

Échantillonnage préalable à la construction de modèles de prédiction de la biomasse forestière dans les régions arides et semi-arides du Sénégal

Sampling prior to construction of forest biomass models predictions in arid and semi-arid regions of Senegal

Kora Mamadou^{1,2,4}, Faye Elhadji^{1,2,3}

¹Equipe de recherche « Biodiversité et Gestion des Ressources naturelles - Changements climatiques (BIOGERENAT) »

²Ecole doctorale des Sciences et Techniques et Sciences de la Société - Université Alioune DIOP de Bambey- SENEGAL

³Institut supérieur de Formation Agricole et rurale (ISFAR) - Université Alioune DIOP de Bambey – SENEGAL

⁴Direction des Eaux et Forêts, Chasses et de la Conservation des Sols – Ministère de l'Environnement et de la Transition écologique (Dakar- SENEGAL)

(*) Auteur correspondant : mamadou.kora@outlook.fr

ORCDI des Auteurs :

Kora Mamadou : <https://orcid.org/0009-0003-8803-4909> ; Faye Elhadji : <https://orcid.org/0000-0002-8959-3898>

Comment citer l'article : Kora Mamadou, Faye Elhadji (2025) Échantillonnage préalable à la construction de modèles de prédiction de la biomasse forestière dans les régions arides et semi-arides du Sénégal, *Revue Ecosystèmes et Paysages*, 5(1) :1-23pp, e-ISSN (Online): 2790-3230.

doi: <https://doi.org/10.59384/recopays.tg5101>

Reçu : 30 mars 2025

Accepté : 15 juin 2025

Publié : 30 juin 2025



Copyright: Published under a Creative Commons Attribution (CC-BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Résumé

Les forêts en régions arides jouent un rôle vital pour les communautés rurales et contribuent significativement à l'atténuation du changement climatique. Cependant, les pays en développement, compte tenu de leurs capacités limitées pour la recherche scientifique, ne disposent pas suffisamment de modèles allométriques adaptés pour estimer avec plus de précision leurs potentialités forestières. L'élaboration de modèles allométriques robustes devient alors une priorité pour les gestionnaires de forêts. La présente étude vise à constituer des échantillons pour élaborer des modèles de prédiction de la biomasse en zones arides et semi-arides du Sénégal. Pour ce faire, la définition des tailles d'échantillon a tenu compte de la diversité des espèces, de leurs densités et stocks de biomasse. Sur ce, des données ont été collectées dans 195 placettes réparties à l'échelle de la zone d'étude et ont été analysées pour avoir un meilleur aperçu de la structure de la végétation ligneuse. A cet effet, le poids des espèces a été déterminé afin d'évaluer leur potentielle contribution dans le modèle généraliste. En considérant, la densité comme variable d'échantillonnage, *Balanites aegyptiaca* (L) Delile et *Combretum glutinosum* Perr.ex DC contribuent à hauteur de 52% de l'échantillon. Ainsi, pour un échantillon de 150 arbres, la contribution de ces deux espèces s'établit à 69 individus. Aussi, les arbres de diamètres inférieurs à 20 cm représenteraient 82% de l'échantillon généraliste soit 121 individus sur 150 potentiels. Les recherches ont été approfondies pour proposer des échantillons pour élaborer des modèles spécifiques à certaines espèces locales de valeur comme *Balanites aegyptiaca*, *Combretum glutinosum*, *Acacia nilotica* (L) Willd ex Del., *Acacia raddiana* Savi et *Pterocarpus lucens* Guill et Perr. Les résultats obtenus constituent une base essentielle pour développer des modèles prédictifs adaptés aux zones

arides et semi-arides du Sénégal et du Sahel.

Mots clés : échantillonnage – modèle allométrique - zones arides - Sénégal

Abstract

Forests in arid regions play a vital role for rural communities and contribute significantly to climate change mitigation. However, developing countries, given their limited capacity for scientific research, do not have sufficient allometric models adapted to estimate their forest potential with greater precision. The development of robust allometric models therefore becomes a priority for forest managers. This study aims to constitute samples to develop biomass prediction models in arid and semi-arid areas of Senegal. To this end, the definition of sample sizes took into account species diversity, their densities and biomass stocks. A dataset collected across 195 plots distributed across the study area was analyzed to gain a better overview of the structure of woody vegetation. To this end, the weight of species was determined to assess their potential contribution to the general model. Considering density as a sampling variable, *Balanites aegyptiaca* (L) Delile and *Combretum glutinosum* Perr.ex DC contribute 52% of the sample. Thus, for a sample of 150 trees, the contribution of these two species is 69 individuals. Also, trees with diameters less than 20 cm would represent 82% of the general sample either 121 individuals on 150 potentials. Research was carried out in depth to propose samples to develop models specific to certain valuable local species such as *Balanites aegyptiaca*, *Combretum glutinosum*, *Acacia nilotica* (L) Willd ex Del., *Acacia raddiana* Savi and *Pterocarpus lucens* Guill et Perr. The results obtained constitute an essential basis for developing predictive models adapted to the arid and semi-arid zones of Senegal and the Sahel.

Keywords: Sampling - allometric models - (semi) arid zones - Senegal

1. Introduction

De plus en plus, il est largement reconnu le rôle capital que jouent les forêts dans l'atténuation du changement climatique (Grassi et al., 2017 ; Herold et al., 2011 ; Bimare et al., 2024). En raison de leur forte capacité à accumuler du carbone dans la biomasse, les forêts constituent un important réservoir de gaz à effet de serre (Malhi & Grace, 2000). Pour mesurer l'impact réel des forêts dans le processus d'atténuation du changement climatique, des estimations sont généralement conduites à l'aide de modèles de prédiction de la biomasse (Brown, 2002 ; Chave et al., 2004 ; Stephenson et al., 2014 ; Fousseni et al. 2019).

Compte tenu de la complexité de la gestion des forêts, dans des contextes, souvent, marqués par des enjeux multiples et, parfois, contradictoires, une meilleure connaissance de la dynamique et du fonctionnement des écosystèmes est fondamentale pour mieux prédire le potentiel d'atténuation des forêts (Chave et al. 2005). En effet, pour mesurer l'apport des forêts dans l'atténuation et l'adaptation du changement climatique, il est impératif de disposer de modèles allométriques efficaces et adaptés pour la prédiction de la ressource (Gibbs, Brown, Niles, & Foley, 2007).

Les modèles allométriques sont des outils construits à partir de variables dendrométriques comme le diamètre de l'arbre, la hauteur totale de l'arbre ou encore la densité du bois des espèces considérées (Picard et al., 2012).

Pour les écosystèmes ayant une forte diversité d'espèces, comme les forêts tropicales humides, les modèles sont élaborés pour un groupe d'espèces (Brown et al., 1989 ; Chave et al., 2005 ; Djomo et al., 2010 ; Henry et al., 2011). En dépit de leur caractère généraliste, les équations pantropicales sont largement utilisées en Afrique dans des contextes variés pour l'évaluation de la biomasse (Henry et al., 2011).

Au Sénégal, quelques études ont abordé la question des modèles allométriques spécifiques dans le but de bien estimer la productivité et la biomasse des écosystèmes naturels (Kaïré, 1999, Ngom et al., 2012 ; Thiam et al. 2014)). Dans cette même dynamique, un modèle généraliste pour l'estimation de la biomasse des écosystèmes de la zone soudanienne a été développé par Mbow et al. (2014) à partir d'un échantillon de 101 arbres de diamètres compris entre 3 et 42 cm. Cette équation, dont le diamètre à 1,30 mètre du sol est la seule variable d'entrée, est relativement robuste et adaptée pour les écosystèmes pour lesquels elle fut

élaborée. En revanche, à l'état actuel de nos recherches, aucun modèle généraliste, d'une robustesse, au moins égale, à celle de Mbow et al. (2014) n'est disponible pour l'estimation de la biomasse pour les formations forestières des zones arides et semi-arides du pays notamment la zone sahélienne du Sénégal.

