

Effet Des Dates De Semis Sur Les Performances Agro-Morphologiques Du Maïs (Zea Mays L.), Du Voandzou (Vigna Subterranea (L.) Verdc.) Et Du Niébé (Vigna Unguiculata (L.) Walp.) Mis En Association De Culture Dans Le Sud-Ouest De La République Démocratique Du Congo

[Effect Of Sowing Dates On The Agro-Morphological Performance Of Maize (Zea Mays L.), Bambara Groundnut (Vigna Subterranea (L.) Verdc.) And Cowpea (Vigna Unguiculata (L.) Walp.) Grown In Intercropping Systems In Southwestern Democratic Republic Of The Congo]

Marie MBANUNU DIVUILU¹, Gertrude PONGI KHONDE¹, Amand MBUYA KANKOLONGO¹, Meschack LUEMBA NLENZO¹, Emmanuel KONGO BAVUKILA², Mardochée MANTOMBA NGIMBI¹, Patricia KOBO UMBA¹

¹Université Pédagogique Nationale, Département de Production végétale, B.P. 8815 Kinshasa

²Université Président Joseph Kasa Vubu, Département de Production végétale, B.P. 314

Auteur correspondant : Marie MBANUNU DIVUILU, divuilstanie@gmail.com



Résumé : L'étude visait à analyser l'effet des décalages de semis sur la croissance, le développement et la productivité du maïs et des légumineuses (niébé, voandzou), ainsi qu'à déterminer le gain de productivité surfacique par LER. L'essai a été conduit dans le secteur de Boma-Bungu, selon un dispositif factoriel à deux facteurs principaux qui sont: le facteur (A) représenté par trois différentes dates de semis, et le facteur (B) constitué de deux différents systèmes de culture, incluant le maïs le voandzou et le niébé en culture pure, et ainsi que leurs associations maïs-voandzou et maïs-niébé. Les résultats montrent que le maïs associé au niébé et au voandzou présentent des performances supérieures comparé aux monocultures, avec une meilleure productivité et une réduction de l'incidence des ravageurs. Le maïs associé au voandzou semé à la première date s'est distinguée par une biomasse élevée (400,83 g fraîche ; 206,77 g sèche) et un rendement de 1,223 t/ha, suivie du maïs associé au niébé (0,793 t/ha). L'analyse en composantes principales confirme que les systèmes associés regroupent les paramètres liés à la productivité et à la durabilité, tandis que les monocultures restent confrontées aux fortes incidences parasitaires de chaque culture. Les régressions révèlent une relation négative faible entre le nombre de nodules et le LER, mais une tendance positive entre la surface foliaire et le LER, traduisant une meilleure efficacité d'occupation de l'espace. En conclusion, la première date de semis (D1), notamment le maïs associé au voandzou, apparaît comme la plus favorable ; ainsi les

objectifs ont été atteints, et les associations se confirment comme une stratégie durable pour améliorer la productivité, la résilience et la durabilité des systèmes de culture.

Mots-clés : Maïs, Niébé, Voandzou, Association culturale, Date de semis, LER, Nodules, Surface foliaire, RDC

Abstract: The study aimed to analyze the effect of sowing date shifts on the growth, development, and productivity of maize and legumes (cowpea and bambara groundnut), as well as to determine the land productivity gain through the Land Equivalent Ratio (LER). The experiment was conducted in the Boma-Bungu area using a factorial design with two main factors: factor (A), represented by sowing dates, and factor (B), consisting of cropping systems, including sole maize, sole legumes, and maize-legume associations. The results show that maize associated with cowpea and bambara groundnut performed better compared to monocultures, with higher productivity and reduced pest incidence. Maize intercropped with bambara groundnut at the first sowing date stood out with high biomass (400.83 g fresh; 206.77 g dry) and a yield of 1.223 t/ha, followed by maize-cowpea (0.793 t/ha). Principal Component Analysis confirmed that intercropping systems grouped parameters related to productivity and sustainability, whereas monocultures remained exposed to high pest incidence specific to each crop. Regression analysis revealed a weak negative relationship between the number of nodules and LER, but a positive trend between leaf area and LER, indicating better spatial use efficiency in intercropping systems. In conclusion, the first sowing date (D1), particularly maize associated with bambara groundnut, proved to be the most favorable. The objectives were achieved, and intercropping systems are confirmed as a sustainable strategy to improve productivity, resilience, and durability of cropping systems.

Keywords: Maize, Cowpea, Bambara groundnut, Intercropping, Sowing date, LER, Nodules, Leaf area, DRC.

0. Introduction

Dans les régions tropicales d'Afrique subsaharienne, l'amélioration durable de la production agricole constitue un enjeu majeur pour répondre aux besoins alimentaires croissants. En République Démocratique du Congo (RDC), les performances des cultures restent limitées par la faible fertilité des sols et l'accès restreint aux intrants. Dans les savanes du sud-ouest, il a été montré que les rendements du maïs dépendent fortement des conditions environnementales et des pratiques culturales¹.

L'intégration des légumineuses dans les systèmes de culture apparaît comme une stratégie prometteuse. Grâce à leur capacité de fixation biologique de l'azote, elles améliorent la fertilité des sols et l'efficacité d'utilisation des ressources^{2,3}. Parmi elles, le niébé (*Vigna unguiculata*) et le voandzou (*Vigna subterranea*) occupent une place importante en Afrique subsaharienne, en raison de leur valeur nutritionnelle et de leur adaptation aux conditions climatiques défavorables.

L'association culturale (ou *intercropping*) entre céréales et légumineuses est largement pratiquée dans les zones tropicales. Elle repose sur la complémentarité des espèces dans l'utilisation de la lumière, de l'eau et des nutriments, ce qui accroît la productivité par unité de surface⁴. En RDC, il a été montré que ces associations améliorent la productivité et peuvent conduire à un Indice d'Équivalence des Terres (IET) supérieur à celui des monocultures⁵. Toutefois, la majorité des travaux ont été réalisés à Mvuazi, et peu d'études concernent spécifiquement les conditions agro-écologiques de Boma, ce qui justifie la présente recherche.

Malgré leurs avantages, les associations maïs-légumineuses ne garantissent pas toujours une efficacité agronomique optimale. Les interactions entre espèces peuvent être complémentaires ou compétitives, selon la synchronisation de leurs stades de développement^{4,5}. La date de semis constitue donc un levier agronomique majeur pour moduler ces interactions.

