

Étude comparative de l'évolution des rendements agricoles saisonniers des agrosystèmes mono spécifiques et d'un agrosystème bio diversifié dans la région de Bengamisa en RDC

Jean-Claude ESUKA ALFANI, Jean-Pierre MUKANDAMA NDOLANDOLA et Muller LOFINDA LIFAKE*

Université de Kisangani, Faculté de Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables, Département des Sciences Agronomiques, Laboratoire d'Agroécologie et de Valorisation des Savoirs Agricoles Endogènes, BP 2020, Kisangani, République Démocratique du Congo

(Reçu le 11 Octobre 2025 ; Accepté le 02 Janvier 2026)

* Correspondance, courriel : mullerlofinda@gmail.com

Résumé

Cette étude vise à analyser l'évolution des rendements agricoles des cultures vivrières saisonnières (maïs, arachide, riz et patate douce), installées en cultures mono spécifiques et en agrosystème bio diversifié avec le manioc et le bananier plantain, au cours de deux saisons culturales successives, dans la région de Bengamisa, en République Démocratique du Congo. L'expérimentation a porté sur un dispositif expérimental à blocs complètement randomisés, comportant cinq traitements et quatre répétitions. Les résultats observés entre les deux saisons indiquent pour les cultures mono spécifiques une diminution des rendements respectivement de 26,1 % pour le maïs, de 22,9 % pour l'arachide, de 30,0 % pour le riz et de 24,2 % pour la patate douce et pour les agrosystèmes plurispécifiques une diminution des rendements de l'ordre de 14,5 % pour le maïs, de 17,5 % pour l'arachide, de 12,4 % pour le riz et de 16,2 % pour la patate douce. Le taux de variation saisonnière des rendements des cultures mono spécifiques par rapport aux cultures associées est de 80,0 % pour le maïs, de 141,9 % pour le riz, de 30,9 % pour l'arachide et de 49,4 % pour la patate douce.

Mots-clés : *rendement, saison, agrosystème, Bengamisa, République Démocratique du Congo.*

Abstract

Comparative study of the evolution of seasonal agricultural yields of monospecific agrosystems and a biodiverse agrosystem in the Bengamisa Region of the DRC

This study primarily aims to analyze the evolution of agricultural yields of seasonal food crops (corn, peanuts, rice, and sweet potatoes), planted as single-species crops and in a biodiverse agrosystem with cassava and plantain, over two successive growing seasons in the Bengamisa region of the Democratic Republic of Congo. The field experiment involved a completely randomized block design, comprising five treatments and four replications. The results observed between the two seasons indicate for monospecific cultures a yield decrease of 26,1 % for maize, 22,9 % for groundnut, 30,0 % for rice, and 24,2 % for sweet potato, respectively, for multispecies agrosystems, the yields reduction was of the order 14,5 % for maize,

17,5 % for groundnut, 12,4 % for rice, and 16,2 % for sweet potato. The seasonal rate of return variation is 80,0 % for maize, 30,9 % for groundnut, 141,9 % for rice, and 49,4 % for sweet potato.

Keywords : *agrobiodiversity, land equivalent ratio, equivalent density coefficient, density ratio, simplified agroecosystem, biodiverse agroecosystem.*

1. Introduction

La stratégie de la production agricole ayant permis d'augmenter substantiellement les rendements au monde jusqu'aujourd'hui, est celle basée sur la motorisation, l'usage des intrants chimiques, la mise au point des variétés à haute productivité et la quasi-généralisation des agrosystèmes mono spécifiques [1, 2]. Malheureusement, cette stratégie impacte négativement sur les ressources environnementales, en ce qui concerne notamment l'émission des gaz à effet de serre, la pollution de l'air et des eaux, l'érosion de l'agro biodiversité ; sur la qualité des productions et sur la santé de l'homme [3]. Aujourd'hui, il y a la nécessité d'une transition vers une agriculture moins dépendante des intrants de synthèse, qui favorise "des écosystèmes sains et une gestion durable de la terre, de l'eau et des ressources naturelles, tout en garantissant une sécurité alimentaire mondiale" [4, 5]. Le nouveau modèle d'agriculture devra s'appuyer sur une approche beaucoup plus écologique, dont l'augmentation des rendements agricoles est fondée sur la présence de la biodiversité, le recyclage de nutriments ainsi que sur la régénération et la conservation des ressources [6]. La présence de la biodiversité dans les agrosystèmes permet aux phénomènes biologiques d'interagir, en vue d'améliorer la fertilité des sols [7], de rétablir les services écosystémiques perturbés [8], d'optimiser la capacité de rétention en eau du sol, d'atténuer la pression des bio-agresseurs [9], d'accroître la séquestration du carbone, d'accentuer la résistance et la résilience aux changements climatiques [10]. Mais également, plusieurs d'autres auteurs notamment [11, 12], démontrent que les mélanges d'espèces permettent de réduire la variabilité des récoltes dans des contextes environnementaux variables par rapport aux agrosystèmes simplifiés. Les associations de cultures sont des pratiques anciennes, très répandues dans certaines régions du monde, telle qu'en Mésomérique [13] ou encore en Afrique subsaharienne [12]. Ces pratiques sont considérées aujourd'hui par des scientifiques comme des alternatives à l'agriculture intensive [14] et que les axes de recherche futurs devraient s'orienter vers les liens entre les mélanges et les communautés microbiennes, la biodiversité et la résilience à l'égard du changement climatique, et la fertilité des sols [15]. En République Démocratique du Congo et particulièrement dans la région de Bengamisa, l'association de cultures reste le système agricole dominant. Elle est pratiquée par plus de 90% des agriculteurs, mais reste peu étudiée [16, 17]. A cet effet, il s'avère nécessaire de pouvoir évaluer et analyser, par le biais de quelques indicateurs de compétition, les rendements agricoles des cultures associées par rapport aux cultures mono spécifiques, en vue de dégager dans le temps et dans l'espace, leurs performances relatives. C'est dans ce contexte que la présente étude se fixe comme objectif de comparer l'évolution des rendements agricoles des cultures vivrières saisonnières (maïs, arachide, riz et patate douce), installées en cultures mono spécifiques et de la combinaison de ces cultures avec le manioc et le plantain en agrosystèmes bio diversifiés, au cours de deux saisons culturales successives.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation de la zone d'étude

