

Multifonctionnalité des systèmes agroforestiers rizicoles : analyse bibliométrique appliquée aux services écosystémiques, à la diversité floristique et aux rendements des cultures

Bakounouré AKPO^{1*}, Adigla Appolinaire WÉDJANGNON^{1,2}, Towanou HOUETCHEGNON^{1,3} et Christine OUINSAVI^{1,3}

¹ *Université de Parakou (UP), Laboratoire d'Études et de Recherches Forestières (LERF), BP 123 Parakou, République du Bénin*

² *Institut Supérieur Agronomique et Vétérinaire (ISAV) "Valéry Giscard d'Estaing", Faranah, Guinée*

³ *Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Département Aménagement et Gestion des Ressources Naturelles, République du Bénin*

(Reçu le 14 Avril 2026 ; Accepté le 27 Juillet 2026)

* Correspondance, courriel : akpobakou@lerf-up.com

Résumé

L'agroforesterie, qui intègre des espèces ligneuses pérennes aux cultures annuelles, est reconnue comme une stratégie prometteuse d'intensification agroécologique. Pourtant, les systèmes agroforestiers à base de riz demeurent parmi les moins étudiés. Cette revue systématique vise à synthétiser les connaissances scientifiques mondiales sur les agroforêts rizicoles, en analysant leur dynamique spatio-temporelle, leur diversité floristique, leurs services écosystémiques (séquestration de carbone, fertilité des sols, régulation hydrologique) ainsi que leurs impacts sur le rendement. Pour cela, les données ont été collectées dans les bases Scopus et Dimensions selon un modèle PICO. La production annuelle d'études sur ces systèmes affiche un taux de croissance d'environ 3,13 % par an. L'analyse du réseau thématique révèle quatre clusters principaux, structurés autour des nœuds dominants « agroforestry » et « rice », qui constituent les axes centraux de la littérature scientifique. Ces clusters reflètent les recherches portant sur les interactions entre agroforesterie, changements d'usage des terres, biodiversité, services écosystémiques et gestion agronomique des systèmes céréaliers, avec une forte concentration des études dans les régions tropicales et asiatiques. Différents types de systèmes agroforestiers influencent significativement plusieurs indicateurs écologiques, notamment la richesse arborée, le carbone organique du sol et le stock de carbone. Le rendement du riz ne présente pas de différence significative entre les systèmes, ce qui suggère que la productivité agricole dépend davantage d'autres facteurs, tels que les pratiques culturales ou les conditions climatiques locales. Les systèmes agroforestiers rizicoles offrent donc des bénéfices substantiels pour la biodiversité, les services écosystémiques et la productivité agricole.

Mots-clés : *agroforesterie rizicole, biodiversité, services écosystémiques, dynamiques spatio-temporelles, rendement du riz.*

Abstract

Multifunctionality of agroforestry rice systems : bibliometric analysis of ecosystem services, floristic diversity and crop yields

Agroforestry, which integrates perennial woody species with annual crops, is recognized as a promising strategy for agroecological intensification. However, rice-based agroforestry systems remain among the least studied. This systematic review aims to synthesize global scientific knowledge on rice agroforestry systems by analyzing their spatiotemporal dynamics, floristic diversity, ecosystem services (carbon sequestration, soil fertility, hydrological regulation), and impacts on yield. Data were collected from the Scopus and Dimensions databases using a PICO model. The annual output of studies on these systems shows a growth rate of approximately 3.13% per year. Thematic network analysis reveals four main clusters, structured around the dominant nodes "agroforestry" and "rice," which constitute the central axes of the scientific literature. These clusters reflect research on the interactions between agroforestry, land-use change, biodiversity, ecosystem services, and agronomic management of cereal systems, with a high concentration of studies in tropical and Asian regions. Different types of agroforestry systems significantly influence several ecological indicators, including tree richness, soil organic carbon, and carbon stock. Rice yield did not differ significantly between systems, suggesting that agricultural productivity depends more on other factors, such as farming practices or local climatic conditions. Rice agroforestry systems therefore offer substantial benefits for biodiversity, ecosystem services, and agricultural productivity.

Keywords : *rice agroforestry, biodiversity, ecosystem services, spatio-temporal dynamics, rice yield.*

1. Introduction

La dégradation accélérée des formations forestières, principalement liée à la pression anthropique résultant de l'expansion agricole et de la recherche de terres fertiles pour répondre à la demande alimentaire d'une population en croissance rapide, représente un enjeu environnemental majeur. Face à ces défis, l'agroforesterie définie comme l'intégration délibérée d'espèces ligneuses pérennes avec des cultures annuelles ou des animaux sur une même unité de gestion, s'impose progressivement comme une stratégie d'intensification agroécologique capable de concilier productivité agricole, résilience climatique et durabilité environnementale [1]. Dans ce contexte, les systèmes agroforestiers sont de plus en plus reconnus comme une stratégie efficace pour favoriser la restauration des écosystèmes et promouvoir une gestion durable des ressources naturelles. Ainsi, ces systèmes contribuent à fournir une gamme étendue de services écosystémiques, parmi lesquels la séquestration du carbone, l'amélioration de la fertilité et de la qualité des sols, la régulation hydrologique et la production alimentaire diversifiée occupent une place centrale [2]. De même, pour la conservation de la diversité floristique, les systèmes agroforestiers associés aux rizières jouent un rôle de refuges pour de nombreuses espèces végétales et animales. Par exemples, Les agroforêts à vanille de Madagascar hébergent une diversité remarquable d'espèces endémiques d'oiseaux, de papillons, d'amphibiens et de reptiles, avec des valeurs de conservation supérieures à celles des jachères et des rizières [3, 4]. Dans les paysages rizicoles d'Asie du Sud-Est, la présence d'agroforêts conditionne le maintien de communautés de pollinisateurs taxonomiquement et fonctionnellement diversifiées, indispensables à la production agricole des exploitations rizicoles [5]. Malgré ces éléments, les connaissances sur la diversité floristique spécifique des systèmes agroforestiers à base de riz demeurent fragmentées et géographiquement déséquilibrées, avec une forte concentration des études en Asie et à Madagascar, au détriment de l'Afrique subsaharienne et de l'Amérique latine [6, 7]. Des études récentes effectuées pour comparer l'agroforesterie et la riziculture conventionnelle montrent systématiquement que les systèmes