Des travaux ont montré que la configuration spatiale et le calendrier de semis influencent l'utilisation de l'eau et de l'azote⁶, et que des décalages de semis peuvent réduire la productivité des associations maïs-niébé⁷. Cependant, peu d'informations existent sur les dates de semis optimales des associations maïs-niébé et maïs-voandzou dans les conditions agro-écologiques de Boma. Cette lacune limite la mise au point d'itinéraires techniques adaptés.

Cette étude a été mise en place afin d'évaluer différentes dates de semis combiné à deux différents systèmes de culture de maïs, voandzou et niébé (en culture pure et en association), afin de déterminer leurs influences sur la croissance, le développement

phénologique et le rendement du maïs et des légumineuses. L'étude a permis aussi de calibrer un calendrier de semis permettant de maximiser l'efficacité d'utilisation des terres par rapport au développement foliaire du maïs et à la nodulation des légumineuses dans les différents systèmes de culture évalués.

1. Matériel et méthode

1.1 Site expérimental

Le présent travail a été réalisé en République Démocratique du Congo, dans la province du Kongo Central, précisément dans la ville de Boma dans le secteur de Boma-Bungu. Le site est caractérisé par un type de sol argilo-sablonneux, sol limoneux et hydromorphe (sols humides). La végétation la plus abondante est celle de savane herbeuse, avec localement des formations forestières dégradées et des zones anthropisées⁸. La ville de Boma tout comme le secteur de Boma-Bungu présente un climat tropical de savane de type Aw4 selon la classification de Köppen, avec la température moyenne annuelle d'environ 24,9 °C et une pluviométrie annuelle moyenne estimée à 1214 mm⁹.

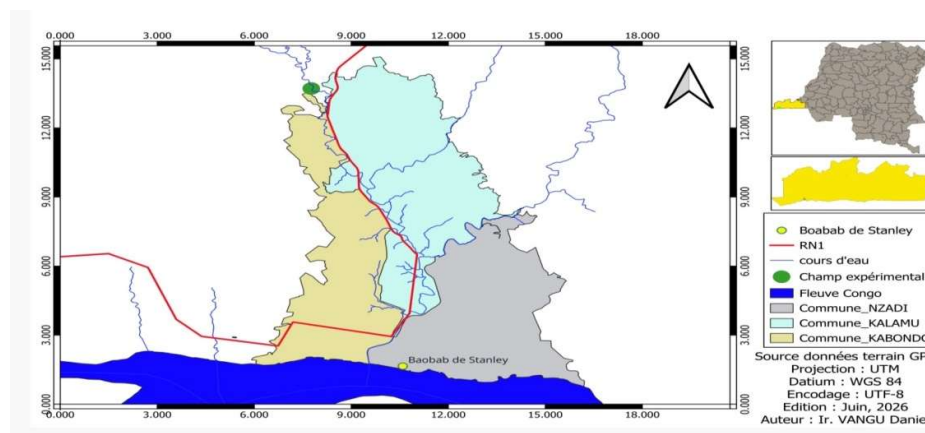


Figure 1: Carte du site expérimental

1.2. Matériel

Le matériel végétal est constitué de la semence de légumineuses (niébé, variété H4 ; voandzou communément appelé Kimbila) et de la céréale (maïs, variété Mudishi 1), A l'exception du voandzou provenant de Kikwit, le reste de matériels provenait du Centre de recherche de l'INERA-MVUAZI. Le rapport du test du pouvoir germinatif a montré que ces semences présentaient une bonne aptitude germinative, avec des taux de germination de 85%.

1.3. Dispositif expérimental

L'essai a été conduit selon un dispositif factoriel à deux facteurs principaux qui sont des différentes dates de semis et les différents systèmes de culture (en monoculture et en association) de maïs, voandzou et niébé.

- Superficie totale : 360 m² (20 m × 18 m).
- Parcelle élémentaire : 6 m² (3 m × 2 m).
- Espacement entre blocs : 1 m.

Tableau 1: Traitements observés

Systèmes de culture	Date de semis		
	date 1	date 2	date 3
S1: maïs sans engrais	D1S1	D2S1	D3S1
S2: voandzou mono	D1S2	D2S2	D3S2
S3: niébé mono	D1S3	D2S3	D3S3
S4: maïs au voandzou	D1S4	D2S4	D3S4
S5: maïs au niébé	D1S5	D2S5	D3S5
S6: maïs fertilisé à NPK 17-17-17	D1S6	D2S6	D3S6

- Date 1 : Les légumineuses étaient semées 3 jours après la préparation du terrain, et le maïs 10 jours après préparation du terrain.
- Date 2 : Le maïs et les légumineuses étaient semés simultanément, 3 jours après la préparation du terrain.
- Date 3 : Le maïs était semé 3 jours après la préparation du terrain, et les légumineuses 10 jours après préparation du terrain.

1.4. Paramètres observés et calculés

Il s'agissait des paramètres de croissance et des paramètres de rendement. Tous ces paramètres ont été prélevés sur un échantillon de 6 plants de maïs et 12 plants de légumineuses par parcelle, considérés comme plantes observables.

Pour les **paramètres de croissance observés**, quatre mesures ont été effectuées : la biomasse fraîche et sèche, nodules totales l'incidence et la sévérité.

Pour les **paramètres de rendement** ont porté sur le poids des épis frais/secs et gousses fraîches/ sèches, le poids des grain(e)s secs.

Enfin, parmi les **paramètres calculés**, Parmi les paramètres calculés, le rapport d'indice d'équivalence des terres (LER) a été déterminé¹⁰. En complément, des régressions linéaires ont été réalisées afin d'analyser la relation entre certains paramètres et le LER total des associations.

Le rendement a été obtenu en extrapolant le rendement parcellaire à l'hectare par la formule suivante : Poids moyen des grain(e)s /plant multiplié par 111.111 plantes

Surface foliaire : Longueur × largeur × 0,75

1.5. Analyses statistique des résultats

Les données ont été traitées par l'ANOVA, suivie du test de Tukey pour comparer les moyennes entre traitement (et le coefficient de la variance 'CV') à l'aide du logiciel R. Une analyse en composantes principales (ACP) a permis de mettre en évidence les corrélations entre les paramètres du maïs et des légumineuses. Enfin, des régressions linéaires ont été réalisées pour explorer les relations entre la surface foliaire et le LER total, ainsi qu'entre le nombre total de nodules et le LER total des associations.

