

Typologie des exploitations rizicoles dans une zone enclavée du sud-est de la RDC : Approche par classification ascendante hiérarchique à *Bunkeya*

Lucien Nkulu Masengo

Université de Lubumbashi, Faculté des sciences agronomiques, Département d'économie agricole – Gestion de la production agricole

Chris Kamwanya Kipanga

Sabin Mulang Tshinish

Université de Lubumbashi, Faculté des sciences agronomiques, Département de phytotechnie

John Tshomba Kalumbu

Jules Nkulu Mwine Fyama

Université de Lubumbashi, Faculté des sciences agronomiques, Département d'économie agricole – Développement économique et agricole

Moïse Kalambaie Bimn Mukanya

Université Pédagogique Nationale, Faculté des sciences agronomiques, Département d'économie agricole – Développement économique et agricole

Doi: 10.19044/esipreprint.8.2025.p403

Approved: 13 August 2025

Posted: 15 August 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Nkulu Masengo, L., Kamwanya Kipanga, C., Mulang Tshinish, S., Tshomba Kalumbu, J., Nkulu Mwine Fyama, J., & Kalambaie Bimn Mukanya, M. (2025). *Typologie des exploitations rizicoles dans une zone enclavée du sud-est de la RDC : Approche par classification ascendante hiérarchique à Bunkeya*. ESI Preprints.

<https://doi.org/10.19044/esipreprint.8.2025.p403>

Résumé

L'étude menée à *Bunkeya*, cité rurale du territoire de *Lubudi (Lualaba, RDC)*, visait à caractériser la diversité des systèmes rizicoles et à identifier les facteurs expliquant leur hétérogénéité. Cette zone, historiquement marquée par le royaume de *M'Siri*, offre aujourd'hui des conditions naturelles favorables à l'agriculture. Une approche méthodologique mixte a été adoptée, combinant analyse en composantes principales (ACP), classification ascendante hiérarchique (CAH) et régression logistique. L'ACP a mis en évidence l'ancienneté dans la

riziculture, la superficie cultivée, l'accès aux intrants et les revenus agricoles comme principaux facteurs de différenciation. Trois types d'exploitations ont été identifiés : un groupe de subsistance à faibles intrants, un groupe intermédiaire, et un groupe performant, mieux organisé et plus rentable. L'analyse des facteurs explicatifs a révélé quatre variables déterminantes : le niveau d'instruction, l'ancienneté dans l'activité, le système cultural utilisé, et l'accès au crédit, ce dernier jouant un rôle clé dans l'intensification des systèmes agricoles.

Mots clés : Riziculture, Typologie des exploitations agricoles, Intensification agricole, Différenciation socio-économique, Classification ascendante hiérarchique

Typology of Rice Farming Systems in a Remote Area of Southeastern DRC: A Hierarchical Ascendant Classification Approach in *Bunkeya*

Lucien Nkulu Masengo

Université de Lubumbashi, Faculté des sciences agronomiques, Département d'économie agricole – Gestion de la production agricole

Chris Kamwanya Kipanga

Sabin Mulang Tshinish

Université de Lubumbashi, Faculté des sciences agronomiques, Département de phytotechnie

John Tshomba Kalumbu

Jules Nkulu Mwine Fyama

Université de Lubumbashi, Faculté des sciences agronomiques, Département d'économie agricole – Développement économique et agricole

Moïse Kalambaie Bimn Mukanya

Université Pédagogique Nationale, Faculté des sciences agronomiques, Département d'économie agricole – Développement économique et agricole

Abstract

The study conducted in Bunkeya, a rural town in the Lubudi territory (Lualaba, DRC), aimed to characterize the diversity of rice farming systems and identify the factors explaining their heterogeneity. This area, historically marked by the kingdom of M'Siri, now offers natural conditions favorable to agriculture. A mixed methodological approach was adopted, combining Principal Component Analysis (PCA), Hierarchical Ascendant Classification (HAC), and logistic regression. The PCA highlighted key differentiating

factors such as experience in rice farming, cultivated area, access to inputs, and agricultural income. Three types of farms were identified: a subsistence group with low input use, an intermediate group, and a high-performing group that is better organized and more profitable. The analysis of explanatory variables revealed four major determinants: the education level of the farm head, years of experience in rice farming, the cropping system used, and access to credit, the last factor playing a central role in the intensification of agricultural systems.

Keywords: Rice farming, Farm typology, Agricultural intensification, Socio-economic differentiation, Hierarchical clustering

Introduction

La République Démocratique du Congo (RDC), bien que dotée d'un potentiel agroécologique exceptionnel, reste confrontée à une insécurité alimentaire chronique (Michel B., et al. 2018 ; Muteba D., et Jules N., 2019 ; Lucien N., et al. 2025a). Parmi les cultures vivrières clés, le riz occupe une place croissante dans les régimes alimentaires, notamment en zones urbaines, péri urbaines et minières, où il tend à remplacer le maïs, frappé par les effets du changement climatique et des contraintes agronomiques croissantes (Bolakonga et al., 2017 ; Michel B., et al. 2018). Pourtant, la production nationale de riz reste marginale et fragmentée, incapable de satisfaire une demande intérieure en pleine explosion (Tshomba J., et al., 2019). Dans ce contexte, la localité de *Bunkeya*, située dans le sud-est du pays, au cœur de l'arc cuprifère katangais, constitue un territoire stratégique mais paradoxal. Sur le plan agronomique, elle dispose d'atouts indéniables entre autres le climat favorable, sols fertiles, proximité de la vallée de la *Lufira* et d'une main-d'œuvre agricole encore disponible (Kasongo E., 2009). Cependant, elle est en proie à un enclavement multidimensionnel tel que les routes dégradées, faible accès aux intrants, services de vulgarisation absents, isolement logistique vis-à-vis des grands marchés de consommation comme *Lubumbashi*, *Likasi* et *Kolwezi*. Sur le terrain, la riziculture à *Bunkeya* est pratiquée de manière hétérogène par des exploitants aux profils très variés : petits producteurs de subsistance, agriculteurs semi-commerciaux dotés de quelques moyens, et producteurs plus capitalisés tirant profit des opportunités offertes par les marchés urbains. Cette diversité se manifeste par des écarts importants de surface cultivée, de niveau de technicité, d'accès aux ressources, et surtout de capacité à vendre sur des marchés au-delà du local. Pourtant, la planification des politiques agricoles nationales ou même les projets de développement locaux continuent de traiter ces producteurs comme un bloc homogène, ce qui limite l'efficacité des interventions. Les réalités vécues à *Bunkeya* montrent que certains producteurs parviennent à

