

Densité optimale d'arbustes à conserver dans un agro-système du sud bassin arachidier du Sénégal

Baba Ansoumana CAMARA^{1,2}
Diaminatou SANOGO¹
Birane NGUER³
Mbaye Der YADE³
Marcel BADJI¹
Mouhamadou DIOP¹
Halimatou Sadyane BA¹
Ousmane NDIAYE⁴

¹ Institut Sénégalais
de Recherches Agricoles (ISRA)
BP 3120 Dakar
Sénégal

² Université Assane SECK
de Ziguinchor
Laboratoire d'Agroforesterie
et d'Écologie (LAFE)
BP 523, Ziguinchor
Sénégal

³ Université Cheikh Anta Diop
(UCAD/FST)
Laboratoire d'Écologie Végétale
et d'Écohydrologie
BP 5005 Dakar
Sénégal

⁴ Université Iba Der Thiam
de Thiès
École Nationale Supérieure
d'Agriculture
BP 967 Thiès
Sénégal

Auteur correspondant /
Corresponding author:
Baba Ansoumana CAMARA –
ansou1988@yahoo.fr

 **ORCID** : <https://orcid.org/0000-0001-9150-2046>



Photo 1.

Combretum glutinosum de 1 an en milieu contrôlé dans la commune de Ndiognick/région de Kaffrine.

1-year-old *Combretum glutinosum* in a controlled environment in the commune of Ndiognick/region of Kaffrine.

Photo B. A. Camara.

Doi : 10.19182/bft2024.361.a37017 – Droit d'auteur © 2024, Bois et Forêts des Tropiques – © Cirad – Date de soumission : 22 octobre 2022 ;
date d'acceptation : 8 juillet 2024 ; date de publication : 1^{er} novembre 2024.



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

Citer l'article / To cite the article

Camara B. A., Sanogo D., Nguer B., Yade M. D., Badji M., Diop M., Ba H. S., Ndiaye O., 2024. Densité optimale d'arbustes à conserver dans un agro-système du sud bassin arachidier du Sénégal. Bois et Forêts des Tropiques, 361 : 9-24. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2024.361.a-37017>

RÉSUMÉ

ABSTRACT

RESUMEN

Densité optimale d'arbustes à conserver dans un agro-système du sud bassin arachidier du Sénégal**Optimal density of shrubs to retain in an agro-system in the southern part of Senegal's groundnut basin****Densidad óptima de arbustos a conservar en un agrosistema del sur de la cuenca cacahuatera del Senegal**

La régénération naturelle assistée est un moyen pour réhabiliter des parcs agroforestiers dégradés. Cette étude vise à déterminer la densité optimale d'arbustes à conserver dans les champs de mil au sud du bassin arachidier du Sénégal. Un dispositif en blocs a été installé en milieu contrôlé et en milieu paysan. Les blocs étaient constitués de parcelles de 400 m² avec 3 niveaux de densités (0, 50 et 100 arbustes/ha) de *Combretum glutinosum* en milieu contrôlé et 4 niveaux de densités (0, 50, 75 et 100 arbustes/ha) de *Combretum glutinosum* et de *Piliostigma reticulatum* en milieu paysan. Le rendement du mil a été mesuré et des échantillons de sol ont été prélevés pour analyser leurs propriétés (C, N...). L'effet de la densité des arbustes sur le rendement des cultures dépend de leur taille. Cet effet est positif ou neutre pour des arbustes majoritairement de *C. glutinosum* de 1,3 à 3,4 m de hauteur et 0,6 à 2,6 m de diamètre de houppier ; neutre ou négatif pour des arbustes de *C. glutinosum* de 5,3 m de hauteur et 4,1 m de diamètre de houppier ; négatif pour des arbustes de *P. reticulatum* de 5,8 m de hauteur et 7 m de diamètre de houppier. Aucun effet significatif n'a été trouvé pour la densité des arbustes sur les teneurs en C organique et N total du sol quelle que soit l'espèce. Au cours des cinq premières années d'adoption de la régénération naturelle assistée, il est recommandé de conserver jusqu'à 100 arbustes de *C. glutinosum* ou de *P. reticulatum*/ha sans impacter négativement le rendement des cultures. Au-delà, il est recommandé, soit de réduire le houppier des arbustes, soit de réduire leur densité jusqu'à 50 à 40 arbustes/ha au fur et à mesure que leur taille augmente.

Assisted natural regeneration is a means of rehabilitating degraded agroforestry parks. The aim of this study was to determine the optimum density of shrubs to be retained in millet fields in the south of the Senegalese groundnut basin. A block system was set up in a controlled environment and a farming environment. The blocks consisted of 400 m² plots, with 3 density levels (0, 50, and 100 shrubs/ha) of *Combretum glutinosum* in the controlled environment and 4 density levels (0, 50, 75, and 100 shrubs/ha) of *C. glutinosum* and *Piliostigma reticulatum* in the farming environment. Millet yields were measured, and soil samples were taken to analyse their properties (C, N, etc.). The effect of shrub density on crop yield was found to depend on shrub size. The effect was positive or neutral for predominantly *C. glutinosum* shrubs 1.3 to 3.4 m in height and 0.6 to 2.6 m in crown diameter; neutral or negative for *C. glutinosum* shrubs 5.3 m in height and 4.1 m in crown diameter; negative for *P. reticulatum* shrubs 5.8 m in height and 7 m in crown diameter. No significant effect of shrub density on soil organic C and total N content was found, whatever the species. During the first five years of assisted natural regeneration, it is recommended that up to 100 *C. glutinosum* or *P. reticulatum* shrubs/ha may be retained without adversely affecting crop yields. Beyond that, it is recommended either to reduce the shrub crown or to reduce their density to 50 to 40 shrubs/ha as their size increases.

Keywords: agro-ecology, agro-forestry park, assisted natural regeneration, greening.

La regeneración natural asistida es un medio para rehabilitar parques agroforestales degradados. Este estudio tiene como objetivo determinar la densidad óptima de arbustos que conviene conservar en los campos de mijo del sur de la cuenca cacahuatera del Senegal. Se instaló un dispositivo en bloques en un medio controlado y en un medio rural. Los bloques estaban constituidos por parcelas de 400 m² con 3 niveles de densidades (0, 50 y 100 arbustos/ha) de *Combretum glutinosum* en medio controlado y 4 niveles de densidades (0, 50, 75 y 100 arbustos/ha) de *C. glutinosum* y de *Piliostigma reticulatum* en medio rural. Se midió el rendimiento del mijo y se tomaron muestras del suelo para analizar sus propiedades (C, N...). El efecto de la densidad de los arbustos en el rendimiento de los cultivos depende de su tamaño. Este impacto es positivo o neutro para los arbustos mayoritariamente de *C. glutinosum* de 1,3 a 3,4 m de altura y 0,6 a 2,6 m de diámetro de copa; neutro o negativo para los arbustos de *C. glutinosum* de 5,3 m de altura y 4,1 m de diámetro de copa, y negativo para los arbustos de *P. reticulatum* de 5,8 m de altura y 7 m de diámetro de copa. No se encontró ningún efecto significativo de la densidad de los arbustos en los contenidos de C orgánico y N total del suelo, independientemente de la especie. A lo largo de los cinco primeros años de aplicación de la regeneración natural asistida, se recomienda conservar hasta 100 arbustos de *C. glutinosum* o de *P. reticulatum* por hectárea sin que impacten negativamente en el rendimiento de los cultivos. Posteriormente, se recomienda, o bien reducir la copa de los arbustos, o bien reducir su densidad hasta 50 a 40 arbustos/ha a medida que aumentan de tamaño.

Mots-clés : agroécologie, parc agroforestier, régénération naturelle assistée, reverdissement.

Palabras clave: agroecología, parque agroforestal, regeneración natural asistida, reverdecimiento.

Introduction

Au Sahel, les parcs agroforestiers sont des systèmes intégrés d'utilisation des terres qui associent l'arbre aux cultures et à l'élevage. Des arbres sont choisis et épargnés lors des défrichements pour la mise en culture (Boffa, 2000 ; Diop *et al.*, 2005). En général, l'espèce dominante donne son nom au parc ; c'est le cas des parcs à *Faidherbia albida* (Delile) A.Chev., *Vitellaria paradoxa* C.F.Gaertn. et *Parkia biglobosa* (Jacq.) R.Br. ex G. Don, etc. Les parcs agroforestiers constituent des sources d'approvisionnement en produits forestiers ligneux et non ligneux. Ils constituent une source de revenus supplémentaires pour les communautés avec un potentiel économique considérable (Diatte *et al.*, 2020 ; Camara *et al.*, 2017). Les parcs agroforestiers contribuent à la préservation des sols et de leur fertilité, ainsi qu'à la régulation des bio-agresseurs et du cycle des nutriments (Seghieri, 2017). Malgré les services écosystémiques rendus, les parcs agroforestiers sont fortement dégradés ou en voie de disparition dans certaines zones à cause des coupes pour le bois, le fourrage, les prélèvements médicaux, les feux de brousse et l'avancée du front pionnier agricole (Lykke, 2000). Le bassin arachidier du Sénégal n'est pas en reste de cette dégradation qui s'est traduite par la régression de la population des espèces originelles des parcs (Touré, 2015 ; Diatte *et al.*, 2016 ; Tappan *et al.*, 2020). Parallèlement, on assiste à une augmentation de la densité de *Guiera senegalensis* J.F.Gmel et *Combretum glutinosum* Perr.ex DC (Combretaceae) et de *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst (Caesalpinaceae) grâce à leur résistance et à leur capacité rapide de régénération malgré les coupes fréquentes (Bakhom *et al.*, 2013 ; Charahabil *et al.*, 2013). La régénération naturelle assistée (RNA) de ces espèces résilientes constitue une alternative viable de réhabilitation du couvert végétal des parcs au Sahel et dans le bassin arachidier du Sénégal (Weston *et al.*, 2015 ; Chomba *et al.*, 2020 ; Sanogo *et al.*, 2020 ; Camara *et al.*, 2021). La RNA repose sur la protection et l'entretien de rejets et/ou de plantules d'espèces déjà en place et ne nécessite aucune pépinière ou plantation (Sanogo *et al.*, 2019a). En facilitant la régénération d'espèces à usages multiples, la RNA représente ainsi un moyen d'améliorer la subsistance des populations rurales. L'adoption de la RNA contribue également à atténuer le changement climatique tout en préservant la biodiversité à travers la protection et l'entretien d'arbustes de différentes espèces sélectionnées par les paysans dans les champs (Kibru *et al.*, 2020). Toutefois, la RNA de *G. senegalensis*, *C. glutinosum* et *P. reticulatum* reste faible dans le bassin arachidier du Sénégal pour plusieurs raisons : réduction de l'espace cultivable, gêne causée à la traction animale, absence de valeur d'usage dans l'alimentation humaine de ces espèces (Sanogo *et al.*, 2019a ; Camara *et al.*, 2021). Pourtant, plusieurs études ont démontré les effets positifs de ces espèces sur la fertilité, les propriétés physiques, le stockage du carbone du sol, la croissance et le rendement des cultures (Dossa *et al.*, 2012 ; Abasse *et al.*, 2013 ; Bright *et al.*, 2017 ; Camara *et al.*, 2017 ; Bogie *et al.*,