A ce titre, la problématique de l'échantillonnage, tant pour la prise en compte des types de forêts, la diversité en espèces, le poids de chaque espèce et de l'allocation des individus entre les différentes classes de diamètre, sont autant de critères à prendre rigoureusement en considération dans la construction d'un modèle allométrique pour en garantir une certaine qualité (Vieilledent et al., 2012). La taille de l'échantillon, selon que l'on élabore un modèle pour une formation naturelle d'une ou plusieurs régions écologiques, ou pour une espèce ou une plantation monospécifique pure, a une incidence sur la qualité du modèle allométrique (Picard, Saint-André, et Henry, 2012). A titre d'illustration, l'élaboration d'un modèle pour un ou plusieurs peuplements, exige, au moins, la mesure de 100 arbres contre 30 pour un peuplement unique et homogène (Pardé et Bouchon, 1988).

Le diamètre à 1,30 m, est conventionnellement utilisé dans l'estimation de la biomasse (Picard et al., 2012). Son utilisation, en lieu et place d'autres variables dendrométriques, est liée à la facilité de sa mesure sur le terrain mais aussi du fait qu'il apporte une forte précision aux données (Dutcă et al., 2020). Toutefois, les relations entre la production de biomasse et les dimensions de l'arbre sont très variables selon l'espèce, les conditions climatiques (Kumar et al., 1998) et la nature des modes de gestion auxquels les écosystèmes sont soumis (Picard et al., 2012). D'autres modèles sont élaborés en combinant le diamètre, la hauteur, la densité du bois (Ketterings et al., 2001 ; Brown, 2002 ; Chave et al., 2004 ; Djomo et al., 2010) ou la hauteur totale, le DBH et le diamètre à 50 cm au-dessus du sol (Sawadogo et al., 2010).

Compte tenu de ces exigences techniques, cette étude propose de réaliser un échantillonnage préalable pour la construction de modèles allométriques fiables de prédiction de la biomasse dans les régions arides et semi-arides du Sénégal.

L'objectif général de l'étude est de contribuer à une meilleure connaissance des potentialités et de la dynamique de la biomasse et des stocks de carbone des terres forestières du Sénégal. De manière plus spécifique, il s'agit de (1) étudier la structure des peuplements forestiers des zones arides et semi-arides du Sénégal et (2) proposer des échantillons d'arbres adéquats pour élaborer des modèles robustes de prédiction de la biomasse en régions semi-arides et arides du Sénégal.

2. Matériel et Méthode

2.1 Présentation de la zone d'étude

L'étude est réalisée dans les régions sahéliennes du Sénégal comprises dans une bande large d'environ 265 km suivant le gradient latitudinal Nord-Sud. Elle est approximativement et respectivement limitée au Nord et Sud par les points B -16,71° Nord et -17,50° W et A -14,31° Nord et -17,50° Ouest (Figure 1). La zone d'étude correspond aux zones écogéographiques du Bassin arachidier, du Ferlo (zone sylvopastorale) et de la Vallée du fleuve Sénégal. Elle est à cheval entre la zone aride et semi-aride conformément à la classification des terres arides (FAO, 2019).

La zone d'étude appartient au domaine sahélien qui est caractérisé par l'alternance de deux saisons : les saisons sèche et pluvieuse. La saison sèche, la plus longue, dure 9 mois. Elle s'étend d'octobre à juin tandis que la saison pluvieuse ne couvre que les 3 mois restants de l'année (juillet, août et septembre). La pluviosité reste faible et très irrégulièrement répartie dans le temps et l'espace comparée au sud et sud-est du pays (Ndong, Ndiaye, Faye, Galop, & Guissé, 2015 ; Cissé, 2024). La moyenne décennale de la pluviosité (2014-2023) est estimée à $214,96 \pm 58,85$ mm tandis que les températures moyennes, pour la même décennie, oscillent autour de $29,06 \pm 0,36$ °C d'après les statistiques de la base de données ABC-MAP de la FAO. En revanche, il est noté de très fortes variabilités intra annuelles des températures. Des minima de 15 °C (en décembre et janvier) et des maxima de 46 à 48 °C (entre mars et mai) sont fréquemment enregistrées (ENABEL 2024).

Les sols sont majoritairement sableux atteignant une proportion de 80 à 85% de sable et 3,6% d'argile dans la zone d'étude (Faye et al., 2018). Sur ces sols, évolue une végétation de type savane arbustive et de steppe herbeuse. La strate herbacée, composée principalement de *Aristida mutabilis* Trin. & Rupr., *Schoenefeldia gracilis* Kunth. et *Cenchrus biflorus* Roxb., est bien fournie dans la quasi-totalité de la zone. Elle est mélangée, par endroits, à une strate ligneuse clairsemée dominée par *Balanites aegyptiaca*, *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. Ex Poir. et *Calotropis procera* (Ait) Ait.F (Niang et al. 2014 ; Diallo, et al. 2011).

2.2. Collecte et description des données

2.2.1. Caractéristiques des sites et travaux

La zone d'étude fait quasiment la moitié de la superficie du Sénégal (196 722 km²). A cet effet, six (06) scènes Landsat 9 ont été téléchargées pour avoir une couverture complète de la zone. Il n'était pas à notre portée d'élaborer un dispositif couvrant l'intégralité du territoire cible. Un sous-échantillonnage a été conduit pour installer, au moins, un site dans chaque zone écologique de la zone (Figure 1) à l'instar de plusieurs études similaires dans l'espace ouest africain (Folega et al., 2024).

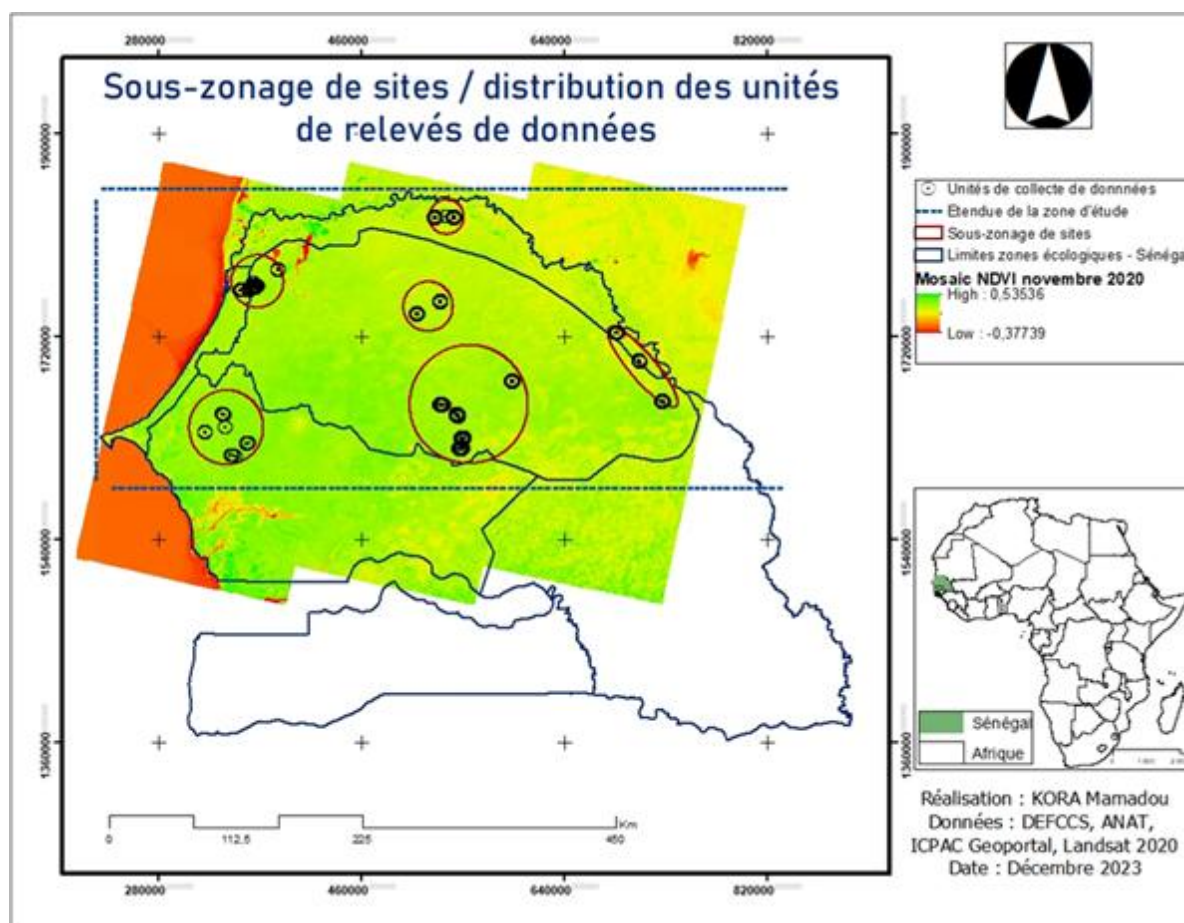


Figure 1. Localisation de la zone d'étude et sous-zonage de sites de collecte de données

