

Séquestration du carbone et fourniture d'autres services écosystémiques des parcs agroforestiers à karité au Burkina Faso

Kangbéni DIMOBE^{1,2}
Jules BAYALA³

¹ Université de Dédougou
Institut des sciences de l'environnement
et du développement rural (ISED)
Département des eaux, forêts
et environnement
BP 176, Dédougou
Burkina Faso

² Université Joseph Ki-Zerbo
UFR-SVT
Laboratoire de biologie et écologie
végétales
03 BP 7023, Ouagadougou
Burkina Faso

³ Center for International Forestry
Research-World Agroforestry
(CIFOR-ICRAF)
06 BP 9478 Ouagadougou 06,
Burkina Faso

Auteur correspondant /
Corresponding author:

Kangbéni DIMOBE –
kangbenidimobe@gmail.com



Photo 1.
Parc agroforestier à karité (*Vitellaria paradoxa*).
Shea (Vitellaria paradoxa) agroforestry park.
Photo K. Dimobe, 2021.

Doi : 10.19182/bft2023.356.a36903 – Droit d'auteur © 2023, Bois et Forêts des Tropiques – © Cirad – Date de soumission : 15 novembre 2022 ;
date d'acceptation : 11 avril 2023 ; date de publication : 1er juin 2023.



Licence Creative Commons :
Attribution - 4.0 International.
Attribution-4.0 International (CC BY 4.0)

Citer l'article / To cite the article

Dimobe K., Bayala J., 2023. Séquestration du carbone et fourniture d'autres services écosystémiques des parcs agroforestiers à karité au Burkina Faso. Bois et Forêts des Tropiques, 356 : 67-80. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2023.356.a36903>

RÉSUMÉ

Séquestration du carbone et fourniture d'autres services écosystémiques des parcs agroforestiers à karité au Burkina Faso

L'agroforesterie joue un rôle important dans l'atténuation du climat et la fourniture d'autres services écosystémiques. La forme la plus répandue de cette agroforesterie pour l'Afrique de l'Ouest est constituée par les parcs agroforestiers avec du karité (*Vitellaria paradoxa*) comme espèce dominante. En dépit de cette importance, le potentiel de séquestration du carbone des parcs agroforestiers à karité a été très peu documenté au Burkina Faso. La présente étude a pour objectif d'évaluer la contribution des parcs agroforestiers à karité à la séquestration du carbone et autres services écosystémiques dans ce pays. Pour cela, une enquête auprès des ménages et des inventaires ont été réalisés dans trois secteurs phytogéographiques au Burkina Faso. Plus de 89 % des personnes enquêtées ont du karité dans leurs champs. Selon les résultats d'enquêtes, la plante fournit du bois de chauffe et du bois d'œuvre. Elle améliore également la fertilité du sol et intervient dans le contrôle de l'érosion du sol. La densité du karité dans les champs varie entre 32 et 45 individus/ha avec une hauteur moyenne de $7,93 \pm 0,22$ m et un diamètre à hauteur de poitrine (DBH) de $31,9 \pm 1,37$ cm. La biomasse aérienne des individus de *V. paradoxa* présents dans les différents parcs varie entre 15,5 et 42,8 Mg/ha (soit une moyenne de $25,7 \pm 8,1$ Mg/ha ou 12,8 Mg de C/ha). Nos résultats ont donc montré que les parcs agroforestiers à karité contribuent de manière significative à la séquestration du carbone et que l'ampleur de ces bénéfices varie avec le DBH des arbres et les secteurs phytogéographiques. Nous avons constaté que les individus ont tous un DBH supérieur à 24 cm et qu'il n'y a donc pas de jeunes sujets. Il y a par conséquent nécessité de régénération, laquelle peut se faire par régénération naturelle assistée, par plantation ou par une combinaison des deux.

Mots-clés : agrisylviculture, biomasse, carbone, contrôle de l'érosion, climat, Burkina Faso.

ABSTRACT

Carbon sequestration and other ecosystem services provided by shea-tree agroforestry parks in Burkina Faso

Agroforestry plays an important role in climate mitigation and the provision of other ecosystem services. In West Africa, agroforestry is most widespread in the form of parks with shea trees (*Vitellaria paradoxa*) as the dominant species. Despite their important role, the carbon sequestration potential of shea-tree agroforestry parks in Burkina Faso is very poorly documented. This study aims to assess the contribution of shea-tree agroforestry parks to carbon sequestration and other ecosystem services in Burkina Faso. For this purpose, inventories and a survey among households were carried out in three phytogeographical sectors of Burkina Faso. Over 89% of those surveyed had shea trees in their fields. According to the survey results, these trees provide fuelwood and timber as well as improving soil fertility and helping to control soil erosion. Their density in fields varies from 32 to 45 individuals/ha, with an average height of 7.93 ± 0.22 m and a diameter at breast height (DBH) of 31.9 ± 1.37 cm. The above-ground biomass of the *V. paradoxa* individuals present in the different parklands ranged from 15.5 to 42.8 Mg/ha (i.e. an average of 25.7 ± 8.1 Mg/ha or 12.8 Mg of C/ha). Our results therefore show that shea-tree agroforestry parks contribute significantly to carbon sequestration and that the extent of these benefits varies with the DBH of the trees and the phytogeographical sectors. We found that the trees all have a DBH > 24 cm and therefore that there are no young trees. This points to a need for regeneration, which can be achieved by assisted natural regeneration, planting or a combination of the two.

Keywords: agrisylviculture, biomass, carbon, erosion control, climate, Burkina Faso.

RESUMEN

Secuestro de carbono y prestación de otros servicios ecosistémicos por los parques agroforestales de karité en Burkina Faso

La agrosilvicultura desempeña un papel importante en la atenuación del clima y en la prestación de otros servicios ecosistémicos. La forma de agrosilvicultura más extendida en África Occidental son los parques agroforestales con karité (*Vitellaria paradoxa*) como especie dominante. A pesar de esta importancia, el potencial de secuestro de carbono de los parques agroforestales de karité ha sido poco documentado en Burkina Faso. El objetivo de este estudio es evaluar la contribución de los parques agroforestales de karité al secuestro de carbono y a otros servicios ecosistémicos en este país. Para ello, se realizó una encuesta en hogares e inventarios en tres zonas fitogeográficas de Burkina Faso. Más del 89 % de los encuestados tienen karité en sus campos. Según los resultados de la encuesta, la planta proporciona leña y madera para construcción. También mejora la fertilidad del suelo y ayuda a controlar su erosión. La densidad de karité en los campos varía entre 32 y 45 individuos/ha con una altura media de $7,93 \pm 0,22$ m y un diámetro a la altura del pecho (DAP) de $31,9 \pm 1,37$ cm. La biomasa aérea de los individuos de *V. paradoxa* presentes en los distintos parques varía entre 15,5 y 42,8 Mg/ha (es decir, una media de $25,7 \pm 8,1$ Mg/ha o 12,8 Mg de C/ha). Nuestros resultados muestran, por tanto, que los parques agroforestales de karité contribuyen de forma significativa a la captura de carbono y que la magnitud de estos beneficios varía en función del DAP de los árboles y de los sectores fitogeográficos. Comprobamos que todos los individuos tienen un DAP > 24 cm, por lo que no hay sujetos jóvenes. En consecuencia, es necesaria una regeneración, que puede lograrse mediante la regeneración natural asistida, la plantación o una combinación de ambas.

Palabras clave: agroforestería, biomasa, carbono, control de la erosión, clima, Burkina Faso.

Introduction

Le système agricole africain de parcs agroforestiers est devenu une approche bien établie de la gestion intégrée des terres, non seulement pour la production de ressources renouvelables, mais aussi pour des considérations écologiques et environnementales (Bonkougou, 2004 ; Bayala *et al.*, 2014). Il s'agit d'un système traditionnel d'exploitation des terres dans lequel des ligneux pérennes sont délibérément conservés en association avec les cultures (Bonkougou *et al.*, 1994 ; Boffa, 1999). Les parcs agroforestiers ont un grand potentiel couvrant un large éventail de fourniture de produits et de services écosystémiques incluant la biodiversité et constituent de ce fait une stratégie pour une agriculture durable et intelligente face au climat (Blaser *et al.*, 2018). De façon plus large, l'agroforesterie est devenue une stratégie de conservation des ressources naturelles dans les tropiques (Kuyah *et al.*, 2019b) et est mise en œuvre dans bon nombre de pays en Afrique subsaharienne (Boffa, 1999 ; Bayala *et al.*, 2014).

À l'échelle mondiale, les parcs agroforestiers ont un potentiel élevé de stockage du carbone pouvant contribuer à l'atténuation du changement climatique (Mbow *et al.*, 2014b ; Kim *et al.*, 2016) par leur accumulation de biomasse souterraine et aérienne (Cerdeira *et al.*, 2014). Des investigations sur le sujet concernent une revue (Albrecht et Kandji, 2003), une évaluation de différents systèmes agroforestiers (Takimoto *et al.*, 2008), et une simulation (Luedeling et Neufeldt, 2012). Sur la base de ces études passées, il semblerait que l'efficacité des parcs agroforestiers en matière de stockage du carbone dépende des facteurs environnementaux et socio-économiques de chaque région (Mutuo *et al.*, 2005 ; Luedeling et Neufeldt, 2012). En effet, la quantité totale de carbone stockée dépend grandement de la zone d'étude, du type de système agroforestier (nature des composants et âge des arbres), de la qualité du site et de l'utilisation antérieure des terres (Dimobe *et al.*, 2018c). Ainsi, au-delà de la biomasse accumulée en surface, les arbres agroforestiers contribuent à l'augmentation du carbone du sol (biomasse racinaire, litière et élagage), améliorant ainsi la qualité du sol dans les champs et réduisant son érosion (Albrecht et Kandji, 2003 ; Bayala *et al.*, 2006, 2020 ; Kuyah *et al.*, 2016).