2. Résultats

2.1 Effets combinés de la date de semis et du système de culture sur les paramètres végétatifs et de développement du maïs, niébé et voandzou

Tableau 2: Effets combinés de la date semis et du système de culture sur la biomasse fraîche et sèche, la surface foliaire et les paramètres phytosanitaires du maïs, niébé et voandzou

DATES	SYSTEME	Biomasse Fraîches(g)			Biomasse sèches(g)			Sévérité (1-5)			Incidence (%)			Surface foliaire maïs / Nodule Total		
		M	N	V	M	N	V	M	N	V	M	N	V	M	N	V
D1 : légumineuses semées 3jours et maïs semé 10 après préparation de terrain	Maïs au niébé(S5)	352.06	179.7		166.52	39.261		1.333	2.166		22.166	38.866		417.04	14	
	Maïs au voandzou(S4)	400.83		107.33	206.77		48.110	1.106		1.60	44.433		33.30	380.88		13
	Maïs fertilisé(S6)	358.71			180.33			2.200			44.4			277.92		
	Maïs sans engrais(S1)	254.38			148.58			2.633			61.066			369.29		
	Niébé mono(S3)		184.58			45.00			2.833			72.166			15.13	
	Voandzou mono(S2)			71.83			37.70			1.966			66.633			14.67
D2 : légumineuses et maïs semés 3jours après préparation de terrain	Maïs au niébé(S5)	389.70	182.3		175.77	53.636		1.466	2.333		49.96	49.96		364.5	18.17	
	Maïs au voandzou(S4)	396.26		102.33	210.66		49.246	1.000		1.80	22.166		33.30	392.54		18.67
	Maïs fertilisé(S6)	393.38			194.53			1.533			44.433			372.54		
	Maïs sans engrais(S1)	314.11			130.95			2.283			49.966			321.29		
	Niébé mono(S3)		202.80			47.802			3.166			66.633			28	
	Voandzou mono(S2)			113.44			48.513			1.800			61.06			24.33
D3 : maïs semé 3jours et légumineuses semées 10jours après préparation d terrain	Maïs au niébé(S5)	422.88	230.88		210.52	50.253		1.253	2.066		22.166	27.733		405	24.53	
	Maïs au voandzou(S4)	375.29		136.83	193.94		65.475	1.366		1.25	33.300		22.16	355.78		14
	Maïs fertilisé(S6)	245.75			136.11			2.533			49.966			257.41		
	Maïs sans engrais(S1)	393.77			177.13			2.083			61.066			330.25		
	Niébé mono(S3)		224.99			52.526			2.633			66.633			16.33	
	Voandzou mono(S2)			78.166			29.605			1.866			49.966			30.33
P (Dates)		0,598 NS	0,053 NS	0,308 NS	0,969 NS	0,211 NS	0,674 NS	0,951 NS	0,392 NS	0,463 NS	0,951 NS	0,369 NS	0,261 NS	0,592 NS	<0,001***	
P (Systèmes)		0,131 NS	0,657 NS	0,027*	0,052 NS	0,874 NS	0,017*	0,001*	0,012*	0,080 NS	0,001*	<0,001*	0,001**	<0,05*	<0,01**	

P (Dates × Systèmes)	0,116 NS	0,754 NS	0,051 NS	0,243 NS	0,571 NS	0,067 NS	0,033*	0,894 NS	0,369 NS	0,033*	0,369 NS	0,931 NS	0,439 NS	<0,01**
CV(Dates)	15,62	14,09	16,46	27,95	21,90	17,21	15,93	18,37	23,32	41,72	19,37	50,8	11,27	17,56
CV (Dates × Systèmes)	19,33	15,81	26,38	20,51	20,03	28,38	22,04	13,09	19,19	26,66	26,37	19,7	18,26	26,34

non significatif; * : très significatif; ** : hautement significatif; M: Maïs N : Niébé V :Voandzou.

Concernant le **maïs**, les résultats relatifs aux différentes dates, le système d'association et de l'interaction entre dates et système de culture, ont montré des différences non significatives pour la biomasse fraîche et sèche. Toutefois, on peut relever que la meilleure biomasse fraîche est obtenue avec le maïs associé au voandzou (S4) à la première date de semis (D1S4) avec 400,83 g, tandis que pour la biomasse sèche, la valeur la plus élevée apparaît également dans ce système à la même date de semis (D1S4) avec 206,77 g). Pour ce qui est de l'incidence de la chenille légionnaire varie selon le système de culture et les dates de semis. Le maïs en culture pure semé à la première date (S1) présente le taux le plus élevé (61,07 %), tandis que le maïs associé au niébé (S5) et le maïs associé au voandzou (S4) aux trois dates de semis (D1, D2, D3) affichent une incidence plus faible. Par contre, les dates de semis n'ont pas montré de différence significative ($p < 0,05$). Concernant la sévérité, les valeurs varient entre 1,00 pour le maïs associé au voandzou semé à la deuxième date (D2S4) et 2,63 pour le maïs en culture pure semé à la première date (D1S1). Les autres combinaisons présentent des valeurs intermédiaires, sans différence significative entre les dates de semis ($p < 0,05$). En revanche, le système cultural révèle une différence significative : le maïs en culture pure semé à la première date (S1) enregistre la sévérité la plus élevée (2,63 %), alors que le maïs associé au voandzou (S4) présente la sévérité la plus faible (1,00 %).

Concernant le **niébé**, l'analyse de la variance portée sur la moyenne de variation de la biomasse fraîche et sèche n'a révélé aucune différence significative ($p > 0,1$) ni pour la date de semis, ni pour le système de culture, ni pour leurs interactions. L'incidence a variée de 27,73 % pour le niébé en associé semé à la troisième date (D3S5) à 72,17 % pour celui de la culture pure semé à la première date (D1S3), pour la sévérité, les valeurs vont de 2,07 pour le niébé associé semé de la troisième date (D3S5) à 3,17 sous celui en culture pure semé à la deuxième date (D2S3).

En ce qui concerne le **voandzou**, la biomasse fraîche a montré une différence significative au niveau du système de culture : le maïs associé au voandzou semé à la troisième date (D3S4) enregistre la valeur la plus élevée avec 136,83 g, tandis que la culture pure semée à la première date (D1S2) présente la valeur la plus faible avec 71,83 g. Concernant la biomasse sèche, l'analyse montre que le système de culture exerce une influence significative : le voandzou en association à la troisième date (D3S4) a donné la valeur la plus élevée (65,48 g), suivi de la culture pure à la deuxième date (D2S4) avec 49,25 g. En revanche, l'association semée à la troisième date (D3S2) affiche le poids le plus faible (29,61 g). Aucune différence significative n'a été relevée entre les dates de semis ($p < 0,05$). Pour ce qui sont de la sévérité et de l'incidence de la chenille défoliatrice, les dates de semis et l'interaction entre dates et systèmes de culture n'ont pas eu des différences significatives ($p > 0,05$) sur ces deux paramètres. Les différences ont été relevées au niveau du système de culture : le voandzou en culture pure semé à la première date (D1S2) atteint 66,63 %, tandis que le voandzou associé (D3S4) reste à 22,17 %. La sévérité varie de 1,25 pour le voandzou associé (D3S4) à 1,97 pour le voandzou en culture pure (D1S2) mais sans différence significative entre les traitements.