A ce titre, six (06) sites couvrant une superficie totale de 1 768 442 ha ont été matérialisés suivant le gradient Nord-Sud de la zone d'étude. Le tableau 1 indique la taille de l'échantillon tant du point de vue de l'étendue des sites et du nombre de placettes.

Tableau 1. Présentation des sites et taille du dispositif de collecte de données

Site	Superficie (ha)	Nombre de placette
Bassin arachidier	341 093	19
Ferlo centre	151 834	17
Ferlo Est	165 447	07
Ferlo Sud	866 895	103
Ferlo Ouest	169 606	30
Vallée du Fleuve	73 567	10
TOTAL	1 768 442	193

Les données ont ainsi été collectées dans 193 placettes circulaires de 20 m de rayon sur la période de 2020 à 2022. L'objectif assigné à cette campagne de collecte de données est d'avoir une idée de la diversité des espèces locales, leur importance et structure. La taille de l'échantillon est de loin différente de celle qui devrait normalement être requise pour l'élaboration d'un plan d'aménagement en vue de l'exploitation ou de l'aménagement des forêts.

Dans le processus de distribution des unités de relevés de données, la partie sud de la zone d'étude a bénéficié plus de placettes (103) comparée au reste de la zone d'étude dans l'optique d'une meilleure prise en compte de l'importance et de variabilité

spatiale de la ressource forestière, d'une part, et de la vulnérabilité de cette partie face à la remontée du front de la déforestation, d'autre part. La partie Nord et ouest de la zone d'étude en dispose moins de placettes du fait qu'elle est principalement constituée de terres pastorales sur de vastes étendues relativement homogènes.

Aussi, le processus a été conduit en tenant compte des types de formations forestières (domaine classée ou de terroir). Cette stratégie a permis d'inclure dans le dispositif les forêts du domaine classé (forêts classées de de Mpal et Rao, et de la réserve sylvopastorale de Sab-Sabré) dans le Ferlo (zone sylvopastorale) dans le but de garantir une certaine exhaustivité en termes de représentativité des types de fasciés.

2.2.2. Stratification de la végétation, répartition des unités de collecte et mesures de variables

En raison de l'hétérogénéité des paysages forestiers, notamment dans la zone sylvopastorale, une stratification préalable a été effectuée avant la répartition des placettes sur le terrain. A ce titre, des images du capteur de Landsat 8 du mois de novembre 2020 ont été téléchargées à partir de la plateforme *Earth Explorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Cette période correspondante à la fin de saison des pluies et l'assèchement total de la végétation herbacée facilite ainsi la distinction des terres forestières des zones pastorales à partir de l'imagerie satellitale. Des corrections radiométriques et atmosphériques ont été conduites sous l'extension SCP (*Semi-automatic Classification Plugin*) disponible sur la version 3 du logiciel QGIS afin d'améliorer la qualité des images.

La répartition des unités d'échantillonnage a, cependant, été faite sur la base d'une classification non supervisée des images pour réaliser la carte d'occupation du sol des principales strates. A titre de précision, deux (02) principales classes, notamment, les terres forestières et les terres pastorales ont été générées. Les autres classes d'occupation de la zone à savoir, les terres de cultures, le bâti, les sols dénudés, ont été extraites de la carte des strates sur lesquelles les placettes ont été générées. L'affectation des placettes a été effectuée de manière aléatoire de telle sorte que chaque strate soit pourvue d'unités de relevés de données. La Figure 2 présente de manière plus détaillée la carte d'occupation du sol et de la distribution des placettes à l'échelle du site localisé au sud du Ferlo. La même approche a été adoptée pour les cinq (05) autres sites présentés à la Figure 1.

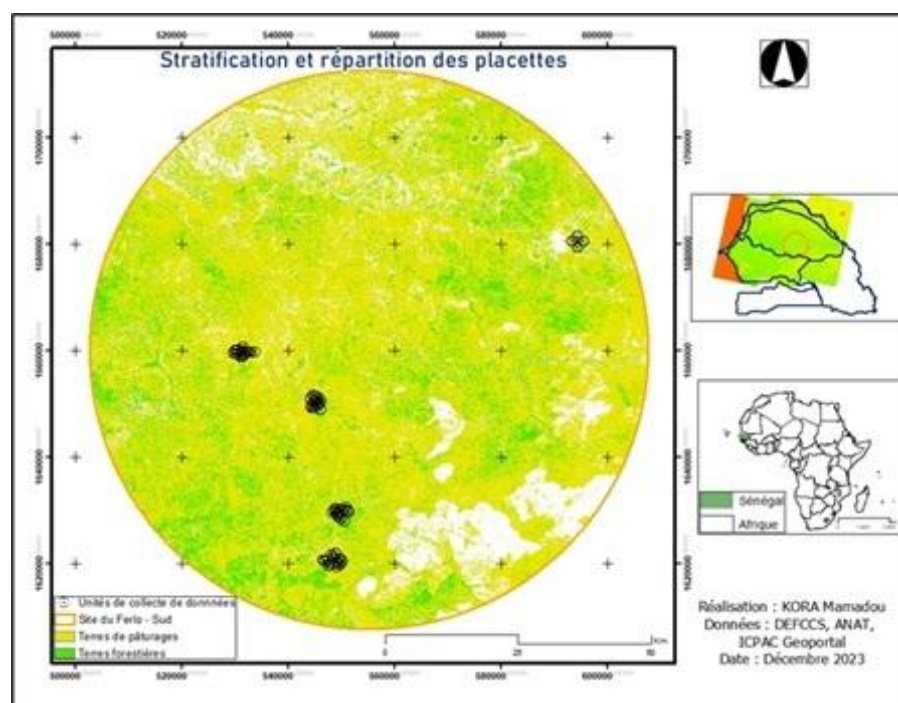


Figure 2. Stratification et distribution des unités de collecte de données

La collecte des informations a porté sur tous les sujets de diamètre supérieur ou égal à 3 cm conformément aux recommandations en matière d'inventaire forestier au Sénégal (DEFCCS 2024). A ce titre, le diamètre à 1,3 m (DBH) de chaque arbre a été mesuré à l'aide d'un compas forestier pour les arbres de diamètre inférieurs à 60 cm et par un ruban mètre pour les gros sujets (DBH>60cm). La mesure de la hauteur de chaque arbre a été effectuée avec une perche graduée de taille 10 mètres et par un clisimètre pour les sujets qui sont hors de portée de cet instrument de mesure.

Les individus de diamètre < 3 cm ont été classés dans la régénération naturelle en perspective d'évaluer le potentiel de recrutement des peuplements ligneux de la zone d'étude.

2.3. Facteurs de stratification pour la construction de l'échantillon

Le processus de construction d'un modèle allométrique robuste nécessite la prise en compte de variables qui ont une incidence sur la répartition spatiale de la biomasse à l'échelle du paysage forestier. Cet aspect est important à prendre sérieusement en considération dans le but d'apporter une meilleure qualité aux estimations.