Les parcs agroforestiers hétérospécifiques remplissent plusieurs fonctions, tant pour l'environnement que pour les besoins quotidiens des populations locales, y compris la génération de revenus (Mbow *et al.*, 2014b ; Binam *et al.*, 2015 ; Kuyah *et al.*, 2016 ; Dimobe *et al.*, 2018b). Des travaux antérieurs sur les différents parcs à karité au Bénin, Burkina Faso et Togo révèlent que ces derniers sont en dégradation continue du fait des facteurs climatiques, anthropogéniques et des pratiques culturelles non adaptées (Gnangle *et al.*, 2012 ; Kaboré *et al.*, 2012 ; Aleza *et al.*, 2015 ; Ouoba *et al.*, 2020). Cela s'explique par une absence de politique de valorisation de ces parcs et de mise en œuvre de stratégies de conservation efficiente de la diver-

sité spécifique, y compris pour l'espèce dominante de ces systèmes qu'est le karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.). Les résultats de cette dégradation font des parcs à karité, à long terme, des sources potentielles d'émission de gaz à effet de serre alors qu'ils devraient normalement constituer des zones de séquestration du carbone, à l'image des zones semi-arides où sont localisés ces systèmes (Poulter *et al.*, 2014 ; Ahlström *et al.*, 2015). Face à cette situation, il est donc nécessaire de développer des stratégies de conservation et de gestion des ressources forestières basées sur des données de leur capacité actuelle de séquestration de carbone.

Vitellaria paradoxa C.F. Gaertn. (Sapotaceae) est une espèce agroforestière (associée à des cultures vivrières) que l'on retrouve dans la zone soudanienne de l'Afrique de l'Ouest (Fischer *et al.*, 2011 ; Dimobe *et al.*, 2020). Préservés dans les systèmes agraires où ils bénéficient des labours et de la protection contre le feu, les arbres deviennent plus vigoureux et plus productifs que les sujets des formations naturelles (Kaboré *et al.*, 2012) (photo 1). *Vitellaria paradoxa* fait partie des espèces végétales autochtones les plus utilisées au Burkina Faso, à cause de son beurre qui est très recherché, car il occupe une place importante dans la vie des populations rurales et dans l'économie de nombreux pays (Sanou *et al.*, 2004 ; Pouliot, 2012). Il s'agit d'une espèce à usages multiples, présente dans la plupart des exploitations agricoles du Burkina Faso, où elle est plantée, ou entretenue via la régénération naturelle assistée par les populations locales. Elle est également présente dans la végétation quasi naturelle, sous forme d'arbres dispersés (Fischer *et al.*, 2011).

Le potentiel de *V. paradoxa* pour la séquestration du carbone est élevé (Sanogo *et al.*, 2016, 2021 ; Dimobe *et al.*, 2018a). Cependant, aucune étude n'a évalué de façon spécifique le potentiel de séquestration du carbone des parcs à *V. paradoxa* au Burkina Faso, même si des informations existent pour des pays voisins (Sanogo *et al.*, 2016, 2021). Les études existantes sur l'espèce pour ce pays se sont focalisées sur la dynamique du karité dans les systèmes agraires (Kaboré *et al.*, 2012), les connaissances et perceptions des producteurs sur la gestion des parcs à *V. paradoxa* (Ouoba *et al.*, 2018), la régénération assistée du karité dans les parcs agroforestiers (Ouoba *et al.*, 2020), et sa productivité fruitière dans les parcs agroforestiers traditionnels (Lamien *et al.*, 2004 ; Bayala *et al.*, 2008). Il est donc essentiel d'évaluer le potentiel du stock de carbone de l'espèce dans les systèmes agroforestiers des petits exploitants dans ce pays. Cette étude vise à évaluer le potentiel de l'agroforesterie basée sur le karité pour la séquestration du carbone et autres services écosystémiques au Burkina Faso.

Matériels et méthodes

Milieu d'étude

Les principaux parcs agroforestiers à karité ont été identifiés à l'issue d'une enquête exploratoire dans trois secteurs phytogéographiques du Burkina Faso (Fontès et Guinko, 1995) : le sub-sahel, le nord-soudanien et le sud-soudanien (figure 1). Les sites d'étude ont été sélectionnés suivant la distribution phytogéographique de l'espèce ainsi que l'abondance de ses individus adultes. Les caractéristiques climatiques et écologiques des secteurs phytogéographiques et des sites concernés par l'étude sont décrites dans le tableau I.

Échantillonnage et collecte des données

Une enquête auprès des ménages a été réalisée entre avril et mai 2021 dans les trois secteurs phytogéographiques (figure 1). La sélection des sites d'étude dans ces secteurs a été effectuée à dessein en raison de la prédominance des individus de *V. paradoxa* dans les parcs agroforestiers. Les

agriculteurs ont été sélectionnés au hasard pour l'entretien à partir de la liste obtenue auprès des chefs communautaires. Au total 129 agriculteurs (40 dans le sub-sahel, 46 dans le nord-soudanien et 43 dans le sud-soudanien) ont été interviewés, pour une marge d'erreur de 6 %, selon la formule de Dagnelie (1998), ce qui est acceptable en statistique. Les ménages sélectionnés ont été interrogés à l'aide de questionnaires d'enquête structurés afin d'obtenir des informations pertinentes pour les objectifs de l'étude. Ces derniers ont exprimé leur consentement libre et éclairé à participer à l'étude. Cependant, avant les entretiens, une pré-enquête a été menée auprès de 10 agriculteurs pour évaluer le questionnaire et, sur la base de ces réponses, quelques modifications mineures y ont été apportées avant de mener l'enquête proprement dite.

À l'issue des enquêtes et de la phase exploratoire, les parcs à karité ont été choisis aléatoirement pour l'installation des placeaux. Au total 84 champs à raison de 28 champs par secteur dont la taille varie entre 2 500 et 28 500 m² ont été retenus. La taille de chaque champ a été déterminée en faisant le tour du champ avec un appareil GPS (*Global Positioning System*) portatif. Les principales données collectées à l'intérieur de chaque champ sont

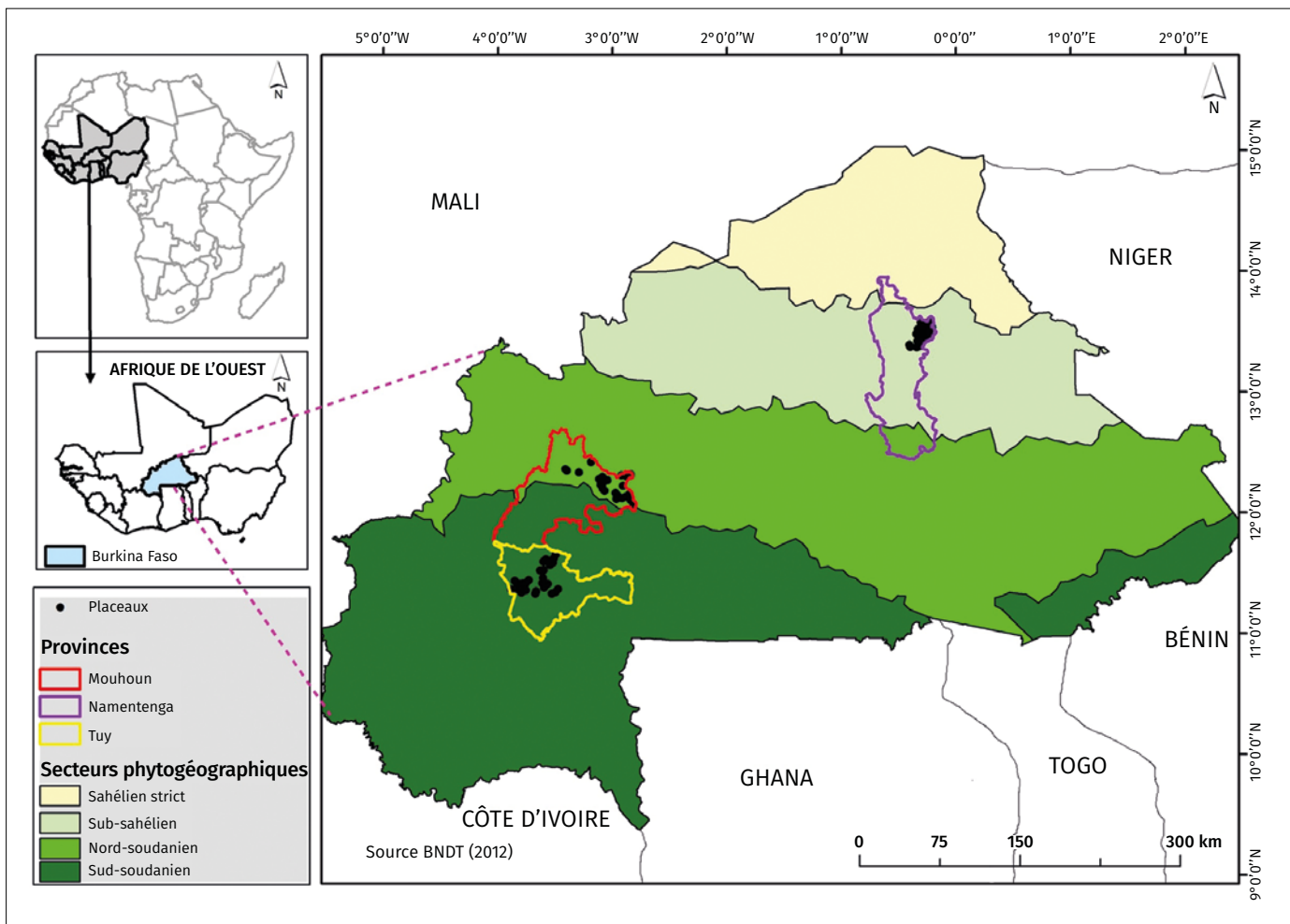


Figure 1. Cartes de localisation des sites d'étude au Burkina Faso et des placeaux installés.
Maps showing the location of the study sites in Burkina Faso and the plots installed.

de deux ordres. D'abord, tous les individus de *V. paradoxa* ayant un diamètre à hauteur de poitrine (DBH) ≥ 5 cm ont été identifiés et leurs DBH à 1,30 m du sol ainsi que leurs hauteurs totales ont été mesurés. La hauteur totale de l'arbre a été mesurée de sa base à la pointe à l'aide d'un clinomètre tandis que le DBH l'a été à l'aide d'un ruban pi. Pour les individus présentant des ramifications en dessous de 1,30 m du sol, chaque ramification a été mesurée à 1,30 m du sol puis la moyenne quadratique de ces mesures a été calculée. Les méthodes décrites par Dietz et Kuyah (2011) ont été utilisées pour maintenir la cohérence dans l'obtention des mesures de diamètre et de hauteur des arbres irréguliers dans les paysages agricoles. Ensuite, pour éviter les biais

et tenir compte de la diversité biologique, le diamètre du houppier a été mesuré deux fois, dans la direction est-ouest et dans la direction nord-sud (Meyer *et al.*, 2014). Les coordonnées géographiques des placeaux d'inventaire ont été enregistrées à l'aide du GPS.