Tableau 3. Effets combinés de la date de semis et du système de culture sur le poids des épis et de gousses frais et fraîche, le poids des grain(e), le rendement et LER Partiel du maïs, niébé et voandzou

DATES	SYSTEME	Pds des Epis/Gousses Frais (g)			Pds des épis/gousses secs (g)			Pds De Grain(E)S (g)			RDT(t/ha)			LER Partiel		
		M	N	V	M	N	V	M	N	V	M	N	V	M	N	V
D1 : légumineuses semées 3jours et maïs semé 10 après préparation de terrain	Maïs au niébé(S5)	81.855	10.88		53.970	6.736		21.776	4.183		0.723	0.223		1.57	1.54	0
	Maïs au voandzou(S4)	111.88		38.00	70.83		15.975	40.370		11.983	1.223		0.639	2.44	1.46	1.438
	Maïs fertilisé(S6)	69.389			52.77			15.223			0.506			1	0	0
	Maïs sans engrais(S1)	81.04			59.96			18.250			0.606			1	0	0
	Niébé mono(S3)		5.833			4.386			2.803			0.149		0	1	0
	Voandzou mono(S2)			35.89			15.33			10.66			0.568	0	0	1
D2 : légumineuses et maïs semés 3jours après préparation de terrain	Maïs au niébé(S5)	108.46	14.14		56.126	10.22		22.146	6.740		0.740	0.359		1.62	1.16	0
	Maïs au voandzou(S4)	102.44		40.776	58.175		16.296	33.373		12.22	1.110		0.651	2.40	0	1.40
	Maïs fertilisé(S6)	103.72			72.166			26.223			0.863			1	0	0
	Maïs sans engrais(S1)	87.73			53.24			13.913			0.463			1	0	0
	Niébé mono(S3)		6.001			4.4733			2.526			0.414		0	1	0
	Voandzou mono(S2)			28.66			11.626			8.723			0.465	0	0	1
D3 : maïs semé 3jours et légumineuses semées 10jours après préparation d terrain	Maïs au niébé(S5)	103.44	15.22		64.32	8.88		23.806	5.886		0.7933	0.313		1.43	2.16	0
	Maïs au voandzou(S4)	111.60		54.500	64.28		21.113	32.370		15.833	1.08		0.844	2.63	0	2.55
	Maïs fertilisé(S6)	68.446			64.36			12.366			0.410			1	0	0
	Maïs sans engrais(S1)	86.473			56.695			14.166			0.476			1	0	0
	Niébé mono(S3)		6.00			4.526			2.723			0.145		0	1	0
	Voandzou mono(S2)			19.77			8.566			6.433			0.343	0	0	1
P (Dates)		0,343 NS	0,551 NS	0,860 NS	0,824 NS	0,278 NS	0,947 NS	0,714 NS	0,384 NS	0,907 NS	0,760 NS	0,221 NS	0,907 NS	--	--	--
P (Systèmes)		0,078 NS	<0,001*	0,035*	0,507 NS	<0,001*	0,031*	0,004	<0,001*	0,014*	0,005**	0,516 NS	0,014*	--	--	--
P (Dates × Systèmes)		0,608 NS	0,601 NS	0,184 NS	0,428 NS	0,315 NS	0,165 NS	0,775 NS	0,252 NS	0,159 NS	0,824 NS	0,627 NS	0,159 NS	--	--	--
CV (Dates)		21,35	33,98	39,91	9,62	23,93	21,86	47,62	25,88	19,13	49,38	66,5	19,14	--	--	--
CV (Dates × Systèmes)		25,67	23,19	36,83	20,34	17,57	37,72	43,71	26,48	33,18	42,70	81,4	33,19	--	--	--

Légende : NS : non significatif ; * : très significatif ; ** : hautement significatif ; M: Maïs N : Niébé V : Voandzou.

Concernant **le maïs**, le poids des épis frais et secs n'a montré aucune différence significative ($p < 0,05$) selon les dates de semis, le système de culture ou leur interaction. En revanche, pour le poids des grains, l'analyse statistique n'a révélé aucune différence au niveau des dates ni de l'interaction entre date et système, mais une différence significative a été observée entre les systèmes de culture, le maïs associé au voandzou semé à la première date (D1S4) a donné le poids de grains plus élevé avec 40,37g comparé au maïs fertilisé qui a donné un poids le plus faible avec 12,36g. Pour le poids de grain et le rendement, les dates de semis et l'interaction entre dates et systèmes n'ont pas montré de différence significative, toutefois une différence significative est relevé au niveau du système cultural ($p > 0,05$) : le maïs associé au voandzou (S4) enregistre la valeur la plus élevée (1,223 t/ha), suivie du maïs associé au niébé(S5) avec 0,793 t/ha, tandis que le maïs fertilisé (S6) présente le rendement le plus faible avec 0,410 t/ha.

Pour **le niébé**, l'analyse de la variance révèle une différence significative entre les systèmes de culture pour le poids des gousses fraîches, sèches et des graines, mais aucune interaction avec les dates de semis n'a été observée. Globalement, le niébé associé (S5) améliore la production. Les valeurs varient de 5,83 g en culture pure à la première date (D1S3) à 15,22 g pour le niébé associé semé à la troisième date (D3S5) pour les gousses fraîches. Les gousses sèches vont de 4,39 g pour le niébé en culture pure semé à la première date (D1S3) à 10,22 g pour le niébé associé semé à la deuxième date (D2S5), tandis que le poids des graines oscille entre 2,53 g pour le niébé en culture pure semé à la première date (D2S3) et 6,74 g pour le niébé associé semé à la deuxième date (D2S5). Concernant le rendement à l'hectare, aucune différence significative n'a été relevée ($p < 0,05$). Néanmoins, le niébé en culture pure semé à la deuxième date (D2S3) a produit le rendement le plus élevé (0,415 t/ha), comparé à la monoculture semée à la première date (D1S3) qui reste faible (0,150 t/ha).