2018 ; Chapuis-Lardy *et al.*, 2019 ; Bayala *et al.*, 2022). Une augmentation de 25 à 46 % du carbone organique du sol, en particulier dans les sols sablonneux, a été constatée grâce à la régénération naturelle assistée des parcs à travers le Sahel (Bayala *et al.*, 2018 ; Bayala *et al.*, 2019). En milieu paysan, la densité des souches de *G. senegalensis*, *P. reticulatum* et *C. glutinosum* était respectivement de 240, 185 et 593 souches/ha (Lufafa *et al.*, 2008 ; Bakhom, 2012). Ces densités paraissent élevées puisque Binam *et al.* (2017) ont montré que l'impact des arbres sur le rendement des cultures devenait négatif au-delà de 40 arbres/ha. Peu de travaux ont étudié la densité d'arbustes de *G. senegalensis*, *P. reticulatum* et *C. glutinosum* à conserver dans les champs pour ne pas engendrer des effets dépressifs sur le rendement des cultures. L'objectif de cette étude est de déterminer la densité optimale d'arbustes à conserver dans les champs pour maximiser le rendement des cultures. Nous avons testé les 3 hypothèses suivantes :

- (i) une densité de RNA supérieure à 40 arbustes/ha conduit à partir d'une certaine taille à un effet dépressif sur le rendement des cultures ;
- (ii) plus les arbustes de *C. glutinosum* et *P. reticulatum* conservés en RNA sont grands (hauteur, diamètre du houppier), plus ils influencent négativement les cultures ;
- (iii) les arbustes de RNA conduisent à une augmentation du carbone (C) organique du sol quelle que soit l'espèce (*C. glutinosum*, *P. reticulatum*), et à une augmentation de l'azote total seulement pour *P. reticulatum* (Caesalpinaceae).

Matériel et méthodes

Zone d'étude

La présente étude a été menée dans les villages de Daga Birame, Ndimb Korky et Touba Niane situés dans la commune de Ndiognick/région de Kaffrine à 12°06' N de latitude et 15°33' O de longitude (figure 1). Le climat est de type soudano-sahélien caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle de 718 ± 194 mm entre 2010 et 2020 (figure 2) et une température moyenne annuelle de 26,4 °C (Source : Agence nationale de l'Aviation civile et de la Météorologie/ANACIM). La commune de Ndiognick dispose de deux types de sols que sont les sols ferrugineux tropicaux peu ou pas lessivés appelés localement sols « diors » et les sols ferrugineux tropicaux rouges appelés localement sols « deck-dior » (Sanogo *et al.*, 2019b).

Dispositif de recherche

L'étude a été conduite en milieu contrôlé et en milieu paysan. En milieu contrôlé, un dispositif en bloc complet randomisé avec trois répétitions a été mis en place dans un

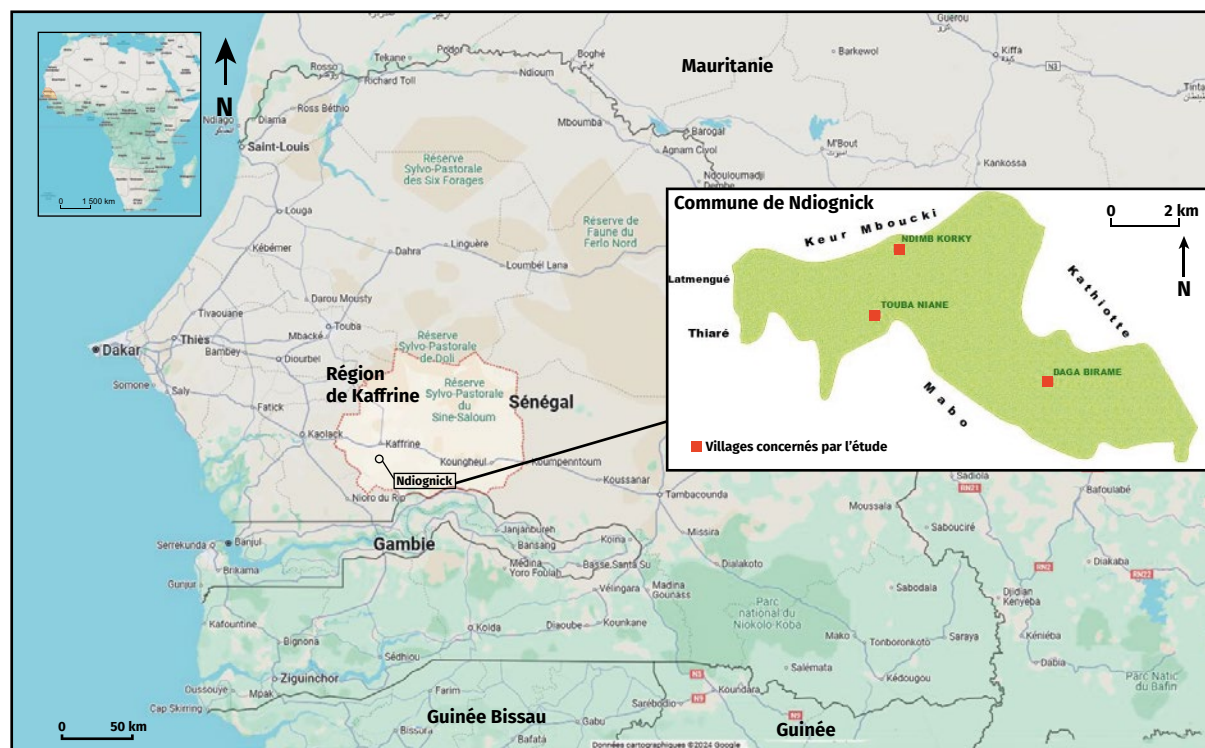


Figure 1.
Carte de localisation des villages de la zone d'étude.
Map showing the location of villages in the study area.

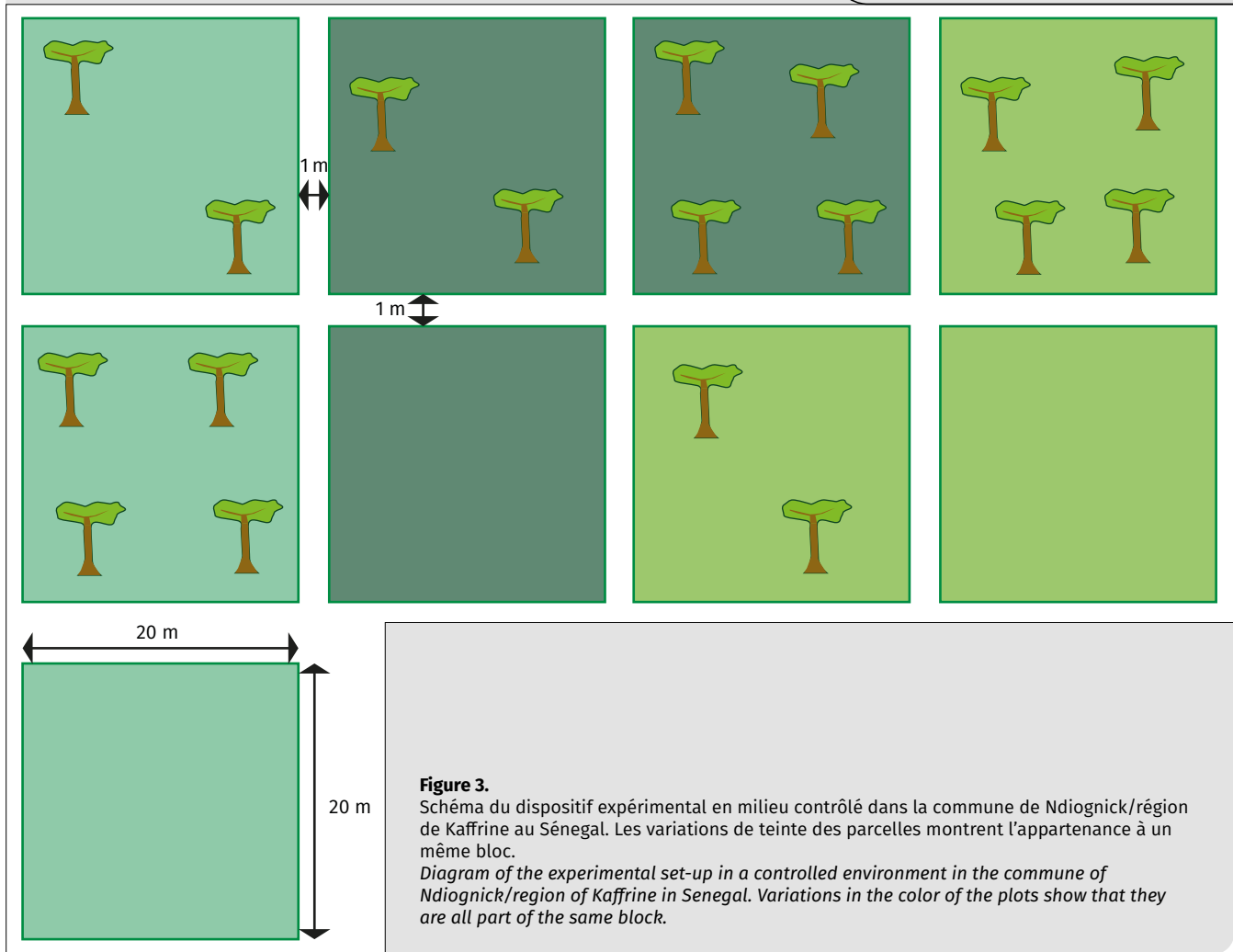
site permanent d'expérimentation agroforestière de 0,6 ha, qui a fait l'objet d'un nouveau défrichement en 2016 à Daga Birame (figure 3) et suivi pendant cinq ans (2016-2020). Chaque bloc est constitué de trois parcelles de 20 m x 20 m (400 m²) avec trois niveaux de densité (0, 50 et 100 arbustes/ha), soit respectivement 0, 2 et 4 arbustes/400 m². Les densités ont été choisies d'après la perception des paysans (Camara *et al.*, 2021) et nos observations sur le terrain. La 1^{ère} année (situation initiale), avant le défrichement, les