A ce titre, la stratification s'est basée sur la densité d'arbres et la répartition spatiale de la biomasse, d'une part, et par espèce, d'autre part.

Il s'agit, dans un premier temps, d'échantillonner et de répartir les unités de relevés de données sur un gradient Nord/Sud afin de couvrir les principales formations forestières. Après la collecte et les traitements de données, le potentiel d'allocation de la biomasse par classe de diamètre, à l'échelle de toute la zone d'étude, a été estimé pour avoir une idée générale de la structure des écosystèmes forestiers.

Un deuxième niveau de stratification consiste à considérer le poids de chaque espèce présente dans la zone d'étude. Le poids de l'espèce est mesurable à deux niveaux : l'abondance (densité) et la capacité de stockage de la biomasse. La détermination des principales espèces ou espèces clés de la zone est effectuée en considérant le cumul de biomasse à l'hectare atteint 95% du total de la population (GIEC 2006).

2.4. La taille de l'échantillon pour les modèles généralistes et spécifiques

La taille et la répartition en classes de diamètre sont deux paramètres clés pour caractériser un échantillon d'arbres (Quentin et al., 2022). La taille de l'échantillon d'arbres est un critère fondamental pour assurer la robustesse d'un modèle allométrique (Chave et al., 2005). L'échantillon optimal est celui pour lequel le coefficient de variation (CV%) se stabilise malgré l'augmentation de la population à étudier (Picard et al., 2012). Pour les modèles allométriques multi-espèces, la taille de l'échantillon doit au moins comporter 100 individus (Chave et al., 2004).

Pour les modèles spécifiques, l'échantillon est généralement de taille plus petite. En effet, pour les peuplements monospécifique, 30 à 50 arbres peuvent suffire comme échantillon pour élaborer un modèle de prédiction robuste (Picard et al., 2012 ; Paul et al., 2018).

La construction du modèle allométrique doit tenir compte de toutes les classes de diamètres potentiellement présentes. En revanche, l'équation allométrique construite à partir d'échantillons de petites tailles, ne couvrant qu'une petite plage de diamètre, est à éviter dans la mesure où elle constitue une source potentielle d'incertitude (Quentin et al., 2022). Cependant, une meilleure représentativité doit être accordée aux arbres de diamètres petits à moyens en raison de leur caractère informatif dans l'estimation de la ressource (Dutcă et al., 2020).

Pour cette étude, une simulation est faite entre 150 à 200 pieds pour définir des échantillons statistiquement solides. Aussi, une proposition d'échantillons est faite pour *Balanites aegyptiaca*, *Combretum glutinosum*, *Acacia nilotica*, *Acacia raddiana* et *Pterocarpus lucens*, les cinq principales espèces dans de la zone d'étude.

A ce sujet et conformément aux recommandations de Picard et al. (2012), une trentaine d'arbres est allouée à chaque espèce dans le modèle multi-espèces et parallèlement, le même nombre est requis pour les équations allométriques spécifiques desdites espèces.

2.5. Traitement et analyses de données

Les données brutes collectées du terrain ont été compilées sous une base de données créée sous la version 4.4.1 du logiciel R. Les traitements ont porté sur les variables univariées telles que la densité et l'indice de valeur d'importance (IVI). Cette dernière variable fait intervenir l'abondance relative, la dominance et la fréquence relative.

2.5.1. La densité d'arbres

Elle renseigne le nombre d'arbres rapporté à l'hectare. La densité d'arbres de la zone d'étude est calculée à partir des valeurs moyennes des sites étudiés comme suit :

$$DZE = \sum \frac{(DSSi)}{NSi}$$

D'où DZE = densité moyenne d'arbre de la zone d'étude ;

- NSi = nombre de sites étudiés.
- DSSi = densité moyenne d'un site i obtenu comme suit :

$$DSSi = \sum \frac{(DSSEi)}{NSti}$$

- DSSEi : densité moyennes d'arbres à l'échelle d'une strate du site étudié ;
- NSti : Nombre de strates à l'échelles d'un site d'étude.

2.5.2. Estimation des potentialités de la zone d'étude

Dans le même ordre d'idée, les potentialités en biomasse pour chaque espèce, site et toute la zone d'étude ont été estimées, par défaut, à l'aide du modèle généraliste de Mbow et al. (2013). Ce modèle polynomial à une entrée se présente comme suit :

$$AGB = 1,929*DBH+0.116*DBH^2+0,013*DBH^3 :$$

D'où

- AGB= Biomasse totale aérienne en Kg ;
- DBH = Diamètre (en cm) à 1,30 m au-dessus du sol.

La biomasse moyenne de la zone d'étude est estimée suivant la même approche que celle de la densité d'arbres.

2.5.3. Indice de Valeur d'importance des espèces (IVI)

L'IVI renseigne sur le rang qu'occupe chaque espèce inventoriée et permet d'établir un classement selon leur degré d'importance au sein d'un écosystème étudié. Il est exprimé en pourcentage et calculé à partir de la formule ci-après :

$$IVI.i = Ar.i + Dr.i + Fr.i$$

D'où :

- IVI.i : indice de valeur d'importance d'une espèce i ;
- Ar.i : Abondance relative. C'est le rapport entre la densité de l'espèce i sur la densité du site ;
- Dr.i : Dominance relative. Il est obtenu suivant le rapport entre la surface terrière de l'espèce i sur la surface terrière du site ;
- Fr.i : fréquence relative. C'est le rapport entre le nombre de placettes où l'espèce est recensée sur le nombre total de placettes inventoriées.

2.5.4. Allocation du nombre d'individus par espèce dans l'échantillon

La technique pour déterminer la taille d'une espèce quelconque pour l'échantillon est similaire pour l'ensemble des trois variables d'échantillonnage (densité d'arbres, la biomasse et l'indice de valeur d'importance). A titre d'exemple, en retenant la densité comme variable de stratification, le nombre d'individus à affecter pour une espèce i dans un échantillon de taille N est calculé ci-après :

$$t.esp.i = \frac{TE * d.esp.i}{d.m.z}$$

Où :

- t.esp.i: taille de l'échantillon de l'espèce i ;
- TE : Taille de l'échantillon (connue à l'avance selon les objectifs assignés au départ) ;
- d.esp.i : densité d'une espèce quelconque de la zone (Nha⁻¹);
- d.m.z : densité moyenne de la zone d'étude (Nha⁻¹)

3. Résultats

3.1. Caractérisation de la végétation à l'échelle des sites

La zone d'étude est principalement constituée de deux strates : les terres de pâturages et terres forestières. Les potentialités en biomasse des terres forestières sont estimées à $17,85 \pm 16,75 \text{ t.ms.ha}^{-1}$ contre seulement $1,81 \pm 1,48 \text{ t.ms.ha}^{-1}$ pour les terres de pâturages. Le test d'égalité de variance avec une p.value équivalente à $2.2\text{e-}16$ ($p < 0,05$) a confirmé la non-homogénéité de la variance en termes de potentialités de la biomasse entre les deux strates. Le test de *Student* pour la comparaison des moyennes de biomasse entre les terres forestières et pastorales a confirmé une différence très significative entre les deux strates une p.value= $2.2\text{e-}16$ ($p < 0,05$) comme l'atteste la figure 3.

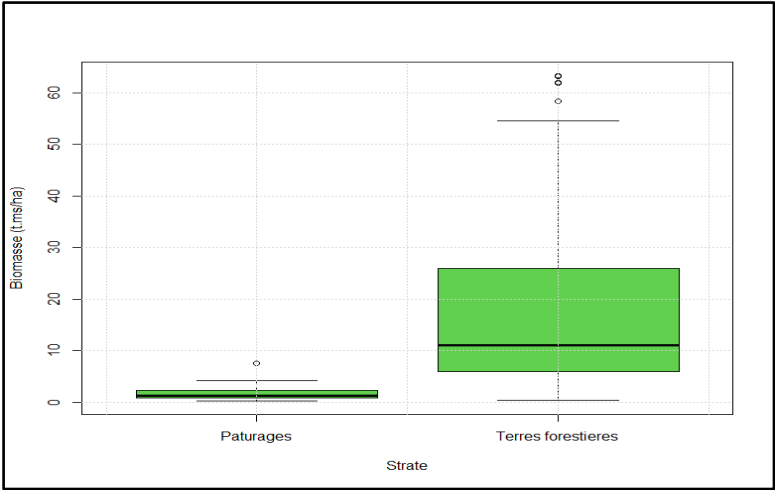


Figure 3. Potentialités en biomasse des terres pastorales et forestières.

