

Pratiques Agroforestières et Résilience Climatique : Étude de Cas dans la Commune de Djougou (Bénin)

Agroforestry Practices and Climate Resilience: A Case Study in the Commune of Djougou (Benin)

Gnonyi Issa Hermane^{1,2*}, Kokou Kokouvi Bruno^{1,3,4}, Teteli Soloum Clément^{1,5}, Fagnibo Adélaïde Hinhami^{6,7}, Atade Sèdjro Roland², Sodalo Carlo¹, Ebuy A. Jérôme^{1,8}, Akossou Arcadius Yves Justin^{1,2}

¹Ecole Régionale Postuniversitaire d'Aménagement et de Gestion Intégré des Forêts et Territoires tropicaux, Université de Kinshasa, Commune de Lemba, - B.P. 15.373 - Kinshasa, République Démocratique du Congo

²Unit of Applied Statistics and Informatics (USIA), Laboratory of Studies and Research in Forestry (LERF), University of Parakou, BP 123 Parakou, Benin

³Laboratoire de Botanique et Écologie Végétale (LBEV), Département botanique, Faculté des sciences (FDS), Université de Lomé (UL), 01 BP 1515, Lomé 1, Togo

⁴African Centre of Excellence in Neglected and Underutilised Biodiversity (ACENUB), University of Mzuzu, P/BAG 201 LUWINGA, Mzuzu, Malawi

⁵Research Unit in Tropical Mycology and Plants–Soil Fungi Interactions (MyTIPS), Faculty of Agronomy, University of Parakou, BP 125, Parakou, Benin, ur-mytips@leb-up.org / n.s.yorou@gmail.com

⁶Research Unit in Microbiology, Microbial Ecology, Water and Soil Conservation (UR- MEMCES), Soil Sciences Laboratory, Faculty of Agricultural Sciences, University of Abomey-Calavi; 01 BP 526, Cotonou, Benin.

⁷Laboratory of Plant, Horticultural and Forestry Sciences, National University of Agriculture, BP 43 Kétou, Benin

⁸Université de Kisangani, République Démocratique du Congo

*Auteur correspondant : hermanegnonyi1717@gmail.com

ORCID des auteurs

Gnonyi Issa Hermane : <https://orcid.org/0009-0006-7062-1314> ; Kokou Kokouvi Bruno : <https://orcid.org/0009-0006-0852-1232> ; Teteli Soloum Clément : <https://orcid.org/0000-0002-571462-2144> ; Fagnibo Adélaïde Hinhami : <https://orcid.org/0009-0000-5530-4835> ; Sodalo Carlo: <https://orcid.org/0009-0009-4874-5099> ; Ebuy A. Jérôme : <https://orcid.org/0000-0001-5710-2612> ; Atade Sèdjro Roland: <https://orcid.org/0009-0009-6862-1173> ; kossou Arcadius Yves Justin : <https://orcid.org/0000-0001-5014-3841>

How to cite article : Gnonyi Issa Hermane, Kokou Kokouvi Bruno, Teteli Soloum Clément, Fagnibo Adélaïde Hinhami, Atade Sèdjro Roland, Sodalo Carlo, Ebuy A. Jérôme, Akossou Arcadius Yves Justin (2024). Pratiques Agroforestières et Résilience Climatique : Étude de Cas dans la Commune de Djougou. *Revue Ecosystèmes et Paysages*, 4(2) : 1-20, e-ISSN (Online) : 2790-3230

DOI: <https://doi.org/10.59384/recopays.tg4205>

Reçu : 30 septembre 2024

Accepté : 15 décembre 2024

Publié : 30 décembre 2024



Copyright: Published under a Creative Commons Attribution (CC-BY) license

Résumé

Face aux défis croissants du changement climatique, il est crucial d'explorer les stratégies qui renforcent la résilience des communautés agricole. Cette étude est une contribution à la caractériser les systèmes agroforestiers (SAF) présents dans la commune en analysant leur diversité spécifique, en évaluant l'impact des pratiques agroforestières sur la résilience des agriculteurs face aux effets négatifs de la variabilité et des changements climatiques et en estimant le potentiel de stockage du carbone dans les SAF identifiés. Pour atteindre les objectifs, une enquête a été réalisée auprès de 313 ménages dans quinze villages de la commune. Vingt placettes de 2500 m² ont été établies dans divers systèmes agroforestiers (SAF), permettant la collecte de données dendrométriques et écologiques, ainsi que l'estimation de la quantité de carbone séquestré. Des indices de diversité tels que l'indice de Shannon (H') et l'équitabilité de Pielou (Eq) ont permis de comparer la diversité entre les différents types de SAF, un indice de résilience a été calculé en se basant sur des données socio-économiques, notamment les gains moyens annuels des ménages. Cette analyse a permis de déterminer l'impact des SAF sur la résilience économique des agriculteurs face aux aléas climatiques. En fin des analyses

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

dendrométriques ont été menées dans des placettes de 2500 m² pour mesurer la biomasse des espèces ligneuses présentes dans chaque type de SAF. Dix systèmes agroforestiers ont été identifiés. Les jachères simples présentent la diversité la plus élevée ($H' = 4,16$ bits ; $Eq = 0,81$), tandis que les parcs agroforestiers à *Adansonia digitata* montrent une faible diversité ($H' = 2,8$ bits, $Eq = 0,74$). Les pratiques agroforestières ont un impact positif sur la résilience des agriculteurs, bien que le niveau de résilience varie entre les villages. Les agriculteurs de Founa sont les plus résilients, avec un gain moyen annuel de 77 486,06 FCFA. Les agriculteurs qui choisissent les systèmes agro-sylvicoles ont également une résilience accrue, avec un gain moyen de 40 491 FCFA. De plus, les parcs à *Vitellaria paradoxa* stockent la plus grande quantité de carbone ($23,33 \pm 5,99$ t C/ha). Cette étude souligne l'importance de comprendre les effets des pratiques agroforestières sur la résilience des agriculteurs pour orienter les projets de lutte contre les changements climatiques.

Mots clés : Résilience, système agroforestier, ménage, Bénin, aléas climatiques

Abstract

In the face of growing challenges posed by climate change, it is crucial to explore strategies that enhance the resilience of agricultural communities. This study examines the contribution of agroforestry practices to improving climate resilience among farmers in the Djougou municipality. To achieve the study's objectives, a survey was conducted with 313 households across fifteen villages in the commune. Twenty plots of 2500 m² were established within various agroforestry systems (AFS), enabling the collection of dendrometric and ecological data, as well as the estimation of sequestered carbon. Ten agroforestry systems were identified. Simple fallows exhibited the highest diversity ($H' = 4.16$, $Eq = 0.81$), whereas *Adansonia digitata* agroforestry parks showed lower diversity ($H' = 2.8$ bits, $Eq = 0.74$). Agroforestry practices positively impact farmers' resilience, though the level of resilience varies between villages. Farmers in Founa exhibit the highest resilience, with an average annual gain of 77,486.06 FCFA. Additionally, farmers who adopt agro-silvicultural systems also show increased resilience, with an average gain of 40,491 FCFA. Moreover, parks with *Vitellaria paradoxa* store the highest amount of carbon (23.33 ± 5.99 t C/ha). This study highlights the importance of understanding the effects of agroforestry practices on farmer resilience to guide climate change mitigation projects.

Keywords: Resilience, agroforestry system, Household, Commune of Djougou, Climate change

1. Introduction

Face aux défis croissants du changement climatique, il est impératif d'explorer des stratégies visant à renforcer la résilience des communautés agricoles. L'une de ces stratégies d'atténuation aux aléas climatiques est la sauvegarde des couvertures forestières (Bougma *et al.*, 2024). Contrairement à certains pays voisins comme la Côte d'Ivoire et le Ghana, qui possèdent des couvertures forestières étendues, le Bénin n'est pas un pays forestier au sens strict (FAO, 2020). Toutefois, il se distingue favorablement par rapport à d'autres pays de la sous-région tels que le Niger et le Burkina Faso en matière de couverture forestière (Biaou *et al.*, 2021). Au niveau national, la végétation est principalement dominée par les savanes arborées et arbustives, couvrant 51,54% du territoire, tandis que les formations agricoles, y compris les jachères, occupent 31,22% (FAO, 2020). La majorité de la couverture forestière se retrouve au Nord du pays avec 92,5% de cette couverture protégée par des domaines classés (Montcho *et al.* 2022).

Cependant, au Bénin comme au Togo, les ressources forestières sont gravement menacées par des activités anthropiques, telles que l'abattage et les cultures sur brûlis, ainsi que par l'expansion continue des cultures de rente comme le coton (Egah *et al.*, 2014 ; Toyi *et al.*, 2019 ; Kokou *et al.* 2023 ; Teteli *et al.* 2024 ; Kakule *et al.*, 2024 ; Koffi N'Dere *et al.*, 2024). En

outre, les techniques agricoles rudimentaires, telles que le défrichement pour créer de nouvelles surfaces agricoles, entraînent la destruction de près de 50 000 hectares de végétation chaque année dans la région septentrionale du Bénin (Biaou *et al.*, 2021). Cette déforestation rapide expose les populations locales à divers risques, y compris une diminution des rendements agricoles et des impacts environnementaux préoccupants (Ogouwale *et al.* 2022 ; Teteli *et al.* 2023). Le secteur agricole est particulièrement vulnérable aux effets de la variabilité et du changement climatique par rapport aux autres secteurs économiques (Awazi *et al.*, 2019).

Pour remédier à ces problèmes, la restauration et le maintien des paysages forestiers sont essentiels pour rétablir les fonctions écologiques des forêts, y compris leur capacité à stocker du carbone et les avantages qu'elles procurent aux communautés humaines (Fern, 2017 ; Kokou *et al.*, 2023 ; Teteli *et al.*, 2022). Dans ce contexte, l'agroforesterie émerge comme une solution prometteuse pour la conservation des forêts et la préservation de la biodiversité, tout en atténuant les risques associés au changement climatique (Kokou *et al.*, 2023 ; Teteli *et al.*, 2023). L'agroforesterie, qui associe la culture de plantes vivrières à la plantation d'arbres pour fournir ombre et bois, peut diversifier les sources de revenus des ménages en produisant des fruits, du fourrage, du bois de chauffage et de construction, des substances médicinales, des fibres et de la cire (Teteli *et al.* 2023). Les systèmes agroforestiers (SAF) jouent également un rôle crucial dans la résilience des paysages et des communautés. S'ils sont correctement gérés, ces systèmes ont un potentiel significatif pour le stockage et la séquestration du carbone. De plus, l'agroforesterie offre des services écosystémiques essentiels contribuant ainsi à améliorer les moyens de subsistance tout en réduisant la pression sur les forêts (FAO, 2021 ; Mugisho *et al.*, 2022 ; Teteli *et al.*, 2023).

