette rentabilité plus parlante, nous avons déterminé l'équivalent du rendement de la légumineuse dans l'association en rendement de maïs que nous avons ajouté au rendement du maïs associé (tableau 9).

Tableau 8. *Indice de la valeur totale du rendement (IER) des associations maïs-légumineuses en fonction de leur prix sur le marché en côte d'ivoire*

Association	IER Niébé 700 f/ Kg	IER Haricot 1400 f/ Kg	IER Arachide 800/Kg
Année 1	1,37	1,59	1,81
Année 2	1,93	1,88	1,61
Année 3	1,81	2,15	1,91
Moy (IER)	1,70	1,87	1,77

3.4.2 EFFET DES SYSTÈMES SUR LE RENDEMENT EN MAÏS ÉQUIVALENT (MEY)

Aucune analyse statistique n'est effectuée à partir du MEY, car il exprime la rentabilité des cultures en rendement de maïs pur, et est calculé à partir de valeurs moyennes déjà analysées au préalable.

Les résultats ont montré que tous les rendements en maïs équivalent (MEY) sont largement supérieurs par rapport au rendement du maïs en culture pure. Cet indice est d'autant plus intéressant qu'il permet de distinguer clairement l'avantage de l'association maïs-niébé (3905,61 kg) sur le maïs en culture pure (2611,66 kg). Ce qui n'était pas le cas avec les paramètres agro-morphologiques. Ainsi, le classement en fonction de la rentabilité des systèmes de culture a donné dans l'ordre les associations: maïs-haricot (2438958 F); maïs-arachides (2039651,66 F); maïs-niébé (1952809 F) et maïs pur (1305833,3 F).

Tableau 9. *Les rendements en maïs équivalent (MEY), obtenus à partir des légumineuses en association*

MEY Kg maïs/ ha	RDT maïs pur	MEY Niébé	MEY Haricot	MEY Arachide
Année 1	2890	3962,234	4612,37	3463,24
Année 2	2495	4527,27	4702,68	4037,09
Année 3	2450	3227,35	5318,708	4737,58
Moy (MEY)	2611,66	3905,61	4877,91	4079,30
Revenu moyen (500 F)	1305833,33 F	1952809 F	2438958 F	2039651,66 F

F: franc cfa

4 DISCUSSIONS

4.1 EFFET DES ANNÉES SUR LA CULTURE MONOSPÉCIFIQUE DU MAÏS

La culture monospécifique du maïs a montré une diminution progressive de ses paramètres agro-morphologiques au fil des années. Cela s'explique par la réduction progressive de la fertilité du sol de culture. En effet, les minéraux utilisés par les plants de maïs ne sont pas renouvelés. En plus, la pratique monoculturale favorise les adventices qui livrent une compétition au maïs pour les ressources du sol. Ce qui réduit rapidement la fertilité du sol et la productivité du maïs. Ces résultats sont corroborés par les tendances observées au niveau de l'évolution des minéraux essentiels pour le maïs (azote (N) et phosphore (P)) qui ont été améliorés les premières années suite à une minéralisation de la matière organique préexistante, Ce gain de minéral a été épuisé suite aux activités nutritives du maïs et des adventices sans toutefois être renouvelé. Ce résultat Justifie ainsi la baisse continue des rendements agricoles telle que constatée dans notre étude et par les paysans. Ces résultats sont analogues à ceux d'autres études qui ont montré que la culture d'une seule espèce sur plusieurs années successives, sur une même parcelle favorise le développement des ennemis culturaux (maladies, ravageurs, adventices, etc.), pouvant mettre ainsi en péril la durabilité de la production de la culture et induire une faible résilience du système de culture [23], [25]. Dans le même ordre d'idée, d'autres travaux ont aussi montré en Alsace que la monoculture de maïs subit une forte pression d'adventices, est touchée par le problème de la chrysomèle (maladies des racines du maïs) et est partiellement responsable de pertes de biodiversité [26], [27]. Toutes ces situations engendrées par les effets de la pratique du système monoculturale du maïs la rend inefficace. Alors, les paysans qui pratiquent ce système vont avoir la tentation de s'orienter vers de nouvelles terres jugées plus fertiles, engendrant ainsi des conflits fonciers très violent, aboutissant souvent à des morts hommes. Dans un contexte de

rareté des terres cultivables et du prix élevé d'intrants chimiques qui par ailleurs favorisent la pollution de l'environnement, la recherche de solutions agraires innovantes qui concilient productivité durable et agroécologie apparaît primordiale.