rejets avaient une hauteur de $1,3 \pm 0,1$ m, un diamètre à 30 cm du sol de $2,5 \pm 0,2$ cm et un diamètre du houppier de $0,6 \pm 0,1$ m avec une densité moyenne de 758 ± 189 souches/ha et une dominance de *C. glutinosum* (81,5 % des souches). La phytomasse aérienne issue de la coupe des rejets de chaque parcelle de 400 m² a été enfouie de manière homogène au sein de la parcelle. La quantité de matière sèche incorporée a été de 334 ± 66 kg/ha, 317 ± 21 kg/ha et 179 ± 59 kg/ha, respectivement, pour les parcelles témoins (0 arbustes/ha), celles de 50 arbustes/ha et celles de 100 arbustes/ha. La 5^{ème} année (situation finale), les rejets avaient une hauteur de $3,4 \pm 0,2$ m et un diamètre du houppier de $2,6 \pm 0,3$ m (tableau I).

En milieu paysan, un dispositif en blocs dispersés dans le champ selon la densité des arbustes avec trois répétitions a été installé en 2020 dans un parc à *C. glutinosum* dans le terroir de Touba Niane et dans un parc à *P. reticulatum* dans le terroir de Ndimb Korky (figure 4). Chaque bloc est constitué de quatre parcelles élémentaires de 400 m² avec quatre niveaux



Figure 2.
Cumul pluviométrique annuel de la région de Kaffrine de 2010 à 2020 (Source: ANACIM).
L'axe horizontal correspond à la pluviométrie moyenne annuelle de 2010 à 2020.
Cumulative annual rainfall in the Kaffrine region from 2010 to 2020 (Source: ANACIM).
The horizontal axis corresponds to average annual rainfall from 2010 to 2020.



de densité (0, 50, 75 et 100 arbustes/ha). Ces niveaux de densité correspondent respectivement à 0, 2, 3 et 4 arbustes/400 m². Les arbustes des parcs à *C. glutinosum* et à *P. reticulatum* avaient respectivement une hauteur de $5,3 \pm 0,1$ m et $5,8 \pm 0,2$ m et un diamètre du houppier de $4,1 \pm 0,2$ m et $7,0 \pm 0,2$ m (tableau II).

Finalement, la taille (hauteur, diamètre du houppier) des arbustes est de plus en plus grande quand on passe du milieu contrôlé à 1 an au milieu contrôlé à 5 ans, puis au parc à *C. glutinosum* et au parc à *P. reticulatum* en milieu paysan (tableaux I et II).

Tableau I.

Caractéristiques dendrométriques des arbres en milieu contrôlé dans la commune de Ndiognick/région de Kaffrine.
Dendrometrics characteristics of trees in a controlled environment in the commune of Ndiognick/region of Kaffrine.

Parcs	Hauteur (m)	Diamètre à 30 cm (cm)	Diamètre à 1,3 m (cm)	Houppier (m)
Année 1	$1,3 \pm 0,1$	$2,5 \pm 0,2$	–	$0,6 \pm 0,1$
Année 5	$3,4 \pm 0,2$	–	$4,7 \pm 0,4$	$2,6 \pm 0,3$

Les valeurs après ± indiquent les erreurs standards

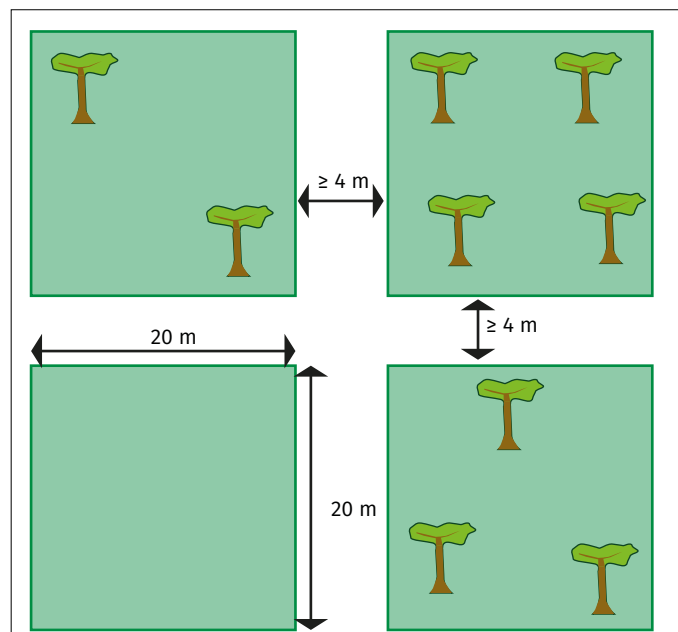


Figure 4.

Schéma d'un bloc expérimental en milieu paysan dans les parcs à *Combretum glutinosum* et *Piliostigma reticulatum* de 13 ans dans la commune de Ndiognick/région de Kaffrine au Sénégal.
Schematic diagram of an experimental block in a 13-year-old Combretum glutinosum and Piliostigma reticulatum park in the commune of Ndiognick/region of Kaffrine in Senegal.

Le mil a été semé en début d'hivernage à l'aide de semoirs à traction animale. L'espace entre les poquets était d'environ 90 cm x 50 cm. Aucun traitement phytosanitaire n'a été effectué. Le démariage du mil à trois plantules par poquet a été effectué 15 jours après le semis, puis suivi de l'application d'un engrais minéral (NPK 15-10-10) autour des poquets.

Rendement et ses composantes

En vue de la récolte, nous avons divisé chaque parcelle expérimentale de 20 m x 20 m (400 m²) en quatre sous-parcelles de 10 m x 10 m (100 m²). Chacune de ces sous-parcelles a été entièrement récoltée en mesurant/comptant les paramètres suivants : (i) la densité à la récolte, (ii) le nombre d'épis (fertiles et infertiles), (iii) le poids des épis fertiles et (iv) le poids de la biomasse aérienne sèche (tiges



Photo 2.
Combretum glutinosum de 5 ans en milieu contrôlé dans la commune de Ndiognick/région de Kaffrine au Sénégal.
 5-year-old *Combretum glutinosum* in a controlled environment in the commune of Ndiognick/region of Kaffrine in Senegal.
 Photo B. A. Camara.

Tableau II.

Caractéristiques dendrométriques des arbres en milieu paysan dans les parcs à *Combretum glutinosum* et *Piliostigma reticulatum* de 13 ans dans la commune de Ndiognick/région de Kaffrine au Sénégal.

Dendrometric characteristics of 13-year-old trees in Combretum glutinosum and Piliostigma reticulatum parks in the commune of Ndiognick/region of Kaffrine in Senegal.

Parcs	Hauteur (m)	Diamètre à 1,3 m (cm)	Houppier (m)
<i>Combretum glutinosum</i>	5,3 ± 0,1	15,9 ± 1,01	4,1 ± 0,2
<i>Piliostigma reticulatum</i>	5,8 ± 0,2	21,4 ± 1,02	7,0 ± 0,2

Les valeurs après ± indiquent les erreurs standards

et feuilles). La densité à la récolte a été obtenue en dénombrant le nombre de poquets à la période (octobre) de récolte dans le carré de rendement.

Le nombre d'épis fertiles et infertiles a été évalué en dénombrant le nombre d'épis ayant des grains et des épis sans grains à la période de récolte dans le carré de rendement. Les épis fertiles de chaque carré de rendement ont été pesés. Pour évaluer le rendement en grain de mil, un échantillon constitué de 1/3 du nombre total des épis fertiles de chaque sous-parcelle a été prélevé, égrainé et les grains obtenus ont été pesés. Ce protocole a été appliqué sur l'ensemble des parcelles. Le poids de la biomasse aérienne sèche (tiges et feuilles) a été obtenu en pesant la biomasse aérienne dans le carré de rendement. Un échantillon de cette biomasse fraîche (3,6 kg) a été prélevé et séché à l'étuve à 65 °C pendant 72 h pour en déterminer le poids de la matière sèche (1,24 kg). La formule suivante a permis de convertir la masse humide en masse sèche :

$$Mat = \left(\frac{Ma}{Mh} \right) * Mht \quad \text{équation 1 ;}$$

où *Mat* = Masse sèche totale ; *Ma* = Masse sèche de l'échantillon ; *Mh* = Masse fraîche de l'échantillon ; *Mht* = Masse fraîche totale.

Prélèvement de sol

Des échantillons composites de sol ont été prélevés au début de l'année 2016 et en fin d'expérimentation de l'année 2020 dans le dispositif en milieu contrôlé suivant la méthode des diagonales sur cinq points dans l'ensemble des parcelles de 400 m² à 0-30 cm correspondant à la couche arable du sol explorée par l'essentiel du système raci-

Tableau III.