Les SAF peuvent également servir à réduire la déforestation et protéger le sol contre l'érosion, tout en permettant aux exploitations agricoles de mieux faire face aux variations climatiques (Buttoud, 2015). Le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat GIEC (2007) considère l'agroforesterie comme un élément clé d'une agriculture intelligente face au climat. En effet, les arbres dans les systèmes agroforestiers, bénéficiant de conditions optimales de lumière et de fertilité, croissent plus rapidement et produisent davantage de biomasse que les arbres dans les écosystèmes naturels (Dupraz et Liagre, 2008 ; Gavaland et Burnel, 2005 cité par Hamon *et al.*, 2009). Au Bénin, ces arbres du système agroforestier fournissent une source de revenu importante pour les communautés locales (Akpona *et al.*, 2016 ; Teteli *et al.*, 2022). Compte tenu de ce potentiel, il est important de développer des stratégies pour faire des SAF des puits de carbone permanents (Dimobe, 2017). Les pratiques agroforestières ne se limitent pas à la séquestration du carbone, mais englobent également la fourniture d'autres biens et services environnementaux, tels que la réduction de la pollution diffuse, la lutte contre l'érosion, le maintien de la diversité biologique et l'amélioration des paysages (Hernandez *et al.*, 2008). Reconnaisant ces avantages, de nombreuses ONG et organisations se préoccupent de plus en plus à l'agroforesterie pour améliorer la résilience climatique des communautés.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la contribution des pratiques agroforestières à l'amélioration de la résilience climatique des agriculteurs dans la commune de Djougou. Pour atteindre cet objectif, l'étude s'était déclinée en trois objectifs spécifiques : (1) caractériser les systèmes agroforestiers (SAF) présents dans la commune en analysant leur diversité spécifique ; (2) évaluer l'impact des pratiques agroforestières sur la résilience des agriculteurs face aux effets négatifs de la variabilité et des changements climatiques et (3) estimer le potentiel de stockage du carbone dans les SAF identifiés.

2. Méthodes

2.1. Description du milieu d'étude

Située au nord-ouest du Bénin et plus précisément dans le département de la Donga, Djougou est une commune du nord Bénin et représente le chef-lieu de ce département. Djougou est l'une des plus anciennes villes du Bénin et est localisée entre 9°39' et 9°50' de Latitude Nord puis entre 1°34' et 1°47' de Longitude Est, avec une superficie d'environ 234 km² (Serhousa, 1997). Elle est limitée à l'est par la Commune de N'Dali, au nord-ouest par la Commune de Copargo, au nord-est par la Commune de Bassila, à l'ouest par la Commune de Ouaké et au sud par la Commune de Tchaourou. Située à quatre cent soixante-deux kilomètres (462 km) de la métropole Cotonou, sa partie urbaine s'étend administrativement sur les trois premiers arrondissements de la commune (Djougou I ; Djougou II et Djougou III).

Le climat de la commune de Djougou est de type soudano-guinéen, caractérisé par une longue saison humide de 6 à 7 mois, de mai à octobre, et une saison sèche de 5 à 6 mois, de novembre à avril, avec des précipitations annuelles variant entre 1000 et 1500 mm, culminant généralement en juillet, août et septembre. Hydrographiquement, la commune est traversée par un réseau dense de marigots temporaires, tels que le Mono, l'Ouémé, la Kara, la Terou, la Binah et la Donga, avec des pentes fortes. Un réseau plus lâche et hiérarchisé comprend des cours d'eau comme l'Ouémé, la Donga, le Momongou, et l'Awo, qui s'écoulent dans des bas-fonds où la roche est rarement visible. Cette région est également marquée par des interfluvés plus courts et plus bombés, alimentés par des tributaires temporaires.

Les sols sont principalement ferrugineux et hydromorphes, nécessitant des apports importants en matière organique pour la régénération de la couche humifère. La végétation est dominée par des forêts classées et des savanes arborées, influencées par les sols, le paysage et les activités anthropiques. L'est de la commune est couvert par des savanes arborées denses, tandis que les zones basses présentent une savane herbeuse. Le sud, notamment autour du bassin de la Terou, présente une forêt claire avec des galeries forestières. Le nord-ouest, où l'agriculture est intensive, montre un défrichement constant, ne conservant que les espèces arborées utiles comme *Parkia biglobosa* et *Adansonia digitata*. Les principales ethnies sont les Yoa-Lokpa, Dendi, Yoruba, et Peulh. Les principales religions sont l'islam (77,9%) et le catholicisme (11,9%). Les activités économiques prédominantes sont l'agriculture, la pêche et la chasse (59,5% de la population), suivies par le commerce (14,4%) et l'industrie (9,1%).

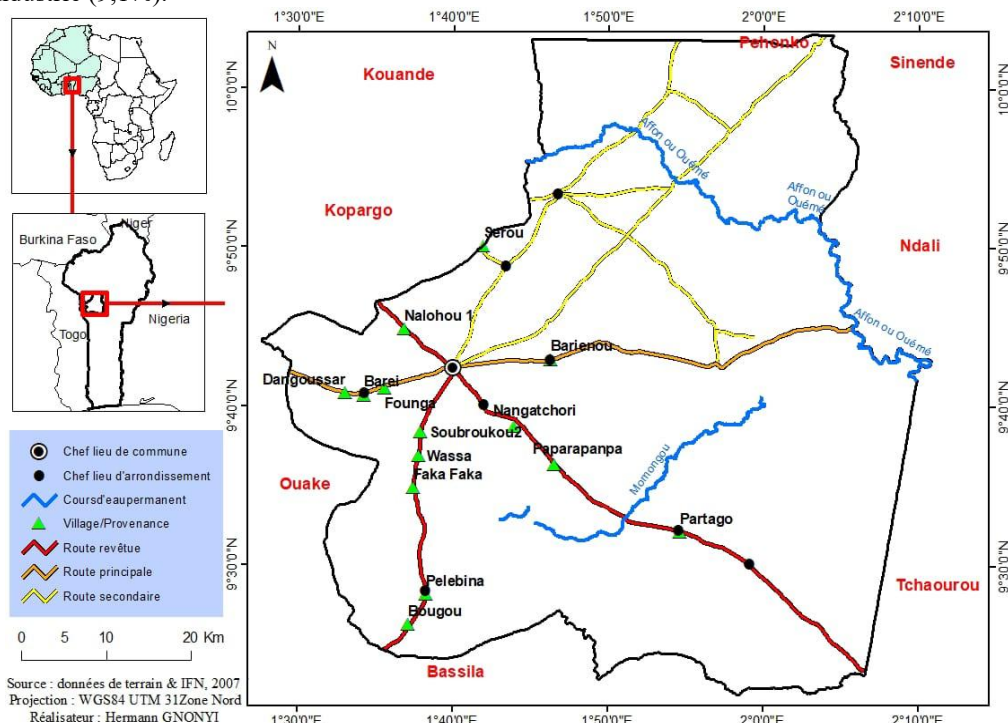


Figure 1. Carte de localisation de la zone d'étude

2.2. Collecte des données

2.2.1. Echantillonnage

Une étude exploratoire réalisée en janvier 2023 a permis de déterminer la taille de l'échantillon d'agriculteurs à enquêter, ce qui a permis de connaître à priori la proportion des producteurs qui adoptent au moins une pratique agroforestière. L'enquête s'est déroulée entre Février et Avril 2023. Elle s'est basée sur des entretiens structurés et semi-structurés (Atakpama et al., 2016). Les ménages constituent l'unité statistique de l'étude. Le questionnaire a été administré aux chefs de ménages jugé capable de fournir des informations fiables pour approcher la réalité. En cas d'absence du chef de ménage, un représentant (femme, fils, frère, etc.) est choisi de façon contrôlée pour l'entretien. Au total 313 ménages aléatoires étaient choisis dans un total de 15 villages choisis pour cette étude, et ceci en fonction de l'accessibilité et de la proximité. Ce choix des sites a été facilité par les observations au cours de l'étude exploratoire (Teteli et al., 2023). Les critères de choix appliqués étaient basés sur ceux adopter par Teteli et al. (2023) au Bénin dans la commune de Ouaké : diversité socioéconomique et culturelle, la diversité des pratiques culturelles de conservation des sols utilisées par les agriculteurs et l'accessibilité des villages. Le choix des ménages à enquêter au niveau d'un village est fait de manière aléatoire et par la technique d'échantillonnage non probabiliste raisonnée et par degrés à deux niveaux (Teteli et al., 2023). Premier degré : Choix volontaire des villages en fonction de la distance les séparant et du temps. Deuxième degré : Choix des ménages de façon accidentelle ou volontaire ; ce qui voudra dire que le chef ménage retrouvés dans une concession le jour de l'enquête est choisi. Et s'il y en a plus, ceux devant faire partie de l'étude sont pris volontairement ce qui nous permet de rester dans la représentativité sans oublier les contraintes liées au temps. La taille de l'échantillon a été déterminée par la loi de Bernoulli selon la formule suivante :

$n = \frac{(1,96)^2 \times N}{(1,96)^2 \times l \times (N-1)}$. Où n = taille de l'échantillon, N = taille de la population totale et l = largeur de la fourchette exprimant la marge d'erreur (5%) (Nouredine, 2021).

2.2.2. Caractérisation de la biodiversité des systèmes agroforestiers

Dans cette étude, un système agroforestier est considéré comme une pratique associant des cultures annuelles avec des arbres fruitiers ou d'autres espèces ligneuses pérennes dans les espaces agraires (champ ou jachère) ayant une superficie $\geq 500 \text{ m}^2$ (Biaou et al., 2016). Les jardins de case n'ont pas été pris en compte dans la présente étude. Dans la zone d'étude, l'inventaire des SAF a été effectué en utilisant la technique des line transects le long des axes routiers (Biaou et al., 2016). La fréquence des pratiques agroforestières et la dispersion des ligneux dans les espaces agraires sont rendues compte par cette technique. Son objectif est de recenser, à moto les diverses combinaisons de végétaux et de cultures annuelles le long des routes, en effectuant des arrêts par tronçon afin de mieux repérer les espèces présentes dans les champs et les jeunes jachères. Les données ont été recueillies sur les variables suivantes : distance (km) entre les segments ; types de système agroforestier rencontré ; distance (m) de visibilité à partir de l'axe de déplacement ; fréquence absolue de chaque système agroforestier (SAF).

La collecte des données d'inventaire a été réalisée à travers l'installation aléatoire de quatre placettes carrées de $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ (Kokou et al., 2023) dans les quatre systèmes agroforestiers les plus représentés suivant la recommandation dans les zones agroforestières en Afrique de l'ouest (Thiombiano *et al*, 2016). Dans ces placettes, les paramètres mesurés sont le diamètre à hauteur de poitrine (1,3 m) du sol pour tous les arbres dont le diamètre est supérieur ou égal à 10 cm sauf le cas spécifique des arbres fourchus dont seuls les individus dont la fourche est au-dessus de 1,30 m du sol eue été considérés. Les arbres qui se sont divisé avant 1,30 m du sol, toutes ces différentes fourches ont été prises en compte et soumis au calcul de diamètre quadratique (d) grâce à la méthode : $d = \sqrt{\sum_i^w dsi}$ au carré ; dsi = diamètre de la fourche.