4.2 EFFET DES ANNÉES SUR LES CULTURES PLURISPÉCIFIQUES MAÏS-LÉGUMINEUSES

-Les hauteurs des plants des cultures maïs-haricot (mahar) et maïs-arachides (maar) n'ont pas changé significativement et un seul groupe homogène a se dégage (tableau 1). Les hauteurs maximales des plants de maïs et leur stabilité pourraient s'expliquer par l'effet de l'introduction des légumineuses dans les systèmes de culture, qui dès la première année s'est traduit par un apport d'azote issu de la fixation symbiotique et de la minéralisation de la matière organique préexistante. Cette explication est corroborée par les chutes des hauteurs du maïs observées en culture monospécifique, et aussi par les tendances à la hausse de l'azote (N) en cultures plurispécifiques, contrairement à la culture monospécifique (tableau 7). En effet les deux espèces en association n'ont pas les mêmes périodes d'absorption de l'azote et du phosphore qui sont nécessaires à la croissance du maïs. De plus les apports de l'azote symbiotique et les résidus des légumineuses permettent la fertilisation du sol. Ce qui n'est pas le cas du système monocultural du Maïs qui utilise l'azote disponible sans pouvoir le restaurer. D'autres études similaires ont montré que la taille du maïs n'est pas affectée par l'association avec la légumineuse [28], [29]. Il ressort de notre travail que la légumineuse joue un rôle important dans la croissance des plants de maïs et leur biomasse aérienne.

-Les paramètres rendements en grains (poids moyen des grains d'un épi, le poids de mille grains et le rendement grains de maïs) ont augmenté significativement à partir de la deuxième et la troisième année d'essai pour les cultures plurispécifiques maïs-haricot; maïs-arachide à l'exception du maïs-niébé, contrairement à la culture monospécifique maïs pur qui a montré un effet inverse (tableau 2,3,4). Cela est dû aux rôles importants des légumineuses dans l'amélioration de la stabilité et de la fertilité du sol. En effet, après l'épuisement de l'azote initial du sol, favorisant les résultats observés en culture monospécifique du maïs, d'autres voies de régénération de l'azote s'offrent aux cultures plurispécifiques, notamment la fixation symbiotique et les résidus de légumineuses. Ces explications sont confirmées par les tendances données par le taux d'azote observé aussi bien pour les cultures monospécifique et plurispécifiques (tableau 7). En effet, nous avons une meilleure efficacité des mélanges pluri spécifiques pour l'utilisation des ressources du milieu (eau, lumière, nutriments dont l'azote et le phosphore) et un transfert à la céréale de l'azote fixé par la légumineuse pendant le temps de la culture associée [30], [31]. Aussi 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 [32]. Des travaux similaires aux nôtres ont montré que la céréale voit sa production en grains augmentée en moyenne dans les associations Maïs-légumineuses par rapport à la culture pure [28], [16], [33], [34]. D'autres recherches ont aussi montré que les rendements des associations sont comparables voire supérieurs à la moyenne des rendements des légumineuses et des céréales cultivées séparément [35], [36], [20].

Cependant, l'association Maïs-niébé (manie) a montré une baisse significative des paramètres agro morphologiques car le niébé est une plante envahissante qui utilise le maïs comme un tuteur, empêche sa croissance et son développement en lui livrant forte une compétition pour les réserves. Ces résultats sont confirmés par le taux de surface équivalent obtenu (LER = 1,07). Cette valeur qui dépasse 1 de justesse témoigne d'un très faible avantage de l'association avec le niébé dû à une résistance accrue du niébé dans la compétition. D'autres travaux similaires ont montré la supériorité des rendements du maïs des associations maïs-niébé [33]. Bien que contraire à nos résultats, cette différence pourrait s'expliquer par une méconnaissance de la technique culturale incluant le niébé notamment au niveau l'arrangement spatial, la distance entre les pieds des espèces associées, les dates de semis les densités et même la nature de l'espèce.