Traitement et analyse des données

L'analyse des données a été assurée à trois niveaux : les paramètres dendrométriques dont la densité, le diamètre moyen, la surface terrière et la hauteur moyenne (tableau II) ; le calcul de la biomasse et du stock de carbone ; l'influence du gradient phytogéographique sur le stock de

Tableau I.

Caractéristiques climatiques et écologiques des secteurs phytogéographiques concernés par l'étude de la séquestration du carbone du karité (*Vitellaria paradoxa*) au Burkina Faso.
Climatic and ecological characteristics of the phytogeographical sectors considered in the study of carbon sequestration in shea (Vitellaria paradoxa) in Burkina Faso.

Secteurs	Pluviométrie moyenne (mm)	Température moyenne (°C)	Type de végétation	Espèces caractéristiques
Sub-sahel	798,17	30,52	Cordons ripicoles, steppes arbustives et arborées	<i>Mitragyna inermis</i> , <i>Diospyros mespiliformis</i> , <i>Lansea microcarpa</i> , <i>Vachellia seyal</i> , <i>Boswellia dalzielii</i>
Nord-soudanien	875,90	29,43	Forêts-galeries et savanes (boisées, arborées et arbustives)	<i>Pterocarpus santalinoides</i> , <i>Mitragyna inermis</i> , <i>Vitellaria paradoxa</i> , <i>Anogeisus leiocarpa</i>
Sud-soudanien	1 144,55	28,15	Forêts-galeries, forêts claires et savanes (boisées, arborées et arbustives)	<i>Berlinia grandiflora</i> , <i>Khaya senegalensis</i> , <i>Elaeis guineensis</i> , <i>Ixora brachypoda</i> , <i>Isobertinia doka</i> , <i>Vitellaria paradoxa</i> , <i>Anogeisus leiocarpa</i> , <i>Cola cordifolia</i>

Source des données climatiques : Direction générale de l'aviation civile et de la météorologie (période : 2013-2016).

Tableau II.

Description des paramètres dendrométriques calculés.
Description of the dendrometric parameters calculated.

Paramètres (unité)	Formule	Interprétation
Densité (individus/ha)	$N = \frac{n}{s}$	Nombre moyen d'arbres par hectare ; n étant le nombre total d'individus et s la taille du placeau en ha.
Diamètre moyen (cm)	$Dm = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2}$	Diamètre quadratique moyen en centimètre ; n étant le nombre total d'individus du placeau et d_i le DBH de l'individu i .
Surface terrière (m ² /ha)	$G_o = \frac{\pi}{4000s} \sum_{i=1}^n d_i^2$	Somme des sections transversales des individus adultes.
Hauteur moyenne de Lorey (m)	$H_L = \frac{\sum_{i=1}^n g_i h_i}{\sum_{i=1}^n g_i}$ Avec $g_i = \frac{\pi}{4} d_i^2$	Hauteur moyenne des individus adultes d'un placeau pondérée par leur surface terrière qui représente la hauteur de la canopée ; g_i est la surface terrière ; h_i est la hauteur totale de l'individu i .

DBH : diamètre à hauteur de poitrine.

carbone. Le diamètre moyen est le diamètre quadratique moyen qui représente le diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne. La hauteur moyenne est la hauteur de Lorey, soit la hauteur pondérée par la surface terrière. La biomasse et le stock de carbone ont été calculés pour tous les individus de *V. paradoxa* inventoriés dans les parcs. Le diamètre des tiges a été converti en surface de section transversale à hauteur de poitrine pour obtenir la surface terrière des arbres (Torres et Lovett, 2013). Ces évaluations ont été conduites suivant les secteurs phytogéographiques.

Les données ont été passées au crible pour les nettoyer, identifier les valeurs aberrantes et tester leur normalité. Des statistiques descriptives (moyennes et erreurs standards, SE) pour les variables dendrométriques, la biomasse et le stock de carbone ont été calculées pour tous les arbres inventoriés (*i.e.* tous les individus de *V. paradoxa*).

Les équations allométriques développées par Dimobe *et al.* (2018a) ont été utilisées pour estimer la biomasse aérienne (AGB) des arbres (individus de *V. paradoxa*) de l'inventaire. La biomasse souterraine (BS) a été calculée comme une fraction (25 %) de la biomasse aérienne (Taki-moto *et al.*, 2008). La biomasse totale (BT) a été obtenue comme la somme de la biomasse aérienne et souterraine. Le stock de carbone a été calculé en multipliant la somme de la BT par une fraction de carbone de 0,5 (Smith *et al.*, 2014) selon la formule suivante :

$$\text{Carbone} = \text{BT} * 0,5$$

La quantité de CO₂ séquestrée dans la biomasse aérienne a été estimée en multipliant le poids du carbone dans les arbres par le rapport entre le CO₂ et le C (44/12 = 3,67). Pour évaluer l'influence du gradient phytogéographique et des paramètres structurels (densité et surface terrière) sur le carbone, trois classes de diamètre ont été considérées : la classe de diamètre de petite taille (DBH < 20 cm), de taille moyenne (20 ≤ DBH ≤ 40 cm) et de grande taille (DBH > 40 cm). Ces classes ont été définies

en tenant compte de la variation de diamètre des arbres de la zone d'étude. Des régressions linéaires multiples ont été utilisées pour évaluer comment le carbone stocké par le peuplement de karité est influencé par les variables structurelles (densité et surface terrière) dans les trois classes de diamètre. En outre, nous avons calculé les variables structurelles à l'échelle du plateau pour chaque classe de taille, c'est-à-dire pour tous les arbres appartenant aux classes de diamètre < 20 cm, 20-40 cm et > 40 cm. Ainsi, un total de six variables structurelles quantitatives a été considéré pour chaque secteur phytogéographique dans les analyses ultérieures, à savoir la densité des arbres pour les classes de petite, moyenne et grande taille, et la surface terrière pour les classes de petite, moyenne et grande taille. Les valeurs moyennes des paramètres dendrométriques ont été calculées pour chaque secteur phytogéographique considérée. Une analyse de variance (ANOVA) a été appliquée sur les valeurs log-normalisées de ces moyennes afin de tester l'effet du secteur phytogéographique sur les paramètres dendrométriques des parcs agroforestiers. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R version 4.0.2.

Résultats

Diversité floristique, usages et services écosystémiques de *Vitellaria paradoxa*

Les résultats ont révélé une diversité limitée d'espèces ligneuses (arbres et arbustes) dans les parcs agroforestiers étudiés. Au total, 45 espèces ligneuses réparties en 38 genres et 20 familles ont été recensées dans les parcs agroforestiers à karité. Les espèces compagnes de *V. paradoxa* au sein des différents secteurs phytogéographiques sont principalement *Anacardium occidentale* L. [cult.], *Anogeissus leiocarpa* (DC.) Guill. & Perr, *Faidherbia albida* (Delile)

Tableau III.

Caractéristiques des parcs agroforestiers à karité (*Vitellaria paradoxa*) en fonction des secteurs phytogéographiques du Burkina Faso.

Characteristics of shea (Vitellaria paradoxa) agroforestry parks according to the phytogeographical sectors of Burkina Faso.

Secteurs	Les six principales espèces dominantes	Familles les plus représentées
Sub-sahel	<i>Anacardium occidentale</i> L. [cult.] (8,61 %), <i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) R. Br. ex G. Don (8,28 %), <i>Azadirachta indica</i> A. Juss. [cult.] (6,95 %), <i>Daniellia oliveri</i> (Rolfé) Hutch. & Dalziel (5,63 %), <i>Lannea microcarpa</i> Engl. & K. Krause (1,70 %), <i>Sterculia setigera</i> Delile (1,65 %)	Anacardiaceae (10,26 %), Fabaceae-Mimosoidae (9,27 %), Meliaceae (7,95 %), Fabaceae-Caesalpinziaceae (7,61 %), Combretaceae (1,98 %)
Nord-soudanien	<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) R. Br. ex G. Don (14,54 %), <i>Faidherbia albida</i> (Delile) A. Chev. (3,52 %), <i>Azadirachta indica</i> A. Juss. [cult.] (2,64 %), <i>Terminalia laxiflora</i> Engl. & Diels (2,64 %), <i>Detarium microcarpum</i> Guill. & Perr. (2,20 %), <i>Piliostigma thonningii</i> (Schumach.) Milne-Redh. (2,20 %)	Fabaceae-Mimosoidae (18,06 %), Fabaceae-Caesalpinziaceae (11,89 %), Anacardiaceae (3,52 %), Combretaceae (2,64 %), Meliaceae (2,64 %)
Sud-soudanien	<i>Khaya senegalensis</i> (Desr.) A. Juss. (4,80 %), <i>Lannea microcarpa</i> Engl. & K. Krause (4,43 %), <i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) R. Br. ex G. Don (3,70 %), <i>Diospyros mespiliformis</i> Hochst. ex A. DC. (3,32 %), <i>Azadirachta indica</i> A. Juss. [cult.] (2,21 %), <i>Anogeissus leiocarpa</i> (DC.) Guill. & Perr. (0,73 %)	Meliaceae (7,01 %), Fabaceae-Mimosoidae (4,79 %), Anacardiaceae (4,42 %), Ebenaceae (3,32 %), Combretaceae (1,48 %)

A. Chev., *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss., *Lannea microcarpa* Engl. & K. Krause et *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G. Don (tableau III). Les familles les plus représentées sont les Anacardiaceae (10,26 % dans le sub-sahélien, 3,52 % dans le nord-soudanien et 4,42 % dans le sud-soudanien), les Fabaceae-Mimosoideae (9,27 % dans le sub-sahélien, 18,06 % dans le nord-soudanien et 4,79 % dans le sud-soudanien), les Fabaceae-Caesalpinioideae (9,27 % dans le sub-sahélien et 11,89 % dans le nord-soudanien) et les Meliaceae (7,95 % dans le sub-sahélien, 2,64 % dans le nord-soudanien et 7,01 % dans le sud-soudanien) (tableau III).