2.3. Traitement des données

L'analyse statistique des données qualitatives et quantitatives obtenues à partir des enquêtes auprès des ménages et des inventaires de terrain s'est effectuée sur le tableur Microsoft Excel 2013 et avec le logiciel R version 4.1.2 (R Development Core Team, 2014). Des statistiques descriptives ont été utilisées dans l'étude. Les fréquences relatives des principaux systèmes agroforestiers de chaque ménage de la commune, ainsi que celle des biens et services identifiés par les agriculteurs sont présentées. Le test de comparaison de moyennes a été effectué pour tester s'il y a une différence significative ou non de la résilience des agriculteurs à travers différents villages.

La biodiversité au sein des SAF identifiés

Pour évaluer la diversité au sein des SAF échantillonnés, les paramètres suivants : la densité, la surface terrière (à l'hectare), l'indice de diversité de Shannon et l'Equitabilité de Pielou ont été calculés avec les données dendrométriques collectées.

Ces paramètres structuraux ont été déterminés suivant les formules : densité (D), nombre d'arbres par ha : $D = \frac{10000 \times n}{s}$ Avec

10000 m^2 la superficie d'un hectare ; n le nombre d'arbres par placette ; s la surface de la placette (2500 m^2) surface terrière ($\text{G m}^2/\text{ha}$). Elle est la somme des surfaces terrières individuelles de tous les arbres présents dans la placette puis ramenée à l'hectare.

$$G = \frac{10000 \times \pi}{4 \times s} \sum_{i=1}^n Di^2 \text{ Avec } s \text{ la superficie de la placette en } \text{m}^2. Di, \text{ le dbh en cm de l'arbre ; } i, \text{ l'indice de diversité}$$

de Shannon-weaver (1949) exprimé en bit :

$H = - \sum_{i=0}^n pi \log pi$; Avec pi la proportion de l'espèce i sur l'échantillon Plus cet indice est faible plus la diversité est faible.

L'Equitabilité de Pielou (R)

$R = H / \log_2 Y$; Avec H l'indice de diversité de Shannon et Y le nombre total des espèces présentes dans la placette. R est compris entre 0 et 1. Il tend vers 1 lorsque les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement et vers 0 lorsque la majorité des effectifs correspond à une seule espèce.

Estimation des stocks de carbone

Les équations de Chave et al. (2005) et Chave et al. (2014), bien qu'efficaces et les plus utilisées dans l'estimation de la biomasse aérienne, leur application dans notre milieu d'étude présente de nombreuses difficultés. Dans le cadre de la présente étude, seulement la biomasse ligneuse est prise en compte comme adopter par Kokou et al. (2023). Elle comprend, la biomasse aérienne et la biomasse souterraine, racinaire. Il existe plusieurs méthodes d'estimation de la biomasse d'une forêt dont la méthode non destructive et la méthode destructive. La méthode non destructive ou directe utilise des équations allométriques pour estimer la biomasse aérienne et souterraine à travers des mesures du diamètre et de la hauteur totale des arbres. La biomasse racinaire (BRi) est déduite de la biomasse aérienne, à partir de l'application du modèle allo-métrique proposé par le GIEC (Cairns et al. 1997). Par ailleurs, pour estimer la biomasse aérienne ligneuse, la méthode indirecte à travers les équations allométriques de (Brown, 1997) ou (FAO, 1997) a été utilisée. McGhee et al. (2016), ont montré que ces équations figurent parmi les modèles les plus utilisés en Afrique de l'Ouest. Mais ces équations présentent des limites vu l'intervalle de diamètre qui ne prends pas en compte les gros diamètres. En tenant compte de la pluviométrie de la zone d'étude (1000 et 1500 mm/an) (Senoumantin et al. 2017), les équations suivantes ont été utilisées : **Biomasse des arbres (40-148 cm)** : $Y = 42,69 - 12,800(D) + 1,242(D^2)$ avec Y = biomasse aérienne en kg, D = DBH à 1,30 m au-dessus du sol en cm (Brown, 1997) ou utilisé par Saïdou et al. (2012) et Ilboudo, (2018).

Biomasse des arbustes et régénération (5 à 40 cm) : $Y = \exp[-1,996 + 2,32 \ln(D)]$ (FAO, 1997).

Biomasse aérienne des palmiers : $AGB = 10,0 + 6,4 \times H$ totale (m) ; avec H = hauteur. Brown (1997).

Biomasse racinaire : Cette biomasse est déterminée conformément aux lignes directrices établies par GIEC (2006), selon laquelle la biomasse racinaire des ligneux sur pied équivaut à la valeur de la biomasse aérienne (AGB) multiplié par un coefficient R dont la valeur est estimée à 0,28.

$BGB = AGB \times R$, avec BGB est la biomasse souterraine ; AGB la biomasse aérienne et R le ratio racine/tige.

Évaluation des stocks de carbone total : celle-ci est obtenue en multipliant la somme des biomasses (aérienne, souterraine et herbacée) par le ratio CF (carbone fraction) qui est de 0,47 (GIEC, 2006).

$C = (AGB + BGB) \times 0,47$ Où : C = stock de carbone total, AGB la biomasse aérienne, BGB la biomasse souterraine.

3. Résultats

3.1. Typologie des SAF par leur diversité spécifique dans la commune de Djougou

Les investigations auprès des ménages combinées aux activités d'inventaires forestiers, ont permis d'identifier dix principaux types de systèmes agroforestiers dans la zone d'étude (figure 2) : les parcs à : *Vitellaria paradoxa* (32%), *Parkia biglobosa* (23 %), *Daniellia oliveri*, *Mangifera indica* ; les systèmes agroforestiers mixtes ; les parcs à *Adansonia digitata* ; les systèmes Taungya à *Anacardium occidentale* ; les systèmes agrosylvopastoraux combinant *V. paradoxa* et la volaille ; les jachères simples ; et les systèmes traditionnels à *Elaeis guineensis*. L'analyse des données montre que les parcs à *V. paradoxa* d'effectifs d'environ 32 sont les plus répandus parmi les agriculteurs de la commune de Djougou, suivis par les parcs à *Parkia biglobosa* d'environ 25 effectifs. Les parcs à *M. indica* et les systèmes Taungya à *A. occidentale* sont également courants, indiquant leur prépondérance dans la région. En outre, de nombreux producteurs utilisent des pratiques d'agroforesterie séquentielle, mettant leurs champs en jachère pendant plusieurs années. Les autres systèmes agroforestiers affichent des effectifs inférieurs à 10. L'analyse floristique révèle environ 30 espèces réparties en 18 familles botaniques dont les Fabacées étant les plus représentées avec 6 espèces (figure 3).