En ce qui concerne **le voandzou**, les résultats indiquent que les dates de semis et leur combinaison avec les systèmes de culture n'ont pas eu d'effet significatif sur le poids des gousses fraîches et sèches ($p < 0,05$). La différence significative a été relevé au niveau du système de culture La meilleure combinaison est observée avec le voandzou en associé semé à la troisième date (D3S4) avec 54,50 g, alors que la plus faible correspond au voandzou en culture pure semé à la deuxième date (D2S2) avec 28,67 g, les systèmes de culture ont significativement influencé le poids des graines et le rendement à l'hectare. Le voandzou associé (S4) enregistre des valeurs supérieures semé à la troisième date (15,83 g ; 0,844 t/ha), tandis que la culture pure semé à la troisième date (S2) présente des résultats plus faibles (6,43 g ; 0,343 t/ha).

Les moyennes de **LER Maïs** et de **LER Niébé + Voandzou** révèlent des différences selon les systèmes et les dates. Les résultats montrent que la performance agronomique des associations dépend de la complémentarité entre espèces. Les systèmes S4 (maïs-voandzou) et S5 (maïs-niébé) optimisent simultanément la productivité du maïs et des légumineuses, confirmant l'intérêt des associations céréale-légumineuse pour une meilleure utilisation des ressources. À l'inverse, les systèmes en monoculture (S1, S2, S3) ou le maïs fertilisé (S6) ne présentent pas de synergie, limitant leur efficacité globale.

Résultats sur la nodulation et la surface foliaire

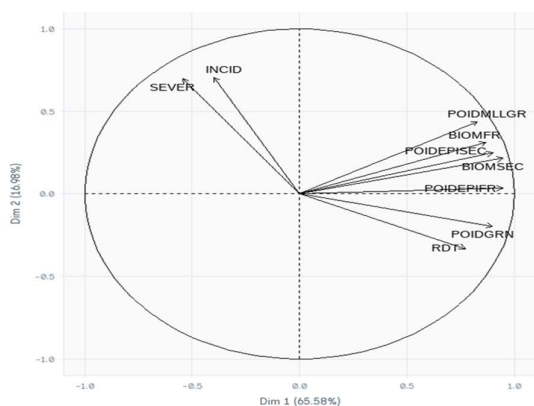
L'analyse de la variance appliquée **au nombre total de nodules et aux nodules colorés** du voandzou et du niébé a révélé des différences significatives selon les dates de semis, les systèmes de culture et leurs interactions ($p < 0,05$).

Chez le **voandzou**, les plants en culture pure semés à la troisième date (D3S2) ont présenté le nombre le plus élevé de nodules totaux (30,33) et de nodules colorés (27,33), comparativement à la deuxième date (D2S2) où les valeurs étaient plus faibles (13,00 et 9,33 respectivement). L'ordre de performance des dates suit la tendance $D3 > D2 > D1$.

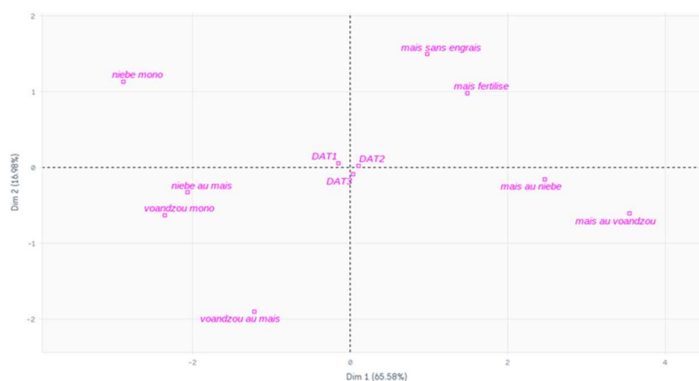
Chez le **niébé**, les nodules totaux varient de 14,00 pour le niébé en association semé à la première date (D1S5) à 16,33 nodules colorés pour la culture pure semée à la deuxième date (D2S3).

La surface foliaire du maïs a varié entre 257,41 cm² pour le maïs fertilisé à la troisième date (D3S6) et 417,04 cm pour l'association maïs-niébé à la première date (D1S5). Malgré ces différences, aucune différence significative n'a été relevée selon les dates de semis. Toutefois, le maïs semé à la première date (D1) a montré une tendance à produire des surfaces foliaires plus élevées que celui semé à la troisième date (D3). En revanche, le système de culture a eu un effet significatif : l'association maïs-niébé (S5) a généré la surface foliaire la plus importante (417,04 cm), traduisant une meilleure performance de ce système comparé aux autres.

2.2 Analyse en composantes principales (ACP), intégrant les systèmes de culture et les dates de semis



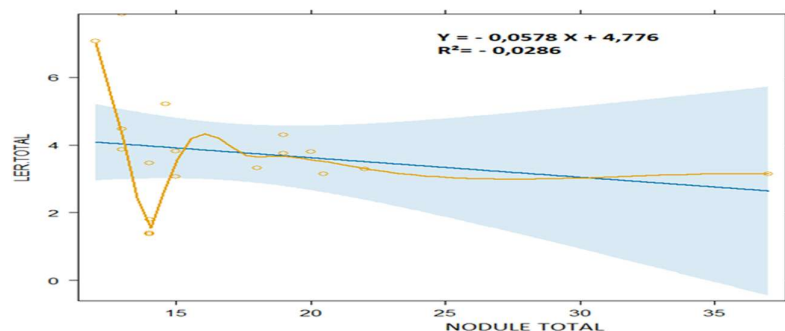
a)



b)

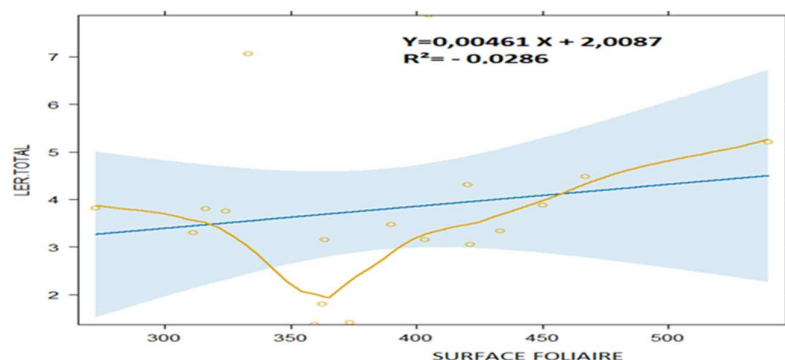
L'analyse en composantes principales (ACP) met en évidence que les deux premiers axes expliquent une part importante de la variabilité totale de 82,56%. Le premier axe (Dim 1) constitue l'axe majeur de différenciation, fortement corrélé aux paramètres de productivité et de rendement tels que la biomasse, le poids des épis ou gousses, le poids des grains et le rendement à l'hectare. Le second axe (Dim 2) apporte une nuance complémentaire en regroupant les variables sanitaires, notamment l'incidence et la sévérité des attaques parasitaires. La projection des systèmes montre une opposition nette entre les associations culturales (maïs-voandrou et maïs-niébé), qui se situent du côté positif de Dim 1 et traduisent une meilleure performance agronomique, et les cultures pures (maïs sans engrais, voandrou et niébé en monoculture), qui se projettent du côté négatif, associées aux fortes incidences et sévérités. Ainsi, l'ACP confirme que les associations constituent les systèmes les plus avantageux, car elles combinent une productivité élevée avec une réduction des contraintes sanitaires, contrairement aux monocultures qui restent plus vulnérables.