4.3 EFFET DES SYSTÈMES MONOSPÉCIFIQUES ET PLURISPÉCIFIQUES SUR LES PARAMÈTRES CHIMIQUES DU SOL

L'analyse multiple de la variance n'a montré aucune différence significative entre les paramètres chimiques du sol (tableau 6). Néanmoins vue sur d'autres angles les tendances à la stabilité ou à l'augmentation par rapport à la valeur initiale observées au niveau de certains minéraux (Nt, C, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺) et surtout l'azote (N) dans les systèmes plurispécifiques, nous rendent optimiste. En effet, malgré l'utilisation de ces minéraux par les cultures associées dont les densités sont plus élevées que celle des cultures pures, les teneurs des minéraux demeurent au même niveau ou même au-delà de la valeur initiale après les expérimentations. Tout porte à croire que les minéraux ont été remplacés voire améliorés après leurs utilisations si non les teneurs auraient diminué significativement. Ces résultats sont corroborés par les rendements grains croissant obtenus en systèmes plurispécifiques. Par contre, en système monospécifique le rendement du maïs chute avec le taux d'azote (N) alors qu'en système plurispécifique, c'est l'effet contraire qui est observé (tableau 7). La non significativité des résultats pourrait

s'expliquer par la nature du sol et le temps d'expérimentation insuffisant (3 années). D'autres études similaires n'ont eu de différence significative entre les paramètres chimiques des sols de culture au bout de trois années successives [37].

4.4 EFFET DES ASSOCIATIONS SUR LA PRODUCTIVITÉ ET LA COMPÉTITIVITÉ DES CULTURES ASSOCIÉES

Les paramètres d'évaluation de la productivité et de la compétitivité (LER, ATER, CR) ont été significativement supérieur à 1 pour toutes les cultures plurispécifiques (tableau 5). Cela explique la performance des associations culturales par rapport au culture pure du maïs au niveau de la gestion des surfaces cultivables, de la durée d'occupation des parcelles et des rendements. En effet, les gains consécutifs aux cultures plurispécifiques 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. D'autres travaux similaires ont montré que le système plurispécifique est plus avantageux que le système monospécifique, avec des taux de surface équivalent ($LER > 1$) [38], [39], [29], [16], [34], [22]. En plus le taux de compétitivité ($CR > 1$), montre qu'au cours de nos travaux le Maïs a été plus compétitif que la légumineuse pour les nutriments et cette compétitivité change d'une culture à l'autre du fait de la résistance qui varie d'une légumineuse à l'autre. En effet, 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. Des travaux ont aussi montré des taux de compétitivité élevé ($CR > 1$) [28], [32]. Le CR permet donc de faire le choix de la légumineuse la moins compétitive à associer au maïs pour un bon rendement de celui-ci en tenant compte des critères CR maïs élevé ou CR légumineuse faible. Ces paramètres d'évaluation de la productivité (LER, ATER) et de compétitivité (CR) des associations confirment avec celle des paramètres agromorphologiques du maïs que les associations maïs-légumineuses sont plus avantageuses pour faire face aux problèmes de baisses progressives de rendement et pourraient-être une solution aux problèmes engendrés par la recherche de nouvelles terres cultivables, tels que des conflits fonciers et de dégradation de l'environnement.

4.5 EFFETS DES SYSTÈMES DE CULTURES MONOSPÉCIFIQUES ET PLURISPÉCIFIQUES SUR LA RENTABILITÉ

-Les indices de la valeur totale du rendement (IER) du haricot, de l'arachide et du niébé ont été supérieurs à 1 pour des prix suivants sur le marché (tableau 8): haricot = 1400 francs/ kg; arachide = 800 francs / kg; niébé = 700 francs/ kg et le maïs = 500 francs/ kg. Ces valeurs expliquent que les systèmes plurispécifiques sont plus rentables pour le paysan que le système monospécifique. Ces résultats sont corroborés par les rendements déjà élevés du maïs sans ceux des légumineuses en systèmes plurispécifiques par rapport au système monospécifique. En effet, Les indices de la valeur totale du rendement (IER) sont obtenus par la somme des produits de chaque rendement moyen des cultures associées par son prix sur le marché par rapport au rendement moyens des cultures pures maïs correspondants. Des résultats similaires ont été obtenus par Chappuis [22] qui a montré que l'association maïs-haricot est rentable que le maïs en culture pure avec des prix de vente de 10 CHF/ kg.