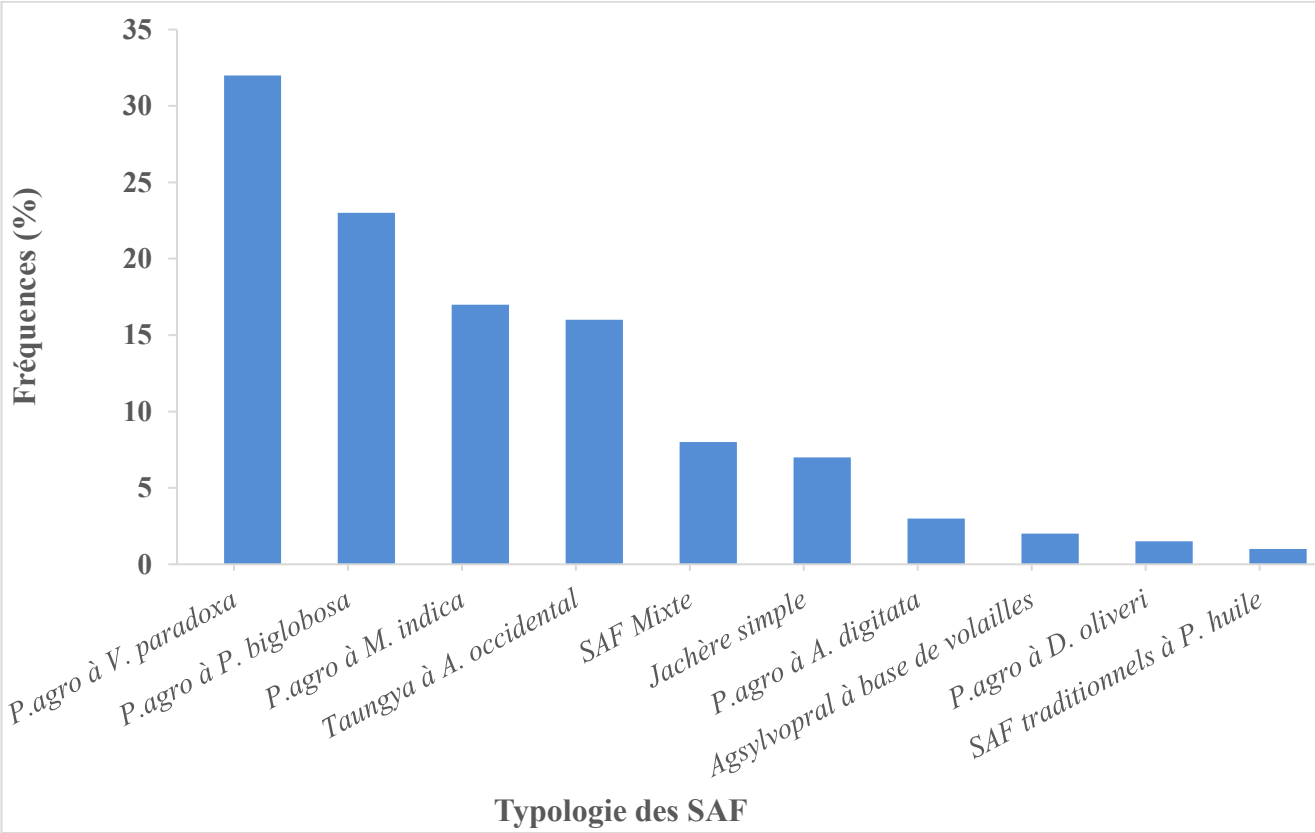


Figure 2 : Typologie des SAF pratiqués par les ménages

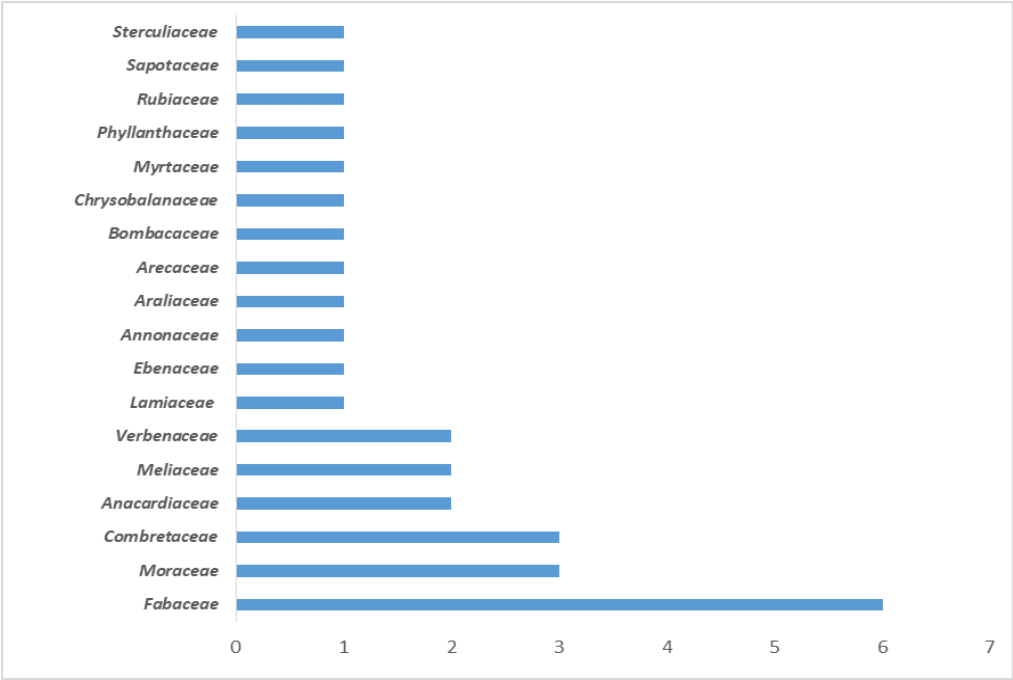


Figure 3 : Diversité floristique des systèmes agroforestiers de l'étude

3.1.2. Indice de diversité de différents SAF

Les indicateurs écologiques présentent des variations significatives entre les différents systèmes agroforestiers, comme le montre le Tableau 1. La richesse spécifique, qui mesure le nombre d'espèces présentes, varie considérablement de 5 dans les parcs agroforestiers à *Vitellaria paradoxa* et atteint jusqu'à 19 dans les jachères simples. Les indices de diversité de Shannon et d'équitabilité de Pielou, qui évaluent respectivement la diversité et l'équité de la distribution des espèces, montrent des valeurs plus élevées dans les jachères simples ($H' = 4,16$ bits, $E_q = 0,81$) et dans les parcs agroforestiers à *Adansonia digitata* ($H' = 2,8$ bits, $E_q = 0,74$). Ces résultats suggèrent que les jachères simples et les parcs à *Adansonia digitata* favorisent une plus grande diversité écologique et une meilleure répartition des espèces comparativement aux autres systèmes agroforestiers étudiés. Ces variations soulignent l'importance de choisir le type de système agroforestier en fonction des objectifs de conservation et de productivité.

Tableau 1: Indices de diversités des SAF

Systèmes	Richesse spécifique	Indice de Shannon (bits)	Equitabilité de Pielou
Parcs agroforestiers à <i>Vitellaria paradoxa</i>	5	1,6	0,2
Taungya à <i>Anacardium occidentale</i>	5	0,48	0,20
Parcs agroforestiers à <i>adansonia digitata</i>	11	2,8	0,74
Parcs agroforestiers à <i>Mangifera indica</i>	8	2,72	0,31
Parcs agroforestiers à <i>Parkia biglobosa</i> (Pb)	6	1,46	0,58
Parc agroforestiers à <i>Daniellia oliveri</i> (Do)	9	1,65	0,51
Systèmes traditionnels à palmiers à huile	6	2,7	0,6
Jachère simple	19	4,16	0,81

3.1.3. Contribution des pratiques agroforestières dans la résilience des agriculteurs face aux impacts de la variabilité et du changement climatique.

La perception des acteurs sur l'agroforesterie et les changements climatiques dans la zone d'étude fournit une vue d'ensemble précieuse sur les pratiques. Les données de la Figure 4 détaillent les principaux indicateurs de changements climatiques perçus par les agriculteurs, tels que les pluies tardives (97%), les vents violents (81%), l'allongement de la saison sèche (80%), ainsi qu'une diminution des rendements agricoles et une faible pluviométrie. Ces observations suggèrent que les agriculteurs observent des impacts concrets sur leurs pratiques agricoles, modification météorologique et leur environnement.

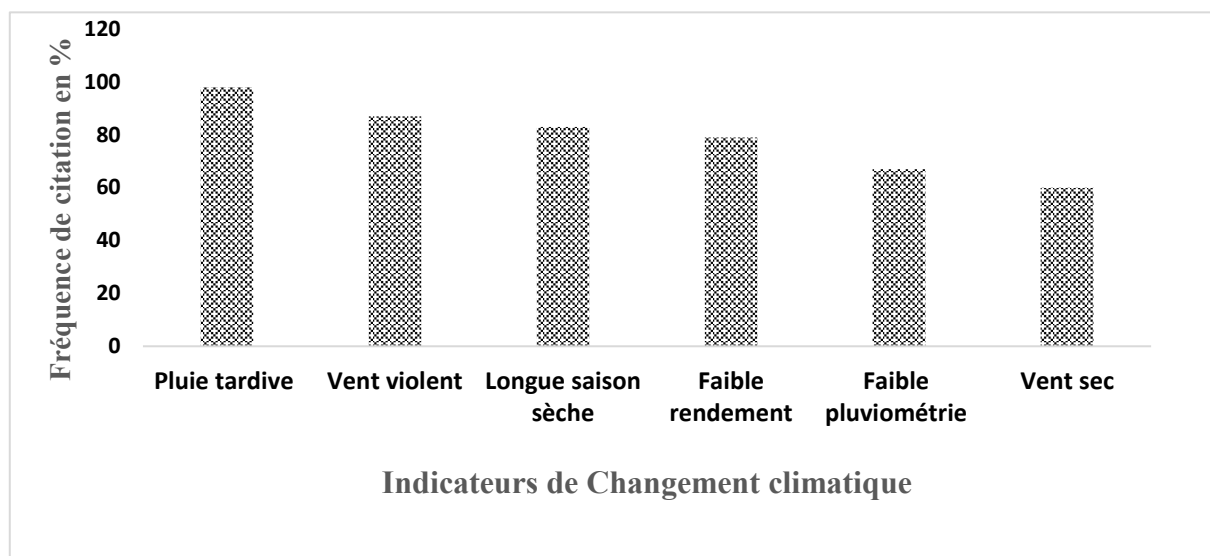


Figure 4 : Indicateurs de variabilité climatiques

3.1.3. Identification des produits et services par les agroforestiers pour améliorer la résilience face aux changements climatiques.

En plus des produits directement récoltés par les acteurs dans ces systèmes, il est également noté que ces derniers valorisent les services écosystémiques générés par les agrosystèmes. La Figure 5 illustre à la fois ces produits et services. Les agriculteurs pratiquant l'agroforesterie dans la commune de Djougou ont identifié un large éventail de produits et services résultant de leurs pratiques. Parmi ces produits, 100% des répondants ont mentionné les grains pour la commercialisation et l'alimentation. Viennent ensuite le bois de chauffage et les médicaments, reconnus respectivement par 80 % et 61,11% des agriculteurs. Les services d'ombre, de brise-vent, les matériaux de construction et le contrôle de l'érosion ont été identifiés respectivement par 53,88%, 53,02%, et 41,46% des agriculteurs. La pollinisation et d'autres services ont été identifiés par seulement 14,27% des agriculteurs pratiquants l'agroforesterie.

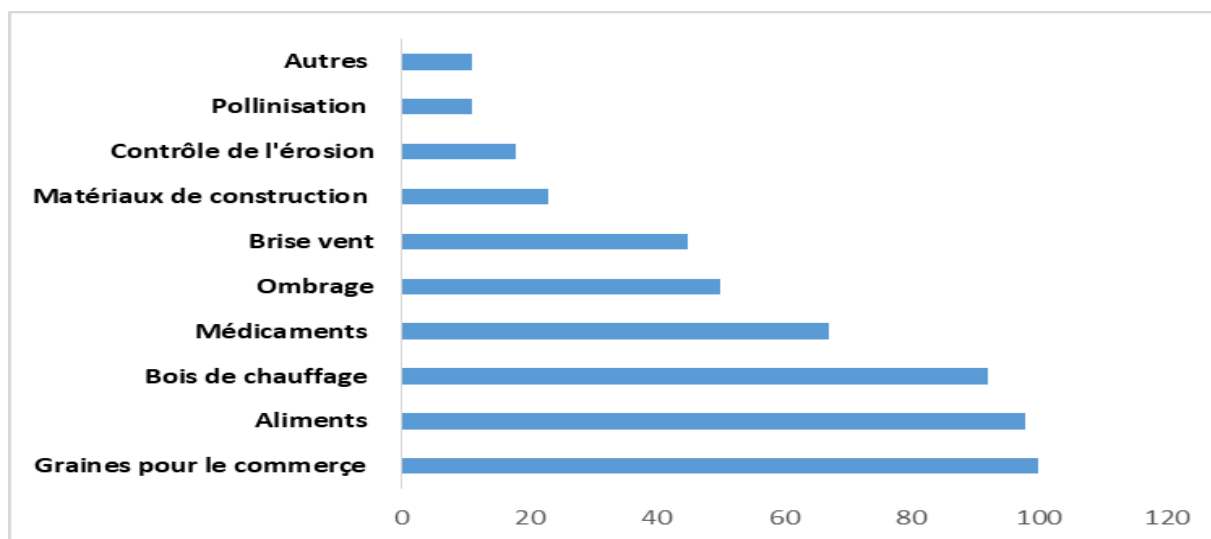


Figure 5 : Produits et services des SAF

3.2. Résilience à la variabilité et au changement climatique par localité

L'analyse statistique de Kruskal-Wallis, basée sur le gain moyen annuel, a révélé des différences hautement significatives dans la résilience des agriculteurs de la commune de Djougou face à la variabilité et aux changements climatiques entre les différents villages ($p < 0,05$) (voir Tableau 2). Cette analyse indique que la résilience des agriculteurs varie de manière notable parmi les quinze villages étudiés. En particulier, les agriculteurs du village de Founga, avec un gain moyen annuel de 77 486,06 FCFA, démontrent une résilience supérieure par rapport aux autres villages. Les agriculteurs de Barei occupent la deuxième place avec un gain moyen annuel de 52 566,67 FCFA. En revanche, les agriculteurs des villages de Nangatchori et Nalohou 1 affichent les niveaux de résilience les plus faibles, avec des gains moyens annuels respectifs de 10 600 FCFA et 11 767,50 FCFA. Ces résultats suggèrent des variations substantielles dans la capacité d'adaptation aux changements climatiques au sein de la commune, soulignant l'importance d'approches localisées pour renforcer la résilience des communautés agricoles.