produire 3 à 4 tonnes/ha grâce à l'utilisation de semences améliorées, au repiquage et à la gestion de l'eau, alors que d'autres, dans le même espace géographique, peinent à atteindre 1 tonne/ha en raison du recours à des pratiques archaïques, du manque d'accès à la formation, ou simplement du surmenage dû à l'absence de main-d'œuvre disponible. Ces écarts se retrouvent aussi au niveau des infrastructures post-récolte. Là où certains groupes communautaires disposent de petites décortiqueuses, d'autres battent encore le riz à la main, avec des pertes post-récolte supérieures à 40 %. Par ailleurs, les circuits de commercialisation restent désorganisés. Faute d'organisation paysanne fonctionnelle et de routes praticables, les producteurs vendent souvent leur riz brut à des collecteurs venus des centres urbains, à des prix très désavantageux voir même modique (Lucien N., et al. 2025a). Les exploitations mieux structurées, disposant de connexions sociales, de moyens de transport rudimentaires ou pour négocier les prix, s'en sortent relativement mieux. Face à cette réalité éclatée, une typologie rigoureuse des exploitations rizicoles devient indispensable pour éclairer la prise de décision. Elle permet non seulement de comprendre les logiques différenciées de production et de mise en marché, mais aussi d'identifier des leviers adaptés pour chaque groupe d'exploitants. L'approche par classification ascendante hiérarchique (CAH) offre un cadre analytique puissant pour structurer cette diversité en groupes homogènes selon des critères objectifs, croisant les dimensions techniques, économiques et sociales. Ce travail s'inscrit donc dans une double perspective : diagnostique et opérationnelle. Il s'agit, d'une part, de dresser une cartographie fine des profils d'exploitation à Bunkeya et, d'autre part, de fournir une base empirique solide pour l'élaboration de politiques agricoles différenciées, capables de répondre aux besoins spécifiques de chaque catégorie d'agriculteurs. Dans un contexte où les ressources sont limitées et les défis multiples (changement climatique, pression démographique, volatilité des prix), une telle démarche ciblée est non seulement souhaitable, mais urgente. L'objectif spécifique de ce travail est de : (a) Collecter et structurer les données socio-économiques, techniques et organisationnelles des exploitations ; (b) catégoriser et regrouper les exploitations en profils homogènes ; (c) Décrire et analyser les caractéristiques dominantes de chaque type d'exploitation identifié ; (d) Évaluer les principaux déterminants de la différenciation entre les types d'exploitations ; (e) Identifier les contraintes spécifiques rencontrées par chaque profil d'exploitation.

Milieu et méthode

Milieu

La cité de Bunkeya, située dans le territoire de *Lubudi* (province du *Lualaba*, RDC), est un ancien centre historique devenu aujourd'hui un pôle

agricole localement stratégique. Ancienne capitale du royaume de *M'Siri* à la fin du XIXe siècle, elle fut un point névralgique des échanges commerciaux reliant l'intérieur du continent à la côte orientale, avant de passer sous domination coloniale après l'assassinat de *M'Siri* en 1891. Sur le plan géographique, *Bunkeya* se trouve à 200 km de la ville de *Lubumbashi* et à 75 km de la ville de *Likasi*. Elle s'étend sur environ 14 km² dans la plaine de *Lubembé*, à 950 mètres d'altitude, avec un climat tropical alternant deux saisons égales (Kasongo EM., 2009). Le relief est marqué par des collines et un réseau hydrographique dense, comprenant notamment les rivières *Bunkeya*, *Kalambulua* et *Kankofu*. La végétation dominante est de type savane herbeuse et forêt claire (miombo), et les sols présentent un fort potentiel agricole, notamment à *Kalonga*, *Kitondo*, *Buleya*. Le sous-sol est riche en minerais de cuivre, fer, cassitérite, marbre et schistes-dolomie (Kasongo EM., 2009). Avec une population estimée à plus de 23 000 habitants, l'économie locale repose essentiellement sur l'exploitation de minerais et l'agriculture, en particulier la production et la commercialisation du riz, oignon et maïs. La position géographique de *Bunkeya*, entre *Kolwezi*, *Likasi* et *Lubumbashi*, renforce son rôle de relais commercial entre zones rurales et urbaines. Ce contexte naturel et humain fait de *Bunkeya* un espace à fort potentiel de développement, à condition d'un encadrement adéquat des ressources et des flux.

Méthodes

Approche méthodologique

Ce travail s'appuie sur une démarche méthodologique quantitative de type empirico – analytique, visant à construire une typologie des exploitations rizicoles dans la zone de *Bunkeya*, située dans le sud-est enclavé de la RDC. La méthode adoptée repose sur une combinaison rigoureuse de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH), deux outils reconnus pour la structuration de données multidimensionnelles et la mise en évidence de profils fonctionnels dans les systèmes agricoles (Landais, 1998 ; Dugué et al., 2004 ; Lebailly et al., 2004). Ce choix est justifié par la forte hétérogénéité observée parmi les exploitants locaux en termes de capital foncier, d'accès aux intrants, de niveau de mécanisation et de stratégie de mise en marché qui rend nécessaire une lecture typologique fondée sur des critères objectivés et statistiquement validés.

Population et échantillonnage

La population ciblée est composée de producteurs de riz actifs dans la chefferie de *Bunkeya*. Un échantillonnage raisonné a été adopté, intégrant des critères géographiques (différents sites de culture), sociaux (sexe, taille

du ménage, expérience agricole) et économiques (surface cultivée, statut foncier, équipements). La taille de l'échantillon retenue est de 240 exploitations rizicoles constituant les grands sites de production dans et autour de la zone rurale de *Bunkeya*, ce qui assure une bonne couverture des profils existants.

Collecte et structuration des données

Un questionnaire structuré a été administré pour collecter des données sur trois axes principaux : (i) Socio-économiques : âge, niveau d'instruction, taille du ménage, sources de revenu ; (ii) Techniques et foncières : surface cultivée, types de semences et d'intrants, outils agricoles, rendements ; (iii) Organisation et marché : appartenance à des organisations, accès au crédit, types de circuits de vente. Les données qualitatives issues des entretiens semi-directifs (agents agricoles, transformateurs, commerçants) ont servi à enrichir et contextualiser les résultats quantitatifs.

Analyse statistique

❖ Analyse en composantes principales (ACP) :

L'ACP a été utilisée comme outil de réduction de dimension afin d'identifier les axes majeurs de variation parmi les exploitations. Chaque composante principale est définie comme une combinaison linéaire pondérée des variables initiales :

$$Z_j = a_{1j}X_1 + a_{2j}X_2 + \dots + a_{pj}X_p$$

Où Z_j est la j ième composante ; a_{ij} les coefficients de pondération et X_i les variables centrées et réduites. L'ACP a permis de projeter les exploitations dans un espace factoriel de faible dimension (généralement 2 ou 3 axes), facilitant l'analyse graphique et la mise en évidence de groupes d'exploitations similaires (Dugué et al., 2004 ; Tittonell et al., 2010).