-Les résultats ont aussi montré que tous les rendements en maïs équivalent (MEY) sont largement supérieurs par rapport au rendement du maïs en culture pure (tableau 9). Ces valeurs expliquent que les systèmes plurispécifiques sont plus rentables pour le paysan que le système monospécifique. Ces résultats sont corroborés par les rendements déjà élevés du maïs sans ceux des légumineuses en systèmes plurispécifiques par rapport au système monospécifique. Cet indice est d'autant plus intéressant qu'il permet de distinguer clairement l'avantage de l'association maïs-niébé sur le maïs en culture pure, montrant ainsi, que même si elle est mal menée, le système plurispécifique est plus rentable que le système monospécifique de maïs. En effet cet indice est obtenu en convertissant le rendement de la légumineuse en maïs et cela est ajouté au rendement du maïs dans l'association de sorte que les rendements associés s'expriment en kg de maïs/ ha. Des travaux similaires ont montré que Les revenus générés par les associations sont donc supérieurs, dans l'ensemble à la culture pure de maïs [22].

4.6 IDENTIFICATION DES LÉGUMINEUSES PAR LEURS PERFORMANCES SUR LES RENDEMENTS ET LA RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE

Le test de student a révélé quatre groupes homogènes *a*, *b*, *c*, *d* au niveau des rendements grains, indiquant une différence significative entre les quatre cultures comparées. Le groupe *a* désigne la culture la plus performante et le groupe *d*, la moins performante. Partant de ce principe, l'ordre décroissant de performance des cultures est le suivant: la culture maïs-haricot (Mahar), la culture maïs-arachides (Maara), la culture maïs-niébé (manie) et enfin la culture maïs pur. Ces résultats sont corroborés par des LER, CR, IER supérieures à 1 et aussi par le MEY maïs des associations supérieures au rendement du maïs pur. En effet, la concurrence livrée par le haricot au maïs pour les ressources est faible par rapport à celle de l'arachide et du niébé. La faible concurrence livrée au maïs laisse suffisamment d'azote pour un bon développement et une bonne croissance du maïs rendant ainsi l'association maïs-haricot plus avantageuse que les autres associations de notre étude. Des travaux similaires ont montré que le haricot semble être la bonne plante compagne la mieux adaptée à l'association avec le maïs [40],

[22]. Nous pouvons donc conclure en accord avec ces résultats que le haricot est la légumineuse la plus adaptée à associer au maïs pour améliorer et stabiliser la productivité et la rentabilité tout en préservant l'environnement. Les paysans pourraient utiliser les systèmes plurispécifiques pour accroître et stabiliser leurs rendements et avoir une bonne rentabilité économique sans intrants et en utilisant la même parcelle de culture.

5 CONCLUSION

Pour améliorer le rendement en grain du maïs tout en préservant l'environnement des effets néfastes des intrants chimiques et la déforestation, cette étude a été menée. Il est ressorti de l'analyse des résultats que les systèmes plurispécifiques (maïs-haricot, maïs-arachides) à l'exception du maïs-niébé sur la même parcelle chaque année, ont amélioré significativement le poids moyen des grains d'épi, le poids de mille grains et le rendement grains entre la deuxième et la troisième année d'essai (tableau 4) par rapport au maïs pur. Ensuite, avec des taux de surface équivalent (Ier), taux de surface équivalent par unité de temps (ater), le taux de compétitivité (cr) supérieurs à 1, ces systèmes ont montré une meilleure gestion des surfaces cultivables, du temps d'occupations et une compétition pour les ressources en faveur du maïs par rapport à la culture pure du maïs. Montrant ainsi dans l'ordre les meilleures légumineuses à associer au maïs pour un bon rendement de celui-ci. En plus les indices de la valeur totale du rendement (IER) supérieur à 1 et le rendement en maïs équivalent (MEY), largement supérieur au rendement du maïs pur ont montré que les systèmes plurispécifiques sont plus rentables économiquement pour les paysans que la culture pure du maïs. Ces derniers indices ont même montré que malgré une mauvaise maîtrise de l'itinéraire cultural maïs-niébé qui a montré sa mauvaise influence sur les paramètres agro-morphologiques du maïs, cette association demeure largement rentable économiquement par rapport à la culture pure du maïs. Enfin, les trois années d'étude ne nous a pas permis d'obtenir une amélioration significative des paramètres physico-chimiques du sol, car ce temps d'étude semble court. Néanmoins vue sur d'autres angles les tendances à la stabilisation ou à l'augmentation par rapport à la valeur initiale observées au niveau de certains minéraux (Nt, C, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺) et surtout l'azote (N) dans les systèmes plurispécifiques malgré leurs utilisations régulières par les plantes associées, nous rend optimiste pour une amélioration des teneurs. Optimisme renforcé par les rendements grains obtenus en systèmes plurispécifiques.