Les résultats sur l'analyse de la résilience des exploitants selon le système agroforestier pratiqué, a révélé à travers le test de Kruskal-Wallis qu'il ya des différences significatives dans la résilience à la variabilité et aux changements climatiques entre les différents systèmes agroforestiers ($p < 0,05$). Les résultats montrent que les agriculteurs pratiquant des systèmes agro sylvicoles présentent une résilience supérieure, avec un gain moyen annuel de 40 491 FCFA. En comparaison, ceux qui adoptent un système agrosylvopastoral affichent un gain moyen annuel de 34 833 FCFA, indiquant une résilience inférieure a celle des sytèmes agro sylvicoles. Les agriculteurs ne pratiquant pas l'agroforesterie, avec un gain moyen de 9 455 FCFA, sont les moins résilients face à la variabilité et aux changements climatiques (tableau 3). Ces résultats suggèrent que les systèmes agro sylvicoles offrent une meilleure adaptation aux conditions climatiques changeantes, tandis que l'absence de pratiques agroforestières limite significativement la capacité de résilience des agriculteurs.

Tableau 2: Résilience à la variabilité et au CC selon la localisation

Villages	Gain moyen des agroforestiers par an (FCFA)
Barei	52566.67 c
Barienou	34450 ac
Bougou	19860 ab
Bradonga	28967.50 ac
Dangousar	33975 ac
Faka faka	26046.67 ab
Founga	77486.06 d
Nalohou 1	11767.50 a
Nangatchori	10600 a
Paparapanga	32760 ac
Partago	39390 ac
Pelebina	38939 ac
Serou	49211bcd
Soubouroukou2	57691cd
Wassa	28693.68 ac

Légende : les chiffres avec les mêmes lettres montre qu'il y'a pas de différence significative

Tableau 3 : Résilience des petits exploitants selon le système agroforestier pratiqué

Systèmes pratiqués	Fréquence (n)		Pourcentage		Gain moyen en FCFA	chi- squared	p-value
	Résilient	Non résilient	Résilient	Non Résilient			
Agrosylvicole	157	65	71	29	40491 B	15.426	0.000447
Agrosylvo- pastoral	69	22	76	24	34833 AB		
Pas de SAF	12	63	16	84	9455 A		

3.3. Diversité et stock de carbone dans les systèmes agroforestiers.

3.3.1. Structure diamétrique des SAF de Djougou

Dans les quatre systèmes agroforestiers (SAF) les plus appréciés par les enquêtés, la structure diamétrique des ligneux est illustrée dans la Figure 6, avec les sous-figures 6(a), 6(b), 6(c) et 6(d). Les parcs à néré, à karité et les systèmes taungya avec *Anacardium occidentale* sont respectivement illustrés par (Figures 6(a), 6(b) et 6(c)). De leur analyse, il ressort que les distributions des diamètres des arbres montrent principalement une courbe en cloche centrée autour des classes modales respectives de 30-40 cm, 40-50 cm, et 20-40 cm. Cette répartition indique une concentration des arbres dans ces classes de diamètre, suggérant une structure relativement équilibrée et mature. En revanche, les parcs à manguiers (Figure 6(d)) présentent une structure diamétrique dissymétrique, avec une forte concentration d’arbres jeunes et une présence limitée d’arbres de gros diamètre. Cette observation reflète une structure de peuplement où les arbres jeunes dominent, et les individus de plus grand diamètre sont moins fréquents, indiquant une phase de développement précoce du système. Ces observations suggèrent que les SAF tels que les parcs à néré, à karité et les systèmes taungya sont caractérisés par une diversité plus équilibrée en termes de taille des arbres, tandis que les parcs à manguiers sont encore en phase de développement avec une prédominance d’arbres jeunes.

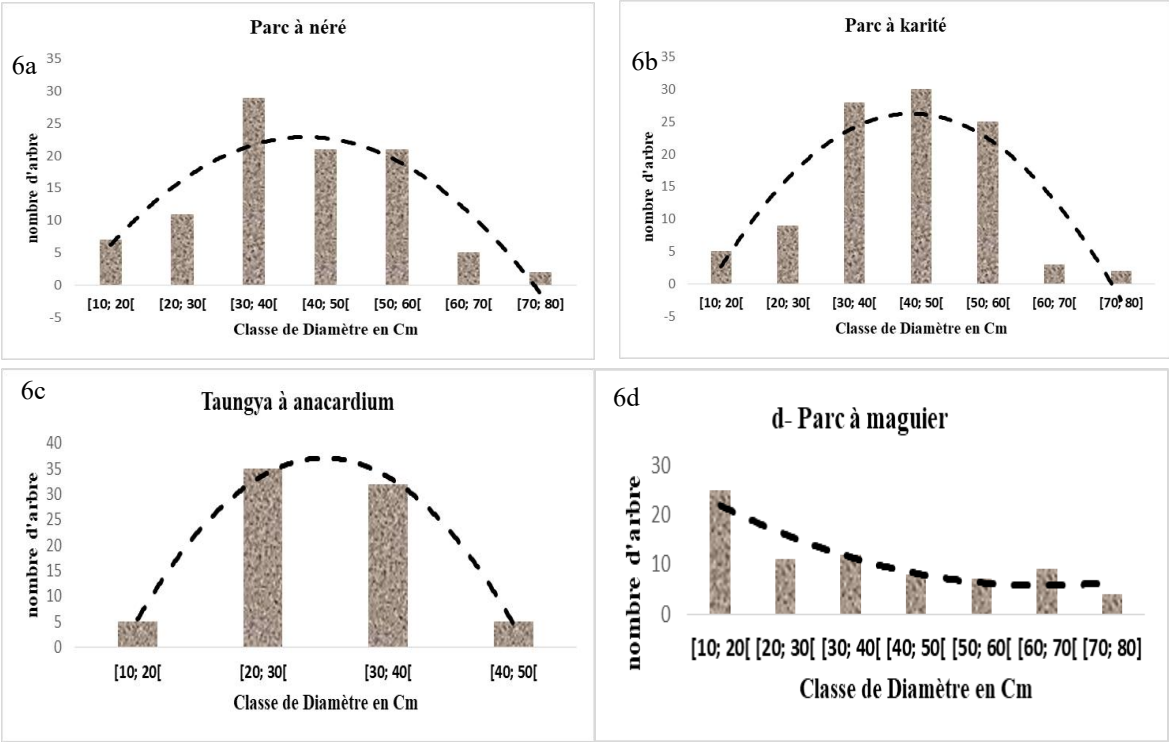


Figure 6: Structure diamétrique des Systèmes agroforestiers

3.3.2. Densité et Surface Terrière des Arbres dans les Systèmes Agroforestiers

La densité des arbres par hectare varie selon les systèmes agroforestiers (SAF) observés dans les 20 placettes installées. En moyenne, les parcs à *Vitellaria paradoxa* présentent une densité de 43 arbres/ha, tandis que les parcs à *Parkia biglobosa* ont une densité légèrement inférieure de 39 arbres/ha. Les systèmes taungya avec *Anacardium occidentale* affichent une densité plus élevée de 76 arbres/ha, tandis que les parcs à *Mangifera indica* montrent la densité la plus faible, avec 32 arbres/ha. La surface terrière, qui reflète la quantité totale de tissu végétal par unité de surface, varie également selon les SAF. Les parcs à *Vitellaria paradoxa* présentent une surface terrière de 12,7 m²/ha, et les parcs à *Parkia biglobosa* ont une surface terrière de 9,21 m²/ha, tandis que 7,8 m²/ha représentent la surface terrière des systèmes taungya avec *Anacardium occidentale*. Les parcs à *Mangifera indica* ont la surface terrière la plus faible avec 4,76 m²/ha. Les parcs à *Vitellaria paradoxa* présentent non seulement une densité plus élevée mais également une plus grande surface terrière, suggérant une croissance plus dense et plus vigoureuse. À l'inverse, les parcs à *Mangifera indica*, avec leur densité plus faible et leur surface terrière réduite, montrent une structure de peuplement moins développée.

3.3.3. Stock de carbone dans les parcs agroforestiers

Le stockage total de carbone dans les systèmes agroforestiers (SAF) étudiés est la somme des stocks de carbone présents dans la biomasse aérienne et souterraine. Le Tableau 4 présente les quantités totales de carbone stockées dans la biomasse aérienne et souterraine de chaque SAF. Un effet très hautement significatif s'observe entre les différents systèmes agroforestiers étudiés sur la séquestration de carbone. Les parcs agroforestiers à *Vitellaria paradoxa* affichent un stockage total de carbone de $23,33 \pm 5,99$ t C/ha. Les parcs à *Parkia biglobosa* présentent un stockage de $22,38 \pm 3,79$ t C/ha. En comparaison, les systèmes taungya avec *Anacardium occidentale* et les parcs à *Mangifera indica* stockent respectivement $14,97 \pm 4,05$ t C/ha et $19,02 \pm 4,66$ t C/ha. Il est observé que la plus grande quantité de carbone est stockée dans les biomasses aériennes des SAF faisant objet de cette étude. Les résultats des tests de comparaison des moyennes montrent une différence significative au seuil de 5 % ($p < 0,05$). Ainsi, les parcs à *Vitellaria paradoxa* stockent une quantité de carbone significativement plus élevée que les autres SAF dans la zone d'étude. Ces résultats soulignent l'importance des systèmes agroforestiers à *Vitellaria paradoxa* dans la séquestration du carbone et leur rôle potentiel dans les stratégies de gestion des puits de carbone pour atténuer les changements climatiques. Les différences observées entre les SAF indiquent que le choix du type de SAF peut influencer considérablement le potentiel de stockage du carbone.

Tableau 4 : Stock de carbone dans les SAF

Type de SAF	Type biomasse	Stock de carbone en t C/ha	Regroupement	P-value
Parcs agroforestiers à <i>vitellaria paradoxa</i>	Biomasse aérienne	$18,23 \pm 5,64$	"d" a	4.14E-06
	Biomasse souterraine	$5,10 \pm 0,35$		
	Total	$23,33 \pm 5,99$		
Parcs agroforestiers à <i>Parkia biglobosa</i>	Biomasse aérienne	$17,49 \pm 3,12$	"c"b	
	Biomasse souterraine	$4,89 \pm 0,67$		
	Total	$22,38 \pm 3,79$		
Taungya à <i>Anacardium occidentale</i>	Biomasse aérienne	$11,7 \pm 3,57$	"a"d	
	Biomasse souterraine	$3,27 \pm 0,48$		
	Total	$14,97 \pm 4,05$		
Parcs agroforestiers à <i>mangifera indica</i>	Biomasse aérienne	$14,86 \pm 4,3$	"b"c	
	Biomasse souterraine	$4,16 \pm 0,36$		
	Total	$19,02 \pm 4,66$		

Suggestion : Faire une corrélation entre les 3 objectifs spécifiques.

4. Discussion

4. 1. Caractérisation des systèmes agroforestiers.