Ce travail a été effectué dans la région de Bengamisa, en Province de la Tshopo dans la République Démocratique du Congo. L'expérimentation a été installée précisément à Batshusthe, un village du groupement Abata, dans le secteur de Bamanga-Bengamisa. Les coordonnées géographiques du milieu d'étude sont notamment : 0° 47' 52,4" Latitude Nord, 25° 14' 33,1 " Longitude Est et 432 m d'altitude (source GPS). Cette région est caractérisée par des températures moyennes situées entre 24 et 25,5°C et des moyennes annuelles des précipitations oscillant entre 1600-1700 mm. Elle fait partie du climat du type Af, selon la classification de Köppen [9].

2-2. Matériel d'étude

Le matériel d'étude comprend quatre cultures saisonnières dont le riz (variété Nerica 4), le maïs (variété Samaru), la patate douce (variété Elengi) et l'arachide (variété JL24) [18].

2-3. Méthodes

2-3-1. Dispositif expérimental

L'expérimentation au champ a porté sur un dispositif en blocs complètement randomisés, comportait cinq traitements et quatre répétitions. La superficie de chaque parcelle est de 105 m², séparée entre-elles par des allées de 2 m chacune. Les blocs sont également séparés par des allées de 2 m. L'ensemble de l'expérimentation concerne donc 20 parcelles, pour une superficie utile totale de 2100 m². Les différents traitements sont : T₀₁ : Agrosystème bio diversifié ; T1 : Culture mono spécifique du maïs ; T2 : Culture mono spécifique d'arachide ; T3 : Culture mono spécifique du riz ; T4 : Culture mono spécifique de patate douce.

2-3-2. Conduite de l'essai

L'expérimentation a été conduite au cours de deux saisons culturales successives : saison A (mars-mai) et saison B (septembre-novembre), au cours de l'année 2022. Les parcelles d'agrosystème bio diversifié ont été installées selon un Coefficient de Densité Equivalente de 1,2 [19]. Cette valeur représente la somme des ratios de densité des cultures intervenant dans l'association. Ces ratios de densité sont de : manioc 0,4 ; bananier plantain 0,2 ; maïs 0,19 ; arachide 0,19 ; riz 0,19 et patate douce 0,03. Les cultures mono spécifiques pour leur part ; ont été installées selon les densités usuelles de la région.

Les densités des cultures ont été déterminées comme suit :

- **Densité de Cultures en Association DCA** : Elle est calculée à partir de la surface du champ (*A*) en m², des écartements en culture pure (*E*) en m² et du Taux de Ratio de Densité de la culture en association (*TRd*) en %, selon la **Formule** [19] :

$$DCA = \frac{A}{E} \times TRd \quad (1)$$

- **Taux de Ratio de densité TRd** : Il s'exprime en % et représente la proportion d'une culture dans l'association. Il est calculé à partir du Ratio de densité de la culture considérée (*Rd*) partant de la **Formule** [19] :

$$TRd = Rd \times 100 \quad (2)$$

- **Ratio de densité Rd** : Il représente le rapport de la Densité de Cultures en Agrosystème Bio diversifié (*DCA*) ou association de culture par rapport à la densité en culture pure (*DCP*). Il est obtenu à partir de la **Formule** [19] :

$$Rd = \frac{DCA}{DCP} \quad (3)$$

- **Densité en cultures pure DCP** : Elle est calculée en procédant au rapport de la Surface du champ (A) en m² et des Ecartements appliqués pour la culture (E) en m² selon la **Formule** [19] :

$$DCP = \frac{A}{E} \quad (4)$$

2-3-3. Analyse des données

Elle concerne les données recueillies sur les rendements agricoles de cultures pures et de l'association de cultures de riz, d'arachide, de maïs et de patate douce durant deux saisons culturales successives. Elle a consisté à l'évaluation du taux d'écart des rendements agricoles saisonniers, du taux de variation des rendements agricoles saisonniers entre les deux systèmes, au calcul du Land Equivalent Ratio partiel, du coefficient d'occupation du sol ainsi que du taux de sur-rendement.

- **Taux d'Ecart saisonnier des rendements agricoles TE (%)** : C'est la différence entre le rendement de la deuxième saison culturale (RS2) et celui de la première saison culturale (RS1) par rapport au rendement de la première saison culturale selon la **Formule** [19] :

$$TE (\%) = \frac{(RS2 - RS1) \times 100}{RS1} \quad (5)$$

Une valeur négative indique que le rendement a diminué de la saison 1 à la saison 2 ; une valeur positive montre que le rendement a augmenté de la saison 1 à la saison 2 et une valeur nulle ne considère que le rendement soit resté constant entre les deux saisons.

- **Taux de variation saisonnière des Rendements agricoles entre les deux systèmes TvR** : C'est la différence, exprimée en pourcentage, des Taux d'Ecart des rendements agricoles saisonniers des Cultures Mono spécifiques (*TEMs*) par rapport Taux d'Ecart des rendements agricoles saisonniers des Agrosystèmes Bio diversifiés (*TEAb*). Il est calculé partant de la **Formule** [19] :

$$TvR (\%) = \frac{(TEMs - TEAb) \times 100}{TEAb} \quad (6)$$

Une valeur positive de TvR indique que la diminution de rendement en association de culture entre les deux saisons a été moins sensible par rapport à la culture pure. L'association de culture a donc contribué à la stabilisation de rendement dans le temps. Une valeur négative de TvR prouve que la baisse de rendement en association de culture entre les deux saisons a été relativement plus prononcée en association de culture par rapport à la culture pure. La stabilisation de rendement dans le temps par l'association de culture n'est pas perceptible. Une valeur nulle de TvR suppose un rendement équivalent dans le temps et dans l'espace entre la culture pure et l'association de culture.