agroforestiers constituent des puits de carbone nets, avec des stocks de carbone organique du sol significativement supérieurs à ceux des monocultures rizicoles [8, 9]. Cependant, ces bénéfices écologiques et climatiques doivent être analysés à la lumière des transformations rapides des paysages agricoles. La conversion des forêts primaires en terres agricoles, la déforestation liée à la riziculture sur brûlis et l'expansion des monocultures entraînent des pertes irréversibles de biodiversité, une dégradation des sols et une diminution des services écosystémiques essentiels [4]. Dans des contextes aussi variés que le Bangladesh, l'Indonésie, le Madagascar ou le Kerala en Inde, les études montrent que les dynamiques spatio-temporelles d'occupation du sol sont étroitement liées à l'adoption ou à l'abandon des pratiques agroforestières, avec des effets différenciés sur la structure des paysages ruraux et sur les moyens de subsistance des communautés locales [10, 11]. Malgré la reconnaissance croissante du potentiel des systèmes agroforestiers à base de riz, les bénéfices et risques de ces pratiques n'ont pas encore fait l'objet d'une synthèse systématique et intégrée couvrant simultanément la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol, la diversité floristique et les services écosystémiques [6]. Les pratiques agroforestières intégrant le riz demeurent moins documentées que celles associées au café, au cacao ou au maïs, et les données quantitatives permettant des analyses comparatives robustes font encore largement défaut, en particulier en Afrique [6, 12]. C'est précisément pour combler ces lacunes que la présente revue bibliométrique a été conduite. Elle vise à évaluer et synthétiser l'état des connaissances scientifiques mondiales sur : (i) la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol associée aux systèmes agroforestiers à base de riz, (ii) la diversité floristique de ces systèmes et leur contribution à la conservation de la biodiversité, (iii) les services écosystémiques qu'ils procurent, notamment en termes de séquestration du carbone, de fertilité et de protection des sols, de régulation hydrologique et de sécurité alimentaire.

2. Matériel et méthodes

2-1. Stratégie de collecte des données

Pour la collecte des données, une stratégie de recherche structurée a été élaborée à partir d'une équation de mots-clés construite selon le modèle PICO, couramment utilisé dans les revues systématiques [13, 14]. Ainsi, la collecte des données a mobilisé une combinaison d'opérateurs booléens (AND, OR) et de troncatures (*) appliquée aux champs Titre, Résumé et Mots-clés. : (TITLE-ABS-KEY ("rice" OR "paddy" OR "oryza" OR "Oryza sativa" OR "Oryza glaberrima" OR "Oryza rufipogon" OR "Oryza barthii" OR "Oryza longistaminata") AND TITLE-ABS-KEY (Agroforestry OR "Agroforestry systems" OR "Silvopastoral systems" OR "Silvoarable systems" OR "Agrosilvopastoral systems" OR "Multistrata agroforestry") AND TITLE-ABS-KEY ("land use change" OR "LULC" OR "floristic diversity" OR "species richness" OR "woody species" OR "vegetation structure" OR "stand structure" OR "tree density" OR "basal area" OR "phytodiversity" OR "ecosystem services" OR "carbon sequestration" OR "carbon storage" OR "soil fertility" OR "water regulation" OR "farmers perception" OR "local perception" OR "indigenous knowledge" OR "participatory assessment" OR "household survey" OR "irrigation schemes" OR "hydro-agricultural" OR

2-2. Processus de sélection des documents

Après la suppression des doublons, 198 documents ont été retenus sur les 254 documents identifiés dans les bases de données Scopus et Dimensions, et soumis à un processus de sélection rigoureux en deux étapes successives, suivant le protocole ROSES (Reporting standards for Systematic Evidence Syntheses) [15]. Les critères d'inclusion retenus pour cette première sélection étaient les suivants : (1) article scientifique original, revue de littérature ou chapitre d'ouvrage scientifique ; (2) publié dans une source indexée à comité de lecture ;

(3) couvrant la période 1981–2026 ; (4) rédigé en anglais ou en français ; (5) portant explicitement sur un système de production à base de riz intégrant des espèces ligneuses pérennes ; (6) abordant au moins l'une des trois thématiques centrales de la revue : dynamique d'occupation du sol, diversité floristique ou services écosystémiques. Sur les 198 documents soumis à ce premier filtre au niveau du titre et du résumé, 100 ont été exclus, portant le nombre de documents éligibles à 98. En cas d'ambiguïté sur la pertinence d'un document au stade du résumé, celui-ci a été conservé pour une évaluation approfondie au stade du texte intégral [16]. La seconde étape a consisté en une lecture approfondie des 98 documents présélectionnés afin d'en évaluer la rigueur méthodologique et la contribution empirique réelle. Seuls ont été retenus les documents satisfaisant à trois exigences supplémentaires : (1) présentant des données originales quantitatives ou qualitatives sur les systèmes agroforestiers à base de riz ; (2) disposant d'une méthodologie clairement décrite et reproductible ; (3) fournissant des résultats substantiels et interprétables sur au moins l'une des thématiques étudiées. Les documents relevant uniquement de descriptions générales sans données empiriques, ou dont le lien avec la riziculture associée à des espèces ligneuses n'était pas explicitement établi, ont été exclus. A ce stade, 57 articles ont été écartés après lecture du texte intégral. Au terme de ce processus de sélection par strates successives, le corpus final retenu pour l'analyse approfondie s'est établi à 41 études, couvrant la période 1981–2026.