La présente étude a identifié dix systèmes agroforestiers (SAF), avec une dominance marquée des parcs à *Vitellaria paradoxa* (karité) et *Parkia biglobosa* (néré). Cette diversité dans la commune de Djougou peut s'expliquer par l'utilité variée des produits issus de ces SAF et par la transformation systématique du paysage forestier en différents types de SAF. Cette transformation permet aux agriculteurs de combiner la production de ligneux avec celle des cultures annuelles. De plus, la diversité observée peut également refléter l'intention des agriculteurs de répondre à leurs besoins en autosuffisance alimentaire en utilisant à la fois des produits vivriers et forestiers. La dominance des parcs à *Vitellaria paradoxa* et *Parkia biglobosa* peut être attribuée à la multifonctionnalité de ces espèces, qui n'entravent pas la croissance des cultures vivrières. Cette tendance a été confirmée par diverses études : Akplo et al. (2019) dans la commune de Djidja, Biaou et al. (2019) à travers le Bénin, Saré (2008) autour du complexe W au Nord Bénin, et Wala et al. (2005) dans la région de Doufelgou au Nord Togo. Selon Natta (2012) dans la zone soudanienne du Bénin, Aïgbavie (2005) et Pewili (2006) dans la région de Ouaké, ainsi que Sidi (2008) dans la commune de Gogounou, cette dominance est également notable. Boffa (1999) souligne que la prédominance d'espèces à usages multiples est courante en Afrique de l'Ouest, une observation confirmée par Larwanou et al. (2006) qui ont trouvé *Acacia albida* et *Adansonia digitata* comme espèces dominantes dans les SAF de la région de Zinder au Niger, ainsi que par Wala et al. (2005) avec *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglobosa*, *Elaeis guineensis* et *Adansonia digitata* dans la préfecture de Doufelgou au Nord Togo. Il est également plausible que la dominance de certaines espèces dans les SAF soit le résultat de coupes sélectives effectuées par les agriculteurs lors des défrichements et de l'entretien des cultures, où certaines espèces sont conservées en fonction de leurs besoins spécifiques.

Diversité floristique des systèmes agroforestiers

L'analyse de la composition floristique des systèmes agroforestiers (SAF) dans la commune de Djougou révèle la présence de 30 espèces végétales appartenant à 18 familles. Cette grande diversité pourrait s'expliquer par la forte interaction floristique observée dans le Nord du Bénin. Ce résultat est comparable à celui de Yabi et al. (2013), qui ont recensé 38 espèces réparties en 19 familles dans les SAF de la commune de Savalou. De même, Akplo et al. (2019) ont observé une diversité floristique similaire dans la commune de Djidja, avec 41 espèces appartenant à 16 familles botaniques. La grande richesse en espèces des SAF peut s'expliquer par l'utilisation d'espèces issues de régénération naturelle par les agriculteurs, ainsi que par leur désir de diversifier les produits disponibles. La famille des Fabacées est la plus représentée dans les SAF étudiés, comptant 6 espèces, une tendance également notée par Akplo et al. (2019). Les indices de diversité spécifique, de Shannon et d'équitabilité de Pielou varient selon le type de SAF. La richesse spécifique est la plus élevée dans les jachères simples (19 espèces) et plus faible dans les parcs à *Vitellaria paradoxa* et les taungya à *Anacardium occidentale*. Cette augmentation de la richesse spécifique dans les jachères peut être attribuée à l'abandon de ces sites, qui favoriserait la croissance d'une grande diversité d'espèces. En revanche, les parcs à *Vitellaria paradoxa* et les taungya à *Anacardium occidentale* montrent une richesse spécifique plus faible, probablement en raison des pratiques de gestion telles que les entretiens réguliers et les coupes sélectives. Ces résultats sont cohérents avec ceux rapportés par Akplo et al. (2019), qui ont observé une grande diversité spécifique dans les jachères simples (23 espèces) et une diversité plus faible dans les parcs à *Parkia biglobosa* et les taungya à *Anacardium occidentale* (respectivement 7 et 5 espèces). Dans les taungya à *Anacardium occidentale*, la faible richesse spécifique pourrait être liée à la nature des plantations, où les prélèvements réguliers limitent la présence d'autres espèces.

Les valeurs des indices de diversité de Shannon ($H : 1,6$ bits et $1,46$ bits) et d'équité de Pielou ($E : 0,5$ à $0,58$) observées respectivement dans les parcs à *Vitellaria paradoxa* et *Parkia biglobosa* sont comparables à celles rapportées par Wala et al. (2005) dans les SAF au Togo, avec des valeurs de $0,5$ à $2,2$ bits pour l'indice de diversité de Shannon et de $0,2$ à $0,8$ pour l'équité de Pielou. Ces résultats sont également en accord avec ceux trouvés par Akplo et al. (2019), qui ont mesuré des indices de diversité de Shannon allant de $0,48$ à $4,04$ bits et des équités de Pielou variant de $0,2$ à $0,89$ dans les taungya à *Anacardium occidentale*, les parcs agroforestiers à *Parkia biglobosa*, les parcs agroforestiers à *Daniellia oliveri* et les jachères simples.

4.2. Pratiques agroforestières sur la résilience des agriculteurs face aux effets négatifs de la variabilité et des changements climatiques

Pratiquement tous les agriculteurs enquêtés pratiquent l'agroforesterie, avec 85% à 90% d'entre eux étant conscients des variations climatiques. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par Kabore et al. (2019), qui ont trouvé que $92,7\%$ des producteurs du Centre-Nord du Burkina Faso étaient conscients des variations climatiques et du changement climatique (CC). De même, Boubacar et al. (2021) ont observé que $91,32\%$ des agriculteurs de Karma au Niger étaient conscients des variations climatiques et du CC. Ultan et al. (2010) ont également rapporté que 92% des agriculteurs dans les zones rurales

de la Donga étaient conscients de ces phénomènes. Les principales manifestations perçues par les agriculteurs, telles que la diminution des précipitations, l'augmentation de la chaleur, la prolongation de la saison sèche, les vents violents et la baisse des rendements agricoles, pourraient expliquer leur conception liée aux variations climatiques et au CC.

Par ailleurs, les agriculteurs ont cité plusieurs avantages des systèmes agroforestiers (SAF), parmi lesquels les graines destinées à la commercialisation et les aliments dérivés des SAF sont les plus fréquemment mentionnés. Cela pourrait s'expliquer par le fait que dans le Nord du Bénin, les noix de karité et de néré sont des produits largement commercialisés et transformés. Ces observations sont en accord avec les résultats d'Awazi et al. (2019) dans le nord-ouest du Cameroun, ainsi que ceux d'Andres et al. (2015) dans la région de Maradi au Niger. En grande partie, les agriculteurs vendent ou transforment ces produits pour répondre à leurs besoins vitaux. En revanche, la pollinisation est le service le moins cité, probablement en raison du manque de connaissances des agriculteurs sur ce sujet et de l'absence de bénéfices directs perçus. Les résultats obtenus par Diatta et al. (2017) dans le sud du Sénégal sont similaires à celui de l'étude menée. La résilience des systèmes agroforestiers variait selon les villages dans la zone d'étude. Cette variabilité pourrait s'expliquer par les difficultés rencontrées par certains enquêtés à évaluer leurs gains annuels ainsi que par les différences de superficie exploitées entre les villages. Ces résultats sont en accord avec ceux de Ba et al. (2022) dans la région de Matam au Sénégal, mais divergent des conclusions d'Awazi et al. (2019) dans le nord-ouest du Cameroun, où le niveau de résilience n'était pas variable entre les villages. Cette divergence pourrait être due à la zone d'étude ou aux types de SAF présents dans les différentes zones.

Les agriculteurs pratiquant l'agrosylviculture ont montré une résilience plus élevée par rapport à ceux pratiquant l'agrosylvopastoralisme et à ceux ne pratiquant pas l'agroforesterie. Ces résultats sont en accord avec ceux d'Awazi et al. (2019) dans le nord-ouest du Cameroun, où les pratiquants d'agroforesterie étaient plus résilients que ceux qui n'en pratiquaient pas. De plus, Mariel et al. (2016) ainsi que Dupras et al. (2020) ont démontré que le niveau de résilience des agriculteurs dépendrait fortement du type de SAF adopté, respectivement à Vavatenina à Madagascar et à Montréal au Canada.

4. 3. Potentiel de stockage du carbone dans les SAF identifiés

Structure diamétrique des SAF

La structure diamétrique en forme de cloche observée dans les parcs à karité et néré semble résulter du mode de gestion de ces systèmes agroforestiers (SAF) comme des plantations intensives. Les agriculteurs, en prenant grand soin des arbres, favorisent une telle structure, où la majorité des arbres atteignent une taille moyenne similaire. Cette gestion attentive se traduit par une réduction de la diversité des tailles des arbres, contribuant ainsi à une distribution diamétrique en cloche. De plus, ces SAF présentent une faible régénération naturelle. Cela pourrait être attribué à la récolte systématique des fruits de karité et de néré, ce qui diminuerait le potentiel de régénération séminale dans le sol. En effet, la récolte continue des fruits pourrait être un facteur limitant de la production de graines et par conséquent, la régénération naturelle des arbres. En revanche, les taungya à anacardier se comportent comme des peuplements équiens, où la structure diamétrique est plus uniforme. Dans ces systèmes, les arbres ont tendance à atteindre des tailles similaires, suggérant une gestion ou une dynamique de croissance différente de celle observée dans les parcs à karité et néré. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par Natta *et al.* (2012) dans les SAF dans la zone soudanienne du Bénin, de Sidi (2008) à Gogounou et Wala *et al.* (2005) dans les parcs à *V. paradoxa* au Nord du Togo.

Densité et surface terrière

La densité moyenne d'arbres à l'hectare est de 47,5 dans nos placettes installées ; cette densité est plus élevée dans les taungya à *A. occidentale* 76 arbres/ha et plus faible dans les parcs à *M. indica* (36). Les densités trouvées dans cette étude sont comparables à celles mentionnées par Koura *et al.*, (2013) (39 à 70 tiges/ha) dans la Donga au Bénin. Cette densité importante dans les taungya à *A. occidentale* pourrait s'expliquer par le fait que ces SAF sont installés par les agriculteurs et sont mono spécifique. En effets, les plantations d'anacardières sont installées en défrichant et en coupant d'autres espèces sur la parcelle ; ce qui expliquerait d'ailleurs les faibles valeurs des indices de diversité dans ces SAF. Ces résultats, sont comparables à ceux obtenus par Akplo *et al.*, (2019) dans les SAF au sud Bénin et à ceux obtenus par Tandjiékpou (2005) dans les taungya à base d'anacardier dans les savanes du Bénin (50-99 tiges/ha). Les densités trouvées dans les parcs à *V. paradoxa* et *P. biglobosa* en moyenne 35,5 arbres/ha sont comparables à celles obtenues au Bénin par Gbédji (2003) et Gnganglè (2005) dans les parcs à karité et néré de Kandi (32 arbres/ha), Bembèrèkè (30 arbres/ha) et Parakou (30 arbres/ha), mais supérieures à celles trouvées par Gaoué (2000) dans le Nord-ouest de l'Atacora (19 arbres /ha) ; Vodouhè *et al.* (2011) dans les terres cultivables adjacentes à la zone cynégétique de la Pendjari ($7,9 \pm 5,4$ pieds/ha). Les densités obtenues dans les parcs à karité et néré sont inférieures à celles obtenues par Natta *et al.*, (2012) dans les parcs à Karité et Néré de la zone

Soudanienne du Nord Bénin (45 à 72 arbres/ha), par Agbahungba et Depommier (1989) au sud Borgou (50 - 100) ; Schreckenberger, (1996) dans la région de Bassila (63) ; Wala *et al.* (2005) au Togo (32-82). La variabilité des milieux d'études, méthodes d'échantillonnage et la saison d'étude pourraient être à la base de cette différence observée en termes de densité des SAF. Par ailleurs, les valeurs de la surface terrière des SAF étudiés (4,76 à 12,7 m²/ha) sont comparables à celles obtenues par Natta *et al.*, (2012) (4,1 à 13,7 m²/ha) dans la zone Soudanienne du Nord Bénin, Sidi, (2008) à Gogounou et Gbedji (2003) à Bembèrèkè et Kandi (5,9 m²/ha). La surface terrière élevée observée dans les parcs à Karité pourrait s'expliquer par le fait que le karité est l'espèce la plus protégée et mieux conservée dans les SAF de la zone d'étude, par conséquent ils présentent des tours de diamètres plus prononcés.