- **« Land Equivalent Ratio » LER**: Le LER se définit comme la superficie de terrain en culture pure, nécessaire pour produire les rendements atteints par un hectare de cultures associées. Des valeurs de LER supérieures à 1 indiquent que l'association favorise la croissance et le rendement des espèces associées. Au contraire, des valeurs de LER inférieures à 1 signifient que l'association n'a pas d'avantage sur la culture pure. Il mesure la productivité globale de l'agrosystème bio diversifié par rapport aux cultures mono spécifiques. Il se calcule de la manière suivante [20, 21] :

$$LER = LA + LB + \dots + LN = \frac{YA}{SA} + \frac{YB}{SB} + \dots + \frac{YN}{SN} \quad (7)$$

avec, $YA \dots YN$ = Rendement de chaque composante dans l'association ; $SA \dots SN$ = rendement de chaque composante en culture pure.

- **LER partiel LA** : Il permet d'évaluer l'effet de l'association sur l'une des deux espèces ou trois espèces. il est ainsi calculé selon la **Formule** [20, 21] suivante :

$$LA = \frac{YA}{RA} \quad (8)$$

avec, LA : LER partiel culture A ; YA : rendement de la culture A en association ; RA : rendement de A en culture pure.

LER partiel est comparé au coefficient d'occupation du sol de la culture considérée. S'il est supérieur à ce coefficient ; cela correspond à une meilleure efficacité dans l'agrosystème bio diversifié qu'en culture mono spécifique. Dans le cas contraire, il y a eu moins d'efficacité dans l'utilisation des ressources en association par rapport à la culture pure.

- **Le Coefficient d'occupation du sol**: Il représente la proportion du champ occupée par la culture associée. Il est total ($CTOS$), lorsque l'évaluation porte sur la proportion occupée par l'ensemble de cultures associées, il est spécifique ($CSOS$), si cette évaluation ne concerne que la proportion du champ occupée par une seule culture de l'association. Ils sont mis en œuvre par les **Equations** suivantes [19, 21] :

$$CTOS = \frac{Rd_1}{CDE} + \frac{Rd_2}{CDE} + \dots + \frac{Rdn}{CDE} \quad (9)$$

avec, $CTOS$ = coefficient total d'occupation du sol ; CDE = coefficient de densité équivalente ; Rd_1 = ratio de densité culture 1 ; Rd_2 = ratio de densité culture 2 ; Rdn = Ratio de densité culture n.

$$CSOS = \frac{Rd}{CDE} \quad (10)$$

avec, $CSOS$ = coefficient spécifique d'occupation du sol ; CDE = coefficient de densité équivalente ; Rd = Ratio de densité.

$$CDE = Rd_1 + Rd_2 + \dots + Rdn \quad (11)$$

avec, CDE = coefficient de densité équivalente ; Rd_1 = ratio de densité culture 1 ; Rd_2 = ratio de densité culture 2 ; Rdn = Ratio de densité culture n.

La valeur du coefficient d'occupation du sol est de 0,16 pour le maïs, l'arachide et le riz et de 0,025 pour la patate douce.

Taux de variation saisonnière de LER TvLER : C'est la différence, exprimée en pourcentage, de la valeur de LER de la saison 2 ($TvLER_2$) et de la valeur de LER de la saison 1 ($TvLER_1$) par rapport la valeur de LER de la saison 1 ($TvLER_1$). Une valeur positive de TvLER indique que LER a augmenté de la saison 1 à la saison 2. Ceci signifie que la baisse de rendement entre les deux saisons a été plus importante en culture pure par rapport à l'association de culture. Une valeur négative de TvLER montre que LER a baissé de la saison 1 à la saison 2. Ceci signifie que la diminution de rendement entre les deux saisons a été moins importante en culture pure par rapport à l'association de culture. Une valeur nulle de TvLER signifie un rendement équivalent dans le temps et dans l'espace entre les deux systèmes de culture. Il est calculé partant de la **Formule** [19] :

$$TvLER (\%) = \frac{(TvLER_2 - TvLER_1) \times 100}{TvLER_1} \quad (12)$$

- **Taux de sur-rendement TsR :** Il représente le sur-rendement induit par les agrosystèmes biodiversifiés par rapport aux cultures monospécifiques au cours de la saison culturale 1 (TsR_1) ou pendant la saison 2 (TsR_2). Il est calculé selon la **Formule** [19] :

$$TsR (\%) = \frac{(LER - CSOS) \times 100}{CSOS} \quad (13)$$

$$TsR_1 (\%) = \frac{(LER_1 - CSOS_1) \times 100}{CSOS_1} \quad (14)$$

$$TsR_2 (\%) = \frac{(LER_2 - CSOS_2) \times 100}{CSOS_2} \quad (15)$$

Taux de variation saisonnière des sur-rendements agricoles TvsR : C'est la différence, exprimée en pourcentage, des Taux de sur-rendement de la saison 1 (TsR_1) et des Taux de sur-rendement de la saison 2 (TsR_2) par rapport au Taux de sur-rendement de la saison 1. Une valeur positive de TvsR indique que l'association de culture a engendré un sur-rendement élevé à la deuxième saison culturale par rapport à la première saison. Ceci signifie que la baisse de rendement entre les deux saisons a été plus sensible en culture pure par rapport à l'association de culture. Cette dernière a donc contribué à la stabilisation de rendement dans le temps. Par contre, une valeur négative de TvsR montre que l'association de culture a produit moins de sur-rendement à la deuxième saison culturale par rapport à la première saison. Ceci signifie que la baisse de rendement entre les deux saisons a été moins prononcée en culture pure par rapport à l'association de culture. Il y eu donc peu d'efficacité dans l'utilisation de ressources dans le temps en association de culture par rapport à la culture pure. Une valeur nulle suppose un rendement équivalent dans le temps et dans l'espace entre la culture pure et l'association de culture. Il est calculé partant de la **Formule** [19] :

$$TvsR (\%) = \frac{(TsR_2 - TsR_1) \times 100}{TsR_1} \quad (16)$$

3. Résultats et discussion

3-1. Présentation des résultats

3-1-1. Évolution saisonnière des rendements agricoles

3-1-1-1. Évolution saisonnière des rendements agricoles des cultures monospécifiques