La variabilité globale notée entre les terres forestières et zones de pâturages est à l'image de celle observée à travers les sites étudiés (Tableau 2). S'agissant des terres forestières, le site de la Vallée du fleuve Sénégal, avec $25,99 \pm 21,46$ tonnes de matière sèche à l'hectare, dispose des stocks de biomasse les plus élevés. Le Ferlo Est, avec une densité de 119 ± 70 (la plus importante de la zone d'étude) a cependant les potentialités en biomasse les plus faibles de la zone d'étude. Pour les terres de pâturages, à l'exception du Bassin arachidier, la biomasse moyenne ne dépasse pas 2 t.ms.ha^{-1} (Tableau 2).

Tableau 2. Distribution de la ressource par strate et par site

Site	Strate	Superficie (kha)	Densité (Nha)	Biomasse (t.ms.ha ⁻¹)
Bassin arachidier	Pâturages	107,46	11±5	3,12±2,46
Ferlo centre	Pâturages	98,04	35±17	1,55±0,28
Ferlo Est	Pâturages	68,65	50±35	1,75±0,22
Ferlo Ouest	Pâturages	105,61	28±17	1,95±1,10
Ferlo Sud	Pâturages	466,63	11±7	1,49±1,05
Vallée du Fleuve	Pâturages	15,96	8±4	1,15±0,8
Bassin arachidier	Terres forestières	229,70	21±17	17,32±15,83
Ferlo centre	Terres forestières	11,51	75±42	16,48±11,87
Ferlo Est	Terres forestières	19,82	119±70	6,53±5,41
Ferlo Ouest	Terres forestières	47,40	81±59	25,83±17,22
Ferlo Sud	Terres forestières	318,65	60±57	13,84±11,70
Vallée du Fleuve	Terres forestières	12,29	88±44	25,99±21,46

3.2. Structure horizontale des écosystèmes étudiés

La présentation des résultats, toutes espèces confondues, a permis de constater une distribution très irrégulière des individus entre les différentes classes échantillonnées. Plus de 80% de l'effectif est concentré entre les classes de diamètre [1-5 [et [25-30 [(Figure 4).

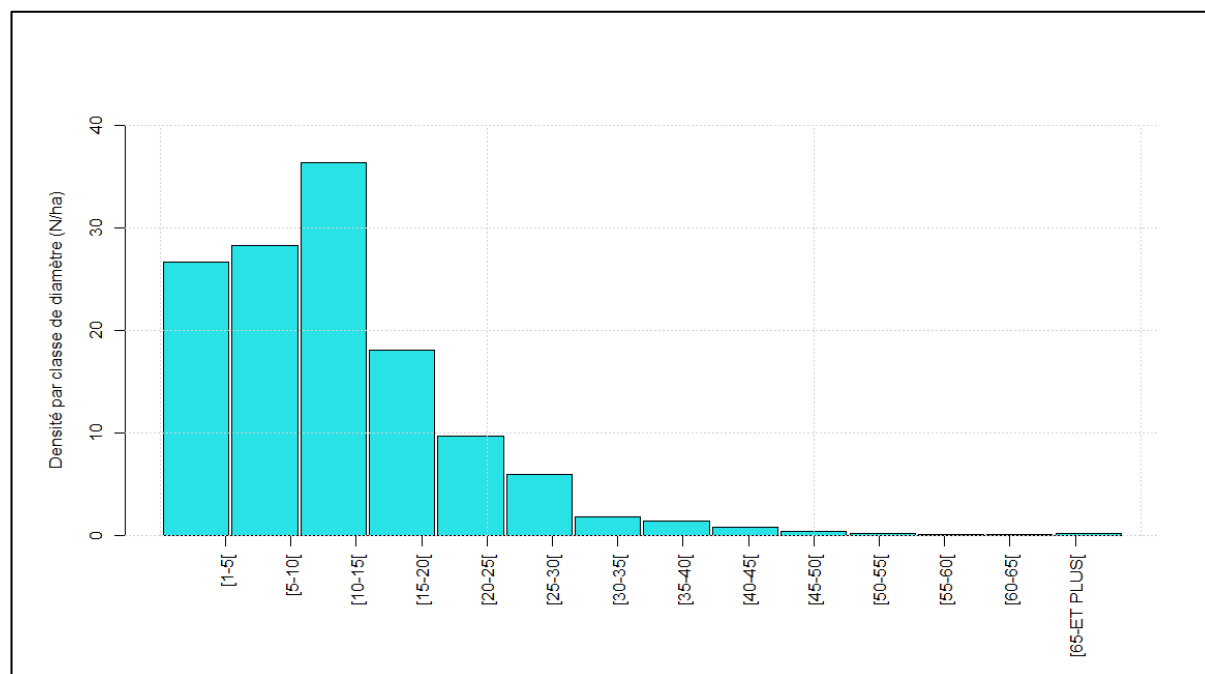


Figure 4. Structure de la végétation de la zone d'étude.

La densité moyenne est de 133 ± 13 individus ligneux à l'hectare pour des stocks moyens de biomasse estimée à $17,73 (\pm 0,86)$ t.ms.ha⁻¹. L'analyse de variance effectuée a permis de noter une différence très significative en termes d'allocation d'arbres par diamètre ($p < 0,05$).

La végétation est largement dominée par les individus de diamètres moyens (Figure 4). En effet, les individus de diamètres inférieurs à 20 cm, font quasiment 83,96% de la population ligneuse.

Les stocks de biomasse sont très inégalement répartis dans la végétation. Une différence très significative est observée dans l'allocation de la ressource entre les différentes classes de distribution des arbres ($P.value = 2.909e-14$) au seuil de probabilité de ($p < 0,001$).

Les arbres de diamètres supérieurs à 20 cm constituent 16,03% de la population en nombre et stockent quasiment 65,82% de la biomasse (Figure 5).

3.3. Allocation de la ressource par espèce

Une liste de plus de 30 espèces a été établie à l'issue de l'exploitation des données collectées (Tableau 3). *Balanites aegyptiaca* avec une densité de 41 ind. ha⁻¹, un stock de biomasse de 5,26 t.ms. ha⁻¹ et un indice de valeur d'importance de 3,18%, se positionne comme la principale espèce de la zone (Tableau 3). Elle est suivie respectivement de *Acacia raddiana* (IVI=26,46%), *Acacia nilotica* (IVI=16,61%) et de *Combretum glutinosum* (IVI=15,53%).

Le classement réalisé à l'aide de l'IVI, en vue de déterminer le poids de chaque espèce, a permis de montrer la forte représentativité de neuf (09) espèces locales (*Balanites aegyptiaca*, *Combretum glutinosum*, *Acacia raddiana*, *Guiera senegalensis* JF. Gmel, *Acacia Senegal* (L) Willd, *Acacia nilotica*, *Acacia seyal* Del., *Pterocarpus lucens*). Le cumul respectif de leur densité et biomasse aérienne dépasse respectivement 95% (Tableau 3).