❖ Classification ascendante hiérarchique (CAH)

La CAH a été réalisée à partir des coordonnées issues de l'ACP, selon la méthode de Ward¹, qui vise à minimiser l'inertie intra-groupe à chaque étape de fusion :

$$\Delta E = \frac{n_A \cdot n_B}{n_A + n_B} \cdot d^2(A, B)$$

¹ Ward, J.H. (1963). *Hierarchical grouping to optimize an objective function*. Journal of the American Statistical Association. Fondateur définissant le critère de Ward pour la CAH. La méthode de Ward est une technique de regroupement hiérarchique utilisée dans les analyses de classification, notamment dans la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Elle est particulièrement adaptée à la création de typologies agricoles, car elle regroupe les individus (ici, les exploitations rizicoles) en minimisant la variance intra-classe à chaque étape.

Où n_A et n_B ont les tailles des groupes fusionnés et $d^2(A, B)$ la distance euclidienne au carré entre leurs centres de gravité. La distance euclidienne est utilisée comme mesure de dissimilarité entre les individus :

$$d(i, j) = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2}$$

Le dendrogramme généré par la CAH a été interprété pour définir un nombre optimal de classes (ou types) d'exploitations, validé par analyse graphique (rupture d'inertie) et interprétation logique des regroupements.

❖ **Analyses complémentaires**

- ✓ Une analyse discriminante linéaire a été utilisée pour vérifier la robustesse des regroupements obtenus, en mesurant la capacité des variables à discriminer correctement entre les classes formées (Giller et al., 2006).
- ✓ Des tests de comparaison intergroupes ont été réalisés : ANOVA ou test de Kruskal-Wallis pour les variables continues, test de χ^2 pour les variables catégorielles.

Outils d'analyse

L'ensemble du traitement statistique a été effectué sous R (packages FactoMineR, cluster, ggplot2) et SPSS pour les analyses complémentaires. Les entretiens qualitatifs ont été codés manuellement selon une grille thématique

Limites de la méthodologie

- ✓ L'échantillon n'est pas aléatoire mais raisonné, ce qui peut limiter la généralisation des résultats à l'ensemble de la province.
- ✓ Certains indicateurs (rendements, pertes post-récolte) sont auto-déclarés, ce qui peut induire des biais de perception ou de mémorisation.
- ✓ La typologie produite est fonction des variables choisies : d'autres dimensions (écologiques, culturelles) pourraient générer des regroupements alternatifs.

Justification scientifique

La combinaison ACP + CAH est aujourd'hui une méthode de référence dans les recherches agronomiques pour modéliser la diversité des exploitations (Landais, 1998 ; Lebailly et al., 2004). Elle permet une lecture multidimensionnelle et empirique des systèmes agricoles, en lien direct avec les contraintes et les dynamiques locales, et est particulièrement adaptée aux

zones rurales africaines marquées par des contrastes internes élevés (Tittonell et al., 2010 ; Kassie et al., 2012).

Resultats de l'étude

Collecter et structurer les données socio-économiques, techniques et organisationnelles des exploitations

Structuration multidimensionnelle des exploitations rizicoles selon la performance productive, l'insertion technico-économique et le profil socio-démographique des producteurs

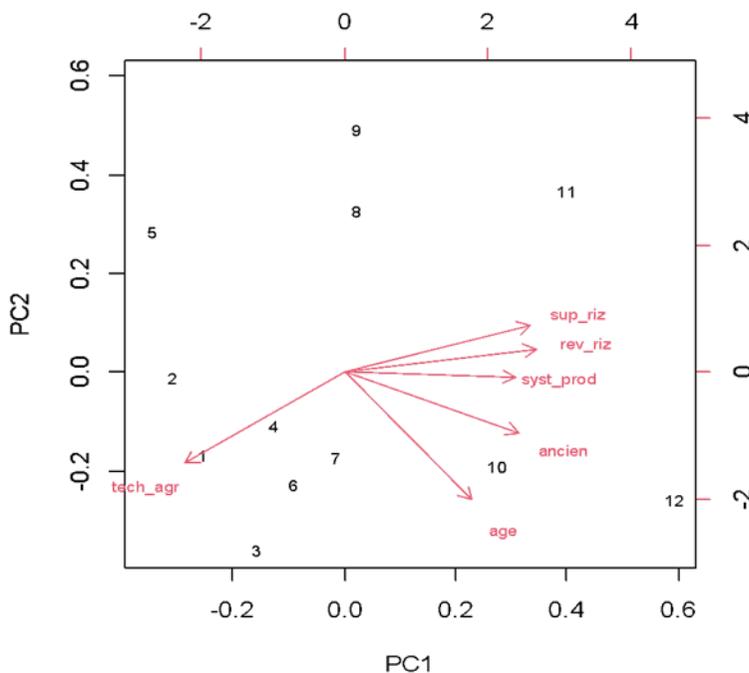


Figure 1. Structuration multidimensionnelle des exploitations rizicoles

L'analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur les exploitations rizicoles de la zone de Bunkeya révèle une structure multidimensionnelle claire, traduisant la diversité des systèmes de production et des profils sociotechniques des producteurs. Le premier axe principal (PC1) à lui seul explique 73,08 % de la variance totale, ce qui en fait l'axe dominant structurant les différences majeures entre exploitations. Il est fortement corrélé à des variables telles que le revenu rizicole, la superficie cultivée, l'ancienneté dans la riziculture et le système de production. Ces contributions indiquent que PC1 reflète un gradient de performance et de capacité productive, opposant les producteurs traditionnels, à faible revenu, cultivant de petites superficies avec des

systèmes simples, à des producteurs techniquement plus avancés, mieux insérés dans des systèmes de production intensifiés, disposant de plus grandes surfaces et générant des revenus nettement plus élevés. La deuxième dimension (PC2), qui explique 16,67 % de la variance, complète la première en introduisant une différenciation fondée principalement sur l'âge et la technique agricole utilisée. Cela suggère que PC2 met en lumière une dimension générationnelle et technologique : d'un côté, des producteurs plus âgés ou conservateurs utilisant des méthodes agricoles manuelles ; de l'autre, des producteurs plus jeunes ou plus dynamiques, adoptant des pratiques plus modernes ou mécanisées. Les dimensions suivantes (PC3 à PC6) ont un pouvoir explicatif marginal mais précisent certains aspects spécifiques. La troisième dimension (PC3), bien que n'expliquant que 5,28 % de la variance, est dominée par le système de production (78,07 % de contribution). Elle met donc en évidence des variations techniques indépendantes de la taille ou des revenus, comme le passage du bas-fond au plateau irrigué. La quatrième dimension, quant à elle, est fortement influencée par l'ancienneté (69,12 %) et dans une moindre mesure par l'âge. Elle distingue ainsi des exploitants ayant une longue expérience rizicole, probablement mieux intégrés localement, des nouveaux producteurs ou jeunes exploitants qui démarrent dans la culture du riz. La cinquième dimension, avec 2,3 % de variance expliquée, combine des éléments relatifs à la technique agricole (50,79 %), aux revenus (23,56 %) et à la superficie (18,87 %). Cette situation signale des nuances dans les modes de conduite technique des cultures, avec des effets visibles sur les performances économiques. Enfin, la sixième dimension, bien que très faiblement explicative (0,27 %), est portée par le revenu et la superficie (respectivement 51,12 % et 47,11 %), confirmant que ces deux variables sont centrales et redondantes dans la structuration des données, car déjà très bien captées par PC1. Graphiquement, les vecteurs du cercle des corrélations montrent une convergence des flèches représentant la superficie, le revenu, le système de production et l'ancienneté, tous orientés dans le même sens sur PC1, confirmant leur covariation. À l'inverse, la technique agricole pointe en direction opposée, indiquant que les producteurs les plus avancés techniquement ne sont pas toujours ceux ayant les plus grandes exploitations ou les meilleurs rendements, mais peuvent former un profil distinct. L'âge est modérément opposé à ces vecteurs, renforçant l'idée d'un clivage entre producteurs anciens et jeunes.