Caractéristiques chimiques du sol en fonction de la densité d'arbustes en milieu contrôlé dans la commune de Ndiognick/région de Kaffrine en 2016 (situation de référence) et en 2020, 5 ans après.

Soil chemical characteristics as a function of shrub density in a controlled environment in the commune of Ndiognick/region of Kaffrine in 2016 (reference situation) and 2020, 5 years later.

Traitements	C organique (%)		N total (%)		pH	Pass (ppm)	CE (µs/cm)
	2016	2020	2016	2020		2020	
Témoin	0,47 ± 0,04	0,44 ± 0,03	0,045 ± 0,004	0,054 ± 0,004	5,74 ± 0,22	2,42 ± 0,28	45,4 ± 17,5
50 arbustes/ha	0,52 ± 0,02	0,57 ± 0,05	0,057 ± 0,002	0,053 ± 0,005	6,18 ± 0,11	1,98 ± 0,19	20,3 ± 1,7
100 arbustes/ha	0,53 ± 0,09	0,54 ± 0,12	0,057 ± 0,015	0,056 ± 0,008	5,77 ± 0,14	3,13 ± 0,61	20,6 ± 1,1
P-value	0,45		0,67		0,12	0,13	0,43

Les valeurs après ± indiquent les erreurs standards. C : carbone organique ; N : azote total ; pH : potentiel hydrogène ; P_{ass} : phosphore assimilable ; CE : conductivité électrique.

naire des cultures annuelles. C'est le cas du mil dont 81 % de la masse racinaire totale se trouvent à cette profondeur (Chopart et Nicou, 1971, cités par Badiane, 1993). Au total, trois échantillons ont été analysés par traitement aussi bien au début qu'en fin d'expérimentation. Des prélèvements similaires ont également été faits en milieu paysan dans le parc à *Piliostigma reticulatum*. Les analyses chimiques ont concerné le carbone organique (C), l'azote total (N), le phosphore assimilable (P_{ass}), la conductivité électrique (CE) et le potentiel hydrogène (pH). Le dosage du carbone a été fait par la méthode de Black et Wakley modifiée, de l'azote total selon la méthode de Kjeldhal (1883) et du phosphore assimilable selon la méthode Olsen, modifiée selon Dabin (1967). La conductivité électrique a été déterminée à l'aide d'un conductimètre à mesure directe. Le pH de l'eau du sol a été déterminé électroniquement sur un pH-mètre à lecture directe. Les caractéristiques chimiques ont été déterminées au Laboratoire d'Analyse de Sol /Plante du Centre de Recherches Agronomiques (CRA) de Saint-Louis au Sénégal.

Traitement des données

Les paramètres de rendement ont fait l'objet d'une analyse de variance à un facteur (densité) avec le « *General Linear Model* » à l'aide du logiciel Minitab 17. Le test de Newman-Keuls (SNK) a été utilisé pour comparer les moyennes des différents traitements au seuil de confiance fixé à 5 %. Le test de Kruskal-Wallis a été utilisé pour comparer les moyennes des paramètres chimiques du sol pour les différents traitements, comme le test de Shapiro a montré que les données ne suivaient pas une loi normale. Des corrélations (test de Pearson) ont été calculées entre les paramètres dendrométriques des arbustes (hauteur, diamètre à 1,30 cm du sol, diamètre à 30 cm du sol, diamètre du houppier) et les rendements du mil en grains et en biomasse. Lors des 3^{ème} et 4^{ème} années d'expérimentation (2018 et 2019), le rendement des cultures n'a pas pu être estimé à cause d'attaques d'insectes et d'intrusion du bétail dans le dispositif en milieu contrôlé.

Résultats

Caractéristiques chimiques du sol

En milieu contrôlé, nous n'avons pas trouvé d'effet significatif du facteur « densité des arbustes » sur les valeurs de C, N, pH, P_{ass} et CE en 2016 et/ou en 2020 (tableau III). De même, en milieu paysan dans le parc à *P. reticulatum*, nous n'avons pas trouvé d'effet significatif du facteur « densité des arbustes » sur les valeurs de C, N, pH et P_{ass} (tableau IV).

Variation du nombre de poquets de mil selon la densité d'arbustes

En milieu contrôlé, le nombre de poquets n'a pas varié avec la densité durant les 5 années d'expérimentation (tableau V). Par contre, en milieu paysan, une baisse significative du nombre de poquets a été constatée avec la densité de 100 arbustes/ha aussi bien dans le parc à *C. glutinosum* que dans le parc à *P. reticulatum* (tableau VI).

Tableau IV.

Caractéristiques chimiques du sol en fonction de la densité d'arbustes en milieu paysan dans le parc à *Piliostigma reticulatum* dans la commune de Ndiognick/région de Kaffrine. *Soil chemical characteristics as a function of shrub density in the Piliostigma reticulatum park in the commune of Ndiognick/region of Kaffrine.*

Traitements	C organique (%)	N total (%)	pH	Pass (ppm)
Témoin	0,32 ± 0,01	0,044 ± 0,002	5,83 ± 0,12	2,33 ± 0,29
50 arbustes/ha	0,38 ± 0,09	0,043 ± 0,003	5,73 ± 0,08	3,28 ± 0,62
75 arbustes/ha	0,36 ± 0,01	0,024 ± 0,001	6,29 ± 0,47	2,72 ± 0,40
100 arbustes/ha	0,35 ± 0,04	0,048 ± 0,003	5,73 ± 0,09	3,14 ± 0,22
P-value	0,62	0,06	0,47	0,31

Les valeurs après ± indiquent les erreurs standards. pH : potentiel hydrogène ; N : azote total ; C : carbone organique ; P_{ass} : phosphore assimilable.

Tableau V.

Nombre de poquets de mil en fonction de la densité de RNA en milieu contrôlé dans la commune de Ndiognick/ région de Kaffrine.

Number of millet patches as a function of RNA density in a controlled environment in the commune of Ndiognick/ region of Kaffrine.

	Année 1 (2016)	Année 2 (2017)	Année 5 (2020)
Témoin	15 465 ± 394a	15 417 ± 999a	16 183 ± 4 063a
50 arbustes/ha	14 937 ± 410a	15 000 ± 508a	15 413 ± 5 631a
100 arbustes/ha	14 430 ± 430a	14 191 ± 597a	14 157 ± 1 551a
P-value	0,21	0,51	0,94

Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes (Test de Tukey, $p > 0,05$). Les valeurs après ± indiquent les erreurs standards

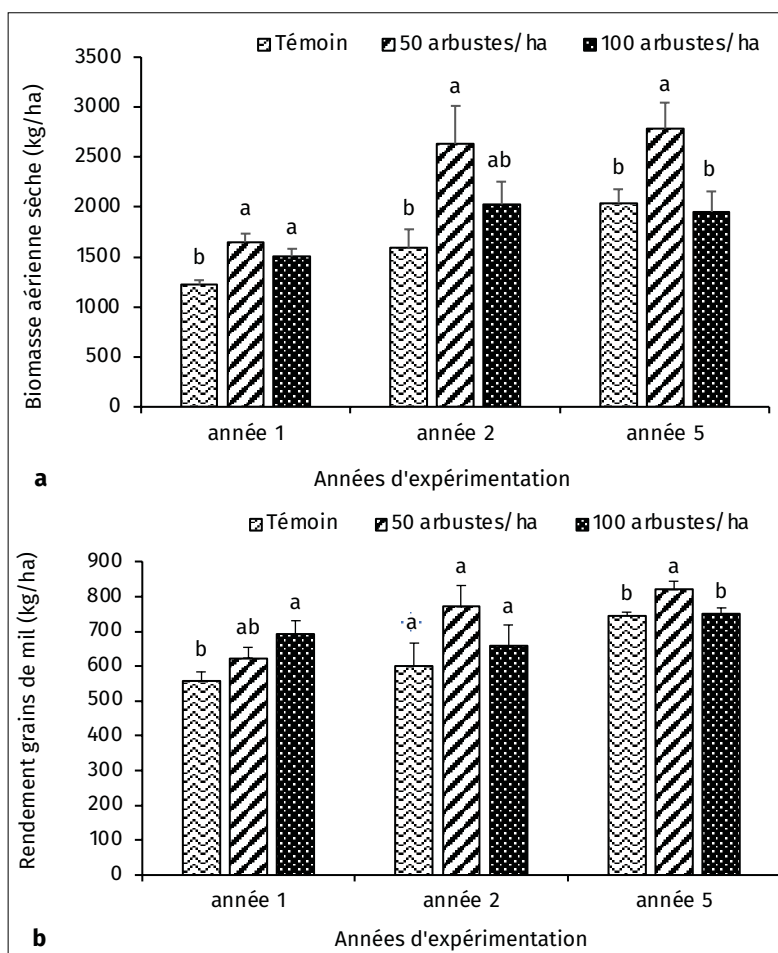
Tableau VI.

Nombre de poquets de mil en fonction de la densité de RNA en milieu paysan dans les parcs à *Combretum glutinosum* et *Piliostigma reticulatum* âgés de 13 ans dans la commune de Ndiognick/ région de Kaffrine en 2020.

Number of millet patches as a function of RNA density in 13-year-old *Combretum glutinosum* and *Piliostigma reticulatum* parks in the commune of Ndiognick/region of Kaffrine in 2020.

	Parc à <i>Combretum glutinosum</i>	Parc à <i>Piliostigma reticulatum</i>
Témoin	17 700 ± 1019a	19 333 ± 1 719a
50 arbustes/ha	17 733 ± 1257a	11 367 ± 917b
75 arbustes/ha	16 217 ± 958a	10 025 ± 1 045b
100 arbustes/ha	11 275 ± 1 357b	9 583 ± 1 051b
P-value	0,001	< 0,001

Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes (Test de Tukey, $p > 0,05$). Les valeurs après ± indiquent les erreurs standards

**Figures 5.**

Rendement en biomasse verte (a) et grains de mil (b) en milieu contrôlé dans la commune de Ndiognick/région de Kaffrine.