L'évolution saisonnière des rendements agricoles des cultures monospécifiques du maïs, du riz, d'arachide et de la patate douce (**Figures 1a, 1b, 1c et 1d**) indique une diminution des rendements de toutes ces spéculations de la première à la deuxième saison culturale.

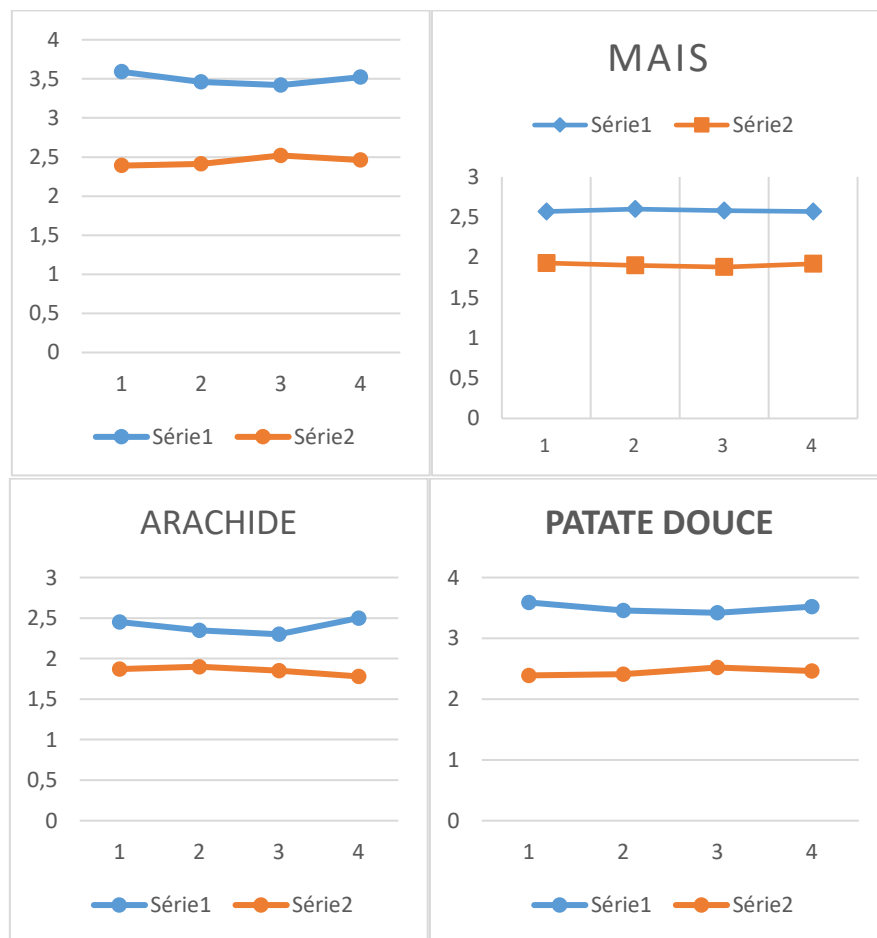


Figure 1 : Évolution saisonnière des rendements (t/ha) des différentes cultures

Le **Tableau 1** présente les écarts saisonniers des rendements moyens ($\bar{A}$) en t/ha et les taux d'écarts saisonniers des rendements ($TE\%$) des cultures monospécifiques. Il ressort de ce tableau que les rendements agricoles ont baissé de la première à la deuxième saison culturale, respectivement de 0,62 t/ha pour le maïs, de 0,55 t/ha pour l'arachide, de 1,05 t/ha pour le riz et de 6,55 t/ha pour la patate douce.