Catégorie et regroupement des exploitations en profils homogènes Arbre hiérarchique de classification des exploitations rizicoles selon leurs caractéristiques techniques, productives et économiques à Bunkeya

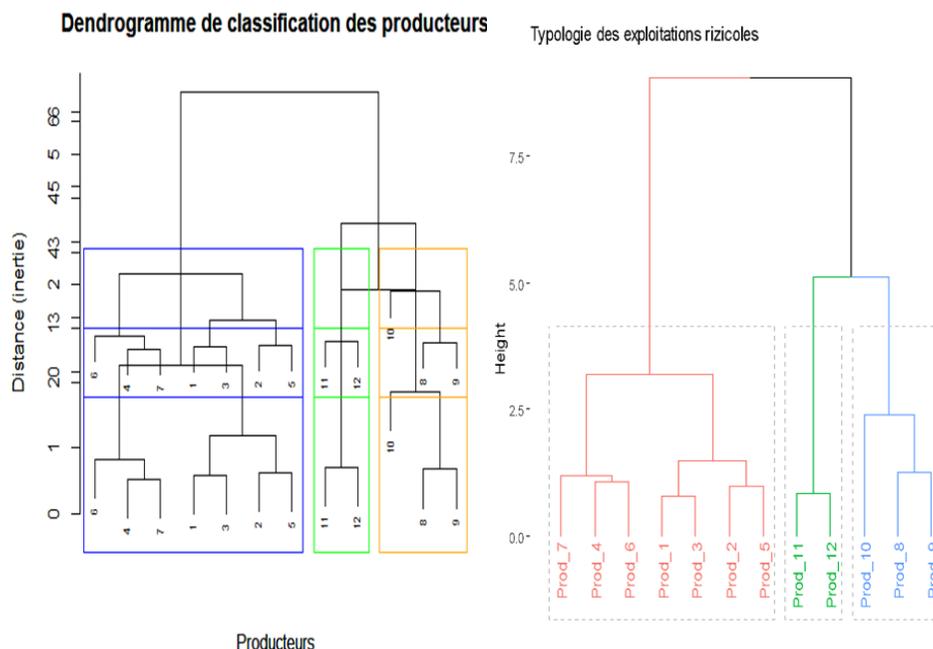


Figure 2. Classification ascendante hiérarchique des producteurs

L'analyse de classification ascendante hiérarchique (CAH), illustrée par le dendrogramme obtenu du graphique ci-dessus, a permis d'identifier trois groupes distincts d'exploitations rizicoles à Bunkeya, présentant des profils homogènes en termes de pratiques culturales, niveaux d'intensification et performances économiques. Le premier groupe, comprenant les producteurs 1 à 7 selon le dendrogramme, regroupe les petites exploitations rizicoles, caractérisées par une superficie moyenne cultivée relativement faible (environ 0.50 à 1.43 ha), un rendement modeste avoisinant 667 kg/ha, et un système de production majoritairement basé sur des bas-fonds non irrigués. Ces exploitations utilisent exclusivement des techniques agricoles manuelles, avec un mode de semis semi-direct à la volée et un revenu moyen relativement bas ($\pm 1\,372\,501$ FC), reflet d'une productivité limitée et d'un faible accès aux technologies agricoles modernes. Le second groupe, qui intègre les producteurs 11 et 12, représente un profil de transition. Avec une superficie moyenne plus importante (3.50 ha), ces exploitations affichent un rendement moyen de 1 466 kg/ha, soit plus du double du groupe précédent. Le système de production est légèrement

amélioré, suggérant un passage partiel à l'usage de bas-fonds irrigués. La technique agricole est semi-mécanisée, traduisant une évolution vers une intensification modérée. Le revenu rizicole s'élève à près de 3759692 FC, témoignant d'un gain en efficacité, sans pour autant atteindre le niveau des exploitations les plus performantes. Enfin, le troisième groupe, composé des producteurs 8, 9 et 10, se distingue nettement par ses performances agronomiques et économiques. Il s'agit d'un profil de grandes exploitations rizicoles, avec une superficie moyenne de 4.84 ha, un rendement élevé de 2234 kg/ha, et un recours marqué aux plateaux irrigués. Ces producteurs utilisent exclusivement des techniques agricoles mécanisées, et leur mode de semis est plus technique et spécifique (repiquage), ce qui reflète un niveau avancé de maîtrise technique. Le revenu rizicole moyen atteint 5916157 FC, soit plus de quatre fois celui du premier groupe, ce qui confirme l'efficacité de ce modèle de production intensif. Ainsi, cette typologie permet de mettre en lumière une hiérarchie claire dans les profils d'exploitation rizicole à Bunkeya, allant des petits producteurs aux systèmes traditionnels et peu mécanisés, jusqu'aux grandes exploitations dotées de moyens techniques et financiers plus importants. De ces analyses montrent une corrélation positive entre le degré d'intensification technologique, la taille de l'exploitation et la performance économique.

Comparaison des caractéristiques moyennes des exploitations rizicoles par groupe typologique issu de la classification hiérarchique

L'analyse statistique du tableau 1. Ci-dessous révèle une différence hautement significative ($p < 0.05$) de la superficie cultivée en riz entre les trois groupes de producteurs. Cette variation confirme que les profils typologiques à savoir petits, moyens et grands producteurs se différencient nettement par la taille de leur exploitation, ce qui constitue un critère structurel de classification forte. De même, les rendements moyens diffèrent significativement entre les groupes, traduisant une variation manifeste des performances techniques. Cette hétérogénéité est probablement liée à des facteurs tels que l'intensité des intrants, l'accès aux technologies agricoles, ou encore les capacités de gestion technique des exploitants. Concernant le système de production, bien que la différence observée ne soit pas statistiquement significative au seuil conventionnel de 5 % ($p \approx 0.08$), elle suggère une tendance à la différenciation. En revanche, la technique agricole mobilisée (manuelle ou mécanisée) varie de manière significative selon les groupes ($p < 0.01$), indiquant une rupture technologique claire entre les profils. Les producteurs utilisant des outils mécanisés apparaissent plus modernisés et forment un segment distinct de ceux ayant recours aux méthodes manuelles, généralement associés aux petites exploitations. En ce qui concerne le mode de semis, les résultats révèlent une différence non

significative mais proche du seuil ($p \approx 0.08$). Cela indique qu'une hétérogénéité existe, notamment entre le semis en ligne, en volée ou le repiquage, mais sans que cette variabilité ne permette encore une différenciation statistique tranchée entre les groupes. Enfin, l'analyse du revenu brut issu de la riziculture montre une différence significative entre les groupes. Cette disparité économique corrobore les résultats techniques précédents, les grands exploitants affichent des revenus nettement supérieurs, traduisant à la fois leur meilleure productivité et l'effet d'échelle lié à l'extension des superficies cultivées.