Green biomass (a) and millet grain (b) yields in a controlled environment in the commune of Ndiognick/region of Kaffrine.

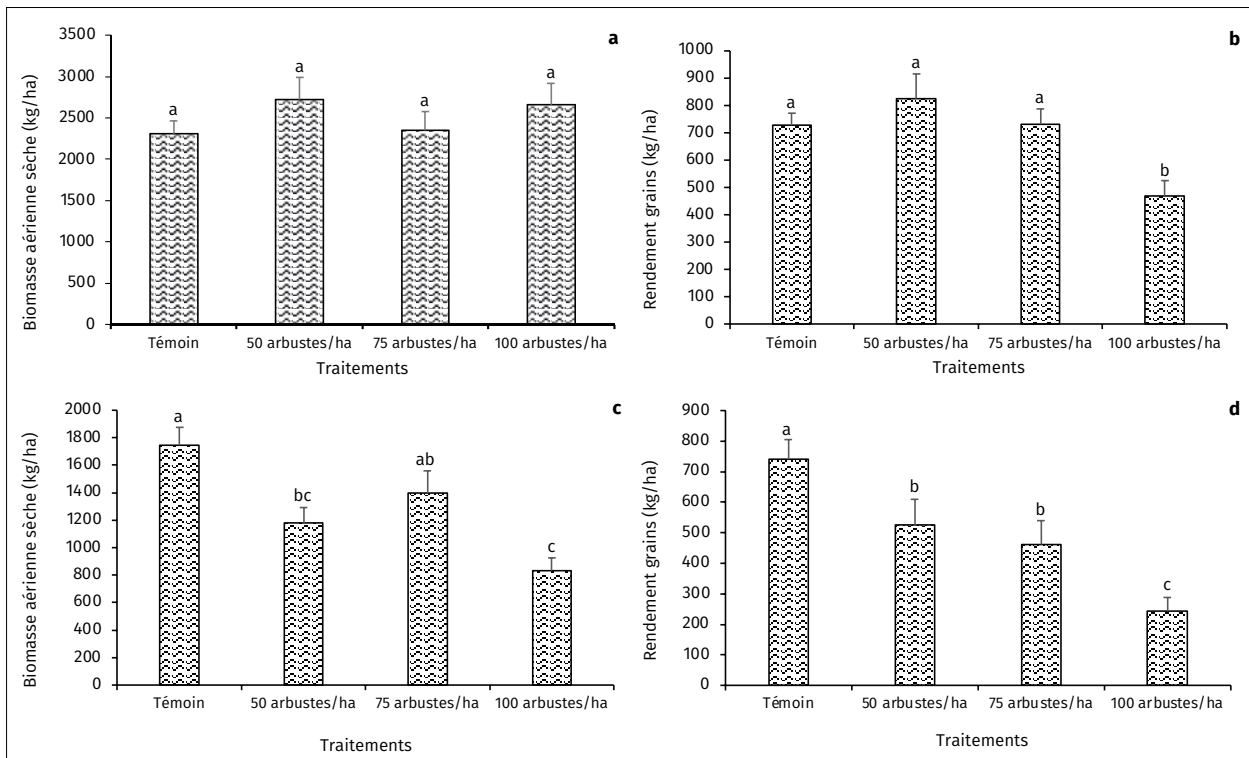
Rendement en biomasse aérienne sèche et grains de mil en milieu contrôlé

La 1^{ère} année d'essai (2016), le rendement en biomasse aérienne sèche de mil (figure 5a) des parcelles de 50 et 100 arbustes/ha (623 ± 31 kg/ha et 692 ± 38 kg/ha) était significativement supérieur à celui des parcelles témoins (559 ± 24 kg/ha). Les 2^{ème} et 5^{ème} années (2017 et 2020), la biomasse aérienne sèche de mil des parcelles de 50 arbustes/ha (2634 ± 377 kg/ha et 2788 ± 255 kg/ha) était significativement plus élevée que celle des parcelles témoins (1595 ± 185 kg/ha et 2032 ± 143 kg/ha).

En 2016, le rendement en grain de mil (figure 5b) des parcelles de 100 arbustes/ha (692 ± 38 kg/ha) était significativement supérieur à celui des parcelles témoins (559 ± 24 kg/ha). En 2020, le rendement des parcelles de 50 arbustes/ha (822 ± 22 kg/ha) était significativement plus élevé que celui des parcelles de 100 arbustes/ha (751 ± 17 kg/ha) et celui des parcelles témoins (744 ± 10 kg/ha).

Rendement en biomasse aérienne sèche et grains de mil en milieu naturel

Dans le parc à *C. glutinosum* (figure 6a), les rendements en biomasse aérienne sèche de mil des parcelles témoins ($2 314 \pm 154$ kg/ha), de 50 arbustes/ha ($2 718 \pm 273$ kg/ha), de 75 arbustes/ha ($2 355 \pm 220$ kg/ha) et de 100 arbustes/ha ($2 662 \pm 260$ kg/ha) n'ont présenté aucune différence significative. Par contre, les rendements en grain des parcelles témoins (726 ± 45 kg/ha), de 50 arbustes/ha (826 ± 91 kg/ha) et de 75 arbustes/ha (731 ± 55 kg/ha) ont été significativement supérieurs

**Figures 6.**

Rendement en biomasse verte (a) et grains de mil (b) dans le parc à *Combretum glutinosum* et rendement en biomasse verte (c) et grains de mil (d) dans le parc à *Piliostigma reticulatum* en milieu paysan.

Green biomass (a) and millet grain (b) yields in the *Combretum glutinosum* plot and green biomass (c) and millet grain (d) yields in the *Piliostigma reticulatum* plot in a farming environment.

à celui des parcelles de 100 arbustes/ha (469 ± 56 kg/ha). Cela correspond à une baisse de 35 % du rendement des parcelles de 100 arbustes/ha par rapport à celui des parcelles témoins (figure 6b).

Dans le parc à *P. reticulatum* (figure 6c), la biomasse aérienne sèche de mil des parcelles témoins (1746 ± 129 kg/ha) a été significativement plus élevée que celles des parcelles de 50 arbustes/ha (1177 ± 112 kg/ha) et de 100 arbustes/ha (832 ± 94 kg/ha). Le rendement en grain dans les parcelles témoins (741 ± 63 kg/ha) a été significativement supérieur à ceux des parcelles de densité 75 arbustes/ha (462 ± 79 kg/ha) et 100 arbustes/ha (244 ± 44 kg/ha). Cela correspond à une baisse de 38 et 67 % des rendements en grain de mil dans les parcelles de densité 75 et 100 arbustes/ha par rapport à celui des parcelles témoins (figure 6d).

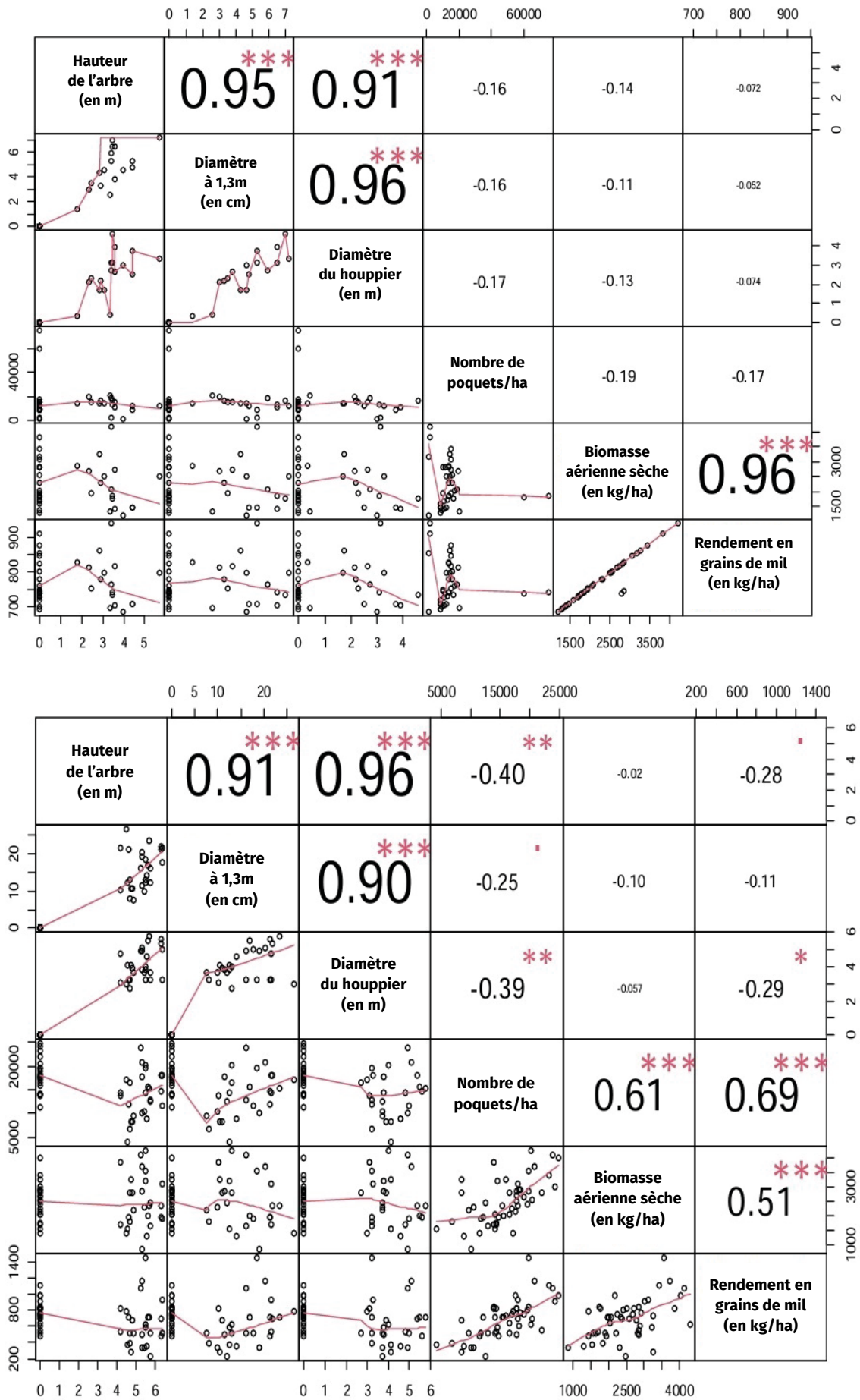
Corrélation entre les paramètres dendrométriques des arbustes et ceux du rendement