Il ressort de ces résultats que la promotion des associations maïs-légumineuses doit être envisagée en milieu paysan, dans la mesure où sans intrants, elles améliorent généralement: le rendement de la culture principale maïs, la diversité, la gestion des parcelles, utilisation des ressources, la rentabilité économique, durabilité des systèmes. Par rapport à la culture pure. De plus, même mal exploiter (maïs-niébé), les systèmes plurispécifiques se sont montrés plus rentable économiquement que la culture pure de maïs. Cependant, il est nécessaire de former les paysans au respect de certains critères de base indispensables à la bonne maîtrise des associations culturales afin qu'ils bénéficient des avantages réels de ce système. Il s'agit de l'arrangement spatial, la distance entre les pieds des espèces associées, les dates de semis et les densités, le choix des légumineuses.

REFERENCES

- [1] M. Agriculture, «Culture continue du maïs: pourquoi une baisse de rendements.» p. Source : Agriculture du Maghreb, 2012.
- [2] M. Petit, «Pour une agriculture mondiale productive et durable,» *Éditions Quæ*, p. 120P., 2011.
- [3] Cultiveille, «La production de maïs revue à la baisse par le ministère de l'Agriculture,» *culture*, p. www.cultivar.fr/l-actuels-des-marches/cultures/la-pro, 2022.
- [4] G. Milleville, Pierre, Serpantié, «Dynamiques agraires et problématique de l'intensification de l'agriculture en Afrique soudano-sahélienne : Agrarian dynamics and the question of the intensification of farming in the Sahelian and savanna zones of Africa. Mossoa,» *Comptes Rendus l'Académie d'Agriculture Fr.*, pp. 80, 149-161., 1994.
- [5] K. BADABATÉ, Diwediga, Hounkpe, K., Wala, K., Batawila, K., taton, t., Akpagana, «Agriculture de contre saison sur les berges de l'oti et ses affluents,» *African Crop sci. J.*, pp. 20, 613-624., 2012.
- [6] G. Shepherd, Keith.D., Palm, C.A. and B. C.N., Vanlauwe, «Rapid characterization of organic resource quality for soil and livestock management in tropical agroecosystems using near- infrared spectroscopy,» *Agron. J.*, pp. 95, 1314-1322, 2003.
- [7] D.-G. J. M. Saïdou, A., Kossou, D., Azontondé, A. et Hougni, «Effet de la nature de la jachère sur la colonisation de la culture subséquente par les champignons endomycorhiziens : cas du système 'jachère' manioc sur sols ferrugineux tropicaux du Bénin,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, pp. 3 (3): 587-597., 2009.
- [8] G. et al. Duc, «Importance économique passée et présente des légumineuses : Rôle historique dans les assolements et facteurs d'évolution,» *Innov. Agron.*, p. 11, pp.1-24, 2010.