Tableau 1. comparatif des caractéristiques des exploitations rizicoles

Variabiles	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	p-value	Chi ² ; dl = 2
Superf. Moyenne	1.43	3.50	4.84	0.013**	8.6538
Rendement moyen	667	1466	2234	0.013**	8.6538
Système de production	1.26	1.37	1.9	0.079	5.0691
Technique agricole	2	1.5	1.3	0.004***	10.855
Mode de semis	1.89	2.13	3.8	0.082	4.9975
Revenu issu	1372501	3759692	5916157	0.013**	8.6538

Signification : « *** » 0.001 « ** » 0.01 « * » 0.05.

Description et analyse des caractéristiques dominantes de chaque type d'exploitation

Comparaison non paramétrique des caractéristiques des exploitations rizicoles entre les groupes typologiques

Les résultats issus du tableau 2. Ci-dessous révèlent des différences statistiquement significatives entre les groupes d'exploitations identifiés par la classification ascendante hiérarchique (à partir du test de Kruskal-Wallis). Ces différences traduisent une réelle hétérogénéité structurelle et fonctionnelle au sein des producteurs de la zone étudiée. Pour le rendement rizicole, ($p = 0,013$) indique une variation marquée entre les groupes. Cette différence est attribuée à des disparités dans les pratiques culturales, le niveau de maîtrise technique, l'intensité de l'utilisation des intrants, ou encore le degré de mécanisation. Certains groupes semblent plus performants techniquement, probablement en raison de leur accès à des ressources de production plus modernes ou d'un encadrement plus efficace. Concernant le revenu brut issu de la riziculture, montre la même valeur $p = 0,013$ témoigne d'un écart économique important entre les groupes. Les exploitations les mieux dotées en superficie et en rendement génèrent des revenus significativement plus élevés, ce qui confirme que la performance économique suit généralement la performance technique et la taille de l'exploitation. Cette différenciation renforce l'hypothèse selon laquelle les types de producteurs identifiés n'occupent pas les mêmes positions dans la chaîne de valeur rizicole locale. La superficie emblavée constitue également un critère fortement discriminant entre les groupes ($p = 0,013$), illustrant des

niveaux contrastés d'accès au foncier. Les exploitations de plus grande taille sont généralement mieux positionnées pour adopter des techniques modernes, mobiliser davantage de main-d'œuvre et investir dans des pratiques intensives, ce qui leur confère un avantage comparatif certain sur le plan productif et économique. Dans l'ensemble, ces résultats mettent en évidence une structuration nette de l'agriculture rizicole dans la zone de Bunkeya. Chaque groupe identifié par la typologie présente des caractéristiques distinctes en matière de capacité foncière, de performance agronomique et de rentabilité économique. Cette différenciation statistiquement significative justifie pleinement l'approche typologique adoptée.

Tableau 2. Comparaison non paramétrique des caractéristiques des exploitations

Variables	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3
Superficie moyenne (ha)	1.43	3.50	4.84
Rendement moyen (kg/ha)	667	1466	2234
Revenu moyen (CDF)	1372501	3759692	5916157
Système de production	1.26	1.37	1.39
Technique agricole	2 (manuel)	1.5 (mixte)	1.3 (mécanisé)

Signification : « *** » 0.001 « ** » 0.01 « * » 0.05.

Analyse de la variance des rendements et revenus rizicoles selon les profils d'exploitations

Les résultats issus de l'analyse de la variance (ANOVA) confirment de manière rigoureuse la validité statistique de la typologie des exploitations identifiée par CAH. La valeur F observée pour le rendement est de 44,54, tandis que celle associée au revenu rizicole atteint 52,08. Ces valeurs F particulièrement élevées indiquent que la plus grande part de la variabilité observée dans ces deux variables est imputable à la structure des groupes d'exploitations, et non à une variabilité intra-groupe aléatoire. En d'autres termes, l'appartenance à un groupe typologique constitue un facteur explicatif majeur de la performance agronomique (rendement) et économique (revenu) des exploitations étudiées. Par ailleurs, les p-values associées à ces tests respectivement 0.00005 pour le rendement et 0.00002 pour le revenu sont largement inférieures au seuil conventionnel de 0,001. Cela signifie que la probabilité d'observer de telles différences de rendement et de revenu entre les groupes par pur effet du hasard est quasiment nulle. Statistiquement, ces résultats traduisent une significativité très forte, indiquant que les groupes typologiques identifiés se différencient de manière nette et en termes de performances. D'un point de vue agronomique et économique, ces écarts reflètent des réalités structurelles profondes, les groupes se distinguent par leur maîtrise technique, leur niveau d'équipement, leurs pratiques culturales, ainsi que par leur capacité à valoriser économiquement leur production. Ainsi, les producteurs appartenant aux

groupes les plus performants présentent non seulement des rendements supérieurs, mais également une rentabilité nettement accrue, traduisant une meilleure intégration dans les circuits de production et de commercialisation du riz.

Tableau 3. Analyse de la variance des rendements et revenu

Variables	Source de variation	Df (ddl)	Somme carré (SS)	Moyenne carré (MS)	F-value	p-value	Signification
Rendement (hg/ha)	Groupe de producteurs	1	4280	4280	44.54	0.00005****	Très significatif
	Résidus	10	9610	9610			
	Total	11	5241				
Revenu (CDF)	Groupe de producteurs	1	36360000	36360000	52.08	0.00002****	Très significatif
	Résidus	10	69800000	69800000			
	Total	11	43340000				

Signification. Codes : « *** » 0.001 « ** » 0.01 « * » 0.05.