Tableau 3. Caractérisation des espèces ligneuses de la zone d'étude

<i>Espèce</i>	Densité (N/ha)	Surface terrière (m ² /ha)	Biomasse (t ha ⁻¹)	Poids de l'espèce selon la densité d'arbres (%)	Poids de l'espèce selon les potentialités en biomasse (%)	Abondance relative de l'espèce (/1)	Dominance relative de l'espèce (/1)	Nombre d'occurrence de l'espèce par placette (/193)	Fréquence Relative espèce (/1)	IVI (%)
<i>Balanites aegyptiaca</i>	41	3,19	5,26	30,90	29,61	0,31	0,32	129	0,67	31,33
<i>Combretum glutinosum</i>	28	1,83	2,76	21,15	15,53	0,21	0,18	65	0,34	17,67
<i>Acacia raddiana</i>	15	2,41	4,70	11,07	26,46	0,11	0,24	49	0,25	14,64
<i>Guiera senegalensis</i>	18	0,15	0,23	13,91	1,30	0,14	0,02	28	0,15	7,23
<i>Acacia senegal</i>	5	0,25	0,36	3,83	2,05	0,04	0,03	35	0,18	5,91
<i>Acacia nilotica</i>	4	1,22	2,95	2,99	16,61	0,03	0,12	15	0,08	5,56
<i>Acacia seyal</i>	3	0,22	0,34	2,20	1,92	0,02	0,02	21	0,11	3,69
<i>Pterocarpus lucens</i>	4	0,22	0,33	3,38	1,86	0,03	0,02	9	0,05	2,47
<i>Grewia bicolor</i> Juss	1	0,10	0,14	1,12	0,79	0,01	0,01	11	0,06	1,88
<i>Bauhinia rufescens</i> Lam.	6	0,01	0,02	4,25	0,09	0,04	0,00	6	0,03	1,80
<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.	3	0,05	0,08	2,02	0,46	0,02	0,01	6	0,03	1,37
<i>Combretum micranthum</i> G. Don	1	0,03	0,04	0,42	0,20	0,00	0,00	7	0,04	1,04
<i>Anogeissus leiocarpus</i> (DC) Guill et Perr.	1	0,09	0,18	0,33	0,99	0,00	0,01	5	0,03	0,92
<i>Piliostigma reticulatum</i> (Schmach.) Milne-Redh.	1	0,02	0,02	0,94	0,13	0,01	0,00	3	0,02	0,64
<i>Autres espèces</i>	2	0,2	0,3	1,4	1,7	0,014	0,018	26	0,1	4
TOTAL	133	9,97	17,73	100	100	1	1	-	-	100

NB : La catégorie « *Autres espèces* » regroupe une liste non-exhaustive de 16 espèces notamment : *Commiphora Africana* (A. Rich.) Engl., *Boscia senegalensis*, *Pterocarpus erinaceus* Poir., *Adenium obesum* (Forssk.) Roem. et Schult., *Combretum aculeatum* Vent., *Strychnos spinosa* Lam., *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst, *Combretum molle* R.Br. ex G. Don, *Neocaria macrophylla* (Sabine) Prane, *Azadirachta indica* A. Juss., *Borassus akeassii* Bayton, *Ouedrago* & Guinko, *Capparis macrophylla* Kunth., *Prosopis juliflora* (Sw.) DC, *Feretia apodanthera* Del., *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight et Arn., *Calotropis procera*.

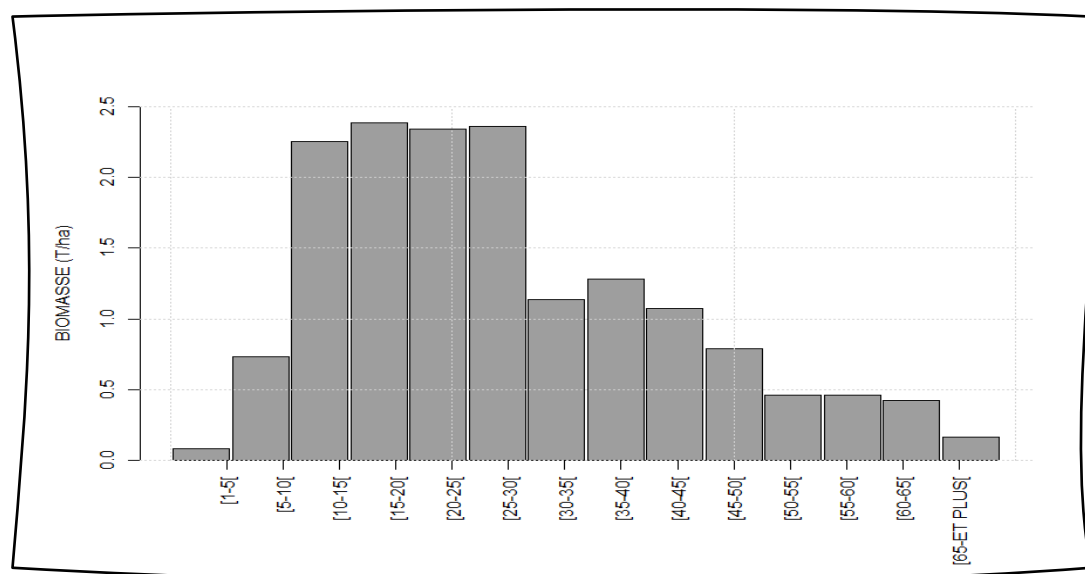


Figure 5. Allocation de la biomasse par classe de diamètre

Dans la liste d'espèces principales de la zone d'étude, figure *Pterocarpus lucens*. Elle n'est rencontrée que dans la zone sylvopastorale. *Pterocarpus lucens* s'identifie à travers des formations naturelles pures à l'échelle d'une bonne partie du Ferlo cuirassée (département de Ranérou Ferlo) avec des densités avoisinant les 320 pieds par endroits. Sa contribution au développement des activités pastorales et à l'atténuation du changement climatique est une des raisons qui motive l'étude de sa dynamique dans son habitat naturel.

3.4. Proposition d'échantillons pour la construction d'un modèle généraliste

Pour les échantillons 150 à 200 individus (toutes classe de diamètres confondues) *Balanites aegyptiaca*, avec 46 individus, pour un échantillon de 150 arbres, selon la densité d'arbre comme variable d'échantillonnage, est la plus représentée. L'allocation par espèce dans le modèle généraliste est synthétisée dans le Tableau 4.

Tableau 4. Allocation du nombre d'individus par espèce

Espèce	Poids de l'espèce selon la densité d'arbres (%)	Taille de l'échantillon selon la densité d'arbre		Poids de l'espèce selon la biomasse (%)	Taille de l'échantillon selon la biomasse		Poids de l'espèce selon IVI (%)	Taille de l'échantillon selon l'indice de valeur d'importance	
		/150 arbres	/200 arbres		/150 arbres	200 arbres		/150 arbres	/200 arbres
<i>Balanites aegyptiaca</i>	30,9	46	62	29,82	45	60	31,6	47	63
<i>Combretum glutinosum</i>	21,1	32	41	15,8	24	32	17,7	27	35
<i>Acacia raddiana</i>	11,6	17	23	26,5	40	53	14,8	22	30
<i>Guiera senegalensis</i>	13,9	21	28	1,7	3	3	7,8	12	16

<i>Acacia senegal</i>	3,8	6	8	2,2	3	4	5,914	9	12
<i>Acacia nilotica</i>	2,9	4	6	16,8	25	34	5,8	9	12
<i>Acacia seyal</i>	2,2	3	4	1,9	3	4	3,8	6	8
<i>Pterocarpus lucens</i>	3,3	5	7	1,8	3	4	2,7	4	5
<i>Grewia bicolor</i>	1,1	2	2	0,8	1	2	2,685	4	5
<i>Bauhinia rufescens</i>	4,2	6	8	0,09	0	0	1,804	3	4
<i>Ziziphus mauritiana</i>	2	3	4	0,45	1	1	1,8	3	4
<i>Combretum micranthum</i>	0,4	1	1	0,3	0	1	1,18	2	2
<i>Anogeissus leiocarpus</i>	0,3	1	1	0,99	1	2	0,917	1	2
<i>Piliostigma reticulatum</i>	0,9	1	2	0,4	1	1	0,8	1	2
<i>Autres espèces ligneuses</i>	1,4	2	3	0,45	1	1	0,7	1	1
TOTAL	100,0	150	200	100	150	200	100	150	200

Une forte disparité est notée entre les trois techniques d'allocation par espèce (densité, biomasse et IVI). En dehors de *Balanites aegyptiaca*, pour laquelle il est noté une relative similarité de taille selon les 3 techniques d'échantillonnage, de gros écarts sont notés pour la quasi-totalité des espèces étudiées.