Plus de 89 % des personnes enquêtées ont déclaré que *V. paradoxa* est l'espèce la plus abondante dans leurs exploitations, suivie de *P. biglobosa* (39 %), *L. acida* (12 %), *Detarium microcarpum* (9 %) et *Anogeisus leiocarpa* (7 %). Les autres espèces ligneuses mentionnées occasionnellement sont *Mangifera indica*, *Saba senegalensis*, *Crossopteryx febrifuga*, *Vachellia macrostachya*, *Pterocarpus erinaceus*, *Bombax costatum* et *K. senegalensis*.

La majorité des agriculteurs interrogés (76,9 %) pratique l'agrosylviculture ou l'intégration d'arbres fruitiers ou forestiers dans les cultures agricoles, tandis que 20,7 % d'entre eux pratiquent l'agrosylvopastoralisme ou l'inté-

gration des arbres forestiers dans les cultures agricoles et l'élevage. Dans les exploitations étudiées, les arbres étaient principalement dispersés (73,6 %). Les agriculteurs ont énuméré dix principaux usages de *V. paradoxa* (figure 2). L'alimentation, la pharmacopée, l'amélioration de la fertilité du sol, l'utilisation dans le contrôle de l'érosion du sol, l'utilisation comme bois de feu et le fourrage sont les principales raisons qui poussent les agriculteurs à conserver les individus de l'espèce dans leurs champs (figure 2).

Paramètres dendrométriques des individus de *Vitellaria paradoxa* pour l'estimation de la biomasse

Un total de 801 individus (soit 227 dans le sub-sahel, 272 dans le nord-soudanien et 302 dans le sud-soudanien) a été mesuré sur une surface de 104,5 ha couvrant 84 parcs à *V. paradoxa*. Les statistiques descriptives des variables de l'inventaire sont résumées dans le tableau IV. Le nombre de *V. paradoxa* par parc variait de 5 à 31 tandis que la densité des arbres était comprise entre 32 et 45 individus/ha. Dans l'ensemble du paysage, le diamètre moyen des arbres inventoriés variait entre 24,89 et 37,23 cm, tandis que la hauteur moyenne des arbres était comprise entre

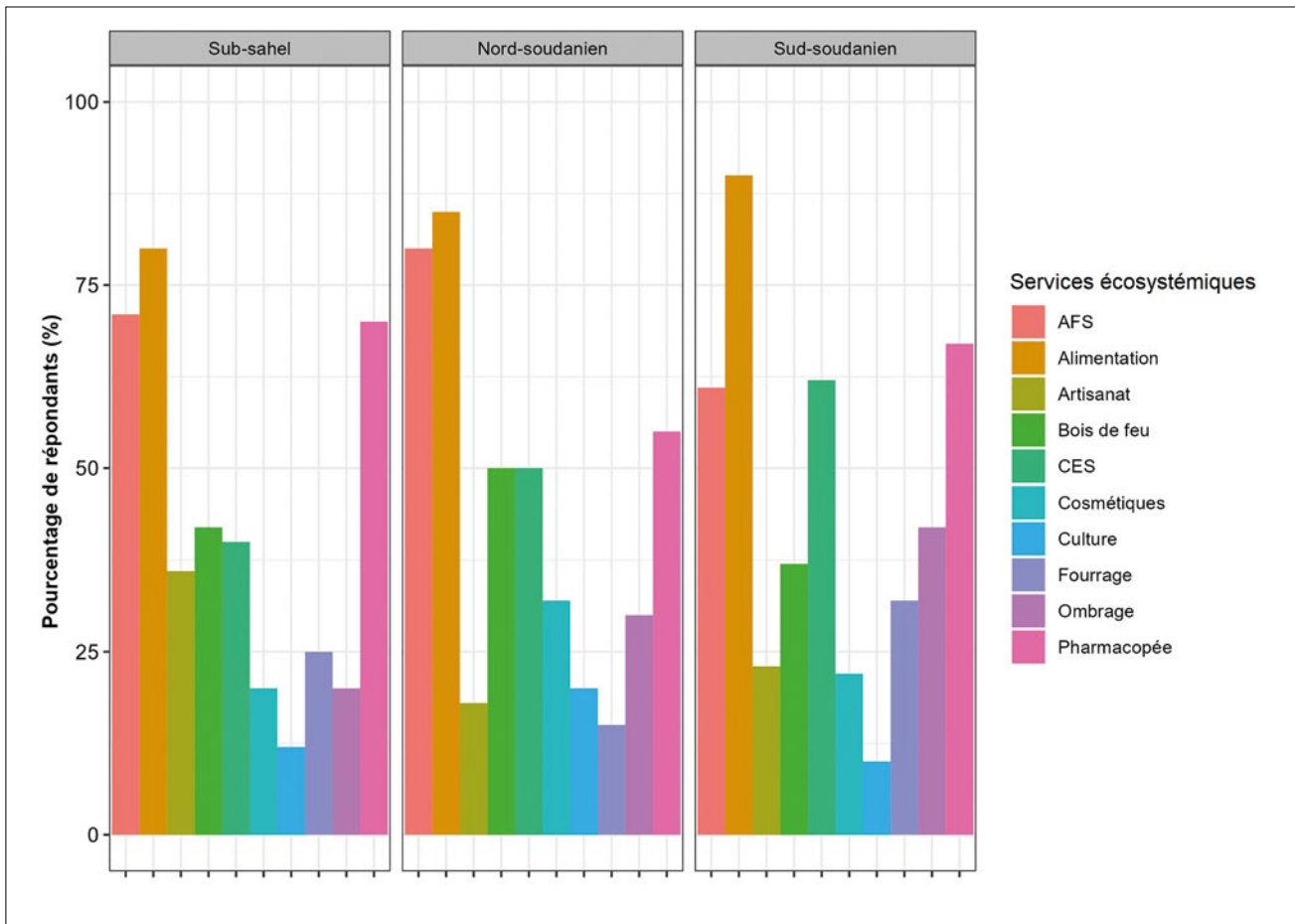


Figure 2.

Quelques services écosystémiques fournis par *Vitellaria paradoxa* dans les trois secteurs phytogéographiques du Burkina Faso. AFS : amélioration de la fertilité du sol ; CES : contrôle de l'érosion du sol.

Some ecosystem services provided by *Vitellaria paradoxa* in the three phytogeographical sectors of Burkina Faso. AFS: Improvement of soil fertility; CES: Soil erosion control.

Tableau IV.

Moyenne et erreur-type des paramètres dendrométriques des individus de *Vitellaria paradoxa* en fonction des secteurs phytogéographiques du Burkina Faso.

Mean and standard error of the dendrometric parameters of individuals of Vitellaria paradoxa according to the phytogeographical sectors of Burkina Faso.

Paramètres	Sub-sahel	Nord-soudanien	Sud-soudanien
Densité (individus/ha)	32,43 ± 5,14a	44,74 ± 7,16a	38,71 ± 5,16a
Hauteur moyenne (m)	7,93 ± 0,22a	6,91 ± 0,26b	8,58 ± 0,27a
Diamètre moyen (cm)	31,90 ± 1,37b	24,89 ± 0,91c	37,23 ± 1,94a
Surface terrière (m²/ha)	0,45 ± 0,04b	0,27 ± 0,02b	0,76 ± 0,108a
AGB (Mg/ha)	18,42 ± 2,29b	15,52 ± 2,28b	42,80 ± 13,9a
BGB (Mg/ha)	4,61 ± 0,57a	3,88 ± 0,57a	10,69 ± 3,48a

Sur la même ligne, les moyennes avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %. AGB : biomasse aérienne ; BGB : biomasse souterraine.

6,91 et 8,58 m. Lorsque les secteurs ont été comparés, le sud-soudanien présentait des arbres significativement plus gros (37,23 ± 1,94 cm) et plus grands (8,58 ± 0,27 m) par rapport aux deux autres zones (p < 0,001). Cependant, une densité d'arbres plus élevée mais selon une différence non significative a été trouvée dans le nord-soudanien (44,74 ± 7,16 individus/ha). La surface terrière variait selon les secteurs phytogéographiques, allant de 0,27 à 0,76 m²/ha. La biomasse aérienne des individus de *V. paradoxa* présents dans les parcs variait entre 15,52 et 42,8 Mg/ha (soit une moyenne de 25,69 Mg/ha ou 12,85 Mg de carbone (C) par hectare). En revanche, la biomasse souterraine de ces individus variait de 3,88 à 10,69 Mg/ha, avec une moyenne de 6,42 Mg/ha, soit environ 3,21 Mg C/ha.