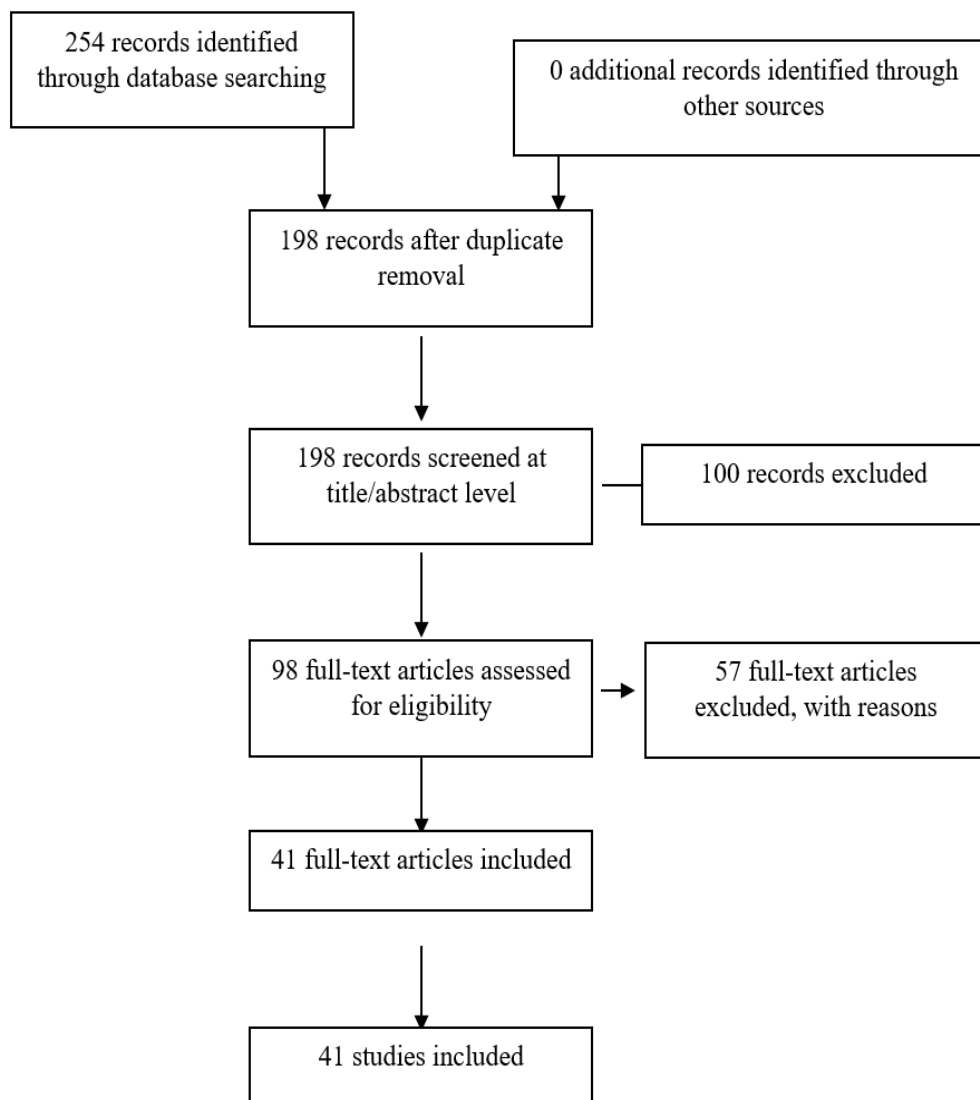


Figure 1 : Processus d'identification et de sélection des études

2-3. Analyse des données bibliométriques et thématiques

Des indicateurs de performance ont été calculés afin de caractériser la dynamique temporelle de la production scientifique mondiale relative aux systèmes agroforestiers à base de riz. Ces indicateurs incluent notamment l'évolution annuelle du nombre de publications, le taux de croissance annuel moyen ainsi que le nombre moyen de citations par document. Leur calcul a été réalisé à l'aide du package bibliometrix sous le logiciel R, permettant une analyse bibliométrique structurée du corpus scientifique [17]. Par ailleurs, une analyse de co-occurrence des mots-clés des auteurs et des mots-clés d'indexation a été conduite afin d'identifier les principales thématiques de recherche structurant la littérature et d'examiner les relations entre ces thématiques [18]. En complément de cette analyse bibliométrique, les données issues des différents types de systèmes agroforestiers (SAF) ont été analysées afin d'évaluer les variations entre systèmes. Les différences entre les types de SAF ont été testées à l'aide du test non paramétrique de Kruskal–Wallis, approprié pour comparer plusieurs groupes indépendants lorsque les conditions de normalité ne sont pas nécessairement respectées. Par ailleurs, une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée afin de comparer les moyennes des différentes variables entre les types de SAF. =). Les résultats de ces analyses statistiques ont été représentés graphiquement sous forme de boîtes à moustaches (boxplots), réalisées à l'aide de la fonction ggplot dans l'environnement R.

3. Résultats et discussion

3-1. Analyse temporelle des publications

On note un nombre croissant de publications de 1981 à 2025 (*Figure 2*). La production annuelle d'études augmente progressivement au fil du temps, avec une moyenne de 31,31 citations par document, témoignant de l'intérêt scientifique croissant pour la thématique des systèmes agroforestiers à base de riz. L'analyse des séries temporelles indique que les publications peuvent être subdivisées en deux grandes périodes de recherche : 1981–2010 et 2011–2025. La première période (1981–2010) a été marquée par une production scientifique faible et irrégulière, avec un nombre annuel de publications n'excédant généralement pas 5 articles, reflétant le caractère encore émergent des recherches sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol et les services écosystémiques des agroforêts rizicoles. La deuxième période (2011–2025) a en revanche enregistré une augmentation notable et soutenue du nombre d'articles publiés, avec un pic remarquable observé en 2023 ($n = 23$), pouvant être attribué à la mobilisation internationale croissante autour des agendas de durabilité agricole, notamment les engagements pris dans le cadre du Cadre mondial de la biodiversité de Kunming-Montréal en 2022, qui ont stimulé la production scientifique sur les services écosystémiques et la conservation de la biodiversité dans les paysages agricoles tropicaux. La forte proportion de collaborations internationales (39,9 % des co-auteurs) et le nombre élevé de co-auteurs par document (10,1 en moyenne) soulignent le caractère interdisciplinaire et transnational de ce champ de recherche, impliquant 1 016 auteurs au total issus de multiples institutions à travers le monde.