Stock de carbone dans les SAF

Le stock de carbone dans les systèmes agroforestiers (SAF) varie entre 14,97 et 23,33 tonnes de carbone par hectare (t C/ha) pour le cas de notre étude. Le plus élevé est de 23,33 t C/ha pour les parcs à *Vitellaria paradoxa*, comparativement aux autres types de SAF, et la biomasse aérienne est la principale source de carbone. Les valeurs observées dans cette étude sont inférieures à celles rapportées par Saïdou et al. (2012), qui ont mesuré $32,62 \pm 5,91$ t C/ha dans les parcs à karité et néré dans la zone soudanienne du Bénin, et par José et al. (2023) pour les SAF dans la zone soudano-sahélienne du Cameroun, où les stocks variaient entre 26,9 et 31,9 t C/ha. Ces différences peuvent être expliquées par le fait que ces études incluaient non seulement le carbone aérien et racinaire, mais aussi celui du sol et de la matière morte, alors que notre étude se concentrait exclusivement sur le carbone aérien et racinaire (Kokou et al., 2023). Aussi, la période et la zone d'échantillonnage ne sont pas à négliger. Les résultats obtenus dans cette étude sont cohérents avec les plages de valeurs suivantes rapportées dans la littérature : 10-60 t C/ha par Valentini (2007), 13-42 t C/ha par Schroth et al. (2002), et 7-25 t C/ha par Albrecht et Kandji (2003).

5. Conclusion

La présente recherche a examiné les pratiques agroforestières et la résilience climatique dans la commune de Djougou, avec pour objectif principal d'évaluer la contribution de l'agroforesterie à l'amélioration de la résilience climatique des agriculteurs et d'analyser le potentiel de séquestration du carbone dans différents systèmes agroforestiers de la commune. Pour atteindre ces objectifs, une méthodologie rigoureuse a été employée. Une enquête a été menée auprès de 313 agriculteurs dans 15 villages, utilisant l'outil KoboCollect. Des placettes de 50 m x 50 m ont été installées dans divers systèmes agroforestiers pour collecter des données dendrométriques. Afin d'obtenir des résultats fiables, l'analyse statistique a été effectuée en utilisant l'ANOVA à un facteur pour comparer les niveaux de résilience entre les villages et les différents types de systèmes agroforestiers. Les indices de diversité de Shannon et d'équitabilité de Pielou ont été utilisés pour évaluer la diversité des espèces au sein des systèmes agroforestiers. De plus, les équations allométriques de la FAO (1997) ont servi à estimer le potentiel de séquestration du carbone dans les SAF. Les résultats montrent que les indices de diversité de Shannon et d'équitabilité de Pielou sont significativement plus élevés dans les jachères simples ($H' = 4,16$ bits et $Eq = 0,81$) et dans les parcs agroforestiers à *Adansonia digitata* ($H' = 2,8$ bits et $Eq = 0,74$) par rapport aux autres systèmes agroforestiers, indiquant une plus grande diversité dans ces systèmes. Le test de Kruskal-Wallis révélait une différence significative entre les différents types de systèmes agroforestiers ($p < 0,05$). Les agriculteurs pratiquant des systèmes agrosylvicoles présentent une meilleure résilience face à la variabilité et au changement climatique, avec un gain moyen de 40 491 FCFA, comparativement aux praticiens des systèmes agrosylvopastoraux (gain moyen de 34 833 FCFA) et à ceux n'adoptant pas de systèmes agroforestiers (gain moyen de 9 455 FCFA). Enfin, les résultats de l'ANOVA à un facteur indiquent une différence significative dans le stockage du carbone parmi les systèmes agroforestiers ($p < 0,05$), avec les parcs à *Vitellaria paradoxa* montrant un potentiel de séquestration du carbone supérieur à celui des autres SAF de la zone d'étude. Enfin, cette étude démontre que les systèmes agroforestiers, et en particulier les parcs à *Vitellaria paradoxa*, contribueraient de manière significative à la résilience climatique des agriculteurs tout en offrant un potentiel élevé de séquestration du carbone.

Remerciements

Cette étude a été financée entièrement par l'Union européenne (UE)/AGRINATURA. Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance envers l'École Régionale postuniversitaire d'Aménagement et de gestion Intégrées des Forêts et Territoire tropicaux (ERAIFT) pour l'organisation des cours, ainsi qu'envers le Pr Baudouin MICHEL, Directeur de l'ERAIFT, ainsi qu'envers le Pr Jean-Pierre MATE, Secrétaire Académique et à la Recherche, pour toutes les ressources fournies pour mener à bien cette étude. Nos remerciements les plus profonde à l'ONG DEDRAS pour son appui technique et financier lors de la collecte des données. Notre gratitude envers toute la communauté locale de la zone d'étude. Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont lu cet article et ont participé à son perfectionnement.

Contribution des auteurs

Rôle du contributeur	Noms des auteurs
Conceptualisation	GNONYI Issa Hermane, Kokou Kokouvi Bruno, Teteli Soloum Clément
Gestion des données	GNONYI Issa Hermane
Analyse formelle	GNONYI Issa Hermane, Kokou Kokouvi Bruno, Teteli Soloum Clément
Enquête et investigation	GNONYI Issa Hermane
Méthodologie	GNONYI Issa Hermane
Supervision Validation	EBUY A. Jérôme, ARCADIUS AKOSSOU Yves Justin, SODALO Carlo
Écriture – Préparation	GNONYI Issa Hermane, Kokou Kokouvi Bruno, Fagnibo Adélaïde Hinhami, Teteli Soloum Clément
Écriture – Révision	GNONYI Issa Hermane, Teteli Soloum Clément

Références

- Agbahungba G, Depommier D (1989)** Aspects du parc à karités-nérés (Vitellariaparadoxa Gaertn. F. Parkia biglobosa Jacq. Benth.) dans lesud du Borgou (Bénin). Bois et Forêts des Tropiques 222 : 41-54
- Aïghanvie GA (2005)** Forest management and biodiversity conservation in the Ouaké region, Benin. Journal of Forest Research, 32(5), 193-205.
- Akpona TJD, Dainou K, Akpona HA, Djossa BA, Savi MK, Ayihouenou B, Glélè Kakai R (2016)** Impact of land use practices on traits and production of shea butter tree (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.) in Pendjari Biosphere Reserve in Benin. Agroforestry systems, 90, 607-615.
- Akplo JM, Biaou AD, Koutou, K (2019)** Characterization of agroforestry systems in the Savalou region of Benin: Impacts on biodiversity and ecosystem services. African Journal of Environmental Sci and Tech, 10(8), 365-379.
- Albrecht A, Kandji ST (2003)** Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. Agriculture, Ecosystems & Environment, 99(1-3), 15-27.
- Andres MI, Boubacar N, Ibrahim S, Kadi A (2015)** Agroforestry practices in Maradi, Niger: Enhancing resilience to climate change. Sustainable Agriculture, 14(2), 81-94.
- Atakpama W, Wala K, Gouwakinnou GN, Pereki H, Polo-Akpisso A, Akodewou A, Akpagana K (2016)** Abundance, distribution pattern and potential suitable habitat of Sterculia setigera Del. in Togo (West Africa).
- Awazi MT, Temgoua (2019)** 'Enhancement of resilience to climate variability and change through agroforestry practices in smallholder farming systems in Cameroon', *Agroforestry Systems*, 94(3), pp. 687705. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00435-y>.
- Ba DD, Diop T (2022)** Résilience à la variabilité climatique et perspective des activités agropastorales dans la région de Matam, nord du Sénégal. Africa Development / Afrique et Développement, 47(3), 43-62.
- Biaou AD, Yoro A, Fagla A (2019)** Agroforestry systems and carbon sequestration in West Africa: Evidence from Benin. Environmental Management & Conservation, 45(2), 112-123.
- Biaou SS (2016)** Typologie des systèmes agroforestiers et leurs impacts sur la satisfaction des besoins des populations rurales au Bénin Typology of agroforestry systems and their impacts on meeting the needs of rural populations in Benin', Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin _ BRAB, (December), pp. 43-56.
- Boffa JM (1999)** Multi-purpose tree species in West Africa: Their role in sustainable development and agroforestry. FAO Forestry Paper, 134.
- Boubacar S, Razinatou YA, Mahamadou IS (2021)** Perceptions paysannes du changement climatique et strategies d'adaptation employees', Agronomie Africaine, 33(2), pp. 203-214.
- Bougma AL, Gallazzi G, Sawadogo M (2024)** Effets du Changement climatique sur les ressources phytogénétiques: Une étude de cas à partir du mil et du riz à l'horizon 2050 au Burkina Faso Afrique SCIENCE 24:1-9
- Brown S (1997)** Estimating biomass and biomass change of tropical forests: A primer. FAO Forestry Paper, 134.
- Buttoud G (2015)** Agroforesterie, gestion durable des ressources naturelles et résilience face aux changements climatiques. Éditions FAO, Rome.
- Cairns MA, Brown S, Helmer EH, Baumgardner GA (1997)** Root biomass allocation in the world's upland forests. Oecologia, 110(4), 679-684.
- Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, Higuchi N, Kira T, Lescure JP, Monte G, Zanne AE (2005)** Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. Oecologia, 145(1), 87-99.