La biomasse totale (aérienne et souterraine) des parcs agroforestiers à karité a été estimée à 15,53 Mg/ha (soit un stock de carbone de 7,76 Mg C/ha ou 28,49 Mg CO₂ eq/ha), 23,03 Mg/ha (soit un stock de carbone de 11,51 Mg C/ha ou 42,25 Mg CO₂ eq/ha), 49,58 Mg/ha (soit un stock de carbone de 24,79 Mg C/ha ou 90,97 Mg CO₂ eq/ha) dans le sub-sahel, nord-soudanien et sud-soudanien, respectivement. En outre, nous avons trouvé des effets significatifs de l'interaction entre les paramètres structurels par secteur phytogéographique (p < 0,001 ; tableau V). Les résultats suggèrent que le stock de carbone de *V. paradoxa*, selon les secteurs phytogéographiques, dépend des différents attributs structurels (la densité des arbres, la surface terrière et

Tableau V.

Résultats des analyses de régressions linéaires multiples intégrées par classe de diamètre des effets des attributs structurels sur le carbone de *Vitellaria paradoxa* dans les trois secteurs phytogéographiques du Burkina Faso.

Results of integrated multiple linear regression analyses by diameter class of the effects of structural attributes on the carbon of Vitellaria paradoxa in the three phytogeographical sectors of Burkina Faso.

Paramètres structurels	Sub-sahel			Nord-soudanien			Sud-soudanien		
	Est	t	P	Est	t	P	Est	t	P
Intercept	8,48	7,12	< 0,001	10,86	7,49	< 0,001	6,65	9,31	< 0,001
Densité des arbres dans la petite classe de diamètre (< 20 cm)	- 0,53	- 1,80	0,095	- 0,98	- 4,42	0,0069	- 0,04	- 0,24	0,81629
Surface terrière dans la petite classe de diamètre (< 20 cm)	1,59	5,31	0,061	2,16	10,64	< 0,001	1,07	7,06	0,101
Intercept	7,24	8,63	< 0,001	13,03	3,94	0,002	7,10	15,15	< 0,001
Densité des arbres dans la moyenne classe de diamètre (20-40 cm)	- 0,23	- 0,78	0,444	- 1,39	- 2,51	0,026	- 0,17	- 1,01	0,33
Surface terrière dans la moyenne classe de diamètre (20-40 cm)	1,33	5,11	< 0,001	2,44	4,44	0,0731	1,11	6,85	< 0,001
Intercept	7,33	11,94	< 0,001	11,00	10,14	< 0,001	7,34	18,50	< 0,001
Densité des arbres dans la grande classe de diamètre (> 40 cm)	- 0,28	- 0,78	0,429	- 1,13	- 5,63	< 0,001	- 0,34	- 1,56	0,014
Surface terrière dans la grande classe de diamètre (> 40 cm)	1,39	4,65	< 0,001	2,03	10,08	< 0,001	1,22	7,32	< 0,001

Est : estimation ; t : valeur du test ; P : valeur de la probabilité.

les classes de diamètre) du peuplement. Seule la densité de gros arbres importe pour le stock de carbone dans les secteurs nord- et sud-soudanien ($p < 0,05$; tableau V). Comme attendu, pour les trois secteurs phytogéographiques, la densité des arbres était significativement plus élevée dans les classes de petite et moyenne taille que dans la classe de grande taille (figure 3). La zone sub-sahélienne a présenté la plus faible densité (par rapport aux zones nord-soudanienne et sud-soudanienne) dans la classe de petite taille, mais a recouvert des valeurs significativement élevées pour ce paramètre dans les classes de moyenne et grande taille (figure 3). Comme on s’y attendait également, pour les trois secteurs phytogéographiques, les classes de taille moyenne ($20 \text{ cm} \leq \text{DBH} \leq 40 \text{ cm}$) et grande ($\text{DBH} > 40 \text{ cm}$) présentent les valeurs les plus élevées de surface terrière et de carbone. Les modèles d’interaction entre les secteurs phytogéographiques et les classes de taille observés pour la surface terrière et le carbone étaient similaires à ceux de la densité des arbres : la zone sub-sahélienne présentait significativement la surface terrière et le carbone les plus faibles dans la classe des petites tailles par rapport aux secteurs nord-soudanien et sud-soudanien, mais des valeurs significativement plus élevées dans les classes des moyennes et grandes tailles (figure 3, tableau V).

Discussion

Le karité (*V. paradoxa*) est une espèce très appréciée pour la matière grasse tirée de ses amandes et est citée parmi les ligneux les plus préservés dans les parcs agroforestiers des zones semi-arides de l’Afrique subsaharienne du Sénégal à l’Ouganda (Lovett et Haq, 2000). Kaboré *et al.* (2012) rapportent qu’elle est l’espèce préférée des paysans de la zone soudanienne du Burkina Faso du fait de l’importance des ressources financières générées par la vente de ses amandes. Dans la présente étude, nous avons investigué l’importance des parcs agroforestiers à karité dans le stockage du carbone et autres services écosystémiques. Les résultats ont montré que la plupart des agriculteurs citent l’alimentation comme la principale raison de protéger l’espèce dans les parcs agroforestiers au Burkina Faso. Des études antérieures ont abouti à des conclusions similaires sur l’importance socio-économique de cette espèce en Afrique de l’Ouest (Lamien *et al.*, 2004 ; Pouliot, 2012 ; Bondé, 2019). Les travaux de Dimobe *et al.* (2018c) au centre-sud du Burkina Faso ont révélé que les femmes apprécient beaucoup les noix de *V. paradoxa* pour leur forte teneur en

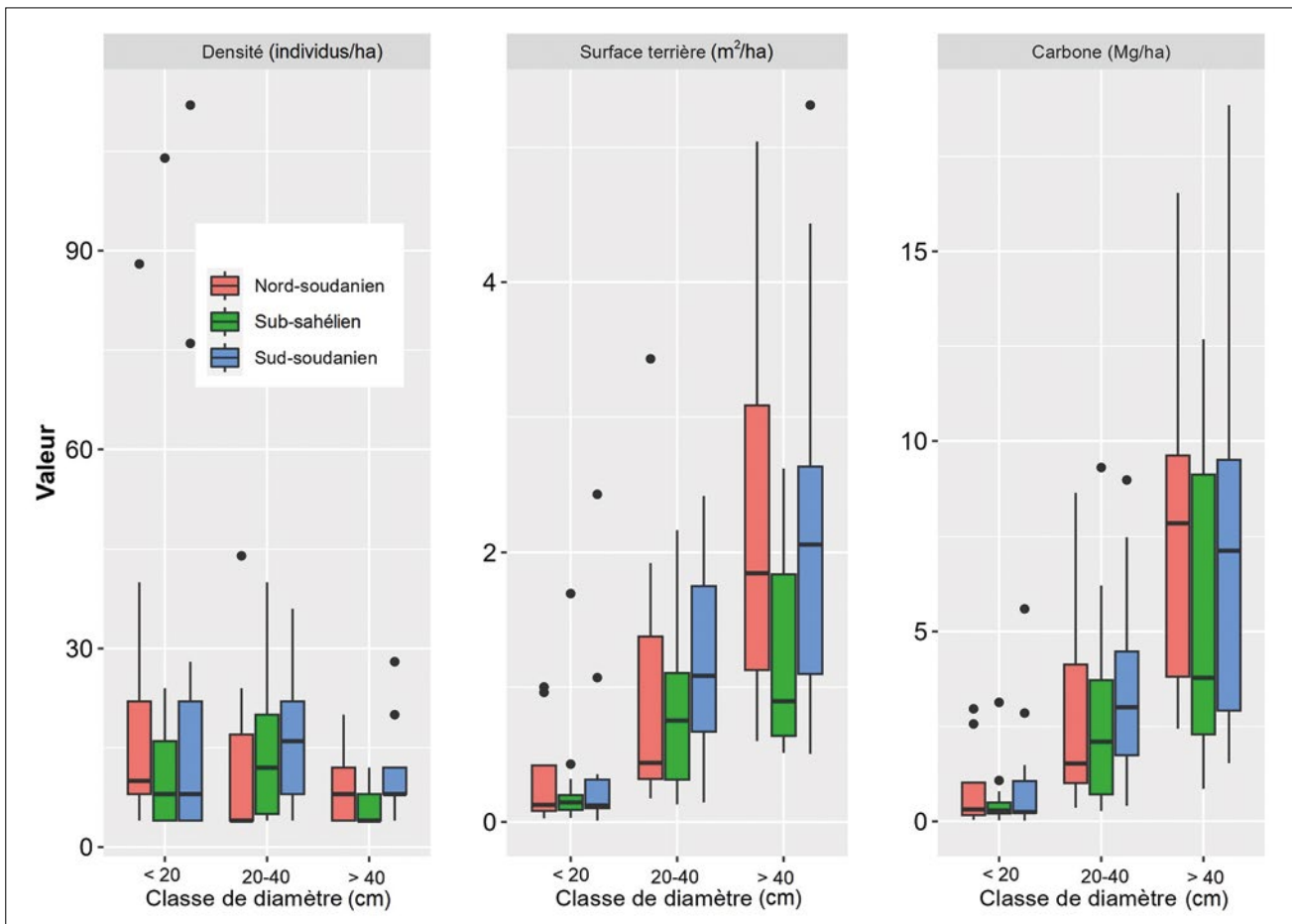


Figure 3.

Variation de la densité, de la surface terrière et du carbone de *Vitellaria paradoxa* entre les classes de diamètre et les secteurs phytogéographiques au Burkina Faso.

Variation in density, basal area and carbon of *Vitellaria paradoxa* between diameter classes and phytogeographical sectors in Burkina Faso.

huile. L'enregistrement de « pharmacopée » (96 %) comme fonction ou service supplémentaire indique que les agriculteurs connaissent les arbres pour leurs propriétés nutritionnelles et sanitaires (Kinda *et al.*, 2017 ; Ojo *et al.*, 2021). La dépendance des agriculteurs à l'égard de médicaments à base de plantes plus accessibles et plus abordables pour les soins de santé illustre bien les défis majeurs que représentent les soins de santé au Burkina Faso (Nicolas, 2018 ; Zizka *et al.*, 2015). Les agriculteurs reconnaissent également les individus de *V. paradoxa* pour les bénéfices environnementaux tels que le contrôle de l'érosion des sols, l'ombrage et l'amélioration de leur fertilité (Bayala *et al.*, 2014).