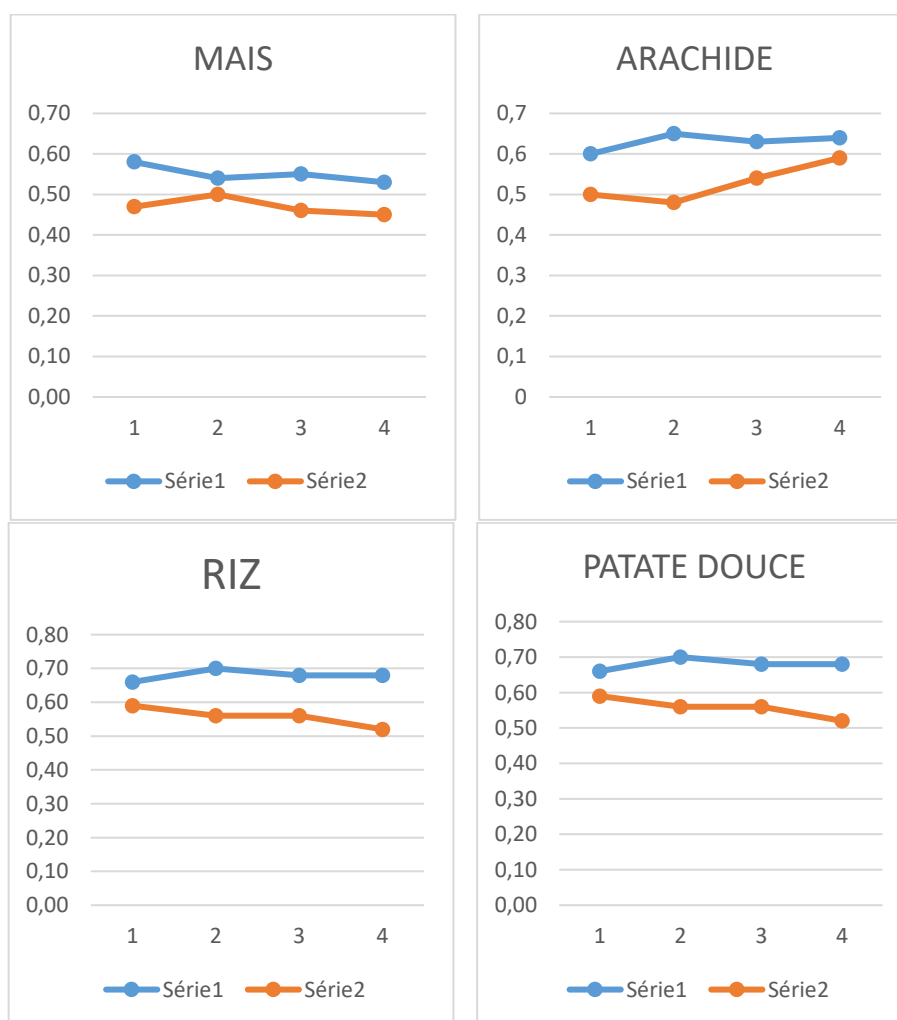
Tableau 1 : Écarts saisonniers (t/ha) et taux d'écarts saisonniers (%) des rendements

	Maïs	Arachide	Riz	Patate douce
S1	2,58	2,40	3,50	27,05
S2	1,91	1,85	2,45	20,5
Ecart	-0,62	-0,55	-1,05	-6,55
TE(%)	-26,1	-22,9	-30,0	-24,2

Les taux d'écarts des rendements enregistrés entre ces deux saisons sont de -30,0 % ; -26,1 % ; -24,2 % et -22,9 % respectivement pour le riz, le maïs, la patate douce et l'arachide.

3-1-1-2. Évolution saisonnière des rendements dans les agrosystèmes biodiversifiés

Il ressort des résultats repris dans les **Figures 2a, 2b, 2c et 2d** portant sur l'évolution saisonnière des rendements agricoles du maïs, du riz, d'arachide et de la patate douce en association de cultures que les rendements de toutes ces cultures ont généralement baissé d'une saison à une autre.

**Figure 2 : Évolution saisonnière des rendements (t/ha) en grains des différentes cultures**

Les résultats se rapportant à la différence des rendements moyens (t/ha) ainsi qu'aux taux d'écarts des rendements saisonniers (TE %) des cultures associées sont consignés dans le **Tableau 2**. Il ressort que les rendements enregistrés entre les deux saisons ont diminué de 0,08 t/ha pour le maïs, soit 14,5 % ; de 0,11 t/ha pour l'arachide, soit 17,5 % ; de 0,11 t/ha pour le riz soit 12,4 % ; et de 0,11 t/ha pour la patate douce, soit 16,2 %.

Tableau 2 : Taux d'écarts saisonniers (%) des rendements

	Maïs	Arachide	Riz	Patate douce
S1	0,55	0,63	0,89	0,68
S2	0,47	0,52	0,78	0,57
Ecart	-0,08	-0,11	-0,11	-0,11
TE(%)	-14,5	-17,5	-12,4	-16,2

S1 = saison 1 ; S2 = saison 2.

3-1-2. Comparaison de l'évolution des rendements agricoles saisonniers entre les deux systèmes de cultures

Les taux de variation saisonnière des rendements agricoles des cultures mono spécifiques par rapport aux cultures associées observés (**Tableau 3**), sont respectivement de 80,0 % pour le maïs, de 30,9 % pour l'arachide, de 141,9 % pour le riz et de 49,4 % pour la patate douce.

Tableau 3 : Taux de variation saisonnière des rendements (TvR)

	Maïs	Arachide	Riz	Patate douce
TEAb	-14,5	-17,5	-12,4	-16,2
TEMs	-26,1	-22,9	-30,0	-24,2
Ecart	-11,6	-5,4	-17,6	-8,0
TvR	80,0	30,9	141,9	49,4

TEAb = Taux d'écart de rendements saisonniers en agrosystème bio diversifié ; TEMs = Taux d'écart de rendements saisonniers en cultures mono spécifiques.

3-1-3. Évolution saisonnière de Land Equivalent Ratio

Les valeurs de LER partiel ont augmentent de la première à la deuxième saison (**Tableau 4**) de 9,09 ; 7,69 ; 23,07 et de 20,00 respectivement pour le maïs, l'arachide, le riz et la patate douce.

Tableau 4 : Taux de variation saisonnière de LER partiel (%)

	Maïs	Arachide	Riz	Patate douce
LER1	0,22	0,26	0,26	0,025
LER2	0,24	0,28	0,32	0,030
Ecart	+0,02	+0,02	+0,06	+0,005
TvLER	9,09	7,69	23,07	20,00

Les résultats repris dans le **Tableau 5** montrent des sur-rendements induits par l'association de cultures de l'ordre de 37,5 % pour le maïs ; de 62,5 % pour l'arachide et de 62,5 % pour le riz. Pour la patate douce, il a été observé des rendements agricoles équivalents en association de cultures par rapport à la culture pure.

Tableau 5 : Taux des sur-rendements des cultures en saison 1

	Maïs	Arachide	Riz	Patate douce
CSOS	0,16	0,16	0,16	0,025
LER	0,22	0,26	0,26	0,025
Ecart	+0,06	+0,10	+0,10	0,000
TsR	37,5	62,5	62,5	0,000

Les résultats du **Tableau 6** indiquent que les cultures associées ont produit des sur-rendements de 50,0 % pour le maïs ; de 75,0 % pour l'arachide, de 100,0 % pour le riz et de 20,0 % pour la patate douce au cours de la deuxième saison comparativement à la première saison.