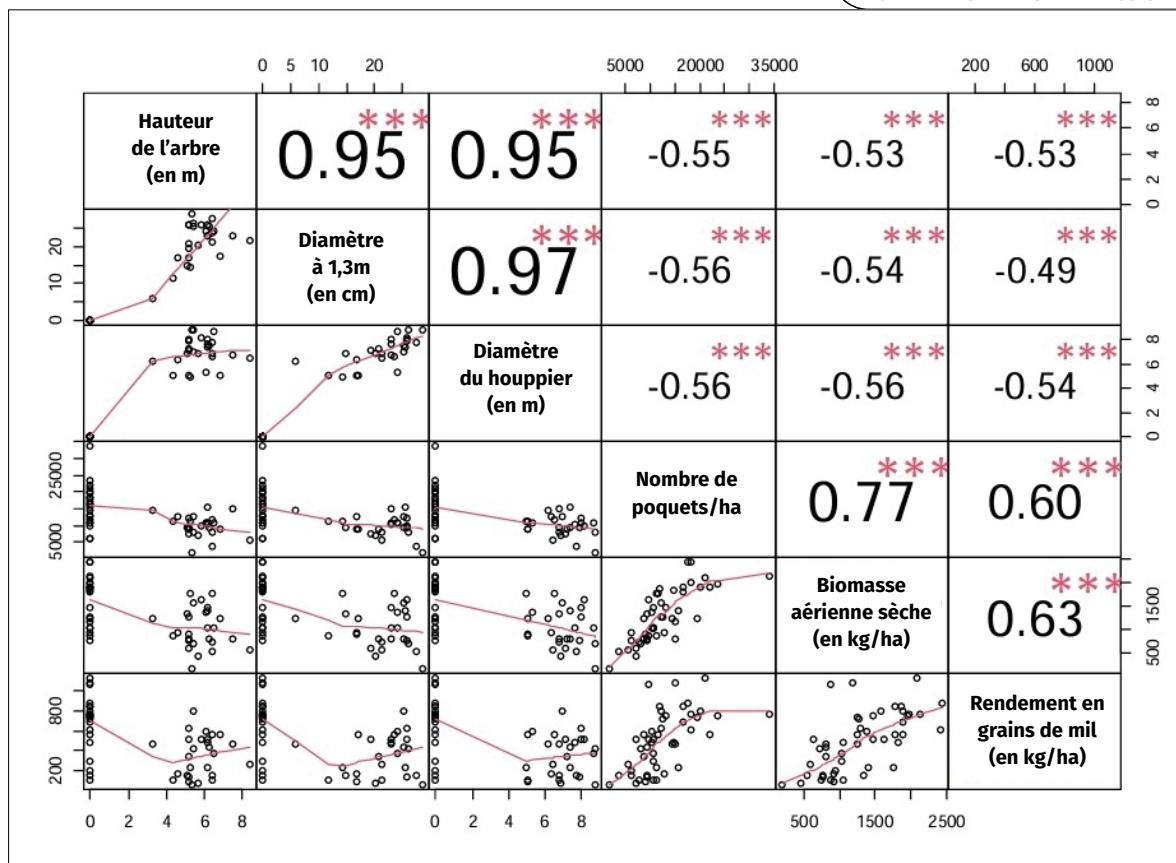
En milieu contrôlé, pour les rejets de souches de *C. glutinosum* de 5 ans, aucune corrélation significative entre les paramètres dendrométriques des arbustes et ceux du rendement du mil n'a été trouvée (figure 7a). En milieu paysan, dans le parc à *C. glutinosum*, la hauteur moyenne des arbustes et le diamètre du houppier étaient négati-

vement et significativement corrélés avec le nombre de poquets et le rendement en grains de mil (figure 7b). Dans le parc à *P. reticulatum*, la hauteur moyenne des tiges et le diamètre du houppier étaient négativement et significativement corrélés avec le nombre de poquets, la biomasse aérienne sèche et le rendement en grains de mil (figure 7c).

Discussion

L'étude montre que l'effet de la densité des arbustes testée (50, 75 et 100 arbustes/ha) sur le rendement des cultures dépendait de leur taille : positif ou neutre pour des arbustes majoritairement de *C. glutinosum* de 1,3 à 3,4 m de hauteur et 0,6 à 2,6 m de diamètre de houppier ; neutre ou négatif pour des arbustes de *C. glutinosum* de 5,3 m de hauteur et 4,1 m de diamètre de houppier ; négatif pour des arbustes de *P. reticulatum* de 5,8 m de hauteur et 7 m de diamètre de houppier (tableaux I et II, figures 5 et 6). Les résultats ont donc validé l'hypothèse : une densité de RNA supérieure à 40 arbustes/ha a un effet dépressif sur le rendement des cultures, à partir d'une certaine taille. L'étude suggère que cet effet dépressif apparaît quand les arbustes ont entre 5,3 m et 5,8 m de hauteur et entre 4,1 m et 7 m de diamètre de houppier. Les résultats sont apparemment





Figures 7.

Corrélation entre les paramètres dendrométriques des arbustes et ceux du rendement de mil en milieu contrôlé (a), dans le parc à *Combretum glutinosum* (b) et le parc à *Piliostigma reticulatum* (c).
 Correlation between shrub dendrometric parameters and those of millet yield in a controlled environment (a), in the *Combretum glutinosum* park (b) and the *Piliostigma reticulatum* park (c).

contradictoires avec ceux trouvés par Binam *et al.* (2017) qui montraient que l'impact des arbres sur le rendement des cultures devenait négatif au-delà de 40 arbres/ha pour certaines espèces. Mais ils sont cohérents si on considère que la taille des arbres de leur étude (non précisée) était supérieure ou égale aux arbustes les plus grands de l'étude présente. Les contraintes à la pratique de la RNA dans la zone d'étude (coupes illicites, divagation animale, fragilité des jeunes pieds de RNA) devraient amener les agriculteurs à conserver au moins 100 arbustes/ha les premières années. À partir de cinq ans, la densité pourrait être réduite d'abord à 75 puis à 50, puis en-dessous de 40 arbustes/ha au fur et à mesure que leur taille augmente. Cette recommandation peut certainement s'appliquer à des espèces de parc comme *P. biglobosa* et *V. paradoxa*. En effet, au sud du Sénégal, Diatta *et al.* (2021) ont observé des densités comprises entre 29 et 71 arbres/ha dans les parcs à *P. biglobosa* avec des densités spécifiques comprises entre 10 et 25 arbres/ha de *P. biglobosa* avec une dominance des individus de hauteur comprise entre 10 et 15 m. Au sud-est du Sénégal, Thiam *et al.* (2022) ont observé une densité de 28 individus/ha de *V. paradoxa* avec une hauteur moyenne de 8 m dans les champs cultivés. Dimobé et Bayala (2023) ont également observé en milieu paysan au Burkina Faso

des densités de *V. paradoxa* comprises entre 32 et 45 arbres/ha, dont la hauteur moyenne variait entre 6,9 et 8,6 m. Par contre, cette recommandation doit être nuancée pour le *F. albida*. En effet, comme cette espèce a une phénologie inversée et un système racinaire profond, la compétition en lumière, eau et nutriments avec les cultures pluviales associées est certainement plus faible que pour les autres espèces de parc. De plus, cette espèce légumineuse a un impact positif sur la fertilité du sol et ses gousses et feuilles sont utilisées comme fourrage (Abasse *et al.*, 2023 ; Reij et Garrity, 2016). Cela explique certainement pourquoi des densités de *F. albida* > 100 arbres/ha ont été observées dans des champs de culture au Niger.

Nous avons constaté que les arbustes de *C. glutinosum* et *P. reticulatum* entraînent avec leur accroissement des effets dépressifs sur le rendement des cultures. Ce qui est en phase avec notre hypothèse : plus les arbustes de *C. glutinosum* et *P. reticulatum* conservés en RNA sont grands (hauteur, diamètre du houppier), plus ils influencent négativement les cultures. Nos résultats sont cohérents avec ceux de Boffa *et al.* (2000), Zomboudré *et al.* (2005) et Saidou *et al.* (2012) qui ont trouvés des rendements de sorgho et de maïs sous les houppiers de néré et de karité plus faibles qu'en dehors des houppiers.

Ces études suggèrent l'existence d'une corrélation négative entre la taille des arbustes et les rendements. Cela s'expliquerait par le fait que l'accroissement du houppier des arbustes crée des effets d'ombrage de plus en plus étendus sur les cultures, avec des effets négatifs sur les rendements. De même, les lignes de semis sont interrompues à proximité des arbustes, entraînant par conséquent des pertes d'espace liées à la difficulté d'utilisation de semoirs à traction animale. Néanmoins, il est possible d'optimiser le rendement des cultures en réduisant la taille du houppier des arbustes. Ce qui permettrait de réduire les effets négatifs de la compétition entre les arbustes et les cultures pour la lumière, l'eau et les nutriments. Dans le cadre de cette étude, cela suppose une gestion sylvicole permettant de ramener le houppier des arbustes à un diamètre de 3 m, soit un élagage de 25 et 50 %, respectivement, du houppier des arbustes des parcs à *C. glutinosum* et *P. reticulatum* de 13 ans. Bayala *et al.* (2002) ont démontré que l'élagage de la couronne des arbres avait un effet positif et significatif sur le rendement en grains et en biomasse de mil. Un constat similaire a été fait par Bado *et al.* (2021) qui ont obtenu de bons rendements avec des densités de 80 arbustes/ha en taillant de 50 % la canopée de *Ziziphus* au début de chaque saison de croissance en mai, juste avant la saison des pluies. Le manque à gagner sur la baisse de rendement constaté dans le cadre de la présente étude pourrait être compensé d'une part avec la production de bois et d'autre part avec la production de gousses de *P. reticulatum* très appréciées par le bétail (qu'elles soient consommées ou vendues si surplus). Cette compensation serait plus convaincante si on arrivait à diversifier les espèces agroforestières avec la réintroduction d'espèces fruitières locales améliorées.