Les individus de *V. paradoxa* améliorent la fertilité des sols de plusieurs façons. Tout d'abord, les feuilles et les fruits tombés de l'arbre fournissent une source importante de matière organique qui est décomposée par les micro-organismes du sol, ce qui contribue à augmenter la teneur en matière organique du sol (MOS). En outre, les racines fines se décomposent afin de permettre leur renouvellement au cours des cycles phénologiques synchronisés des feuilles et racines fines (Bazié *et al.*, 2019). Cette décomposition contribue à augmenter la MOS et les autres éléments nutritifs. Enfin, les racines de l'espèce peuvent contribuer à l'amélioration de l'agrégation du sol en créant des canaux pour l'infiltration de l'eau et en favorisant la formation de micro-agrégats (Bargués-Tobella *et al.*, 2020). Cette agrégation accrue peut améliorer la porosité et la perméabilité du sol, ce qui favorise la croissance des plantes et la circulation de l'air et de l'eau dans le sol (Bargués Tobella *et al.*, 2014 ; Ilstedt *et al.*, 2016). Ces services écosystémiques sont liés au désir des agriculteurs d'accroître le rendement des cultures via l'amélioration de la fertilité des sols (Ndoli *et al.*, 2017), la régulation du climat et le contrôle de l'érosion des sols (van Noordwijk *et al.*, 2014 ; Kuyah *et al.*, 2019a). La domestication d'espèces indigènes comme le karité est l'un des moyens d'augmenter l'approvisionnement en biens et services qui ne peuvent plus être obtenus à l'état sauvage (Ræbild *et al.*, 2011 ; Boffa, 2015 ; Leakey *et al.*, 2022).

Les résultats révèlent également que la biomasse totale de *V. paradoxa* dans les parcs agroforestiers varie en fonction de la taille (DBH) des arbres. Il a été observé que la classe de diamètre > 40 cm présentait la plus grande proportion de la quantité de carbone dans les trois secteurs phytogéographiques. Ces résultats peuvent s'expliquer par la surface terrière plus importante dans cette classe de diamètre (figure 3). Ces résultats corroborent des travaux antérieurs, qui ont montré que le stock de carbone des espèces ligneuses est intimement lié au DBH et à la densité des arbres (Chabi *et al.*, 2016 ; Dimobe *et al.*, 2018b). Ils sont aussi conformes à la théorie de l'échelle métabolique qui prédit que le taux de croissance de la masse d'un arbre devrait augmenter de façon continue avec la taille et l'âge de l'arbre (Enquist *et al.*, 1999). Cependant, le maintien des individus de *V. paradoxa* jusqu'à un âge avancé dans les parcs agroforestiers pourrait ne pas être une tâche facile compte tenu de la pression des agriculteurs sur les arbres pour satisfaire leurs besoins en produits arboricoles tels que le bois de chauffe pour la cuisine et le bois de construction (Mononen et Pitkänen, 2016 ; Gaisberger *et al.*, 2017). Par

conséquent, l'attention doit être portée à l'amélioration des connaissances des agriculteurs sur les pratiques de gestion des arbres agroforestiers afin d'améliorer la croissance des arbres et la productivité de la biomasse. De plus, *V. paradoxa* étant l'espèce agroforestière la plus abondante dans la zone d'étude, il est nécessaire de diversifier les espèces ligneuses afin de réduire la pression des agriculteurs sur les individus de *V. paradoxa* et de les maintenir à long terme dans les champs. Le potentiel de ces parcs à stocker le carbone est un bon signe et une opportunité pour la mise en œuvre de l'initiative REDD+, car l'un des objectifs de cette dernière est de promouvoir la gestion durable des terres et la conservation du carbone sur le long terme, et par là de répondre également aux contributions déterminées au niveau national (CDN) (Arevalo, 2016 ; Tanyi *et al.*, 2018).

Les résultats sur le potentiel de stockage de carbone des parcs agroforestiers indiquent que les individus de *V. paradoxa* stockent une quantité substantielle de carbone dans leur biomasse aérienne (12,85 Mg C/ha). Cette quantité de carbone se situe dans la fourchette de stock de carbone de 7 à 28 Mg C/ha rapportée pour les systèmes agroforestiers de l'Afrique subsaharienne (Cyamweshi *et al.*, 2021). Cependant, ces valeurs demeurent inférieures à celles relevées dans le système agroforestier de l'Afrique tropicale humide (29 à 53 Mg C/ha) (Albrecht et Kandji, 2003) et dans les systèmes agroforestiers traditionnels des tropiques (145 Mg C/ha) (Kirby et Potvin, 2007). En évaluant les stocks de carbone de divers systèmes agroforestiers, Takimoto *et al.* (2008) ont trouvé des stocks de carbone aérien allant de 0,7 à 54,0 Mg C/ha et un stock de carbone total (carbone aérien et carbone du sol) de 28,7 à 87,3 Mg C/ha. Les stocks de carbone obtenus par simulation selon 19 scénarios climatiques dans les terres productives sahéliennes seraient d'environ 1,284 Tg contre 725 Tg dans un scénario sans arbres, selon Luedeling et Neufeldt (2012). Les résultats de l'étude ont mis en évidence une estimation de la quantité de carbone souterrain dans les parcs agroforestiers, qui s'élève à 3,21 Mg C/ha. Cette valeur est inférieure à la fourchette de stock de carbone observée dans les systèmes agroforestiers en Afrique subsaharienne, qui varie de 5,7 à 70,8 Mg C/ha (Mbow *et al.*, 2014a). Une différence qui peut s'expliquer par le fait d'avoir considéré seulement les individus du karité et non ceux de toutes les espèces. Plusieurs autres facteurs tels que le climat, le type de sol, les pratiques de gestion peuvent aussi être à l'origine des différences observées. Toutefois, ces résultats sont importants car ils démontrent le potentiel des systèmes agroforestiers comme puits de carbone et soulignent la nécessité de poursuivre les recherches afin de mieux comprendre le rôle du carbone souterrain dans le stockage du carbone dans ces systèmes.

Les relations entre le stock de carbone et les attributs structurels (densité et surface terrière) ont révélé des modèles et des contrastes importants entre les classes de diamètre et les secteurs phytogéographiques. Dans l'ensemble des secteurs phytogéographiques, nous avons constaté que la densité (surtout pour les arbres de moyen et gros diamètre) et la surface terrière des individus de grande taille (DBH > 40 cm) ont positivement et de façon

significative influencé le stock de carbone. Des tendances similaires ont été observées dans la classe de diamètre moyenne (*i. e.* 20-40 cm), mais dans le sub-sahel et le sud-soudanien uniquement, tandis que les attributs structurels des arbres de petite taille (DBH < 20 cm) n'ont pas influencé le stock de carbone dans l'ensemble des trois secteurs phytogéographiques. Ces résultats reflètent les effets plus importants des arbres de grande taille (c'est-à-dire DBH > 40 cm et $20 \leq \text{DBH} \leq 40$ cm) sur le stock de carbone, qui peuvent découler des effets de dominance (c'est-à-dire des contraintes concurrentielles), suggérant ainsi que l'effet de sélection est un mécanisme opérant dans ces parcs agroforestiers (Van Pelt *et al.*, 2016).

Parmi les trois secteurs phytogéographiques, le sud-soudanien se caractérise par une densité supérieure en arbres de grande taille ($8,58 \pm 0,27$ m) et de diamètre élevé ($37,23 \pm 1,94$ cm) par rapport aux secteurs sub-sahélien et nord-soudanien. Cette particularité se traduit par une surface terrière et un stock de carbone plus élevés. Inversement, les secteurs sub-sahélien et nord-soudanien présentaient des stocks de carbone plus importants dans la classe des petites tailles que le secteur sud-soudanien. Ces résultats suggèrent que l'accumulation de biomasse dans les classes de diamètre varie selon les secteurs phytogéographiques (Mensah *et al.*, 2020). Deux raisons principales pourraient expliquer les effets différentiels observés de la classe de taille sur le stock de carbone entre les secteurs phytogéographiques : la disponibilité des ressources et le mode de croissance de l'espèce. D'une part, le stock de carbone plus élevé et la plus grande densité d'arbres associée dans les classes de taille supérieure dans le secteur sud-soudanien peuvent être attribués aux meilleures conditions climatiques de croissance des plantes, par exemple à une plus grande disponibilité en eau et en nutriments. En revanche, le stock de carbone plus élevé dans la petite classe de diamètre dans les secteurs sub-sahélien et nord-soudanien, par rapport à la même classe dans le sud-soudanien, résulte probablement de la plus grande abondance d'individus de petit diamètre. De surcroît, les conditions climatiques défavorables de sécheresse et de faible humidité du sol dans les secteurs sub-sahélien et nord-soudanien peuvent limiter la prévalence des arbres de grande taille et favoriser les arbres de petite taille. En effet, les arbres de grande taille seraient plus sensibles à la mortalité due à la sécheresse que les arbres de petite taille (Bennett *et al.*, 2015).

Conclusion

La présente étude a examiné le potentiel de séquestration du carbone et autres services écosystémiques de *Vitellaria paradoxa*, le karité, dans les parcs agroforestiers suivant trois secteurs phytogéographiques (sub-sahélien, nord-soudanien, sud-soudanien) au Burkina Faso. Les principaux résultats montrent que les systèmes agroforestiers étudiés emmagasinent une quantité importante de carbone, soit 7,76 Mg C/ha, 11,51 Mg C/ha, 24,79 Mg C/ha dans le sub-sahélien, nord-soudanien et sud-soudanien, respectivement. Ils confirment l'énorme potentiel des

parcs à karité dans le stockage du carbone. Les résultats montrent également l'influence significative des secteurs phytogéographiques sur les paramètres dendrométriques et le carbone. En outre, l'espèce est utilisée dans divers domaines et fournit des services précieux (alimentation, bois d'œuvre, contrôle de l'érosion du sol et amélioration de la fertilité du sol) tant pour l'amélioration des moyens de subsistance que pour des avantages environnementaux. Les politiques de développement agricole doivent s'intéresser à la valorisation des produits de ce fruitier agroforestier autochtone afin de motiver les communautés locales dans les stratégies de conservation de cette espèce pourvoyeuse de revenu additionnel pour les ménages. L'espèce figure également sur la liste rouge des espèces menacées comme étant vulnérables, selon l'UICN. Une étude approfondie sur le développement de programmes d'amélioration s'avère indispensable pour mieux conserver l'espèce.