Tableau 6 : Taux des sur—rendements des cultures en saison 2

	Maïs	Arachide	Riz	Patate douce
CSOS	0,16	0,16	0,16	0,025
LER	0,24	0,28	0,32	0,030
Ecart	+0,08	+0,12	+0,16	0,005
TsR	50,0	75,0	100,0	20,0

La comparaison des sur-rendements induits par les agrosystèmes bio diversifiés entre les deux saisons culturales est présentée dans le **Tableau 7**. Il apparaît que les taux des sur-rendements observés entre les deux saisons culturales ont augmenté de 33,3 % pour le maïs ; de 20,0 % pour l'arachide et de 60 % pour le riz.

Tableau 7 : Taux de variation saisonnière de sur-rendement

	Maïs	Arachide	Riz	Patate douce
TsR ₁	37,5	62,5	62,5	0,00
TsR ₂	50,0	75,0	100,0	20,0
Ecart	12,5	12,5	37,5	20,0
TvsR(%)	33,3	20,0	60,0	00,0

TsR_1 = Taux de sur-rendement de la saison 1 ; TsR_2 = Taux de sur-rendement de la saison 2 ; E = Ecart de taux de sur-rendement entre saison 2 et saison 1 $TvsR(\%)$ = Taux de variation saisonnière des sur-rendements

3-2. Discussion

3-2-1. Évolution des rendements agricoles saisonniers de deux systèmes de cultures

Le taux de variation saisonnière des rendements des cultures mono spécifiques par rapport aux cultures associées est de 80,0 % pour le maïs, de 141,9 % pour le riz, de 30,9 % pour l'arachide et de 49,4 % pour la patate douce. Les valeurs des taux de variation saisonnière des rendements observées étant toutes positives, la diminution des rendements entre les deux saisons a été moins sensible en association de culture par rapport à la culture pure. L'association de culture a donc contribué à la stabilisation des rendements dans le temps. Bien que les études portant sur l'évolution saisonnière des rendements des associations de cultures soient moins fréquentes, la tendance des résultats de notre étude corrobore celle trouvée par d'autres auteurs. [22] dans une expérimentation menée au Nord-Ouest de l'Éthiopie sur l'association maïs-haricot et [23] dans une étude sur l'évaluation des indices biologiques des cultures de maïs et de haricot en association et en culture pure ; ont relevé des faibles réductions de production en association par rapport à la monoculture (- 13,4 %). [17] dans une étude axée sur les effets des cultures associées de légumineuses sur la production du bananier plantain au Sud-Ouest de la République Démocratique du Congo (RDC) ont révélé, pour tous les paramètres évalués, que les plantes avec cultures associées se sont mieux comportées dans le temps par rapport aux cultures pures. Ces résultats sont aussi en accord avec ceux des études [24, 25] qui ont trouvé des rendements relativement bas en monoculture par rapport aux cultures associées. [26] dans les études menées sur les associations de cultures, ont trouvé le rendement des cultures associées céréale-légumineuse à graines généralement moins variable que la moyenne des cultures pures correspondantes. Il est souvent plus élevé que la moyenne des rendements des

deux cultures en mono- spécifique, et ce d'autant plus que l'azote minéral disponible dans le sol est faible. A ce sujet, notons que l'exploitation continue du sol par les cultures s'accompagne inévitablement dans les conditions tropicales, de la chute rapide des rendements agricoles, suite à la perte des nutriments par : le lessive, l'érosion, les eaux de ruissellement et surtout par les exportations par les récoltes, si des mesures nécessaires et suffisantes ne sont prises pour l'amélioration de la fertilité du sol. En ce qui concerne les cultures mono spécifiques, toutes les plantes ont les mêmes besoins en lumière, en eau et en éléments nutritifs et exploitent la même niche du sol. Il s'observe donc un épuisement unilatéral des ressources, contrairement à ce qui se passe dans un agrosystème bio diversifié (cultures associées) où chaque composant possède des exigences écologiques bien différentes des autres. C'est l'utilisation efficace des ressources induite par la complémentarité entre les espèces, qui permet de stabiliser les rendements agricoles dans le temps [27].

3-2-2. Comparaison de l'évolution saisonnière de LER partiel des cultures

Les valeurs de LER partiel observées pour toutes les spéculations sous étude, sont toutes supérieures à leur coefficient d'occupation spécifique, ce qui prouve un avantage de rendement en association par rapport à la culture pure. Les taux de variation des sur-rendements observés entre les deux saisons culturales augmentent de l'ordre de 33,3 % pour le maïs ; de 20,0 % pour l'arachide et de 60 % pour le riz. L'augmentation des valeurs de taux de sur-rendement observée indique que les rendements ont beaucoup plus baissé entre les deux saisons en culture pure par rapport à l'association de culture. En ce qui concerne la supériorité de rendement de l'association par rapport à la culture pure, les résultats obtenus dans la présente étude sont similaires à ceux obtenus par d'autres études. En Tanzanie, [28] ont rapporté des valeurs de LER variant de 1,38 à 1,55 ; au Burundi, [23] ont trouvé dans l'association maïs-haricot une valeur de $LER=1,42$ et en République Démocratique du Congo dans une étude portant sur l'influence des différents types de légumineuses (arachide, niébé et soja) sur le rendement agricole et le revenu monétaire des associations de cultures, [29] ont trouvé le LER global de 1,1. Ces résultats signifient respectivement pour le premier cas que l'association est de 38 à 55 % plus avantageuse ; pour le deuxième cas que l'association est de 42 % plus avantageuse et pour le dernier cas que l'association est de 10 % plus avantageuse que la culture pure. [30] ont trouvé que l'effet de l'association sur les rendements varie logiquement selon la saison. En moyenne sur les 9 saisons observées dans leur recherche, les associations mises en place améliorent légèrement les rendements, puisque les LER totaux moyens sont de 1,04. Cette valeur signifie qu'il faut 1,04 ha de cultures pures pour produire la même quantité de légumes que sur 1 ha de cultures associées. Enfin, dans la combinaison impliquant le macabo, l'arachide et le plantain, les rendements des cultures associées étaient supérieurs par rapport aux monocultures. Les raisons soutenant ces résultats sont notamment la bonne couverture du sol réalisée par les cultures associées lesquelles assurent la conservation de l'humidité du sol et dont la biomasse en décomposition contribue à l'amélioration de la fertilité du sol [31].