Évaluation des principaux déterminants de la différenciation entre types d'exploitations

Structuration des types d'exploitations rizicoles par l'analyse factorielle : différenciation selon les caractéristiques socio – techniques et économiques

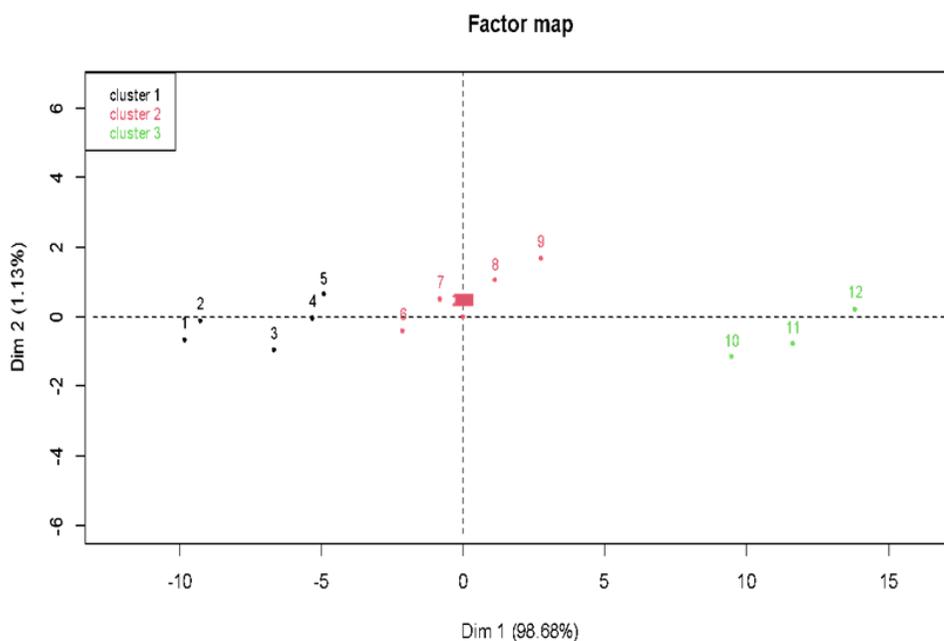


Figure 3. Structuration des types d'exploitations rizicoles par l'analyse factorielle

Le graphique ci-dessus présente la cartographie factorielle issue d'une analyse en composantes principales (ACP) suivie d'une classification ascendante hiérarchique (CAH), appliquée aux exploitations rizicoles de la zone d'étude. Il met en évidence la structuration des types d'exploitations selon leurs caractéristiques socio-économiques, techniques et organisationnelles. Trois groupes distincts d'exploitations se dégagent de l'analyse, matérialisés par trois clusters représentés en couleurs différentes. Le premier groupe, situé à l'extrême gauche de l'axe 1, regroupe des exploitations caractérisées par une faible intensité productive. Ces unités se distinguent par de faibles superficies rizicoles, un accès limité aux intrants modernes, une technique agricole essentiellement manuelle et un rendement bas. Ces exploitations sont souvent portées par des producteurs ayant un faible niveau d'instruction et un statut foncier précaire (location ou usufruit coutumier). Elles reflètent une agriculture de subsistance, peu insérée dans les circuits de commercialisation structurés. Le second groupe, localisé au centre du graphique, regroupe des exploitations intermédiaires présentant un niveau modéré de performance. Ces unités adoptent des techniques agricoles mixtes (entre manuel et mécanisé), disposent d'un accès partiel au crédit et aux services d'accompagnement, et exploitent des superficies relativement moyennes. Ce groupe semble représenter une phase de transition entre les systèmes traditionnels et les systèmes plus intensifiés. Le troisième groupe, situé à l'extrême droite de l'axe 1, correspond à des exploitations à forte intensité productive. Ces unités se caractérisent par de grandes superficies rizicoles, des rendements élevés, une mécanisation avancée et un meilleur accès au crédit, aux intrants et aux services techniques. Elles sont souvent tenues par des producteurs ayant un statut foncier sécurisé (propriétaires) et un niveau d'instruction plus élevé. Ce profil reflète une logique entrepreneuriale avec une orientation claire vers le marché. L'axe 1, qui résume à lui seul 98,68 % de la variance totale, traduit principalement le gradient d'intensification technique et économique des exploitations. L'axe 2, représentant 1,13 % de la variance, n'apporte qu'une faible contribution à la différenciation observée, indiquant une structuration principalement unidimensionnelle. Ainsi, les résultats obtenus confirment que des variables telles que le statut foncier, le niveau d'instruction, la technique agricole, le système de production et l'accès au crédit jouent un rôle déterminant dans la différenciation des types d'exploitations rizicoles dans la zone étudiée. Ces éléments peuvent servir de base à l'élaboration de politiques d'accompagnement différenciées, tenant compte de la diversité des profils identifiés.

Analyse des déterminants de la différenciation typologique des exploitations rizicoles à Bunkeya

Le modèle de régression logistique multinomiale, prenant le groupe 1 comme modalité de référence, met en évidence des différences entre les profils typologiques des exploitations rizicoles à Bunkeya comme le montre le tableau 4. Ci-dessous. La comparaison des groupes 2 et 3 par rapport au groupe 1 révèle que seules les caractéristiques du groupe 3 sont statistiquement significatives sur l'ensemble des variables explicatives testées, avec des valeurs p inférieures à 0,0001. Cela indique que les exploitants appartenant au groupe 3 se différencient significativement de ceux du groupe 1. Plus précisément, les producteurs du groupe 3 présentent un niveau d'instruction plus élevé, une plus grande ancienneté dans la riziculture, un accès plus restreint au crédit formel et adoptent des techniques agricoles moins mécanisées. De plus, ils se distinguent par des systèmes de production spécifiques (plateau ou bas-fond irrigué) et des pratiques culturales différentes, telles que l'assolement ou la rotation. Ces éléments reflètent une structuration plus avancée, mais aussi plus différenciée, de ce groupe en matière de capital humain, technique et organisationnel. En revanche, les différences entre les groupes 2 et 1 ne sont pas statistiquement significatives, ce qui traduit une certaine homogénéité entre ces deux profils. Le statut foncier, le niveau d'étude, l'expérience, les techniques agricoles et les pratiques culturales ne montrent pas de variation notable entre ces deux groupes. L'ensemble des résultats suggère que la diversité structurelle des exploitations rizicoles à Bunkeya s'exprime principalement par les écarts observés avec le groupe 3. Celui-ci représente un profil atypique qui, bien qu'ayant une meilleure formation et une plus grande expérience, se heurte à des contraintes spécifiques telles que l'accès limité au financement et l'adoption partielle des innovations techniques. Ces éléments justifient une prise en charge différenciée des exploitations selon leur profil, notamment pour soutenir les dynamiques de modernisation adaptées aux conditions locales.

Tableau 4. Déterminants de la différenciation typologique des exploitations rizicoles à Bunkeya

Variables explicative	Coef. G2	p-value	Interprétation G2 vs G1	Coef. G3	p-value	Interprétation G3 vs G2
Intercept	136.47	0.8010	Non significatif	- 136.33	<0.0001	TS – différence structurelle
Statut foncier	- 479.50	0.9475	NS – peu de différence	- 422.13	<0.0001	TS – stat foncier fortement différencié
Niveau d'étude	-55.54	0.9888	NS – effets négligeables	253.41	<0.0001	TS – plus instruits
Ancienneté	50.05	0.9254	NS – pas de différence	145.94	<0.0001	TS – plus expérimentés

Accès au crédit	342.48	0.9254	notable NS – accès comparable	-	<0.0001	TS – moins d'accès au crédit
Technique agricole	-	0.6329	NS – technique similaire	347.90	<0.0001	TS – technique différente (moins méca.)
Système de production	270.33	0.9706	NS – pas de différenciation	330.62	<0.0001	TS – système spécifique
Système cultural	45.24	0.9913	NS – pas de différence	-8.43	<0.0001	TS – pratiques culturales distinctes
NS : non significatif ($p > 0.05$) ; TS : très significatif ($p < 0.05$)						