- [9] P. Hinsinger, «Les Cultures Associées Céréale / Légumineuse En agriculture « bas intrants » dans le Sud de la France,» 2012. Accessed: Mar. 16, 2019. [Online]. Available: <http://inra-dam-front-resources-cdn.brainsonic.com/ressources/afile/246508-6e585-resource-article-inra-toulouse-cultures-associees.html>.
- [10] Denhartigh Cyrielle. et Metayer N., «Diagnostic des filières de légumineuses à destination de l'alimentation humaine en France. Intérêt environnemental et perspectives de développement.,» <http://redirect.hp.com/svs/rdr.>, p. 53 p., 2015.
- [11] et C. M. Bahan F., Kéli J., Yao-Kouamé A., Gbakatchéché H., Mahyao A., Bouet A., «Caractérisation des associations culturales à base de riz (Oryzasp) : cas du Centre-Ouest forestier de la Côte d'Ivoire.,» *J. Appl. Biosci.*, pp. 56, 4118–4132, 2012.
- [12] «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.,» *Rapp. Final. Union Natl. des Prod. Cot. du Burkina Faso (UNPCB), BoboDioulasso, Burkina Faso*, p. 51P.;, 2008.
- [13] Y. G. R. N'GORAN Kouadio Emmanuel, KASSIN Koffi Emmanuel, ZHOURLI Goli Pierre, N'GBESSO Mako François De Paul, «Performances agronomiques des associations culturales igname-légumineuses alimentaires dans le Centre-ouest de la Côte d'Ivoire.,» *J. Appl. Biosci.*, pp. 43: 2915 – 2923, 2011, Accessed: Jun. 03, 2019. [Online]. Available: http://agritrop.cirad.fr/584635/1/Thèse_K_Coulibaly_2012.pdf.
- [14] K. Zoumana, G. Bi, T. Jérémie, M. F. Gustave, and S. Aidara, «Alternatives à la fertilisation minérale des sols en riziculture pluviale de plateau : apports des cultures du soja et du niébé dans la fertilité d'un ferralisol hyperdystrique au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire,» *Sci. York*, pp. 3859–3869, 2012.
- [15] R. M. R. Willey R.W., «A competitive ratio for quantifying competition between intercrops.,» *ExpJ.agric*, pp. 16: 117-125., 1980.
- [16] N. Akanza Kouadjo Paul, «Performances agronomique et économique des systèmes de culture à base de maïs (Zea mays L.) et d'arachide (Arachis hypogaea L.) au nord de la Côte d'Ivoire,» *Sci. la vie, la terre Agron. Rev. Cames*, vol. 05 N, p. ISSN 2424-7235, 2017.
- [17] B. I. A. Z. B. T. S. Doubi, K. I. Kouassi, K. L. Kouakou, K. K. Koffi, J. Baudoin, «Existing competitive indices in the intercropping system of Manihot esculenta Crantz and Lagenaria siceraria (Molina) Standley, ' December, 2016.,» vol. 9145, 2016, doi: 10.1080/17429145.2016.1266042.
- [18] O. B. Baldy Ch., N'Guessan A.E., «Quelques aspects de la bioclimatologie dans les cultures associées de plantes annuelles. Fruits, Bandyopadhyay,» pp. 43 (5): 273-287., 1987.
- [19] Yahuza, «Review of some methods of calculating intercrop efficiencies with particular reference to the estimates of intercrop benefits in wheat/faba bean system.,» *Int J Biosci*, pp. 1: 18–30, 2011, doi: 10.1080/17429145.2016.1266042.
- [20] J. Caplat, «Les cultures associées, clef du rendement,» *Univ. Abomey-Calavi*, p. 5p, 2014.
- [21] A. M. Uddin MKB, Naznin S, Kawochar MA, Choudhury RU, «Productivity of wheat and peanut in intercropping system.,» *J Expt Biosci.*, pp. 5: 19–26, 2014.
- [22] A. CHAPPUIS, «Étude de l'association de cultures maïs–haricot comme moyen de gestion des adventices, et impacts sur les rendements.,» *Bachelor Sci. HES-SO en Agron.*, p. 4P., 2021.
- [23] N. Schaller, «La diversification des assolements en France : intérêts, freins et enjeux. Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt Secrétariat Général. Août 2012. -,» *Cent. d'études Prospect.*, no. n° 51, p. 4 p., 2012.
- [24] M.-C. Virion, «Plan National d'Actions en faveur du Hamster Commun (*Cricetus cricetus*) et de la biodiversité de la plaine 2019-2028.,» *Dir. Régionale l'Environnement, l'Aménagement du Logement Gd. Est*, p. 130p., 2018.
- [25] L. Adeux, G., Giuliano, S., Cordeau, S., Savoie, J.-M., Alletto, «Low-Input Maize-Based Cropping Systems Implementing IWM Match Conventional Maize Monoculture Productivity and Weed Control.,» *Agriculture.*, p. 17p. doi: 10.3390/agriculture7090074 sur www.mdpi.c, 2017.
- [26] DREAL, «Le plan national d'actions en faveur du hamster commun (*Cricetus cricetus*) et de la biodiversité de la plaine d'Alsace (2019-2028),» *Plan Natl. d'Action HAMSTER*, p. Consulté le 21-10-2022, 2020.
- [27] J. W. Perlette Totoson, «Caractérisation de systèmes de culture innovants alternatifs à la monoculture de maïs pour la modélisation territoriale,» *HAL Id hal-02911770* <https://hal.inrae.fr/hal-02911770>, p. 2P.;, 2020, Accessed: Aug. 14, 2019. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378429085900243>.
- [28] P. Salez, «Ecole Nationale Supérieure Agronomique De Montpellier. Documentatiopi Comprehension Et Amelioration De Systemes De Cultures Associees Cereale-Legumineuse Au Cameroun.»
- [29] N. Kouassi, J. Tonessia, D. Charlotte, S. J. Gogbeu, and S. D. Faustin, «Influence du décalage de semis du maïs (Zea mays L.) et du bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) sur leur production en zone savanicole de la Côte d'Ivoire,» pp. 9745–9755, 2016.
- [30] C. B. Fustec J, Lesuffleur F, Mahieu S, «Nitrogen rhizodeposition of legumes.,» *A Rev. Agron. Sustain. Dev.*, pp. 30: 57-66., 2010.