4. Conclusion

Cette étude a porté sur la comparaison de l'évolution des rendements agricoles saisonniers des agrosystèmes mono spécifiques et d'un agrosystème bio diversifié dans la région de Bengamisa et a permis de constater que la baisse des rendements agricoles de toutes les spéculations sous étude entre les deux saisons culturales est plus importante en cultures mono spécifiques qu'en agrosystèmes bio diversifiés. Mais également, les agrosystèmes bio diversifiés ont induit des sur-rendements dont les valeurs ont augmenté de la première à la deuxième saison culturale. Il apparaît donc de ces résultats que le mélange d'espèces a permis de stabiliser les rendements dans le temps et dans l'espace comparativement à la culture d'une seule espèce.

Références

- [1] - E. YAN, Des principes agronomiques à la pratique : décrire et interpréter les dynamiques d'adoption des cultures associées en France. THESE DE DOCTORAT, Université Paris-Saclay, *AgroParisTech, INRAE*, (2024) 210 p.
- [2] - FAO, FAOSTAT, *Fertilizers by Nutrient* [Jeu de données], (2024). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RFN>
- [3] - S. LEENHARDT, L. MAMY, S. PESCE, W. SANCHEZ, A. L. ACHARD, M. AMICHOT, J. ARTIGAS, S. AVIRON, C. BARTHELEMY, R. BEAUDOUIN, C. BEDOS, A. BERARD, P. BERNY, C. BERTRAND, S. BERTRAND, BETOULLE, È. BUREAU-POINT, S. CHARLES, A. CHAUMOT et J. TOURNEBIZE, Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques. Synthèse de l'expertise scientifique collective [Report, INRAE ; IFREMER Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer], (2022) 136 p. <https://doi.org/10.17180/gfkje861>
- [4] - J.-M. MEYNARD, M. CERF, X. COQUIL, D. DURANT, M. LE BAIL, A. LEFEVRE, M. NAVARRETE, J. PERNEL, A. PERINELLE, B. PERRIN, L. PROST, R. REAU, C. SALEMBIER, E. SCOPEL, Q. TOFFOLINI & M.-H. JEUFFROY, Unravelling the step-by-step process for farming system design to support agroecological transition. *European Journal of Agronomy*, 150, 126948 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126948>
- [5] - FAO, Objectifs de développement durable. Agriculture durable. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. [https://www.fao.org/sustainabledevelopment-goals/overview/fao-and-post-\(2015\)/sustainable-agriculture/fr/](https://www.fao.org/sustainabledevelopment-goals/overview/fao-and-post-(2015)/sustainable-agriculture/fr/)
- [6] - X. REBOUD et E. MALEZIEUX, Vers une agroécologie biodiverse : enjeux et principaux concepts mobilisés. *Innovations Agronomiques*, INRA, 43 (2015) 1 - 6 p.
- [7] - B. DRUT, Etude des interactions couvert végétal — organismes du sol en lien avec la biodiversité cultivée dans la parcelle: conséquences sur la fertilité du sol et le rendement des cultures. *Sciences agricoles*. Université d'Angers, Français. NNT, (2018)
- [8] - M. S. OUATTARA, Mélanger les espèces pour produire des services écosystémiques : Conception d'un prototype d'outil d'intégration et de partage des connaissances scientifiques et empiriques en mobilisant les concepts de l'écologie fonctionnelle [Phdthesis, Université Paris-Saclay], (2023). <https://pastel.hal.science/>
- [9] - L. LOFINDA, Potentialités de l'aménagement paysager dans la lutte biologique contre *Pentalonia nigronervosa* Coquerel du Bananier dans la région de Bengamisa, en République Démocratique du Congo, relations plantes-vecteurs-auxiliaires, Thèse de Doctorat, Université de Kisangani, (2015) 247 p.
- [10] - A. TIBI, V. MARTINET, A. VIALATTE, A. ALIGNIER, V. ANGEON, D. BOHAN, D. BOUGHERARA, S. CORDEAU, P. COURTOIS, J.-P. DEGUINE, J. ENJALBERT, F. FABRE, H. FREVILLE, R. GRATEAU, B. GRIMONPREZ, N. GROSS, M. HANNACHI, M. LAUNAY, V. LELIEVRE et S. S. THOYER, Protéger les cultures en augmentant la diversité végétale des espaces agricoles. Synthèse de l'expertise scientifique collective, (2023 86 p.) [Report]. INRAE. <https://doi.org/10.17180/awsn-rf06>
- [11] - L. BEDOUSSAC, A. LISA, D. ELINA, C. SALEMBIER & M.-HC. JEUFFROY, De la théorie à la mise en pratique des mélanges d'espèces, (2021) 108 p. <https://doi.org/10.17180/b5f1-w556>
- [12] - C. LI, T.-J. STOMPH, D. MAKOWSKI, H. LI, C. F. ZHANGZHANG & W. VAN DER WERF, *The productive performance of intercropping. Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120 (2) (2023) e2201886120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2201886120>