Discussion des resultats

L'approche méthodologique adoptée à Bunkeya, fondée sur la combinaison de l'analyse en composantes principales (ACP) et de la classification ascendante hiérarchique (CAH), s'inscrit dans une logique comparative déjà éprouvée dans divers contextes agroécologiques. L'objectif était de caractériser la diversité des systèmes rizicoles locaux et d'identifier les facteurs structurants à l'origine de cette hétérogénéité. Les résultats de l'ACP indiquent que les variables liées à l'ancienneté rizicole, à la superficie cultivée, à l'accès aux intrants et aux revenus agricoles contribuent fortement à l'axe principal (PC1), ce qui renforce leur pouvoir discriminant. Cette structuration est en cohérence avec les observations de Diagne et al. (2013) dans la zone de l'Office du Niger, où ces mêmes variables expliquaient les différences entre exploitations. De manière analogue, les travaux de Tiftonell et Giller (2013) au nord du Vietnam soulignent l'importance des pratiques culturales, de l'intensité d'intrants et de l'insertion dans les chaînes de valeur trois dimensions également observées comme discriminantes à Bunkeya. La concordance avec d'autres contextes géographiques se confirme dans les résultats de White bread et al. (2010) en Australie, où les performances économiques et l'intensité technique segmentaient les exploitations rizicoles de la Riverina. À Bunkeya, ces dimensions sont également structurantes du premier axe d'analyse. De même, Silva et al. (2015), au Brésil, ont mis en évidence le rôle du revenu agricole et de la taille de l'exploitation dans la capacité d'investissement, deux facteurs qui, à Bunkeya, opposent de manière nette les agricultures de subsistance aux systèmes plus capitalisés. Concernant la CAH, l'identification de groupes homogènes d'exploitations repose sur une logique typologique reconnue. Les travaux de Faye et al. (2014) au Sénégal ont abouti à une typologie tripartite opposant producteurs à faibles intrants à des producteurs plus intensifs et intégrés. Cette structuration est très proche de celle observée à Bunkeya, suggérant une robustesse du modèle. Barrett et al. (2002) ont montré que les riziculteurs du Tamil Nadu pouvaient être différenciés selon leur insertion dans le marché,

l'utilisation de semences améliorées et leur niveau d'intensification critères dont deux sont pleinement présents dans la typologie obtenue à Bunkeya. D'autres convergences sont observées avec les typologies identifiées par Pannell et al. (2010) en Australie et Moura et al. (2019) au Brésil, où les dimensions techniques (mécanisation, irrigation, rendement) structuraient également les groupes d'exploitations. À Bunkeya, ces critères ont permis d'identifier un groupe performant, confirmant la transférabilité de ces dimensions dans l'analyse typologique. Sur le plan des facteurs explicatifs de la différenciation typologique, la régression logistique multinomiale a permis de dégager quatre variables significatives : le niveau d'étude du chef d'exploitation, l'ancienneté dans la riziculture, le système cultural et l'accès au crédit. Ces résultats convergent avec ceux de Wopereis et al. (2013) au Burkina Faso, qui identifient ces mêmes facteurs comme déterminants dans l'adoption de technologies améliorées. De même, Pandey et al. (2010), dans les plaines rizicoles du Bangladesh, ont mis en évidence l'effet structurant de l'éducation et du crédit, deux variables également significatives dans notre étude. Enfin, les observations de Farre et al. (2007) en Australie et de Gomes et al. (2021) au Brésil soulignent que l'accès au financement, à la formation, ainsi que le statut foncier, influencent fortement les performances agricoles. Ces éléments trouvent un écho direct à Bunkeya, où le crédit, bien que limité, joue un rôle différenciateur, notamment pour le groupe le plus performant, tandis que le niveau d'instruction et la sécurisation foncière apparaissent comme des leviers structurels majeurs de la modernisation agricole. Dans l'ensemble, la convergence des résultats obtenus à Bunkeya avec ceux documentés dans d'autres régions rizicoles du monde atteste de la validité externe de l'approche méthodologique, et renforce la pertinence des variables retenues pour comprendre la diversité des trajectoires agricoles dans les contextes africains ruraux.

Conclusion

L'analyse conjointe en composantes principales (ACP) et classification ascendante hiérarchique (CAH) appliquée aux exploitations rizicoles de Bunkeya a permis de révéler une structuration claire de la diversité des systèmes de production. Cette approche a identifié des groupes différenciés d'exploitations selon des critères techniques, économiques et sociaux, confirmant l'existence de dynamiques agricoles contrastées au sein de la zone étudiée. Le résultat est renforcé par leur forte convergence avec les travaux menés dans d'autres régions rizicoles du monde, notamment en Afrique de l'Ouest, en Asie, en Australie et en Amérique latine. Les facteurs discriminants observés à Bunkeya niveau d'éducation, ancienneté rizicole, système cultural, accès au crédit, taille et revenu des exploitations apparaissent ainsi comme des déterminants récurrents dans la structuration

des agricultures familiales en contexte rizicole. Ces résultats soulignent la pertinence d'une approche typologique pour éclairer la diversité des exploitants et orienter les politiques publiques agricoles. Mieux cibler les interventions notamment en matière d'accès au crédit, à la formation technique et à la sécurisation foncière apparaît essentiel pour accompagner la transition vers des systèmes plus performants, inclusifs et durables. À terme, cette connaissance fine des profils productifs constitue un levier stratégique pour le développement territorial et l'amélioration des conditions de vie des producteurs ruraux.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Ward, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58(301), 236–244. DOI : 10.1080/01621459.1963.10500845
2. Landais, E. (1998). Modelling farm diversity: new approaches to typology building in France. *Agricultural Systems*, 58(4), 505–527. DOI : 10.1016/S0308-521X(98)00065-1
3. Tittonell, P. A., Muriuki, A., Shepherd, K. D., Mugendi, D., Kaizzi, K. C., Okeyo, J., Verchot, L., Coe, R., & Vanlauwe, B. (2010). The diversity of rural livelihoods and their influence on soil fertility in agricultural systems of East Africa – A typology of smallholder farms. *Agricultural Systems*, 103(2), 83–97. DOI : 10.1016/j.agsy.2009.10.001
4. Lebailly, P., & Sossou, C. H. (2004). Typologie des exploitations agricoles en Afrique centrale : méthodes et applications. *Cahiers Agricultures*, 13(1), 1–9.
5. Dugué, P., Giger, M., & Landais, E. (2004). Méthodes de diagnostic agraire : construction de typologies d'exploitations agricoles. *Cahiers Agricultures*, 13(1), 1–9
6. Kperim Tabone, Koffi-Tessio e.m, and Diagne, A. 2010. Compétitivité de la filière riz local au Togo : Une évaluation du taux de protection nominale, effective et du coût en ressource domestique. African Association of Agricultural Economists (AAAE) > 2010