2.3 Régression linéaire entre nodules totales et de l'Indice d'Occupation de surface LER Total des associations



La régression linéaire entre le nombre total de nodules et le LER total montre une influence négative (coefficient $-0,0578$), non significative ($p = 0,42$) pour les données résiduelles, mais très significative par rapport au modèle présenté par la régression ($p < 0,01$) et faiblement explicative ($R^2 = 0,04$).

2.4 Régression linéaire de la Surface Foliaire et de l'Indice d'Occupation de surface LER Total des associations



La régression linéaire réalisée entre la surface foliaire et le LER total des associations met en évidence une tendance positive de la relation entre ces deux variables. Le coefficient de régression positif ($0,00461$) indique qu'une augmentation du LER est associée à une tendance à l'augmentation de la surface foliaire. Le graphique montre ainsi une certaine cohérence dans l'évolution des deux variables. Toutefois, cette relation demeure statistiquement non significative ($p = 0,6981 > 0,05$), avec un coefficient de détermination très faible ($0,0097$), indiquant que LER n'explique que $0,97\%$ de la variabilité observée de la surface foliaire.

Discussion

L'objectif de notre étude était d'analyser l'effet des décalages de semis sur la croissance, le développement et la productivité du maïs et des légumineuses, ainsi que déterminer le gain de productivité surfacique par le calcul de l'IET. Il est maintenant nécessaire d'examiner ces résultats afin d'en dégager leur signification scientifique et pratique.

En ce qui concerne le **maïs**, les résultats relatifs aux différentes dates, le système d'association et de l'interaction entre dates et système de culture, ont montré des différences non significatives pour la biomasse fraîche et sèche. Toutefois, on peut relever que la meilleure biomasse fraîche est obtenue avec le maïs associé au voandzou (S4) à la première date de semis (D1S4) avec $400,83$

g, tandis que pour la biomasse sèche, la valeur la plus élevée apparaît également dans ce système à la même date de semis (D1S4) avec 206,77 g). Ces résultats corroborent avec ceux de Coulibaly *et al.*¹¹ qui ont observé au Burkina Faso une augmentation de la biomasse produite par les associations maïs-légumineuses par rapport à la monoculture du maïs. Pour ce qui est de l'incidence et la sévérité des ravageurs, le maïs en culture pure (S1) a présenté les taux les plus forts (61,07 % ; sévérité 2,63). À l'inverse, les associations maïs-voandzou (S4) et maïs-niébé (S5) qui ont réduit significativement l'incidence (22,17 %) et la sévérité (1,0-1,3). Ce constat rejoint les observations d'O'Neil *et al.*¹² au Nord-Bénin, qui montre que les associations maïs-légumineuses sont perçues par les producteurs comme une stratégie d'adaptation efficace, contribuant à limiter la pression des maladies et ravageurs dans un contexte de variabilité climatique. En termes de rendement, l'association maïs-voandzou (S4) s'est distinguée avec 1,223 t/ha, suivie du maïs-niébé (S5 : 0,793 t/ha), tandis que le maïs fertilisé (S6) a donné les valeurs les plus faibles (0,410 t/ha). Ces résultats confirment les travaux de Bedoussac *et al.*¹³ ainsi que ceux de la FAO¹⁴, qui démontrent que les associations céréales-légumineuses reposent sur une complémentarité écologique favorisant l'augmentation de la productivité. De plus, l'interaction entre les dates et les systèmes est significative uniquement pour l'incidence des ravageurs (p : 0,033). À la première date (D1), le maïs en culture pure (S1) a montré une incidence élevée (61,07 %), tandis que les associations (S4 et S5) ont réduit cette valeur à 22,17 %. Nos résultats rejoignent les travaux de Liebman¹⁵, qui démontrent de manière constante que la diversification des systèmes de culture limite la prolifération des ravageurs et renforce la durabilité agronomique.

Pour ce qui est du **niébé**, en ce qui est de dates de semis, il n'a pas eu de différences significatives pour la biomasse fraîche et sèche, ce qui rejoint les observations rapportées par Diatta *et al.*¹⁶, qui n'ont pas révélé de différence entre les traitements concernant la biomasse fraîche et sèche du niébé. Quant au système de culture, il a eu un effet significatif sur l'incidence et la sévérité des ravageurs. Le niébé en association (S5) a réduit l'incidence parasitaire (27,73 % en D3S5 contre 72,17 % en D1S3) et la sévérité des attaques (2,07 en D3S5 contre 3,17 en D2S3). Ces résultats corroborent ceux de Lawane *et al.*¹⁷, qui ont montré que l'association des céréales avec le niébé contribue non seulement à améliorer la production de grains, mais aussi à limiter la pression des ravageurs et parasites, en perturbant leur cycle et en réduisant leur densité dans les champs... Par ailleurs, l'interaction entre dates et système de culture, l'analyse statistique montre qu'aucune différence significative n'a été observée au niveau de poids des gousses fraîches et sèches, poids de grains et le rendement, Ces résultats sont en accord avec ceux d'Ewansiha *et al.*¹⁸, qui, dans une étude sur l'association maïs-niébé, ont montré que certains paramètres de production n'étaient pas significativement influencés par la date de semis, malgré des variations observées entre les traitements.