Photo 3.

Combretum glutinosum de 13 ans en milieu paysan dans la commune de Ndiognick/région de Kaffrine, avec illustration de l'effet dépressif du houppier sur le mil.

13-years-old *Combretum glutinosum* in a farm in the commune of Ndiognick/region of Kaffrine, illustrating the depressive effect of the crown on millet.

Photo B. A. Camara.

Un effet significatif de la densité des arbustes sur les valeurs de C organique et N total du sol, quelle que soit l'espèce (*C. glutinosum*, *P. reticulatum*), n'a pas été trouvé (tableaux III et IV). L'hypothèse selon laquelle les arbustes de RNA augmenteraient le C organique du sol pour ces deux espèces et le N total du sol pour *P. reticulatum* n'a donc pas été validée. Ce résultat semble contradictoire avec celui de Bayala *et al.* (2019) qui avaient trouvé des teneurs en C total du sol plus importantes dans les champs avec une faible

densité d'arbres, comparées à celles des champs avec une forte densité d'arbres. Bayala *et al.* (2019) expliquaient leur résultat par le fait que les paysans choisissent de garder une faible densité d'arbres sur les sols les plus fertiles et une forte densité d'arbres sur les sols les moins fertiles, en raison de leur capacité à restaurer la fertilité du sol. La densité des arbres était donc une réponse et une adaptation des paysans au site. Dans cette étude, l'absence d'effet de la densité des arbustes sur le carbone (C) et l'azote (N) du sol peut s'expliquer de deux façons. En milieu contrôlé, l'apport plus important en début d'expérience de phytomasse aérienne dans les parcelles témoins que dans les parcelles à 50 et 100 arbustes/ha a probablement caché l'influence sur le sol de la litière apportée par les arbustes au cours des 5 années suivantes. En milieux contrôlé et paysan, cette absence d'effet pourrait aussi s'expliquer par la méthode de prélèvement des échantillons de sol à l'échelle de la parcelle. En effet, des échantillons composites ont été réalisés sans que l'emplacement des arbustes (sous houppier, hors houppier) ne soit pris en compte pour les échantillons élémentaires. Comme Rounsard *et al.* (2020) ont évalué à 17 m la zone d'influence d'un arbre de *F. albida* de 862 m² de surface de houppier sur les propriétés d'un sol, cela suggère que, dans cette étude, des échantillons ont

été certainement prélevés hors de l'influence des arbustes. La méthode d'échantillonnage n'était donc pas adaptée pour détecter une éventuelle influence de la densité des arbres sur le carbone (C) et l'azote (N) du sol. Il est recommandé de réaliser un échantillonnage stratifié (hors houppier vs sous houppier) et de prélever un nombre d'échantillons par parcelle supérieur à celui de cette étude pour mieux estimer l'effet de la densité sur les propriétés du sol.

Conclusion

Cette étude a montré que l'effet de la densité de *Combretum glutinosum* et *Piliostigma reticulatum* sur le rendement des cultures dépendait de leur taille. Les agriculteurs peuvent conserver durant les cinq premières années d'adoption de la RNA une densité de 100 arbustes/ha de *Combretum glutinosum* ou *Piliostigma reticulatum* dans leurs champs sans impacter négativement le rendement des cultures. À partir de la cinquième année, l'accroissement des paramètres dendrométriques des arbustes avec l'âge fait que les bons compromis de rendement pour le



Photo 4.

Piliostigma reticulatum de 13 ans en milieu paysan dans la commune de Ndiognick/région de Kaffrine, avec illustration de l'effet dépressif du houppier sur le mil.

13-year-old *Piliostigma reticulatum* in a farm in the commune of Ndiognick/region of Kaffrine, illustrating the depressive effect of the crown on millet.

Photo B. A. Camara.

mil s'obtiennent avec les densités de 50 et 75 arbustes/ha. Une gestion sylvicole adaptée spécifiquement à chaque espèce agroforestière permettrait peut-être de maintenir des densités au-delà de 50 et 75 arbustes/ha sans nuire aux rendements des cultures et de bénéficier des biens et services qu'elles fournissent. Toutefois, dans le but de maximiser les rendements des cultures, de renforcer leur sécurité alimentaire et économique, les communautés associent d'autres bonnes pratiques agricoles que la RNA (apport de fumure organique, *mulching*, labour minimal, fertilisation minérale par microdose, etc.) dans leurs systèmes de production. Des propositions de scénarios de gestion des parcs actuels basées sur les résultats de la présente étude et qui pourraient être testées par la recherche future, deviennent une nécessité pour maximiser davantage les rendements des cultures.

Remerciements

Les auteurs remercient le programme « *Communities Greening the Sahel* » de DOB Écologie et le projet « *Partnerships for Scaling Climate Smart Agriculture (P4S) Phase II* » pour le soutien financier de ce travail. Nos remerciements vont également aux agriculteurs avec qui nous avons conduit ce travail ainsi qu'aux trois relecteurs anonymes qui nous ont permis d'améliorer les premières versions de ce manuscrit.

Financement

L'étude a été possible grâce au soutien financier des projets *Building resilient agro-sylvo-pastoral systems in West Africa through participatory action research (BRAS-PAR)* devenu projet *Partnerships for Scaling Climate Smart Agriculture (P4S) Phase II*, et le programme « Les communautés reverdissent le Sahel » (<https://iedafrique.org/-Les-Communautés-reverdissent-le-Sahel-.html>)

Accès aux données

Les données ayant servi à la rédaction de ce manuscrit sont accessibles sur un entrepôt de données numériques, et sur requête auprès de l'auteur correspondant de l'article (Baba Ansoumana CAMARA, email : ansou1988@yahoo.fr) à condition de fournir des détails sur la façon dont elles seront utilisées et en citant la source telle que : Camara B.A., 2024. Densité optimale d'arbustes à conserver dans un agro-système du sud bassin arachidier du Sénégal [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14001941>

Références

- Abasse T., Massaoudou M., Ribiou H., Idrissa S., Dan Guimbo I., 2023. Farmer managed natural regeneration in Niger: the state of knowledge. Tropenbos International, Ede, the Netherlands, 65 p. <https://doi.org/10.55515/BYIZ5081>
- Abasse T., Yaye A., Zakari A. H., Assoumane I. A., Toudou A., 2013. Influence des Parcs agro forestiers à *Piliostigma reticulatum* sur l'infestation des plants de mil par les insectes floricoles et *Coniesta ignefusalis* (Hmps) (Lépidoptère : Pyralidae) dans la zone d'Aguié au Niger. Journal of Applied Biosciences, 66: 5140-5146. <https://doi.org/10.4314/jab.v66i0.95011>
- Badiane A. N., 1993. Le statut organique d'un sol sableux de la zone Centre-Nord du Sénégal. Science des sols. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, 200 p. Français. <https://theses.fr/1993INPL044N>
- Bado B. V., Whitbread A., Manzo M. L. S., 2021. Improving agricultural productivity using agroforestry systems: Performance of millet, cowpea, and ziziphus-based cropping systems in West Africa Sahel. Agriculture, Ecosystems and Environment, 305: 107175. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107175>
- Bakhom C., 2012. Diversité et capacités de régénération naturelle du peuplement ligneux dans les systèmes agraires du Bassin arachidier en zone Soudano-sahélienne (région de Kaffrine, Sénégal). Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Sénégal, 155 p. <http://bibnum.ucad.sn/viewer.php?c=ths&d=THS-7529>
- Bakhom C., Ndour B., Akpo L. E., 2013. Diversity of woodlands in the groundnut basin of Kaffrine region in Senegal. Journal of Applied Biosciences, 63: 4674-4688. <https://doi.org/10.4314/jab.v63i1.87243>
- Bayala J., Teklehaimanot Z., Ouedraogo S. J., 2002. Millet production under pruned tree crowns in a parkland system in Burkina Faso. Agroforestry Systems, 54: 203-214. <https://doi.org/10.1023/A:1016058906682>
- Bayala J., Kalinganire A., Sileshi G. W., Tondoh J. E., 2018. Soil organic carbon and nitrogen in agroforestry systems in Sub-Saharan Africa: a review. In: Batono A., Ngaradoum D., Youl S., Lompo F., Opoku Fening J. (eds), Improving the profitability, sustainability and efficiency of nutrients through site specific fertilizer recommendations in West Africa Agro-Ecosystems. Springer International Publishing AG, 51-61. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58789-9_4
- Bayala J., Sanou J., Bazié H. R., Coe R., Kalinganire A., Sinclair F. L., 2019. 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>
- Bayala R., Diedhiou I., Bogie N. A., Bright M. B. H., Badiane Y. N., Ghezzehei T. A., et al., 2022. Intercropping with *Guiera senegalensis* in a semi-arid area to mitigate early-season abiotic stress in *Arachis hypogaea* and *Pennisetum glaucum*. Journal of Agronomy and Crop Science, 208: 158-167. <https://doi.org/10.1111/jac.12568>