- [13] - S. FONTEYNE, J. B. CASTILLO CAAMAL, S. LOPEZ-RIDAURA, J. VAN LOON, J. ESPIDIO BALBUENA, L. OSORIO ALCALÁ, F. MARTÍNEZ HERNÁNDEZ, S. ODJO & N. VERHULST, Review of agronomic research on the milpa, the traditional polyculture system of Mesoamerica. *Frontiers in Agronomy*, 5 (2023) <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1115490>
- [14] - J. HARWOOD, The forgotten history of intercropping. *PLANTS, PEOPLE, PLANET*, (2024) n/a(n/a).<https://doi.org/10.1002/ppp3.10502>
- [15] - Y. TANG, Y. QIU, Y. LI, H. XU & X.-F. LI, Research on intercropping from 1995 to 2021 : A worldwide bibliographic review. *Plant and Soil*, (2024), <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06542-9>
- [16] - A. ESUKA, N. MUKANDAMA et L. LOFINDA, Évaluation de l'occupation spatio-temporelle des composants dans la pratique paysanne de l'association des cultures dans une région forestière de la République Démocratique du Congo, *Afrique SCIENCE*, 16 (2) (2020) 86 - 100 p.
- [17] - G. P. VANGU, K. N. MOBAMBO, A. OMONDI et C. STAVES, Effets des cultures associées de légumineuses sur la production du bananier plantain au Sud-Ouest de la République Démocratique du Congo (RDC), *Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo*, Vol. 18, (Avril 2022) 32 - 40
- [18] - SENASEM, Catalogue variétal des cultures vivrières (maïs, riz, haricot, arachide, niébé, soja, manioc, patate douce, pomme de terre, bananier), SERVICE NATIONAL DE SEMENCES (SENASEM) En collaboration avec le projet CTB 'Appui au Secteur Semencier'. MINISTRE DE L'AGRICULTURE ET DU DEVELOPPEMENT RURAL. REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO. Kinshasa, (2012)
- [19] - A. ESUKA, Validation d'un modèle d'arrangement spatio-temporel des composants dans la perspective de l'amélioration des agrosystèmes de la région de Bengamisa en RDC. Thèse de Doctorat, NIVERSITE DE KISANGANI, (2023) 256 p.
- [20] - P. SALEZ, Intérêt des associations culturales maïs — légumineuses dans l'ouest du Cameroun relations espèces associées projet conjoint IRAT — ICNSAT ICRISAT B.P. 320 Bamako, Mali, (1989) 123 - 139
- [21] - E. MALÉZIEUX, Y. CROZAT, C. DUPRAZ, M. LAURANS, D. MAKOWSKI, H. RAPIDEL, S. TOURDONNET & M. VALANTIN-MORISON, Mixing plant species in cropping systems : Concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29 (1) (2009) 43 - 62. <https://doi.org/10.1051/agro:2007057>
- [22] - A. T. ALEMAYEHU, D. TAMADO, NIGUSSIE & D. YIGZAW, Maize-common bean intercropping to optimize maize-based crop production. *The Journal of Agriculture Science*, Vol. 155, (7) (2017) 1124 - 1136
- [23] - S. KABONEKA, N. NTUKAMAZINA, S. GACOREKE et N. BUTOKI, Analyse biologique, nutritionnelle et économique de l'association maïs-haricot ; Revue de l'Université du Burundi ; Série-Sciences Exactes et Naturelles, Vol. 29, (2020) 23 - 33 [www://ub.edu.biUB](http://ub.edu.biUB)
- [24] - O. T. OSUNDARE, A. A. FAJINMI et C. J. OKONJI, Effect of organic and inorganic soil amendment on growth performance plantain (*Musa Paradisiaca* L.). *African Journal of Agricultural Research*, 13 (3) (2015) 154 - 160
- [25] - J. NTAMWIRA, D. B. NZAWELE, D. KATUNGA, P. VAN ASTEN et G. BLOMME, The effect of application of matter during planting on growth of an east african highland cooking Banana grown on two contrasting soils in Kivu eastern DR-Congo. *Tree and Forestry Science and Biotechnology*, 4 (2) (2010) 15 - 16
- [26] - L. BEDOUSSAC, A. LISA, D. ELINA, C. SALEMBIER & M.-H. JEUFFROY, De la théorie à la mise en pratique des mélanges d'espèces, (2021) 108 p. <https://doi.org/10.17180/b5f1-w556>

- [27] - E. S. JENSEN, G. CARLSSON & H. HAUGGAARD-NIELSEN, Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N : A global-scale analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 40 (1) (2020) 5. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0607-x>
- [28] - E. K. NASSARY, F. BAIJUKYA & P. A. NAKIDEMI, Productivity of intercropping with maize and common bean over five cropping seasons on smallholder farms of Tanzania. *European Journal of Agronomy*, Vol. 113, (2020), <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125964>
- [29] - A. ESUKA, N. MUKANDAMA, L. LOFINDA et K. MVIDIA, Influence of Three Types of Legumes (Groundnut, Cowpea, Soybean) on the Agricultural Yield and Monetary Income of a Crop Association in a Forest Region of the DR Congo. Available online at www.elixirpublishers.com. *Elixir International Journal Agriculture*, 173 (2022) 56630 - 56639
- [30] - B. PERRIN et A. LEFEVRE, L'association culturale, un levier pour améliorer santé des plantes, fertilité du sol et production des systèmes de culture maraichers diversifiés ?. *Innovations Agronomiques*, 76 (2019) 51 - 70 p. [ff10.15454/z7mn3uff.ffhal-02473708](https://doi.org/10.15454/z7mn3uff.ffhal-02473708)
- [31] - T. TUTU, Effets de mode d'ouverture du champ et de types d'association de cultures sur la croissance et le rendement des plantains (Musa AAB) à Kisangani, en RD Congo. THESE DE DOCTORAT, UNIKIS, (2022) 113 p.