L'approche par la densité d'arbres entraîne une présence remarquée de sujets de diamètres moyens à petits. Cependant, la répartition par espèce par la méthode basée sur les potentialités en stocks de biomasse a, pour sa part, tendance à donner plus de poids aux espèces qui ont plus de gros arbres dans la zone. L'indice de valeur d'importance (IVI), pour sa part, apporte plus d'équilibre contrairement aux deux précédentes techniques. Toutefois, l'analyse de variance effectuée sur les trois types d'échantillonnage (densité, la capacité de stockage de biomasse et l'indice de valeur d'importance) n'indique aucune différence significative ($P > 0,05$).

3.5. Contribution des classes de diamètre dans la constitution du modèle généraliste

A l'instar de l'allocation du nombre d'individus par espèce, le quota par classe de diamètre dans le modèle généraliste est présenté dans le tableau 5. Les petites classes de diamètres, notamment celles de [1-5[et [5-10[, contribuent faiblement dans le modèle généraliste contrairement aux grandes classes de diamètres qui stockent d'importantes quantités de biomasse (Tableau 5).

Tableau 5. Contribution des classes de diamètre dans la constitution de l'échantillon

Classe (cm)	Densité (N.ha ⁻¹)	Biomasse (t ha ⁻¹)	Proportion de la classe selon la densité d'arbre	Allocation du nombre d'arbres selon la densité d'arbre		Proportion de la classe selon les stocks de biomasse	Allocation du nombre d'arbres par classe de diamètre selon les stocks de biomasse	
			%	/150	/200	%	/150	/200
< 5 cm	8	0,07	6,02	9	12	0,39	1	1
[5-10[	34	0,85	25,56	38	51	4,79	7	10

[10-15[	43	2,44	32,33	48	65	13,76	21	28
[15-20[	21	2,26	15,79	24	32	12,75	19	26
[20-25[	12	2,43	9,02	14	18	13,71	21	27
[25-30[	8	2,54	6,02	9	12	14,33	21	29
[30-35[	2	1,3	1,50	2	3	7,33	11	15
[35-40[	2	1,7	1,50	2	3	9,59	14	19
> 40 cm	3	4,14	2,26	3	5	23,35	35	47

3.6. Construction d'échantillons pour les principales espèces de la zone d'étude

Les résultats ont montré que *Pterocarpus lucens* et *Combretum glutinosum* ont respectivement 63,86% et 60,68% d'individus de diamètre inférieurs à 20 cm. Par ailleurs, aucun sujet de diamètre ≥ 40 cm n'a été recensé pour ces deux espèces. En revanche, *Acacia nilotica* et *Acacia raddiana*, avec respectivement 69,96% et 38,1% de leur population pour des diamètres supérieurs à 40 cm (Figure 6).

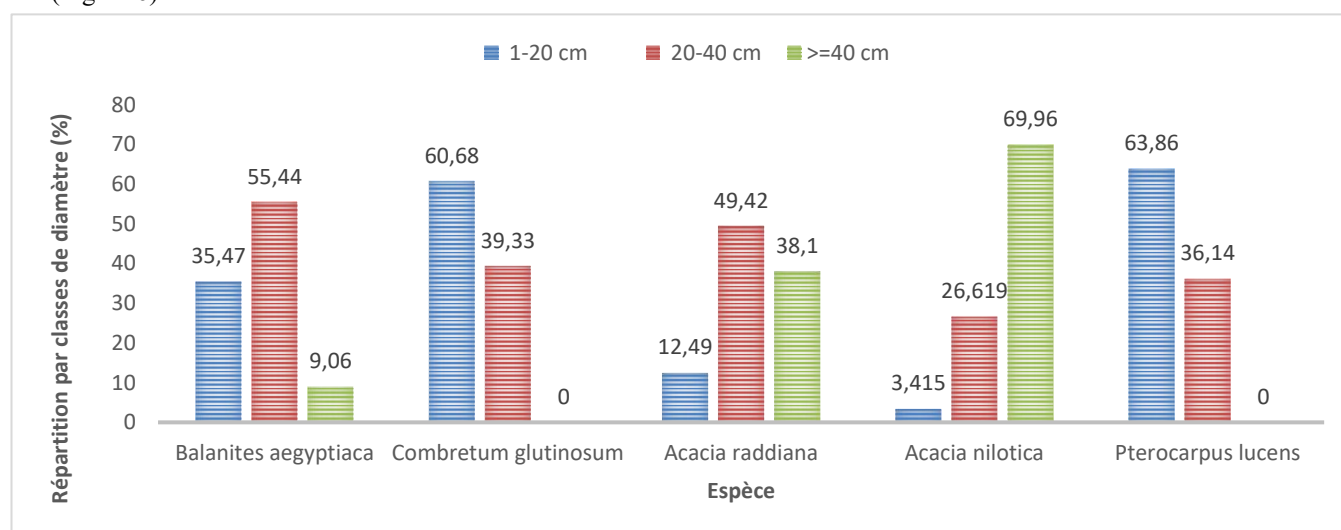


Figure 6. Structure de la population des cinq principales espèces de la zone d'étude.

Pour un objectif d'échantillonner 30 arbres par espèce pour élaborer un modèle allométrique spécifique, l'allocation du nombre d'individus par classe de diamètre est présentée au tableau 6.

Il est également noté une différence relativement importante en termes de distribution entre les classes de diamètre entre lesdites espèces (Tableau 6). Pour *Balanites aegyptiaca* les résultats ont permis de noter la distribution de l'espèce dans une plage de diamètre jusqu'à 50 cm. Au-delà de cette taille, aucun individu n'a pu être inventorié comme l'atteste les résultats. La classe [25-30[est la plus importante en termes de contribution dans la conservation de la biomasse dans la zone d'étude. *Combretum glutinosum*, pour sa part, ne dispose d'aucun sujet de diamètre supérieur à 40 cm dans la zone. La classe]10-15[est la plus importante en termes de stocks de biomasse soit 30,29%.

De fortes similitudes sont notées entre *Acacia raddiana* et *Acacia nilotica* en termes de plages de distribution (classes de diamètre) des individus. Les individus sont dénombrés dans quasiment toutes les classes de diamètre au-delà même de 100 cm. La contribution par classe de diamètre pour *Pterocarpus lucens* permet de noter clairement une forte représentativité de l'espèce dans les classes de diamètre [10-15[et [15-20[dans la zone d'étude. L'espèce a tendance à dépasser rarement certains seuils de diamètre d'où son absence au-delà de 35 cm (Tableau 6).

Tableau 6. Allocation du nombre d'individus en vue de la constitution d'échantillons pour élaborer les modèles allométriques spécifiques

Classe	Densité (Nha)	Poids selon la densité (%)	Allocation (/30)	Densité (Nha)	Poids selon la densité (%)	Allocation (/30)	Densité (Nha)	Poids Selon la densité (%)	Allocation (/30)	Densité (Nha)	Poids selon la densité (%)	Allocation (/30)	Densité (Nha)	Poids selon la densité (%)	Allocation (/30)
	<i>Combretum glutinosum</i>			<i>Balanites aegyptiaca</i>			<i>Acacia nilotica</i>			<i>Acacia raddiana</i>			<i>Pterocarpus lucens</i>		
[1-5[	1	3,6	1	5	11,63	3	0,24	6,00	2	1	6,7	2	0,2	4,24	1
[5-10[	5	17,9	5	10	23,26	7	0,559	13,98	4	2	13,3	4	1,84	38,98	12
[10-15[	12	42,9	13	12	27,91	8	0,44	11,00	3	2	13,3	4	1,48	31,36	9
[15-20[	5	17,9	5	6	13,95	4	0,48	12,00	4	3	20,0	6	0,6	12,71	4
[20-25[	2	7,1	3	4	9,30	3	0,4	10,00	3	2	13,3	4	0,2	4,24	1
[25-30[	1	3,6	1	3	6,98	2	0,12	3,00	1	2	13,3	4	0,2	4,24	1
[30-35[	1	3,6	1	1	2,33	1	0,32	8,00	2	1	6,7	2	0,2	4,24	1
[35-40[	1	3,6	1	1	2,33	1	0,52	13,00	4	1	6,7	2	0	0	0
[40 et +[				1	2,33	1	0,88	23,00	7	1	6,7	2	0	0	0
Total	28	100	30	43	100	30	4	100	30	15	100	30	5	100	30