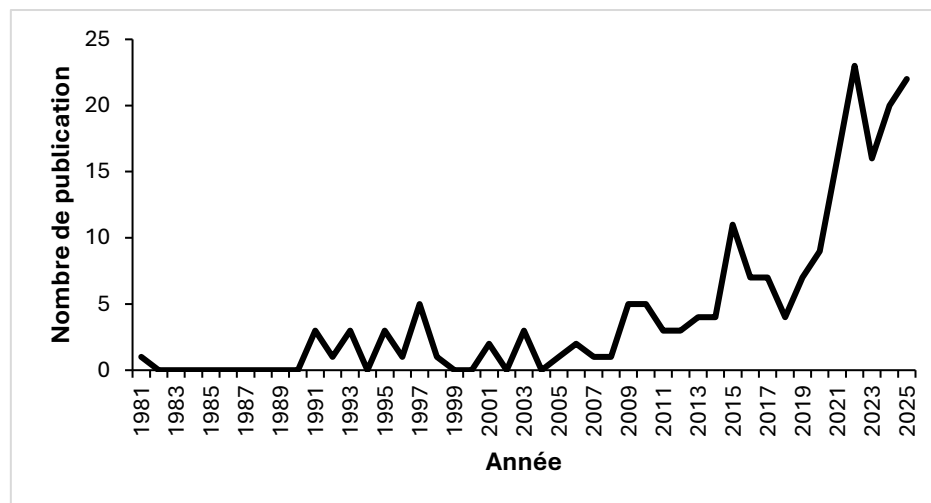


Figure 2 : Tendance annuelle de la production scientifique sur les systèmes agroforestiers à base de riz : évolution du nombre de publications de 1981 à 2025 ($n = 198$ documents)

3-2. Analyse thématique par co-occurrence des mots-clés

L'analyse du réseau de co-occurrence des mots-clés (Figure 3) a permis d'identifier quatre grands clusters thématiques structurant la littérature scientifique sur les systèmes agroforestiers à base de riz. Le Cluster 1 (rouge), le plus dense et le mieux connecté du réseau, est centré sur le nœud dominant « agroforestry » ($\text{betweenness} = 306,59$; $\text{PageRank} = 0,093$), qui constitue le pivot central de l'ensemble du réseau. Ce cluster regroupe des thématiques liées aux interactions entre agroforesterie, changement climatique (climate change , $\text{betweenness} = 23,22$), utilisation des terres (land use , $\text{betweenness} = 26,89$), biodiversité, déforestation, services écosystémiques et durabilité environnementale. Ce cluster reflète ainsi les préoccupations centrales de la littérature autour de la multifonctionnalité des systèmes agroforestiers et de leur rôle dans la conservation des ressources naturelles et la protection de l'environnement. Le Cluster 2 (bleu), structuré autour du nœud « India » ($\text{betweenness} = 17,39$) et des termes *wheat*, *Triticum aestivum*, *Oryza sativa*, *soil carbon*, *crop yield* et *agricultural management*, représente les recherches portant sur la gestion agronomique des systèmes céréaliers en contexte agroforestier, avec un focus particulier sur les interactions sol-culture et la productivité agricole en Asie du Sud. Le Cluster 3 (vert), articulé autour du nœud « rice » ($\text{betweenness} = 93,99$; $\text{PageRank} = 0,055$), constitue le deuxième pôle structurant du réseau. Il regroupe les thématiques relatives aux changements d'affectation des terres (land use change , $\text{betweenness} = 18,59$), à la séquestration du carbone ($\text{carbon sequestration}$, $\text{betweenness} = 12,61$), à la fertilité des sols, aux systèmes de culture (*farming system*, *maize*, *crop production*) et au développement durable, soulignant l'importance du riz comme culture pivot dans l'analyse des dynamiques d'occupation du sol et des bilans carbone des systèmes agroforestiers tropicaux. Enfin, le Cluster 4 (violet), plus périphérique et moins connecté, regroupe des termes tels que *paddy field*, *China*, et *species diversity*, évoquant des études spécifiques sur la diversité floristique des rizières et les systèmes rizicoles en Asie de l'Est, notamment en Chine. La position centrale des nœuds « agroforestry » et « rice » dans le réseau, avec les valeurs de betweenness et de PageRank les plus élevées, confirme que ces deux descripteurs constituent les axes thématiques fondateurs de la littérature analysée, autour desquels s'articulent l'ensemble des questions relatives à la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol, à la diversité floristique et aux services écosystémiques des systèmes agroforestiers à base de riz.

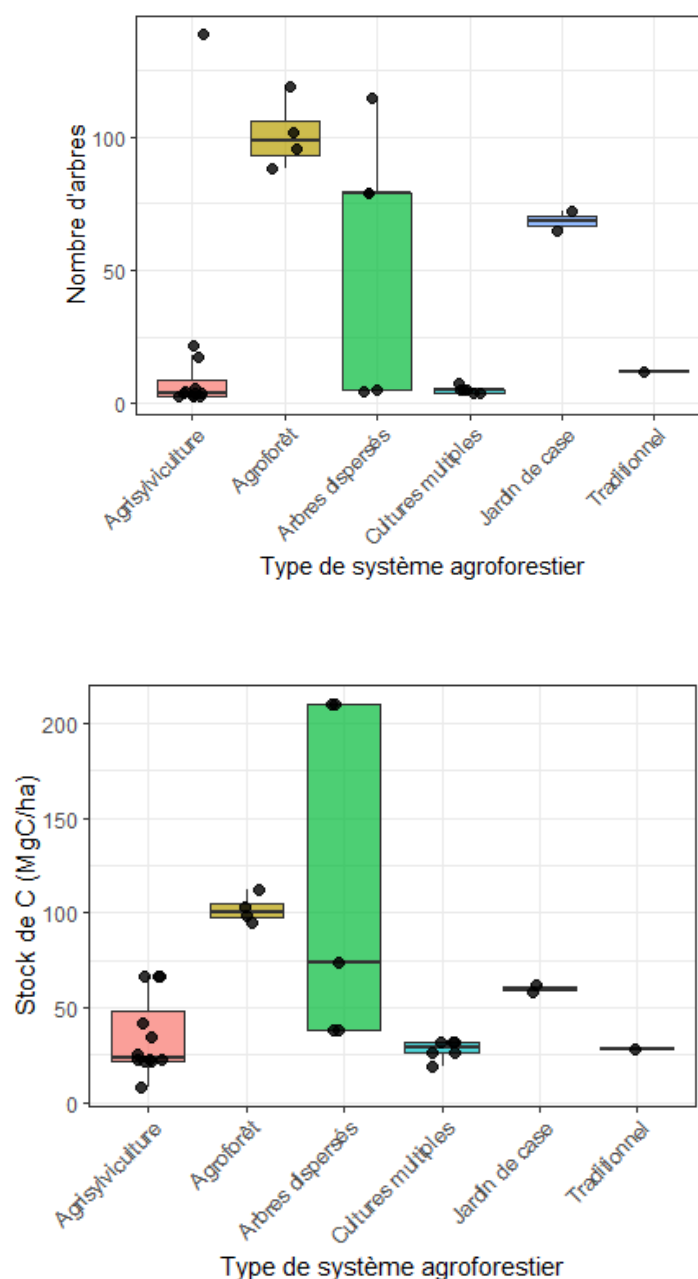


Figure 4 : *Comparaison des indicateurs clés des systèmes agroforestiers : rendement du riz, richesse arborée et stock de carbone*