En ce qui concerne le **voandzou**, pour ce qui est des dates de semis, aucune différence significativement n'a eu d'effet sur la biomasse fraîche et sèche, ni sur le nombre de gousses ($p > 0,05$). Cette absence de différence significative pourrait s'expliquer par la relative stabilité de la réponse du voandzou aux conditions de semis dans notre expérimentation. Toutefois, Collinson *et al.*¹⁹ ont montré que la production de matière sèche et le rendement en gousses du voandzou varient selon les dates de semis, principalement en fonction de la pluviométrie et de sa répartition. Quant au système de culture, il a eu un effet significatif sur plusieurs paramètres. L'association maïs-voandzou (S4) a donné des valeurs supérieures pour le rendement (0,844 t/ha), la biomasse (BF : 136,83 g ; BS : 65,48 g) et pour le nombre de gousses (21,33), comparées à la culture pure (S2 : RDT : 0,343t/ha ; BF : 71,83 g ; BS : 37,70 g ; gousses : 11,33). Cette tendance concorde avec les résultats de Nwachukwu²⁰, qui a mis en évidence une amélioration de la production de biomasse du voandzou en système intercalaire avec le maïs. De même, Pongi *et al.*²¹ ont montré que l'association maïs-légumineuse peut influencer positivement la production de biomasse. De plus, l'incidence des ravageurs a été réduite en association (22,17 %) par rapport à la culture pure (66,63 %). Cela concorde avec les résultats de Chappuis²², qui rapporte que la diversité des espèces perturbe le cycle de certains pathogènes et ravageurs spécifiques. Par ailleurs, l'interaction entre les dates et les systèmes est significative pour la nodulation ($p < 0,05$). Le voandzou en culture pure semé à la troisième date (D3S2) a donné le plus grand nombre de nodules totaux (30,33) et colorés (27,33). En revanche, l'association maïs-voandzou (D3S4) a montré moins de nodules (14 totaux, 9 colorés), mais une meilleure biomasse et un rendement supérieur (0,844 t/ha). Ce constat est conforme aux observations d'Egbe *et al.*²³, qui ont montré que, bien que la performance individuelle du voandzou en association soit réduite, l'interculture demeure globalement productive et rentable grâce à la complémentarité fonctionnelle entre le maïs et la légumineuse.

L'analyse en composantes principales (ACP) révèle que les deux premiers axes expliquent une part importante de la variabilité (82,56 %). Le premier axe (Dim 1) est lié aux paramètres de productivité (biomasse, poids des épis/gousses, rendement), tandis que le second (Dim 2) regroupe les variables sanitaires (incidence et sévérité des attaques). La projection des systèmes montre une opposition nette : les associations maïs-voandzou et maïs-niébé se situent du côté positif de Dim 1 avec de meilleures performances agronomiques, alors que les cultures pures se placent du côté négatif, associées aux fortes incidences parasitaires. Ainsi, l'ACP confirme l'avantage des associations, qui combinent productivité élevée et réduction des contraintes sanitaires. Cette tendance est en accord avec les observations de Pongi *et al.*²⁴, qui ont également montré, à travers une ACP sur différents systèmes maïs-niébé-soja, que les associations sont caractérisées par des indices positifs liés à la productivité et à l'avantage agronomique de l'interculture.

La régression linéaire entre le nombre total de nodules et le LER total révèle une relation négative mais non significative et peu explicative. La dispersion des points et la faible valeur du coefficient de détermination montrent que la nodulation n'explique pas directement la variabilité du LER. Les résultats indiquent que le nombre de nodules ne constitue pas, à lui seul, un indicateur fiable de l'efficacité des associations.

Cette tendance s'éclaire à travers l'analyse des composantes du LER : les associations maïs-voandzou (S4) et maïs-niébé (S5) ont présenté les meilleures performances agronomiques, avec des valeurs de LER élevées, traduisant une forte complémentarité entre espèces. Toutefois, cette efficacité n'a pas été systématiquement associée à une nodulation plus importante. En effet, une nodulation élevée en monoculture peut refléter une moindre compétition interspécifique, sans garantir une meilleure efficacité globale, tandis qu'en association, une nodulation réduite peut être compensée par une meilleure utilisation conjointe de la lumière, de l'eau et des nutriments.

Ainsi, la relation négative observée ne traduit pas un effet défavorable de la nodulation sur le LER, mais souligne que la performance des associations dépend avant tout de la complémentarité fonctionnelle entre le maïs et les légumineuses. Les résultats confirment que des valeurs élevées de LER peuvent être obtenues même avec une nodulation limitée, comme l'ont également montré Egbe *et al.*²⁵ dans leurs travaux sur le voandzou en interculture.

La régression linéaire entre la surface foliaire du maïs et le LER total montre une tendance positive, suggérant qu'une augmentation de la surface foliaire est associée à une meilleure efficacité des associations. Bien que l'effet des dates de semis ne soit pas significatif, le semis à la première date (D1) a favorisé une surface foliaire plus élevée que celui de la troisième date (D3), ce qui pourrait avoir contribué à une meilleure interception lumineuse. L'association maïs-voandzou (S4) et maïs-niébé (S5), qui ont présenté les surfaces foliaires les plus importantes, sont également ceux qui ont enregistré les meilleurs LER, traduisant une cohérence entre le développement végétatif et la performance agronomique.

Cette tendance confirme que la productivité des associations dépend davantage de la complémentarité dans l'utilisation des ressources (lumière, eau, nutriments) que d'un seul caractère biologique comme la nodulation. Elle rejoint les observations de Dimande *et al.*²⁶, qui ont montré que l'interculture maïs-niébé améliore l'efficacité d'utilisation des ressources et favorise la croissance foliaire, ainsi qu'avec ceux de Carlitos²⁷, qui ont confirmé l'existence d'une corrélation positive entre l'indice foliaire (LAI) et le rendement dans les systèmes associés.

Conclusion

Les associations du maïs associé au niébé et au voandzou ont montrées des performances supérieures par rapport aux monocultures, avec une meilleure productivité et une réduction des contraintes sanitaires. Le maïs associé au voandzou s'est distinguée à la première date de semis (D1S4) par les meilleures valeurs de biomasse (400,83 g fraîche ; 206,77 g sèche) et un rendement de 1,223 t/ha, suivie par le maïs associé au niébé (0,793 t/ha). En définitive, la première date de semis (D1),

notamment le maïs associé au voandzou, apparaît comme la plus favorable pour concilier rendement élevé, biomasse importante et réduction des ravageurs. Les objectifs fixés ont été atteints, en montrant que les associations constituent une stratégie durable pour améliorer la productivité et la résilience des systèmes de culture.