- Chave J, Rejou-Méchain M, Boudjema SS, Duque L, Echeverría G, Heuvel AV (2014)** Improved estimates of forest carbon stocks and carbon sequestration in tropical trees and forests. *Global Change Biology*, 20(2), 366-378.
- Diatla AA (2017)** Services écosystémiques du parc agroforestier à *Cordia pinnata* (Lepr. ex A. Rich.) Milne-Redh. dans le Sud du Bassin Arachidier (Sénégal), *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(6), p. 2511. Available at : <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i6.9>.
- Dimobe K (2017)** Dynamique, séquestration de carbone et modèles de variations des savanes soudaniennes du Burkina Faso et du Ghana (Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat. Spécialité : Sciences et Phytoécologie. Laboratoire Biologie/ Ecologie Végétale, Université Ouaga I Pr Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou, BF, 179 p.
- Dupras J (2020)** 'Pérenniser les pratiques agroenvironnementales et les aménagements agroforestiers linéaires : une analyse écologique et socio - économique pour augmenter la résilience des systèmes agricoles face aux changements climatiques', p. 66.
- Dupraz C, Liagre F (2008)** Agroforesterie : des arbres et des cultures. Ed. France Agricole, Paris, 413 p.
- Egah J, Baco MN, Lokossou RS, Moutouama FT, Akponikpè PBI, Fatondji D, Djènontin AJ, Tossou CR, Sokpon N (2014)** Incidence économique des techniques exogènes de conservation de l'eau et des sols au Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin* 75 : 47-57.
- FAO (1997)** Tree planting in arid and semi-arid zones: A guideline for projects in the Mediterranean Basin. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations.
- FAO (2020)** Intégration de la foresterie et de l'agroforesterie dans les plans d'adaptation nationaux 'Rome, 2020', p. 61.
- FAO (2021)** Intégration de la foresterie et de l'agroforesterie dans les plans d'adaptation nationaux, Available at: <https://doi.org/10.4060/cb1203fr>.
- FERN (2017)** Comment la restauration des forêts naturelles peut freiner le changement climatique et redynamiser les communautés rurales.
- Gaoué OG (2000)** Agroforestry systems in the North-Western Atacora region: Ecology and biodiversity. *West African Forestry Research Journal*, 25(6), 245-258.
- Gavaland A, Burnel L (2005)** Croissance et biomasse aérienne de noyers noirs, *Chambres d'agriculture* n° 945, pp. 20-21
- Gbédji K (2003)** Agroforestry systems in the northern region of Benin: Biodiversity and ecosystem services. *African Environmental Review*, 18(1), 134-145.
- GIEC (2006)** Lignes directrices du GIEC pour l'estimation de la biomasse et du carbone dans les forêts et écosystèmes associés. GIEC, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
- GIEC (2007)** Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève, Suisse, ..., 103 p.
- Gnanglè CM (2005)** Agroforestry practices and carbon sequestration in the Atacora region of Benin. *Journal of Environmental and Climate Change Studies*, 8(4), 67-79.
- Hamon X, Dupraz AC, Liagre MF (2009)** L' Agroforesterie Outil de Séquestration du Carbone en Agriculture.
- Hernandez M (2008)** Potentiel de séquestration du carbone par des pratiques agroforestières dans le bassin versant de la rivière L'Ormière au Québec.
- Iboudo D (2018)** Evaluation de la biomasse et du potentiel de séquestration de carbone par les petites formations forestières des savanes en zone soudanienne du Burkina Faso : cas du site de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts (ENEF), Mémoire d'Ingénieur du développement durable, option : Vulgarisation agricole. IDR/UNB, Burkina Faso, p.62 p.
- INSAE (2016)** Cahier des villages et quartiers de ville du département de la donga (rgph-4, 2013).
- José E (2023)** Stocks de carbone des systèmes agroforestiers de la zone soudano-sahélienne du Cameroun, Afrique centrale, 27(1), pp. 19-30. Available at : <https://doi.org/10.25518/1780-4507.20143>.
- Kabore PN (2019)** Perceptions du changement climatique, impacts environnementaux et stratégies endogènes d'adaptation par les producteurs du Centre-nord du Burkina Faso', *Vertigo*, 19(Volume 19 Numéro 1), pp. 0-28. Available at : <https://doi.org/10.4000/vertigo.24637>.
- Kakule MS, Kalambulwa NA, Mbavumoja ST, Teteli SC et al. 2024** *Land Use and Land Cover Change in the Urban Landscape of Butembo, Democratic Republic of the Congo (DRC)*. *International Journal of Advanced Research*, 7(1), 386-402. <https://doi.org/10.37284/ijar.7.1.2466>.
- Koffi N'dere A, Kokou KB, Atakpama W, Kombate B, Egbelou H, Kanda M, Sambieni KR, Batawila K (2024)** Empreinte anthropique sur la dynamique des écosystèmes de la forêt classée d'Amou-Mono au Togo. *Revue Nature et Technologie*, 16(1) : 51-62.

- Kokou KB, Atakpama W, Kombate B, Egbelou H, Koffi N'Déré A, Elangilangi MJ, Ganyo KK, Sambieni KR, Bogaert J, Batawila K (2023)** Dynamique et modélisation du stock de carbone de la Forêt Classée d'Amou-Mono au Togo. *Revue Ecosystèmes et Paysages*, 3(2) : 15.
- Koura K, Dissou EF, Ganglo JC (2013)** Caractérisation écologique et structurale des parcs à néré [*Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. Ex G. Don] du département de la Donga au Nord-Ouest du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 7(2): 726-738. MAEP, 2010.
- Larwanou, M., Natta, A (2006)** Sustainable forestry and carbon sequestration in the Sahelian regions of West Africa. *West African Forestry Journal*, 28(3), 98-112.
- Maldague M (2003)** Traité de gestion de l'environnement tropical. Tome II : Aménagement intégré des territoires tropicaux. Analyse systémique appliquée à l'aménagement et à la gestion intégrée du territoire et des établissements humains. ERAIFT, Université de Kinshasa, République démocratique du Congo. 12p
- Mariel P, Andriamandroso R, Rakotoarisoa J, et al. (2016)**. Agroforestry practices and their contribution to biodiversity in Madagascar. *Ecological Applications*, 26(3), 134-149.
- McGhee J, McDonough M, Tuck D (2016)** Modeling forest biomass carbon stocks and sequestration potential in tropical and temperate forests. *Environmental Science & Technology*, 50(4), 2151-2160.
- Montcho A, Adjou M, Koko M (2022)** La couverture forestière et la gestion des espaces protégés au Bénin : état des lieux et perspectives. *Journal of Forestry and Environmental Management*, 45(3), 234-246.
- Mugisho SM, Muhindo DI, Balezi AZ, Ndeko JB, Imani GM, Teteli CS, Cizungu LN 2022** Exploitation of Non-Timber Forest Products in the Eastern Part of DR Congo.
- Pewili B (2006)** Ecological assessment of agroforestry systems in Ouaké, Benin. *Journal of Agroforestry and Environmental Sustainability*, 6(2), 34-47.
- Natta A (2012)** Typologie et structure des parcs agroforestiers dans la zone soudanienne du nord bénin typology and structure of agroforestry, (February 2016).
- Noureddine G (2021)** Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement Eau-Agriculture- Climat face aux enjeux climatiques et Water Sciences and Environment Technologies Water-Agriculture- Climate ' 2021 Faced with climate and food issues : (1), pp. 0–130.
- Ogouwale S, Séraphin CA, Luc OC, Sintondji (2022)** Etude de l'impact de la dynamique de l'occupation du sol sur les ressources naturelles dans le sous-bassin de l'Okpara à Nano au Nord Bénin *European Scientific Journal*, ESJ, 18 (17), 1. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n17p1>
- Qasim M, Porembski S, Sattler D, Stein K, Thiombiano A, Lindner A (2016)** Vegetation Structure and Carbon Stocks of Two Protected Areas Within the South-Sudanian Savannas of Burkina Faso, West Africa. *Environments* 3, (25) 1–30. DOI : 10.3390/environments3040025
- Saïdou A, Kokou D, Acakpo C, Richard P, Kuyper WT (2012)** Effects of farmer's practices of fertilizer application and land use types on subsequent maize yield and nutrient uptake in central Benin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 6(1) : 363-376.
- Serhousa O, Gbadoé E (1997)** Djougou et ses dynamiques socio-économiques : Une étude géographique des communautés du nord du Bénin. *Revue Géographique de l'Afrique*, 72(2), 89-98.
- R Development Core Team (2014)**. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org>.
- Saj S, Jagoret P, Todem Ngogue H (2013)** Carbon storage and density dynamics of associated trees in three contrasting *Theobroma cacao* agroforests of Central Cameroon. *Agroforestry Systems* 87 : 1309-1320.
- Saré M B (2008)** Sustainable agriculture and agroforestry in the W complex of Northern Benin. *West African Environmental Review*, 18(3), 228-239.
- Schreckenberg K (1996)** Agroforestry systems in the Bassila region: A case study on sustainable practices. *West African Journal of Agroecology*, 17(4), 33-44.
- Schroth G, Nair PKR, Graef F, et al. (2002)** Tree biodiversity and agroforestry in the tropics: Management and carbon sequestration. Springer, Berlin Heidelberg.
- Senoumantin LC (2017)** 'Analyse Des Déterminants Du Choléra Dans La Ville De Djougou Au Bénin', *European Scientific Journal*, ESJ, 13(18), p. 171. Available at: <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n18p171>.
- Sidi M (2008)** Ecological studies and sustainable practices in the Gogounou agroforestry systems. *Journal of Agroecosystem Management*, 22(3), 56-62.
- Tandjiékpon M (2005)** Agroforestry and land management practices in the savannahs of Benin. *Sustainable Land Use Journal*, 19(3), 120-134.

- Teteli SC, Badou AS, Dramani R, De Kesel A, Sambieni KR, Diansambu M.I., Kouton BN, Yorou SN (2024)** Spatial analysis vis a vis local perception of anthropogenic pressures on natural habitatsof ectomycorrhizal fungi in Wari–Maro Forest Reserve in Benin. *Asian Journal of Mycology* 7(2),51–67, Doi <https://doi.org/10.5943/ajom/7/2/5>
- Teteli SC, Padonou EA, Akakpo BA (2022)** Priorisation des pratiques anti-érosives de conservation des sols dans la zone soudanienne au Bénin(Afrique de l’Ouest). *Tropicultura* 40 (3/4) : 1-16
- Teteli CS, Padonou EA, Langa AM, Akabassi GC, Mukotanyi SM, Kokou BK (2023)** Pratiques agroforestières prioritaires de conservation des sols dans la zone soudanienne au Bénin. *Alternatives Rurales* (9).
- Thiombiano A, Glèlè Kakaï R, Bayen P, Boussim JI, Mahamane A (2016)** Méthodes et dispositifs d’inventaires forestiers en Afrique de l’ouest : état des lieux et propositions pour une harmonisation. *Annales des Sciences Agronomiques* 20 :15-31.
- Ultan BS, Diaye ON (2010)** Observations et perceptions des changements climatiques Analyse comparée dans trois pays d Afrique de l ’ Ouest’, pp. 89–111.
- Valentini R (2007)** Carbon sequestration in forest ecosystems: Challenges and opportunities. *Global Change Biology*, 13(2), 106-117.
- Vodouhê CS, Afiademo B (2011)** Agroforestry systems and their impact on biodiversity in the Pendjari Wildlife Reserve. *West African Journal of Environmental Science*, 10(3), 167-180.
- Wala BI, Biaou AD, Akplo JM (2005)** The role of agroforestry in biodiversity conservation in the Doufelgou region of Northern Togo. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 16(2), 88-101.
- Yabi L, Sossou P, Zinsou V (2013)** Analyse de la diversité floristique dans les systèmes agroforestiers de la commune de Savalou, Bénin. *Journal of Tropical Ecology*, 29(4), 331-340