3-3-1. Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol

Les systèmes agroforestiers à base de riz s'inscrivent dans des dynamiques complexes de transformation des paysages agricoles tropicaux. Les travaux menés à Madagascar illustrent de manière exemplaire cette évolution : sur plus d'un siècle, les agriculteurs ont progressivement abandonné la culture itinérante sur brûlis au profit de systèmes agroforestiers à base de vanille, tout en maintenant et étendant les rizières irriguées dans les vallées [2]. Cette transition s'est opérée sous l'influence conjuguée de facteurs économiques, climatiques et politiques, conduisant à des paysages mosaïques où coexistent forêts primaires, fragments forestiers, agroforêts et rizières [19]. L'analyse des trajectoires d'occupation du sol dans ce même contexte

révèle que les décisions de conversion des terres génèrent des compromis importants entre la conservation de la biodiversité endémique et la productivité agricole, avec des points de bascules identifiables le long des gradients d'utilisation des terres [19]. Nonobstant, au Sud-Est de l'Asie, les études de télédétection et d'analyse spatiale montrent que les arbres dans les rizières (Thaïlande) constituent un patrimoine agroforestier en déclin. La densité moyenne relevée par satellite était de 12,1 arbres par hectare, avec une forte variabilité spatiale allant de 0,8 à 44,6 arbres par hectare selon les villages, et ce déclin est directement lié à la mécanisation agricole, à l'accès aux engrais chimiques et à l'agrandissement des exploitations [20]. Une étude de suivi à l'échelle de 20 villages confirme que les facteurs topographiques, l'histoire foncière et la distance aux forêts naturelles expliquent significativement les variations spatiales de cette densité [12]. Par contre, au Japon, l'analyse multi temporelle sur 20 ans des plantations d'arbres en périphérie associées aux rizières, démontre au contraire une remarquable stabilité spatiale, avec 1 737 unités boisées maintenues sur la période, assurant une connectivité forestière pour 90 % des chemins de moindre coût entre les nœuds forestiers régionaux. On observe également des transitions entre les types d'occupation des sols, notamment à l'échelle parcellaire entre les systèmes agroforestiers, où des études menées au Kerala (Inde), combinant télédétection et enquêtes de terrain, montrent que les agroforêts évoluent dans un équilibre dynamique avec les autres usages du sol, se rétractant sous l'effet des défrichements pour la construction tout en s'étendant simultanément sur des rizières abandonnées, ce qui masque, sous le couvert canopéen, des changements profonds difficilement détectables par la seule télédétection [21].

3-3-2. Diversité floristique

Les systèmes agroforestiers à base de riz constituent des réservoirs de biodiversité. Les études menées sur les papillons révèlent que les agroforêts à vanille dérivées de jachères hébergent 164 % d'espèces endémiques supplémentaires par rapport aux jachères herbacées, tandis que les rizières et jachères herbacées se caractérisent par une abondance d'espèces d'espaces ouverts et une pauvreté marquée en espèces forestières endémiques [22]. Les inventaires d'amphibiens et de reptiles confirment cette hiérarchie : 119 espèces ont été recensées (91 % d'endémiques), la richesse des amphibiens étant significativement plus élevée en forêt primaire que dans tous les autres types d'occupation, y compris les agroforêts, qui surpassent néanmoins largement les rizières [22]. Pour les oiseaux, les agroforêts dérivées de forêts présentent une composition spécifique comparable à celle des fragments forestiers, confirmant leur rôle de refuges pour les espèces endémiques, tandis que les rizières paddy comptent parmi les habitats les plus pauvres en espèces endémiques [2, 23]. En Asie du Sud, le système Owita du Sri Lanka bandes végétales intercalées entre les rizières paddy et les terres hautes, héberge 115 espèces végétales réparties en 49 familles et 99 genres, la famille des Fabacées étant la plus représentée avec 11 espèces [24]. Dans les rizières du Nord-Est de la Thaïlande, 79 espèces arborées appartenant à 33 familles ont été inventoriées, dont de nombreux rémanents de forêts diptérocarpacées et fabacées intégrées dans les levées de terre des parcelles rizicoles [12]. Aux Philippines, une étude sur les pollinisateurs montre que toutes les composantes de la diversité des abeilles abondance, richesse spécifique, diversité fonctionnelle et réseaux plante-pollinisateur sont significativement plus élevées dans les agroforêts que dans les rizières, y compris les espèces nidifiant au-dessus du sol et les espèces à longue trompe particulièrement sensibles à la simplification des habitats [5]. Cependant, tous les systèmes agroforestiers ne sont pas également favorables à la biodiversité. En Côte d'Ivoire, les agroforêts à café et cacao associées aux rizières se révèlent inadaptées au maintien des espèces d'amphibiens forestiers du Parc National de Taï, ne préservant qu'un petit sous-ensemble d'espèces généralistes [25]. Ce résultat souligne l'importance du contexte paysager et de la composition spécifique des agroforêts dans la détermination de leur valeur pour la conservation.