Remerciements

Nous remercions DAAD climapAfrica (No. 91785431) et AGNES (African-German Network of Excellence in Science) pour les financements pour la recherche accordés à K. Dimobe. Nous exprimons également notre gratitude à la population locale de la zone d'étude pour sa collaboration.

Financement

Ce travail a bénéficié d'un appui financier de DAAD climapAfrica (No. 91785431) et de l'African-German Network of Excellence in Science (AGNES).

Accès aux données

Les données utilisées dans cet article sont disponibles dans l'entrepôt numérique privé de ZENODO via le lien Internet suivant: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8097867>. Veuillez informer et citer les auteurs, et référez-vous à cet article lorsque vous utilisez ces données.

Références

- Ahlström A., Raupach M. R., Schurgers G, Smith B., Arneth A., *et al.*, 2015. The dominant role of semi-arid ecosystems in the trend and variability of the land CO₂ sink. *Science*, 348: 895-899. <https://doi.org/10.1126/science.aaa1668>
- Albrecht A., Kandji S. T., 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 99: 15-27. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00138-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00138-5)
- Aleza K., Wala K., Bayala J., Villamor G. B., Dourma M., *et al.*, 2015. Population structure and regeneration status of *Vitellaria Paradoxa* (C. F. Gaertner) under different land management regimes in Atacora department, Benin. *Agroforestry Systems*, 89: 511-523. <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9787-9>
- Arevalo J., 2016. Improving woodfuel governance in Burkina Faso: The experts' assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57: 1398-1408. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.178>

- Bargués-Tobella A., Hasselquist N. J., Bazié H. R., Bayala J., Laudon H., *et al.*, 2020. Trees in African drylands can promote deep soil and groundwater recharge in a future climate with more intense rainfall. *Land Degradation & Development*, 31: 81-95. <https://doi.org/10.1002/ldr.3430>
- Bargués Tobella A., Reese H., Almaw A., Bayala J., Malmer A., *et al.*, 2014. The effect of trees on preferential flow and soil infiltration in an agroforestry parkland in semiarid Burkina Faso. *Water Resource Research*, 50: 3342-3354. <https://doi.org/10.1002/2013WR015197>
- Bayala J., Balesdent J., Marol C., Zapata F., Teklehaimanot Z., *et al.*, 2006. Relative contribution of trees and crops to soil carbon content in a parkland system in Burkina Faso using variations in natural ¹³C abundance. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 76: 193-201. <https://doi.org/10.1007/s10705-005-1547-1>
- Bayala J., Ouedraogo S. J., Teklehaimanot Z., 2008. Rejuvenating indigenous trees in agroforestry parkland systems for better fruit production using crown pruning. *Agroforestry Systems*, 72: 187-194. <https://doi.org/10.1007/s10457-007-9099-9>
- Bayala J., Sanou J., Teklehaimanot Z., Kalinganire A., Ouédraogo S. J., 2014. Parklands for buffering climate risk and sustaining agricultural production in the Sahel of West Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6: 28-34. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.10.004>
- Bayala J., Sanou J., Bazié H. R., Coe R., Kalinganire A., *et al.*, 2020. Regenerated trees in farmers' fields increase soil carbon across the Sahel. *Agroforestry Systems*, 94: 401-415. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00403-6>
- Bazié P., Ky-Dembele C., Jourdan C., Rounsard O., Zombre G., *et al.*, 2019. Synchrony in the phenologies of fine roots and leaves of *Vitellaria paradoxa* in different land uses of Burkina Faso. *Agroforestry Systems*, 93: 449-460. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0135-0>
- Bennett A. C., McDowell N. G., Allen C. D., Anderson-Teixeira K. J., 2015. Larger trees suffer most during drought in forests worldwide. *Nature Plants*, 1: 15139. <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.139>
- Binam J. N., Place F., Kalinganire A., Hamade S., Boureima M., *et al.*, 2015. Effects of farmer managed natural regeneration on livelihoods in semi-arid West Africa. *Environmental Economics and Policy Studies*, 17: 543-575. <https://doi.org/10.1007/s10018-015-0107-4>
- Blaser W. J., Oppong J., Hart S. P., Landolt J., Yeboah E., *et al.*, 2018. Climate-smart sustainable agriculture in low-to-intermediate shade agroforests. *Nature Sustainability*, 1: 234-239. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0062-8>
- Boffa J.-M., 1999. *Agroforestry parklands in sub-Saharan Africa*. Rome, Italy, FAO. <https://www.fao.org/3/x3940e/x3940E00.htm#TOC>
- Boffa J.-M., 2015. Opportunities and challenges in the improvement of the shea (*Vitellaria paradoxa*) resource and its management. Nairobi, Kenya, World Agroforestry Centre, 76 p. <https://apps.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/B17800.pdf>
- Bondé L., 2019. Distribution, production fruitière et potentiel socio-économique de *Tamarindus indica* L. et de *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn. au Burkina Faso. Thèse de doctorat, Université Joseph Ki-Zerbo, Burkina Faso, 182 p.
- Bonkougou E. G., 2004. L'arbre à karité (*Vitellaria paradoxa*) et les parcs à karité en Afrique. In : Atelier international sur le traitement, la valorisation et le commerce du karité en Afrique. FAO et CFC, 54-63. <https://www.fao.org/publications/card/fr/c/8dce81da-8d95-580d-b9f8-2c50a5bdb8ee>
- Bonkougou E. G., Ayuk E. T., Depommier D., Morant P., Ouadba J. M., 1994. Les parcs agroforestiers des zones semi-arides d'Afrique de l'Ouest : conclusions et recommandations. Symposium international sur les parcs agroforestiers, Ouagadougou, Burkina Faso, 25-27 octobre 1993. Nairobi, ICRAF, 226 p. <https://agritrop.cirad.fr/325919/>
- Cerda R., Deheuvels O., Calvache D., Niehaus L., Saenz Y., *et al.*, 2014. Contribution of cocoa agroforestry systems to family income and domestic consumption: looking toward intensification. *Agroforestry Systems*, 88: 957-981. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9691-8>
- Chabi A., Lautenbach S., Orekan V. O. A., Kyei-Baffour N., 2016. Allometric models and aboveground biomass stocks of a West African Sudan Savannah watershed in Benin. *Carbon Balance and Management*, 11: 16. <https://doi.org/10.1186/s13021-016-0058-5>
- Cyamweshi A. R., Kuyah S., Mukuralinda A., Muthuri C. W., 2021. Potential of *Alnus acuminata* based agroforestry for carbon sequestration and other ecosystem services in Rwanda. *Agroforestry Systems*, 95: 1125-1135. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-021-00619-5>
- Dagnelie P., 1998. *Statistique théorique et appliquée*. De Boeck Université, 516 p.
- Dietz J., Kuyah S., 2011. Guidelines for establishing regional allometric equations for biomass estimation through destructive sampling. Nairobi, Kenya, World Agroforestry Center (ICRAF).
- Dimobe K., Goetze D., Ouédraogo A., Mensah S., Akpagana K., *et al.*, 2018a. Aboveground biomass allometric equations and carbon content of the shea butter tree (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn., Sapotaceae) components in Sudanian savannas (West Africa). *Agroforestry Systems*, 93: 1119-1132. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0213-y>
- Dimobe K., Tondoh J. E., Weber J. C., Bayala J., Ouédraogo K., *et al.*, 2018b. Farmers' preferred tree species and their potential carbon stocks in southern Burkina Faso: Implications for biocarbon initiatives. *PLoS One*, 13: 1-21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199488>
- Dimobe K., Kouakou J., Tondoh J., Zoungrana B., Forkuor G., *et al.*, 2018c. Predicting the Potential Impact of Climate Change on Carbon Stock in Semi-Arid West African Savannas. *Land*, 7: 124. <https://www.mdpi.com/2073-445X/7/4/124#>
- Dimobe K., Ouédraogo A., Ouédraogo K., Goetze D., Stein K., *et al.*, 2020. Climate change reduces the distribution area of the shea tree (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.) in Burkina Faso. *Journal of Arid Environments*, 181: 104237. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104237>