- Binam J. N., Place F., Djalal A. A., Kalinganire A., 2017. Effects of local institutions on the adoption of agroforestry innovations: evidence of farmer managed natural regeneration and its implications for rural livelihoods in the Sahel. *Agricultural and Food Economics*, 5: 2. <https://doi.org/10.1186/s40100-017-0072-2>
- Boffa J. M., 2000. Les parcs agroforestiers en Afrique subsaharienne. Cahier FAO Conservation, 230 p. <https://www.fao.org/4/x3989f/x3989f04.htm>
- Boffa J. M., Taonda S. J. B., Dickey J. B., Knudson D. M., 2000. Field-scale influence of karité (*Vitellaria paradoxa*) on sorghum production in the Sudan zone of Burkina Faso. *Agroforestry Systems*, 49: 153-175. <https://doi.org/10.1023/A:1006389828259>
- Bogie N. A., Bayala R., Diedhiou I., Conklin M. H., Fogel M. L., Dick R. P., et al., 2018. Hydraulic redistribution by native Sahelian shrubs: Bio-irrigation to resist in-season drought. *Frontiers in Environmental Science*, 6: 12 p. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00098>
- Bright M. B. H., Diedhiou I., Bayala R., Assigbetsé K., Chapuis-Lardy L., Ndour Y., et al., 2017. Long-term *Piliostigma reticulatum* intercropping in the Sahel: crop productivity, carbon sequestration, nutrient cycling, and soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 242: 9-22. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.03.007>
- Camara B. A., Drame M., Sanogo D., Ngom D., Badji M., Diop M., 2017. La régénération naturelle assistée : perceptions paysannes et effets agro-écologiques sur le rendement du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) dans le bassin arachidier au Sénégal. *Journal of Applied Biosciences*, 112: 11025-11034. <https://doi.org/10.4314/jab.v112i1.7>
- Camara B. A., Sanogo D., Ndiaye O., Diahaté P. B., Sall M., Ba H.S., et al., 2021. Farmers' perception on the benefits and constraints of Farmer Managed Natural Regeneration and determinants of its adoption in the southern groundnut basin of Senegal. *Agroforestry Systems*, 97: 1275-1288. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00690-y>
- Chapuis-Lardy L., Badiane Ndour N. Y., Assigbetse K., Diédhiou I., et al., 2019. Les cultures vivrières associées aux arbustes natifs : un modèle adapté au climat sahélien. In : Seghieri J., Harmand J.-M. (eds), *Agroforesterie et services écosystémiques en zone tropicale*. Éditions Quæ, 254 p. www.quae-open.com
- Charahabil M. M., Diallo A., Ngom D., Diop B., Akpo L. E., 2013. Importance des *Combretaceae* dans des forêts communautaires de la zone soudano-sahélienne au Sénégal. *Sécheresse*, 24 : 39-47. <https://doi.org/10.1684/sec.2012.0368>
- Chomba S., Sinclair F., Savadogo P., Bourne M., Lohbeck M., 2020. Opportunities and constraints for using farmer managed natural regeneration for land restoration in sub-Saharan Africa. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3: 571679. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.571679>
- Dabin B., 1967. Sur une méthode d'analyse du phosphore (Olsen modifiée) dans les sols tropicaux. C. R. du colloque sur la fertilité des sols tropicaux. Madagascar, Tananarive, tome 1 : 99-115.
- Diatta A. A., Ndour N., Manga A., Sambou B., Faye C. S., Diatta L., et al., 2016. Services écosystémiques du parc agroforestier à *Cordyla pinnata* (Lepr. ex A. Rich.) Milne-Redh. dans le Sud du Bassin Arachidier (Sénégal). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10 (6) : 2511-2525. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i6.9>
- Diatta E. A., Sambou B., Niang-Diop F., Diatta M., 2021. Caractérisation du parc agroforestier à *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. Ex G. Don en Basse Casamance (Sénégal). *Vertigo*, 28668. <https://doi.org/10.4000/vertigo.28668>
- Diatta E. A., Dieng S. D., Niang-Diop F., Goudiaby A., Sambou B., 2020. Importance socio-économique de *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. Ex G. Don (nééré) dans le système agroforestier en Basse Casamance, Sénégal. *Afrique SCIENCE*, 17 (4) : 17 p. [http://www.afriquescience.net/article.php?nid=599&&code=Vol.17%20N%C2%B04%20\(2020\)&id=1](http://www.afriquescience.net/article.php?nid=599&&code=Vol.17%20N%C2%B04%20(2020)&id=1)
- Dimobé 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. <https://doi.org/10.19182/bft2023.356.a36903>
- Diop M., Kaya B., Niang A., Olivier A., 2005. La biodiversité des espèces ligneuses : diversité arborée et systèmes d'utilisation des terres du terroir dans le Cercle de Ségou, au Mali. ICRAF Working Paper, 10: 25 p. <https://www.cifor-icraf.org/publications/downloads/Publications/PDFS/WP10.pdf>
- Dossa E. L., Diedhiou I., Khouma M., Sene M. D., 2012. Crop productivity and nutrient dynamics in a shrub (*Guiera senegalensis*) based farming system of the Sahel. *Agronomy Journal*, 104: 1255-1264. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0399>
- Kibru T., Hussein R., Birhane E., Haggat J., Solomon N., 2020. Farmers' perception and reasons for practicing farmer-managed natural regeneration in Tigray, Ethiopia. *Agroforestry Systems*, 95: 1327-1342. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00546-x>
- Lufafa A., Bolte J., Wright D., Khouma M., Diédhiou I., Dick R. P., et al., 2008. Regional carbon stocks and dynamics in native woody shrub communities of Senegal's Peanut Basin. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 128: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.04.013>
- Lykke A. M., 2000. Local perceptions of vegetation change and priorities for conservation of woody-savanna vegetation in Senegal. *Journal of Environmental Management*, 59 (2): 107-120. <https://doi.org/10.1006/jema.2000.0336>
- Reij C., Garrity D., 2016. Scaling up farmer-managed natural regeneration in Africa to restore degraded landscapes. *Biotropica*, 48 (6): 834-843. <https://doi.org/10.1111/btp.12390>
- Roupsard O., Audebert A., Ndour A. P., Clermont-Dauphin C., Agbohessou Y., Sanou J., et al. 2020. How far does the tree affect the crop in agroforestry? New spatial analysis methods in a *Faidherbia* parkland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 296: 106928. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106928>

Saidou A., Balogoun I., Kone B., Gnangle C. P., Aho N., 2012. Effet d'un système agroforestier à karité (*Vitellaria paradoxa* C.F.Gaertn) sur le sol et le potentiel de production du maïs (*Zea mays*) en zone Soudanienne du Bénin. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 6 (5): 2066-2082. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v6i5.16>

Sanogo D., Camara B. A., Diatta Y., Coly L., Diop M., Badji M., et al., 2019a. La Régénération Naturelle Assistée (RNA) dans le bassin arachidier du Sénégal, une alternative pour réduire la pauvreté en milieu rural. In : Seghieri J., Harmand J.-M. (eds), Agroforesterie et services écosystémiques en zone tropicale. Éditions Quæ, 254 p. www.quae-open.com

Sanogo D., Sall M., Ba H. S., Diop M., Camara B. A., Badji M., et al., 2019b. Situation de référence biophysique et socio-économique de la RNA dans les communes de Ndiognick, Mboula et Mbayene. Rapport d'étude. Innovation, Environnement, Développement en Afrique (IED Afrique), 104 p. https://www.iedafrique.org/IMG/pdf/etude_de_re_ference_isra_cnrf_v2.pdf

Sanogo D., Sall M., Camara B. A., Diop M., Badji M., Ba H. S., 2020. The Climate-Smart Village approach: putting communities at the heart of restoration. In: Pasiecznik N., Reij C. (eds), Restoring African Drylands. ETFRN, 8 p. <https://hdl.handle.net/10568/111416>

Seghieri J., 2017. Systèmes agroforestiers soudano-sahéliens. Tradition ou innovation ? In : Désertification et système terre : de la (re)connaissance à l'action. Liaison Énergie-Francophonie, 105 : 92-95. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers17-08/010070734.pdf

Tappan G., McGahuey M., Winterbottom R., 2020. Restoration of agricultural landscapes and dry forests in Senegal. In: Pasiecznik N., Reij C. (eds.). Restoring African Drylands. ETFRN News, 60: 27-34. <https://catalogue.unccd.int/100looseleaf-1-1-Tappan.pdf>

Touré M. A., 2015. *Sterculia setigera* Del. : étude phytosociologique des populations et de leurs potentialités de production de gomme. Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop, Sénégal, 102 p. http://bibnum.ucad.sn/viewer.php?c=ths&d=ths_2015_0001

Thiam M., Diouf M., Ndiaye O., Samb C. O., Ndiaye S. 2022. Caractérisation des parcs de Karité (*Vitellaria paradoxa* C.F.Gaertn.) des terroirs de Kénioto et Samécouta (Kédougou, Sénégal). European Scientific Journal, 18 (21): 267-291. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n21p270>

Weston P., Hong R., Kaboré C., Kull C. A., 2015. Farmer-managed natural regeneration enhances rural livelihoods in Dryland West Africa. Environmental Management, 55: 1402-1417. <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0469-1>

Zomboudré G., Zombré G., Ouedraogo M., Guinko S., Macauley H. R., 2005. Réponse physiologique et productivité des cultures dans un système agroforestier traditionnel : cas du maïs (*Zea mays* L.) associé au karité (*Vitellaria paradoxa* C.F.Gaertn.) dans la zone est du Burkina Faso. Biotechnology, Agronomy, Society and Environment (BASE), 9 (1) : 75-85. <https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=13880>

Camara et al. – Déclaration de contribution des auteurs au crédit

Rôle du contributeur	Noms des auteurs
Conceptualisation	B. A. Camara, D. Sanogo
Gestion des données	B. A. Camara, D. Sanogo, B. Nguer, M. D. Yade
Analyse formelle	B. A. Camara, D. Sanogo, B. Nguer, M. D. Yade, M. Badji
Méthodologie	B. A. Camara, D. Sanogo, B. Nguer, M. D. Yade, M. Badji, M. Diop, H. S. Ba
Visualisation	B. A. Camara, D. Sanogo, B. Nguer, M. D. Yade
Écriture – Préparation de l'ébauche originale	B. A. Camara, D. Sanogo, M. Badji, O. Ndiaye
Écriture – Révision et édition	B. A. Camara, D. Sanogo

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