3-3-3. Services écosystémiques

- Séquestration du carbone et régulation climatique

La contribution des systèmes agroforestiers à base de riz à la séquestration du carbone est documentée à travers de nombreuses études comparatives. En Inde, la comparaison entre systèmes peuplier-agroforesterie et rotation riz-blé sur 25 ans montre que les stocks de carbone organique du sol sont significativement supérieurs sous agroforesterie (22,00 MgC par hectare) par rapport au système riz-blé (12,31 MgC par hectare), avec des taux de séquestration variant de 0,38 à 0,57 MgC par hectare et par an selon les systèmes, et des valeurs d'indice de gestion du carbone allant de 119,83 en rotation riz-blé à 229,79 sous agroforesterie [8]. En Indonésie, le système agroforestier Sengon (*Paraserianthes falcataria*) associé au riz pluvial accumule une biomasse totale de 16,95 Mg par hectare et un stock carboné de 7,80 MgC par hectare, démontrant la capacité de ces systèmes à constituer des puits de carbone significatifs dès les premières années d'établissement [26]. A Madagascar, une expérience en méso Cosme comparant trois espèces arborées en association avec le riz montre des contributions très contrastées au carbone du sol : *Eucalyptus robusta* transfère en moyenne 148 gC par mètre carré, contre seulement 12 gC par mètre carré pour *Citrus clementina*, cette différence étant significativement corrélée à la biomasse racinaire de chaque espèce [27]. Au Brésil, la comparaison directe entre un système agroforestier cacao-riz et deux systèmes de riziculture conventionnelle confirme que l'agroforêt constitue un puits de carbone net avec un bilan organique positif, tandis que les systèmes de riziculture conventionnelle émettent davantage de CO₂ qu'ils n'en séquestrent [9].

- Régulation des sols et de l'eau

Les effets des systèmes agroforestiers à base de riz sur la qualité et la fertilité des sols sont documentés à de multiples échelles. En Inde, des études comparant les systèmes peuplier-agroforesterie aux rotations riz-blé sur des sols alluviaux du Punjab montrent que le pH, la conductivité électrique, le carbone organique, l'azote disponible, le phosphore et le potassium sont tous significativement plus élevés sous agroforesterie après 25 ans [28]. Les fractions labiles du carbone, indicateurs sensibles de la qualité du sol, sont dominantes sous agroforesterie (56 à 60 % du carbone organique total), tandis que sous riz-blé, le carbone est majoritairement stabilisé sous formes récalcitrantes et moins réactives [29]. En Chine (île d'Hainan), l'arbre *Bombax ceiba* planté en association avec le riz améliore la disponibilité en potassium et la teneur en matière organique du sol dans un rayon de cinq mètres, la diversité des communautés bactériennes et fongiques du sol étant significativement modulée par la distance à l'arbre et par les stades phénologiques du riz (Bull, 2022). En Inde, le système intégré riz-poisson-élevage-agroforesterie (IFS) présente un indice de qualité du sol (SQI) de 0,780, significativement supérieur à celui du système conventionnel (CS : 0,595 ; $p < 0,001$), avec une biodiversité bactérienne du sol mesurée par les indices de Shannon, Simpson, Chao1, ACE et Fisher systématiquement plus élevée dans le système intégré [30]. Au Sri Lanka, le système Owita associé aux rizières paddy fournit des services de régulation importants, notamment le contrôle des inondations, la conservation de la biodiversité et la régulation thermique des zones périurbaines, attestés par les observations de terrain et les enquêtes auprès des agriculteurs [24].

- Rendement agricole du riz

L'un des enjeux centraux de l'intégration arbres-riz est la compatibilité entre la présence d'arbres et le maintien de la productivité rizicole. En Indonésie, l'association *Paraserianthes falcataria* (Sengon) avec le riz pluvial à un espacement de 2 × 2 mètres augmente le poids du grain de 23,2 % par rapport à la monoculture, sans différence significative dans la croissance végétative du riz entre les deux systèmes [26]. En Guinée, une expérience en blocs factoriels testant quatre densités d'arbres sur trois variétés de riz de coteau montre que des densités modérées (50 et 100 arbres par hectare) maintiennent des rendements statistiquement comparables à ceux de la monoculture, et que seule la densité maximale de 150 arbres par hectare induit une réduction légère du rendement [31]. De même, les rendements de paddy en plantation de bordure

(13,49 tonnes par hectare) sont statistiquement similaires à ceux de la monoculture rizicole (13,60 tonnes par hectare), confirmant que l'intégration d'arbres en bordure de parcelles n'affecte pas la productivité rizicole lorsque la gestion est adaptée (Telangana) [32]. En Indonésie (tourbières de Sumatra Sud), les deux systèmes agroforestiers à base de riz conçus pour les tourbières cultivées offrent un potentiel de revenus nets supérieurs à la monoculture rizicole, malgré des coûts d'établissement plus élevés liés à la construction de digues [32]. En revanche, des interactions négatives entre les arbres et le riz sont documentées lorsque la gestion est inadaptée. Au Bangladesh, l'association eucalyptus-riz réduit le rendement rizicole de 42 à 57 % à moins de cinq mètres du tronc en raison d'effets allélopathiques et de la compétition pour l'eau, bien que les agriculteurs maintiennent ce système pour ses retours économiques globaux sur dix ans [33]. En Inde (Rajasthan), les rendements céréaliers sous canopée arborée sont réduits de 22 à 47 % selon les zones agroclimatiques, reflétant l'importance cruciale du choix des espèces et des configurations spatiales [34].