- Enquist B. J., West G. B., Charnov E. L., Brown J. H., 1999. Allometric scaling of production and life-history variation in vascular plants. *Nature*, 401: 907-911. <https://doi.org/10.1038/44819>
- Fischer C., Kleinn C., Fehrmann L., Fuchs H., Panferov O., 2011. A national level forest resource assessment for Burkina Faso – A field based forest inventory in a semiarid environment combining small sample size with large observation plots. *Forest Ecology and Management*, 262: 1532-1540. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.07.001>
- Gaisberger H., Kindt R., Loo J., Schmidt M., Bognounou F., et al., 2017. Spatially explicit multi-threat assessment of food tree species in Burkina Faso: A fine-scale approach. *PLoS One*, 12: e0184457. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184457>
- Gnangle P. C., Egah J., Baco M. N., Gbemavo C. D. S. J., Kakaï R. G., et al., 2012. Perceptions locales du changement climatique et mesures d'adaptation dans la gestion des parcs à karité au Nord-Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6: 136-149. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v6i1.13>
- Ilstedt U., Bargués Tobella A., Bazié H. R., Bayala J., Verbeeten E., et al., 2016. Intermediate tree cover can maximize groundwater recharge in the seasonally dry tropics. *Scientific Reports*, 6: 21930. <https://doi.org/10.1038/srep21930>
- Kaboré S. A., Bastide B., Traoré S., Boussim J. I., 2012. Dynamique du karité, *Vitellaria paradoxa*, dans les systèmes agraires du Burkina Faso. *Bois et Forêts des Tropiques*, 313 : 47-59. <https://doi.org/10.19182/bft2012.313.a20496>
- Kelly B. A., Gourlet-Fleury S., Bouvet J.-M., 2007. Impact of agroforestry practices on the flowering phenology of *Vitellaria paradoxa* in parklands in southern Mali. *Agroforestry Systems* 71: 67-75. <https://doi.org/10.1007/s10457-007-9074-5>
- Kim D.-G., Kirschbaum M. U. F., Beedy T. L., 2016. Carbon sequestration and net emissions of CH₄ and N₂O under agroforestry: Synthesizing available data and suggestions for future studies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 226: 65-78. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.04.011>
- Kinda P. T., Zerbo P., Guenné S., Compaoré M., Ciobica A., et al., 2017. Medicinal plants used for neuropsychiatric disorders treatment in the Hauts Bassins region of Burkina Faso. *Medicines*, 4: 32. <https://doi.org/10.3390/medicines4020032>
- Kirby K. R., Potvin C., 2007. Variation in carbon storage among tree species: implications for the management of a small-scale carbon sink project. *Forest Ecology and Management*, 246: 208-221. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.072>
- Kuyah S., Öborn I., Jonsson M., Dahlin A. S., Barrios E., et al., 2016. Trees in agricultural landscapes enhance provision of ecosystem services in Sub-Saharan Africa. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 12: 255-273. <https://doi.org/10.1080/21513732.2016.1214178>
- Kuyah S., Whitney C. W., Jonsson M., Sileshi G. W., Öborn I., et al., 2019a. Agroforestry delivers a win-win solution for ecosystem services in sub-Saharan Africa. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39: 47. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0589-8>
- Kuyah S., Sileshi G. W., Luedeling E., Akinnifesi F. K., Whitney C. W., et al., 2019b. Potential of agroforestry to enhance livelihood security in Africa. In: Dagar J. C., Gupta S. R., Teketay D. (eds). *Agroforestry for Degraded Landscapes*. Springer, 135-167. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-4136-0_4
- Lamien N., Ouédraogo S. J., Diallo O. B., Guinko S., 2004. Productivité fruitière du karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn. C.F., Sapotaceae) dans les parcs agroforestiers traditionnels au Burkina Faso. *Fruits*, 59 : 423-429. <https://revues.cirad.fr/index.php/fruits/article/view/35862>
- Leakey R. R. B., Tientcheu Avana M.-L., Awazi N. P., Assogbadjo A. E., Mabhaudhi T., et al., 2022. The Future of Food: Domestication and Commercialization of Indigenous Food Crops in Africa over the Third Decade (2012-2021). *Sustainability*, 14: 2355. <https://doi.org/10.3390/su14042355>
- Lovett P. N., Haq N., 2000. Evidence for anthropic selection of the Sheanut tree (*Vitellaria paradoxa*). *Agroforestry Systems*, 48: 273-288. <https://doi.org/10.1023/A:1006379217851>
- Luedeling E., Neufeldt H., 2012. Carbon sequestration potential of parkland agroforestry in the Sahel. *Climatic Change*, 115: 443-461. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0438-0>
- Mbow C., Smith P., Skole D., Duguma L., Bustamante M., 2014a. Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6: 8-14. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.09.002>
- Mbow C., Van Noordwijk M., Luedeling E., Neufeldt H., Minang P. A., Kowero G., 2014b. Agroforestry solutions to address food security and climate change challenges in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6: 61-67. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.10.014>
- Mensah S., Noulèkoun F., Ago E. E., 2020. Aboveground tree carbon stocks in West African semi-arid ecosystems: Dominance patterns, size class allocation and structural drivers. *Global Ecology and Conservation*, 24: e01331. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01331>
- Meyer T., D'Odorico P., Okin G. S., Shugart H. H., Caylor K. K., et al., 2014. An analysis of structure: biomass structure relationships for characteristic species of the western Kalahari, Botswana. *African Journal of Ecology*, 52: 20-29. <https://doi.org/10.1111/aje.12086>
- Mononen K., Pitkänen S., 2016. Sustainable fuelwood management in West Africa. University of Eastern Finland, 150 p. https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/sustainable-fuelwood-management-in-west-africa_4.pdf
- Mutuo P. K., Cadisch G., Albrecht A., Palm C. A., Verchot L., 2005. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 71: 43-54. <https://doi.org/10.1007/s10705-004-5285-6>
- Ndoli A., Baudron F., Schut A. G. T., Mukuralinda A., Giller K. E., 2017. Disentangling the positive and negative effects of trees on maize performance in smallholdings of Northern Rwanda. *Field Crops Research*, 213: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.07.020>

Nicolas J.-P., 2018. Plantes médicinales pour le soin de la famille au Burkina Faso. Quimper, France, Jardins du Monde, 268 p. <https://duddal.org/s/bibnum-promap/item/3885#c=0&m=0&s=0&cv=0>

Ojo O., Kengne M. H. K., Fotsing M. C., Mmutlane E. M., Ndinteh D. T., 2021. Traditional uses, phytochemistry, pharmacology and other potential applications of *Vitellaria paradoxa* Gaertn. (Sapotaceae): A review. Arabian Journal of Chemistry, 14: 103213. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103213>

Ouoba H. Y., Bastide B., Coulibaly-lingani P., Albert S., Issaka J., 2018. Connaissances et perceptions des producteurs sur la gestion des parcs à *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. (karité) au Burkina Faso. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 12: 2766-2783. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i6.23>

Ouoba Y. H., Bastide B., Coulibaly-Lingani P., Kaboré S. A., Yaméogo-Gaméné S. C., et al., 2020. Régénération assistée du karité (*Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn.) dans les parcs agroforestiers au Burkina Faso. European Scientific Journal, 16 (40) : 23-48. <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n40p23>

Pouliot M., 2012. Contribution of “Women’s Gold” to West African Livelihoods: The Case of Shea (*Vitellaria paradoxa*) in Burkina Faso. Economic Botany, 66: 237-248. <https://doi.org/10.1007/s12231-012-9203-6>

Poulter B., Frank D., Ciais P., Myneni R.B., Andela N., et al., 2014. Contribution of semi-arid ecosystems to interannual variability of the global carbon cycle. Nature, 509: 600-603. <https://doi.org/10.1038/nature13376>

Ræbild A., Larsen A. S., Jensen J. S., Ouedraogo M., De Groot S., et al., 2011. Advances in domestication of indigenous fruit trees in the West African Sahel. New Forests, 41: 297-315. <https://doi.org/10.1007/s11056-010-9237-5>

Sanogo K., Gebrekirstos A., Bayala J., Villamor G. B., Kalinganire A., et al., 2016. Potential of dendrochronology in assessing carbon sequestration rates of *Vitellaria paradoxa* in southern Mali, West Africa. Dendrochronologia, 40: 26-35. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2016.05.004>

Sanogo K., Bayala J., Villamor G. B., Dodiomon S., van Noordwijk M., 2021. A non-destructive method for estimating woody biomass and carbon stocks of *Vitellaria paradoxa* in southern Mali, West Africa. Agroforestry Systems, 95: 135-150. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00578-3>

Sanou H., Kambou S., Teklehaimanot Z., Dembélé M., Yossi H., et al., 2004. Vegetative propagation of *Vitellaria paradoxa* by grafting. Agroforestry Systems, 60: 93-99. <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000009408.03728.46>

Takimoto A., Nair P. K. R., Nair V. D., 2008. Carbon stock and sequestration potential of traditional and improved agroforestry systems in the West African Sahel. Agriculture, Ecosystems & Environment, 125: 159-166. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2007.12.010>

Tanyi T. F., Etongo D., Abdoulaye R., 2018. Assessing the sustainability of fuelwood production and its potential impact on REDD+ in Burkina Faso. International Journal of Environment Studies, 75: 186-200. <https://doi.org/10.1080/0207233.2017.1386435>

van Noordwijk M., Bayala J., Hairiah K., Lusiana B., Muthuri C., et al., 2014. Agroforestry solutions for buffering climate variability and adapting to change. In: Fuhrer J., Gregory P. J. (eds). Climate change impact and adaptation in agricultural systems. Wallingford, UK, CABI International, 216-232. <https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=FseWBAAAQBA&oi=fnd&pg=PA216&ots=YEHBkEeSlU&sig=JQF1jHoleKa3V-Ti0cBsKLR816S0#v=onepage&q&f=false>

Van Pelt R., Sillett S. C., Kruse W. A., Freund J. A., Kramer R. D., 2016. Emergent crowns and light-use complementarity lead to global maximum biomass and leaf area in *Sequoia sempervirens* forests. Forest Ecology and Management, 375: 279-308. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.05.018>

Zizka A., Thiombiano A., Dressler S., Nacoulma B. M. I., Ouédraogo A., et al., 2015. Traditional plant use in Burkina Faso (West Africa): a national-scale analysis with focus on traditional medicine. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 11: 9. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-11-9>

Dimobe et al. – Contribution des auteurs

Rôle du contributeur	Noms des auteurs
Conceptualisation	K. Dimobe, J. Bayala
Gestion des données	K. Dimobe
Analyse formelle	K. Dimobe
Acquisition du financement	K. Dimobe
Enquête et investigation	K. Dimobe
Méthodologie	K. Dimobe
Gestion de projet	K. Dimobe
Ressources	K. Dimobe
Logiciels	K. Dimobe
Supervision	J. Bayala
Validation	K. Dimobe
Visualisation	K. Dimobe
Écriture – Préparation de l'ébauche originale	K. Dimobe
Écriture – Révision et édition	K. Dimobe, J. Bayala

Bois et Forêts des Tropiques - Revue scientifique du Cirad -
© Bois et Forêts des Tropiques © Cirad



Cirad - Campus international de Baillarguet,
34398 Montpellier Cedex 5, France
Contact : bft@cirad.fr - ISSN : L-0006-579X