- AAAE Third Conference/AEASA 48th Conference, September 19-23, 2010, Cape Town, South Africa
7. Louis a. C. mestres, J. faure, Measurement of endosperm vitreousness of corn : a quantitative method and its application to african cultivars. *Cereal Chemistry*, 68 (6) (1991) 614 – 617
 8. Tshomba Kalumbu John, Helène, K. K. J., Jules, N. M. F., Léoncez, K. A., Patrick, M. M., & Moïse K. B. M. M. (2022). Analyse des facteurs de compétitivité dans la production du maïs entre la RDC et la Zambie en Afrique australe. *International Journal of Multidisciplinary and Current Research*, 10(03).
 9. Jules Nkulu MF., 2010 : Dynamique agraire des exploitations agricoles familiales dans l’hinterland minier du Katanga et perspectives pour une politique d’appui. Thèse de doctorat en sciences agronomiques, Inédite, Université de Lubumbashi (RD Congo)
 10. Ibrahima MBODJ, Mouhameth CAMARA, Omar Ndaw FAYE, Fallou SARR et Gloria G. S. KENY, 2019. Caractérisation physico-chimique de quinze (15) variétés de riz (*Oryza sativa* L.) produites dans la vallée du fleuve Sénégal. *Afrique SCIENCE* 15(3) (2019) 222 - 233 ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.net>.
 11. Coulibaly Aïssatou, Kouakoua Yapi Elisée, Amani N’Guessan Georges, 2021. Caractéristiques Physico-Chimiques et Organoleptiques de Certaines Variétés de Riz Local Cultivées en Côte d’Ivoire. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)* ISSN: 2509-0119. Vol. 29 No. 1 October 2021, pp.668-674
 12. C.-E. Park, Y.-S. Kim, K.-J. Park, and B.-K. Kim, “Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures,” *J. Stored Prod. Res.*, vol. 48, pp. 25–29, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.jspr.2011.08.005
 13. T. S. Rathna Priya, A. R. L. Eliazer Nelson, K. Ravichandran, and U. Antony, “Nutritional and functional properties of coloured rice varieties of South India: a review,” *J. Ethn. Foods*, vol. 6, no. 1, pp. 1–11, Oct. 2019, doi: 10.1186/s42779-019-0017-3.
 14. Z. Wang et al., “Effect of the degree of milling on the physicochemical properties, pasting properties and in vitro digestibility of Simiao rice,” *Grain Oil Sci. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 45–53, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.gaost.2021.04.002
 15. M. Demont, M. Ndour, and E. Zossou, “Can local African rice be competitive? An analysis of quality-based competitiveness through experimental auctions,” *Cah. Agric.*, vol. 22, no. 5, pp. 345–352, Sep. 2013, doi: 10.1684/agr.2013.0664

16. Tshomba Kalumbu John, Nkulu Mwiné Fyama Jule et Kalambaie Binn Mukanya Madiya Moïse. 2020. Analyse de la dépendance alimentaire aux importations des ménages dans trois communes de la ville de Lubumbashi, RDC. *International Journal of Multidisciplinary and Current Research* ISSN : 2321-3124.
17. Lucien Nkulu Masengo, Tshomba Kalumbu John, Jules Nkulu Mwine Fyama and Moïse Kalambaie Binn. 2025. Circuits d’approvisionnement et facteurs compétitifs : Une évaluation économique des variétés de riz dans les marchés de l’arc cuprifère du Katanga. *International Journal of Multidisciplinary and Current Research* ISSN: 2321-3124.
18. Michel Baudouin, Lebailly Philippe, Mpanzu Balomba Patience, Jules Nkulu Mwine Fyama, Bonkena Papy, Furaha Mirindi Germaine, Akalakou Claude, Bolakonga Ilye, Bily. 2019. Etude de l’analyse de la compétitivité du riz local et des options de son amélioration. *Open Repository and Bibliography – Liege. AGRER – EARTH*
19. Bolakonga Antoine Bily Ilye., Jules Nkulu mwine fyama., Mushakulwa WAZIRI and Gregor Jaecke (2017) : filieres agricoles en republique democratique du congo : maïs, riz, bananes plantains et pêche, Fondation Konrad Adenauer Kinshasa, Octobre 2017
20. Diagne, A., Adekambi, S. A., Simtowe, F., & Biaou, G. (2013). *Explaining the Adoption of NERICA Rice Varieties in West Africa*. *Journal of Agricultural Economics*, 64(1), 17–39.
21. Tittonnell, P., & Giller, K. E. (2013). *When yield gaps are poverty traps: The paradigm of ecological intensification in smallholder agriculture*. *Field Crops Research*, 143, 76–90.
22. Whitbread, A., Robertson, M., Carberry, P., & Dimes, J. (2010). *How farming systems simulation can aid the development of more sustainable smallholder farming systems in southern Africa*. *European Journal of Agronomy*, 32(1), 51–58.
23. Silva, J. F., de Souza Filho, H. M., & do Amaral, D. M. (2015). *Sistema de produção e desempenho econômico de unidades de produção de arroz irrigado no Sul do Brasil*. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 53(2), 283–298.
24. Faye, I., Seck, P. A., & Diagne, A. (2014). *Varietal diffusion and productivity of rice in Senegal*. *Food Policy*, 44, 181–192.
25. Barrett, C. B., Reardon, T., & Webb, P. (2002). *Nonfarm income diversification and household livelihood strategies in rural Africa: concepts, dynamics, and policy implications*. *Food Policy*, 26(4), 315–331.

26. Pannell, D. J., Llewellyn, R. S., & Corbeels, M. (2010). *The farm-level economics of conservation agriculture for resource-poor farmers*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 187(1), 52–64.
27. Moura, A. C. de, Fialho, F. B., & Pereira, J. G. (2019). *Typology of irrigated rice producers in Southern Brazil*. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 57(1), 11–28.
28. Wopereis, M. C. S., Johnson, D. E., Ahmadi, N., Tollens, E., & Jalloh, A. (2013). *Realizing Africa's Rice Promise*. Wallingford: CAB International.
29. Pandey, S., Byerlee, D., Dawe, D., Dobermann, A., Mohanty, S., Rozelle, S., & Hardy, B. (2010). *Rice in the Global Economy: Strategic Research and Policy Issues for Food Security*. International Rice Research Institute.
30. Farre, I., Facchi, A., O'Connell, M., & Park, G. (2007). *Benchmarking water productivity in rice-based cropping systems in Australia*. *Agricultural Water Management*, 93(3), 282–292.
31. Gomes, E. G., Alves, E. R. de A., & Castro, A. C. R. (2021). *Production systems and yield gaps in Brazilian rice farming: a typology based on socioeconomic and technical variables*. *Agronomy*, 11(2), 289.
32. Kasongo Emery M., 2009 : Système d'évaluation des terres à multiples échelles pour la détermination de l'impact de la gestion agricole sur la sécurité alimentaire au Katanga, R.D. Congo, Thèse de doctorat en science, Université de GANT