3-4. Perspectives et pistes de recherches futures

Malgré les avancées, plusieurs lacunes critiques demeurent et ouvrent des pistes de recherche prioritaires sur les systèmes agroforestiers à base de riz. En premier lieu, si les bénéfices du rendement rizicole en contexte agroforestier commencent à être documentés à l'échelle mondiale, des recherches supplémentaires sont explicitement requises pour évaluer l'impact de différentes modalités d'intégration arbres-riz sur les dimensions environnementales, sociales et économiques plus larges de la durabilité, avec une attention particulière portée à l'Afrique subsaharienne où le potentiel d'amélioration de la productivité durable est jugé le plus élevé [6]. Sur le plan de la séquestration du carbone, les études en conditions contrôlées ont démontré des effets contrastés selon les espèces arborées, mais des études de terrain intégrant la densité d'arbres et les arrangements spatiaux restent indispensables pour extrapoler ces résultats aux conditions réelles des exploitations agricoles [27]. Concernant la qualité des sols, les systèmes intégrés riz-poisson-élevage-agroforesterie demeurent très peu étudiés comparativement aux systèmes conventionnels, malgré leur potentiel démontré en termes d'amélioration de la santé microbienne et de l'indice de qualité du sol [30]. La dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol soulève également des interrogations non résolues : il reste difficile d'identifier avec précision les points d'entrée permettant d'orienter les transformations des systèmes fonciers complexes vers des trajectoires plus durables [4], et les changements d'usage du sol sous couvert canopée notamment la conversion de rizières paddy en agroforêts jeunes et moins diversifiées demeurent largement invisibles aux méthodes de télédétection conventionnelles [11]. Pour la diversité floristique et faunistique, l'histoire d'utilisation des terres des agroforêts constitue une avenue prometteuse peu explorée, notamment au-delà des paysages à vanille de Madagascar [4], et le rôle des communautés microbiennes du sol associées à des espèces arborées spécifiques comme *Bombax ceiba* dans les rizières tropicales reste largement méconnu [35]. Par ailleurs, les paysages agricoles tropicaux sont fréquemment des mosaïques de multiples types d'utilisation des terres, dont le spectre complet de services écosystémiques fournis aux ménages ruraux est encore très peu documenté, rendant difficile l'arbitrage entre objectifs sociaux et de conservation [2]. Enfin, les lacunes de connaissances relatives aux variables clés des modèles décisionnels rendements, prix des cultures, probabilités d'événements à risque freinent l'adoption des systèmes agroforestiers à base de riz sur les terres tourbières, soulignant la nécessité d'études quantitatives de long terme dans ces écosystèmes fragiles [36].

4. Conclusion

Cette étude fournit une synthèse intégrée des dynamiques d'occupation des sols, de la diversité floristique et des services écosystémiques associés aux systèmes agroforestiers à base de riz à l'échelle globale. L'analyse de 41 études empiriques (1981–2026) met en évidence une croissance régulière de la production scientifique, avec un pic en 2023, reflétant l'intérêt croissant pour ces systèmes dans le contexte des enjeux de durabilité. Les résultats démontrent des bénéfices écologiques significatifs. Les systèmes agroforestiers rizicoles présentent des stocks de carbone organique du sol supérieurs à ceux des monocultures, confirmant leur rôle de puits de carbone. La richesse arborée varie significativement selon les configurations, soulignant l'importance de la structure des systèmes dans le maintien de la biodiversité. De manière cohérente, ces agroécosystèmes soutiennent une diversité accrue de taxons, et contribuent au maintien d'espèces endémiques dans des paysages fragmentés. Sur le plan agronomique, aucune différence significative de rendement n'a été observée entre systèmes, indiquant que la productivité dépend principalement des conditions locales et des pratiques culturelles. Ce résultat suggère que l'intégration d'espèces ligneuses peut être compatible avec les objectifs de production, sous réserve d'une gestion adaptée. Les trajectoires d'occupation des sols apparaissent néanmoins contrastées, traduisant des dynamiques dépendantes des contextes socio-écologiques.

Contribution des auteurs

BA et TH : Conception et méthodologie de rédaction ; AAW et BA : analyse des données, rédaction version initiale et mise au point, TH et CO : Supervision.

Conflit d'intérêts

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts.

Financement

Les auteurs déclarent n'avoir bénéficié d'aucun financement de quelque nature que ce soit dans le cadre de ce travail.

Références

- [1] - J. MATTHEW, M. H. JAMALI, V. KALY SITTHAN, R. R. TAGANG et M. H. IBRAHIM, "Farmers' Perception Towards Agroforestry Practices in Siburan: Perception of Agroforestry in Siburan" *BJRST*, 14 (2) (2024) 210 - 216
- [2] - E. RAVELOARITIANA et al., "Complementary ecosystem services from multiple land uses highlight the importance of tropical mosaic landscapes" *Ambio*, 52 (10) (2023) 1558 - 1574
- [3] - T. R. FULGENCE et al., "Differential responses of amphibians and reptiles to land-use change in the biodiversity hotspot of north-eastern Madagascar" *Animal Conservation*, 25 (4) (2022) 492 - 507
- [4] - D. A. MARTIN et al., "Land-use trajectories for sustainable land system transformations: Identifying leverage points in a global biodiversity hotspot" *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 119 (7) (2022) e2107747119

- [5] - A. L. HASS, B. LIESE, K. L. HEONG, J. SETTELE, T. TSCHARNTKE et C. WESTPHAL, "Plant-pollinator interactions and bee functional diversity are driven by agroforests in rice-dominated landscapes" *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 253 (2018) 140 - 147
- [6] - J. RODENBURG, E. MOLLEE, R. COE et F. SINCLAIR, "Global analysis of yield benefits and risks from integrating trees with rice and implications for agroforestry research in Africa" *Field Crops Research*, 281 (2022) 108504
- [7] - W. ZHANG et al., "Agroforestry Species Selection for Forest Rehabilitation in the Asia-Pacific Region: A Meta-Analysis on High-Level Taxonomy" *Forests*, 14 (10) (2023) 2045
- [8] - H. KAUR, B. S. BHOPLI, G. S. DHERI et V. K. SINGH, "Carbon Sequestration and Management Index in Diverse Land Use Systems : Insights from the Shivalik Foothills of Punjab, in India" *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, (2026)
- [9] - I. G. VALENZUELA-BALCÁZAR, E. F. VISCONTI-MORENO et Á. FAZ, J. A. ACOSTA, "Soil Organic Carbon Dynamics in Two Rice Cultivation Systems Compared to an Agroforestry Cultivation System" *Agronomy*, 12 (1) (2021) 17
- [10] - Md. M. ALI, Md. A. ISLAM, Md. R. ISLAM, S. S. DIPTO et Md. S. BARI, "Assessing the cropland changes into agroforestry and its livelihood outcomes: Evidence from northern Bangladesh" *Trees, Forests and People*, 15 (2024) 100497
- [11] - T. A. FOX, J. M. RHEMTULLA, N. RAMANKUTTY, C. LESK, T. COYLE et T. K. KUNHAMU, "Agricultural land-use change in Kerala, India: Perspectives from above and below the canopy" *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 245 (2017) 1 - 10
- [12] - H. T. PHAM, S. MIYAGAWA et Y. KOSAKA, "Distribution patterns of trees in paddy field landscapes in relation to agro-ecological settings in northeast Thailand" *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 202 (2015) 42 - 47
- [13] - G. PETROKOFISKY et al., "Comparative effectiveness of silvicultural interventions for increasing timber production and sustaining conservation values in natural tropical production forests. A systematic review protocol" *Environ. Evid.*, 4 (1) (2015)
- [14] - F. CAVIGGIOLI et E. UGHETTO, "A bibliometric analysis of the research dealing with the impact of additive manufacturing on industry, business and society" *International Journal of Production Economics*, 208 (2019) 254 - 268
- [15] - C. KOHL et al., "Online tools supporting the conduct and reporting of systematic reviews and systematic maps : a case study on CADIMA and review of existing tools" *Environ. Evid.*, 7 (1) (2018) 8
- [16] - J. GARCIA-YI et al. "What are the socio-economic impacts of genetically modified crops worldwide? A systematic map protocol" *Environmental Evidence*, 3 (1) (2014) 24
- [17] - M. ARIA et C. CUCCURULLO, "bibliometrix : An R-tool for comprehensive science mapping analysis" *Journal of Informetrics*, 11 (4) (2017) 959 - 975
- [18] - N. VAN ECK et L. WALTMAN, "Software survey : VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping" *Scientometrics*, 84 (2) (2010) 523 - 538
- [19] - J. ROCKSTRÖM, "Speeding up state-of-the-art assessments on global sustainability: introducing the Cambridge Sustainability Commissions" *Global Sustainability*, 5 (2022) e2
- [20] - M. WATANABE, P. VITYAKON et A. T. RAMBO, "Can't See the Forest for the Rice: Factors Influencing Spatial Variations in the Density of Trees in Paddy Fields in Northeast Thailand" *Environmental Management*, 53 (2) (2014) 343 - 356
- [21] - T. A. FOX, J. M. RHEMTULLA, N. RAMANKUTTY, C. LESK, T. COYLE et T. K. KUNHAMU, "Agricultural land-use change in Kerala, India: Perspectives from above and below the canopy" *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 245 (2017) 1 - 10
- [22] - A. WURZ et al., "Land-use change differentially affects endemic, forest and open-land butterflies in Madagascar" *Insect Conservation and Diversity*, 15 (5) (2022) 606 - 620