- [31] K. Coulibaly, «Effets des associations maïs-légumineuses sur le rendement du maïs (*Zea mays* L.) et la fertilité d'un sol ferrugineux tropical à l'Ouest du Burkina Faso,» no. December, 2017.
- [32] Pelzer Elise, «La complémentarité pour l'acquisition des ressources abiotiques dans les associations végétales : quels processus déterminent leur fonctionnement ?,» 2014. Accessed: Mar. 02, 2019. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=of381ZrgqpQ>.
- [33] B. Coulibaly Doubangolo, Ba, A Dembele and F. Sissoko, «Développement des Systemes de Production Innovants d'association Maïs/Légumineuses dans la zone subhumide du Mali,» 2017.
- [34] K. K. Elie, A. O. Faustin, and N. K. Antoine, «Intérêt de la culture associée légumineuses-maïs et stratégie de résilience face à la disponibilité en terre cultivable : le cas de la ferme agricole de Kafigué dans département de Korhogo (Nord de la Côte d'Ivoire),» *Eur. Sci. J. ESJ*, vol. 17, no. 17, pp. 318–334, 2021, doi: 10.19044/esj.2021.v17n17p318.
- [35] Revellin C., «Les symbioses fixatrices d'azote.,» *INRA Dijon*, p. 5.p. <http://www.rhizobia.co.nz/taxonomy/rhizobia.h>, 2011.
- [36] Projet PerfCom., «Les cultures associées céréale/légumineuses en agriculture 'bas intrants' dans le sud de la France.,» p. <http://www.montpellier.inra.fr/systema-perfcom/>, 2012.
- [37] K. Coulibaly, «Effets des associations maïs-légumineuses sur le rendement du maïs (*Zea mays* L.) et la fertilité d'un sol ferrugineux tropical à l'Ouest du Burkina Faso,» *afrique Sci.*, no. December, p. 226P., 2017.
- [38] C. Louarn, G., Corre-Hellou, G., Fustec, J., Lô-Pelzer, E., Julier, B., Litrico, I., Hinsinger, P. & Lecomte, «Déterminants écologiques et physiologiques de la productivité et de la stabilité des associations graminées-légumineuses.,» *Innov. Agron.*, pp. 11: 79-99., 2010.
- [39] E. et al. Justes, «Les processus de complémentarité de niche et de facilitation déterminent le fonctionnement des associations végétales et leur efficacité pour l'acquisition des ressources abiotiques.,» *Innov. Agron.*, p. 40, pp.1–24, 2014.
- [40] P. reine Mathilde, «Innovations Agronomiques,» vol. 40, pp. 73–91, 2014.