Références

- [1]. Mbuya Kankolongo A, Kabongo Tshiabukole JP, Kizungu Vumilia R, Nkongolo Kabwe C. Évaluation de la performance agronomique et adaptative de nouvelles variétés de maïs (*Zea mays* L.) sous les conditions environnementales de la savane du sud-ouest de la République Démocratique du Congo. *Rev Mar Sci Agron Vét.* 2020;8(3):284-95.
- [2]. Naudin C, Corre-Hellou G, Pineau S, Crozat Y, Jeuffroy MH. The effect of intercropping pea and barley on whole-plant growth and N accumulation. *Field Crops Res.* 2010;119(2-3):321-33. doi:10.1016/j.fcr.2010.08.004
- [3]. Schneider A, Huyghe C. Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables. Versailles: Éditions Quae; 2018.
- [4]. Brooker RW, Bennett AE, Cong WF, Daniell TJ, George TS, Hallett PD, et al. Improving intercropping: A synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytol.* 2015;206(1):107-17. doi:10.1111/nph.13132
- [5]. Pongi GK. Étude et modélisation de la productivité des systèmes de culture basés sur le semis direct sous couvert végétal dans la savane du sud-ouest de la République Démocratique du Congo: cas de Mvuazi [thèse de doctorat]. Kinshasa: Université Pédagogique Nationale; 2021.
- [6]. Zhang Y, Liu J, Zhang J, Wang E. Row configuration and relative sowing date effects on water and nitrogen use efficiency in maize–soybean intercropping. *Agric Water Manag.* 2023;278:108145. doi:10.1016/j.agwat.2022.108145
- [7]. Muoneke CO, Ogwuche MAO, Kalu BA. Effect of planting pattern and variety on the productivity of maize/cowpea intercropping system. *J Agric Sci Technol.* 2009;3(2):55-66.
- [8]. Shaje Tshiluila. Étude socio-environnementale du secteur de Boma-Bungu, territoire de Muanda. *J Int Sci Tech Environ Économie.* 2021;6(3).
- [9]. Climate-Data.org. Climate: Boma, Democratic Republic of the Congo [Internet]. [cited 2026 Apr 23]. Available from: <https://en.climate-data.org/africa/congo-kinshasa/kongo-central/boma-605/>
- [10]. Mead R, Willey RW. The concept of a 'Land Equivalent Ratio' and advantages in yields from intercropping. *Exp Agric.* 1980;16(3):217-28. doi:10.1017/S0014479700010978
- [11]. Coulibaly K, Vall E, Autfray P, Sedogo MP. Performance technico-économique des associations maïs/niébé et maïs/mucuna en situation réelle de culture au Burkina Faso: potentiels et contraintes. *Tropicultura.* 2012;30(3):147-54.
- [12]. O'Neil GMM, Tovihoudji GP, Ollabodé N, Akponikpè PBI, Yabi JA. Perception des producteurs des changements climatiques et stratégies d'adaptation dans les systèmes de culture à base de maïs (*Zea mays*) au Nord Bénin. *Ann Univ Parakou Sér Sci Nat Agron.* 2022;12(1):1-14. doi:10.56109/aup-sna.v12i1.7
- [13]. Bedoussac L, Journet EP, Hauggaard-Nielsen H, Naudin C, Corre-Hellou G, Jensen ES, et al. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal–grain legume intercrops in organic farming: a review. *Agron Sustain Dev.* 2015;35(3):911-35.
- [14]. FAO. Sustainable intensification of agriculture in tropical systems. Rome: FAO; 2016.
- [15]. Liebman M, Dyck E. Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecol Appl.* 1993;3(1):92-122. doi:10.2307/1941795

- [16]. Diatta AA, Sambou M, Bassène C, Mbow C, Manga AGB, Senghor Y. Enhancing the sustainability of cowpea production through the integrated use of fish effluents and animal manure. *Agrosyst Geosci Environ*. 2024. doi:10.1002/agg2.20578
- [17]. Lawane G, Sougnabé SP, Lenzemo V, et al. Efficacité de l'association des céréales et du niébé pour la production de grains et la lutte contre *Striga hermonthica* (Del.). In: *Savanes africaines en développement: innover pour durer. Actes du colloque; 2009; Garoua, Cameroun*. HAL archives ouvertes.
- [18]. Ewansiha SU, Kamara AY, Chiezey UF, Onyibe JE. Response of cowpea to sowing date and maize plant population in a Sudan savannah environment. *Trop Agric*. 2015;92(1):83-9.
- [19]. Collinson ST, Sibuga KP, Tarimo AJP, Azam-Ali SN. Influence of sowing date on the growth and yield of Bambara groundnut landraces in Tanzania. *Exp Agric*. 2000;36(1):1-13. doi:10.1017/S0014479700361038
- [20]. Nwachukwu D. Evaluation of selected Bambara groundnut varieties in maize-based intercropping system in ultisols of Owerri. *SSRN Electron J*. 2021. doi:10.2139/ssrn.3895589
- [21]. Pongi GK, Kabongo JP, Mbuya AK, Hauser S, Djamba Mumba A, Kizungi RV, Nkongolo Kabwe C. Evaluation of the association and rotation of maize with legumes, in direct sowing in the Democratic Republic of Congo. *Open Access Libr J*. 2020;7(9):1-18. doi:10.4236/oalib.1106522
- [22]. Chappuis M. Diversité végétale et réduction des ravageurs en systèmes intercalaires. *Rev Agron Trop*. 2015;8(2):77-89.
- [23]. Egbe MO, Alhassan GA. Bambara groundnut/maize intercropping: Effects of planting densities in Southern Guinea Savanna of Nigeria. *Afr J Agric Res*. 2014;9(4):479-86. doi:10.5897/AJAR2013.7955
- [24]. Pongi GK, Kabongo JP, Mbuya AK, Hauser S, Djamba Mumba A, Kizungi RV, Nkongolo Kabwe C. Evaluation of Yield and Competition Indices for Intercropped Eight Maize Varieties, Soybean and Cowpea in the Zone of Savanna of South-West RD Congo. *Open Access Libr J*. 2018;5(1):1-18. doi:10.4236/oalib.110
- [25]. Egbe, M.O., and Alhassan, G.A. Bambara groundnut/maize intercropping: Effects of planting densities in Southern Guinea Savanna of Nigeria. *African Journal of Agricultural Research*. (2013). , 9(4), 479–486. doi: 10.5897/AJAR2013.7955.
- [26]. Dimande P, Arrobas M, Rodrigues MÂ. Intercropped maize and cowpea increased the Land Equivalent Ratio and enhanced crop access to more nitrogen and phosphorus compared to cultivation as sole crops. *Sustainability*. 2024;16(4):1440. doi:10.3390/su16041440
- [27]. Carlitos DC. Avaliação da relação entre o índice de área foliar e desempenho de Milho (*Zea mays* L.) e Feijão Nhemba (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) no sistema de cultivo consociado [thèse]. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane; 2025.