- [23] - D. A. MARTIN et al., "Bird diversity and endemism along a land-use gradient in Madagascar: The conservation value of vanilla agroforests" *Biotropica*, 53 (1) (2021) 179 - 190
- [24] - S. LANSAKARA, R. RAJAPAKSHA, R. CHAMARA, R. M. FONSEKA, L. M. RANKOTH et L. SURİYAGODA, "The Owita agroecosystem: a promising traditional land management system for sustainable farming in Sri Lanka" *Agroforest Syst*, 98 (6) (2024) 1541 - 1554
- [25] - K. H. OUSSOU, N. E. ASSEMIAN, A. L. KOUADIO, M. R. TIÉDOUÉ et M. O. RÖDEL, "The anuran fauna in a protected West African rainforest and surrounding agricultural systems" *Amphib. Reptile Conserv.*, 16 (1) (2022) 1 - 13
- [26] - M. A. FIRMANSYAH, A. P. P. HARTOYO, N. WIJAYANTO, E. ERFIANI, A. JAYANEGARA et T. J. PURNAMA, "The prevalence of *Rhizoctonia* sp. and its impacts on growth and yields of upland paddy (*Oryza sativa*) planted under sengon (*Paraserianthes falcata*) agroforestry" *Biodiversitas*, 26 (6) (2025)
- [27] - A. R. RASOARINAIVO et al., "Specific effects of tree species on soil carbon sequestration in a rice-tree association mesocosm experiment : Evidence from natural $\delta^{13}C$ abundance" *Rhizosphere*, 21 (2022) 100485
- [28] - S. S. DHALIWAL, R. K. NARESH, M. K. WALIA, R. K. GUPTA, A. MANDAL et R. SINGH, "Long-term effects of intensive rice—wheat and agroforestry based cropping systems on build-up of nutrients and budgets in alluvial soils of Punjab, India" *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66 (3) (2020) 330 - 342
- [29] - D. K. BENBI, K. BRAR, A. S. TOOR, P. SINGH et H. SINGH, "Soil carbon pools under poplar-based agroforestry, rice-wheat, and maize-wheat cropping systems in semi-arid India" *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 92 (1) (2012) 107 - 118
- [30] - P. K. NAYAK et al., "Rice-based integrated farming system improves the soil quality, bacterial community structure and system productivity under sub-humid tropical condition" *Environ. Geochem. Health*, 46 (2) (2024) 65
- [31] - M. CISSE, H. BAH et S. B. DIALLO, "Influence de la densité d'arbres sur le rendement de trois variétés de riz de coteau dans la Commune Rurale de Tindo en République de Guinée" *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 17 (7) (2024) 2794 - 2810
- [32] - T. BARGAVI, M. C. REDDY, M. P. RAJENDRA, V. PODISHETTI, S. SWAMYNATH et B. ASHWITHA, "A study on biomass and carbon storage potential of agroforestry systems in the Northern Telangana region" *Environment Conservation Journal*, 26 (2) (2025)
- [33] - Md. A. RAHMAN, A. K. DAS, Z. AL RIYADH, Md. SUHAG et Md. M. RAHMAN, "Eucalyptus in Agriculture: Friend or Foe? Analyzing its impact on crop yields, soil dynamics, and farmers' perceptions in Bangladesh" *Agroforest Syst*, 98 (8) (2024) 3109 - 3128
- [34] - B. SINGH, M. BISNOI, A. S. CHOUHAN, K. L. PARIHAR et G. SINGH, "Climatic Variations Influenced Distribution and Productivity of Different Agroforestry Systems in Rajasthan, India" *AAZ*, 63 (3) (2024) 13 - 30
- [35] - W.-J. WANG, J. WEN, W.-Q. XIANG, P. L. MALABRIGO et M.-X. REN, "Soil bacterial and fungal communities respond differently to *Bombax ceiba* (Malvaceae) during reproductive stages of rice in a traditional agroforestry system" *Plant Soil*, 479 (1-2) (2022) 543 — 558z
- [36] - E. ERLANGGA, H. DO, S. DEWI et E. LUEDELING, "Understanding adoption risks of peat-adapted agroforestry options in South Sumatra through decision analysis" *Agroforest Syst*, 99 (8) (2025) 252