4. Discussion

4.1. Allocation par classe de diamètre

Les individus de diamètres inférieurs à 20 cm représentent 82,89% de la population ligneuse. Cette importante population d'arbres ne représente cependant que 27,30% des potentialités en stocks de biomasse des peuplements de la zone étudiée. Les individus de gros diamètre, bien qu'ils ne fassent que 17,11% de la population, concentrent l'essentiel de la biomasse et des stocks de carbone des peuplements. Leurs potentialités sont estimées à 72,70% de la biomasse contenue dans la végétation. Ces résultats s'expliquent par la présence d'imposants sujets pour les espèces telles que *Acacia nilotica* et *Acacia raddiana*. Ces deux espèces sont les seules dont les individus dépassent 100 cm de diamètre par endroits. A titre d'illustration, les arbres de diamètres supérieurs à 20 cm (considérés comme de gros arbres en tenant compte du contexte local) font quasiment 57% de la population. La tolérance de l'espèce aux inondations temporaires sont principalement à la base de la forte croissance de l'espèce. Ces résultats sont en phase avec ceux de plusieurs auteurs (Brenan 1983 ; Bastin et al. 2015; Fousseni et al. 2011) qui confirment le potentiel de stockage important de biomasse dans les peuplements de *Acacia nilotica* dans des milieux périodiquement inondés.

De plus, bien qu'étant majoritaires en nombre, les individus de diamètres petits à moyens ne pourraient pas être équivalents en termes de biomasses aux gros arbres (Mensah et al. 2020). Ces résultats s'expliquent par le fait que la zone d'étude est caractérisée par un déficit pluviométrique fréquent et des épisodes de sécheresse de plus en plus marqués. Ces contraintes naturelles ne favorisent pas la croissance en diamètre des arbres d'où leur densité relativement élevée dans la zone. La forte domination des individus de diamètres inférieurs à 20 cm justifie à juste titre la structure des peuplements forestiers. Les gros arbres sont localisés dans des poches où l'influence de l'eau est marquée. En effet, plusieurs auteurs ont trouvé que la densité et la surface terrière augmentent avec la fertilité du sol et, la disponibilité de nutriments et des ressources en eau (Baraloto et al. 2011).

En se basant sur le scénario d'affectation des individus en fonction des potentialités en biomasse, un nombre plus élevé d'individus est affecté aux classes de diamètre supérieures à 20 cm (classes DBH > 20 cm). En effet, les gros arbres stockent plus de biomasse dans leurs différents compartiments. Ces stocks rapportés à l'échelle de toute la zone d'étude témoignent une très forte contribution des individus de gros diamètres dans le stockage de la biomasse malgré leur faible densité. Sur ce principe, l'allocation de la taille de chaque classe de diamètre risquerait d'affecter la qualité et l'équilibre de l'échantillon. La méthode basée sur la densité d'arbres par classe de diamètre donne des résultats qui reflètent relativement la réalité des écosystèmes en termes d'abondance des individus. Ce résultat est en phase avec plusieurs chercheurs (Chave et al., 2004 ; Dutcă, Mather, et Ioraş, 2020) qui recommandent plus d'individus de tailles petites à moyennes en raison de leur capacité à fournir plus d'information. Ce résultat est cependant opposé à celui (Villela et al. 2006) qui confirme que du fait que les gros arbres concentrent le maximum de biomasse forestière donc les données servant à élaborer les modèles allométriques doivent plus tôt leur correspondre (Kabelong Banoho et al. 2020).

4.2. Contribution spécifique dans la construction de l'échantillon

La zone d'étude compte une trentaine d'espèces ligneuses. Ce résultat est en deçà de la moyenne, en termes de diversité spécifique de certaines régions du pays comme la Casamance (Dasyva et al. 2017) et de la plupart des écosystèmes similaires de la sous-région (Ayéki 2023). *Balanites aegyptiaca* également appelée dattier du désert, avec une densité de 41 ind.ha⁻¹, des stocks de biomasse équivalents à 5,3 t.ms.ha⁻¹, une surface terrière de 3,18 m².ha⁻¹ et un indice de valeur d'importance (IVI) de 3,18%, est la principale espèce de la zone. En effet, *Balanites aegyptiaca* est un ligneux à épines dont le feuillage est sempervirent d'où la faculté de procéder à la séquestration du CO₂ toute l'année (Arbonnier, 2019 ; Berhaut, 1964). La présence massive de *Balanites aegyptiaca* peut également s'expliquer par la propagation de ses graines par les hommes et/ou les animaux dans une zone fortement marquée par la transhumance permanente du bétail en saison sèche. En période de soudure ou à l'absence de fourrage herbacé, le couvert aérien de *Balanites aegyptiaca* est fortement prisé par les ruminants d'où les chances de la dissémination de ses graines dans la quasi-totalité de la zone sylvopastorale et du Bassin arachidier (Grouzis et al. 1991; Folega et al. 2017). C'est une espèce qui a tendance à vite coloniser l'espace du fait de sa capacité à une bonne production de fruits. Par ailleurs, *Balanites aegyptiaca* est l'espèce la plus importante tant du point de vue de la densité et de la distribution spatiale. Elle a été décomptée sur 135 des 195 placettes soit une fréquence relative de 69,23%. Cette forte spatialisation de l'espèce trouve la justification de la capacité de l'espèce à vite coloniser l'espace d'où sa résilience aux zones arides. Sa forte production de graines et leur dissémination à la fois par l'homme et les animaux est une des causes de la bonne régénération et croissance. Elle est également une espèce indicatrice des terres dégradées. Ces résultats sur le dattier du désert (*Balanites aegyptiaca*) rejoignent ceux de plusieurs spécialistes de l'espèce (Hall 1992 ; Kébé et al. 2020). Tous ces éléments réunis expliquent principalement

l'importance de *Balanites aegyptiaca* dans la zone d'où son poids élevé dans le modèle généraliste pour la prédiction des stocks de biomasse.

Les résultats de l'étude montrent que *Balanites aegyptiaca* est respectivement suivie par *Combretum glutinosum* et de *Acacia raddiana* ce qui confirme l'abondance de ces trois espèces dans la zone. Ils sont en phase avec ceux de (Ndiaye et al. 2013) qui concluent à travers une étude réalisée dans le Ferlo sablonneux, la présence de 35 espèces parmi lesquelles *Balanites aegyptiaca* et *Combretum glutinosum* sont les plus importantes en nombre. Ils ont également trouvé la forte représentativité des espèces du genre *Acacia* et *Combretum*. Cependant dans la partie nord de la zone sylvopastorale, 20 espèces ont été recensées le long du tracé de la grande muraille verte (Niang et al. 2014). Pour leur part, (Ngom et al. 2013; Folega et al. 2023) ont recensé 49 espèces lors de la caractérisation écologique du peuplement ligneux de la réserve de biosphère du Ferlo et ont noté une présence remarquée de *Combretum glutinosum*. Cet écart en termes de diversité spécifique s'expliquerait par la différence entre les protocoles de collecte de données et les objectifs assignés à chaque étude. En effet, les unités de collecte de (Ngom et al. 2013), au nombre 110 pour une taille de 900 m², sont relativement plus proches les unes des autres et sont plus concentrées sur l'emprise dans la zone concernée ce qui ne semble pas être le cas pour les autres (Folega et al. 2022).

Par ailleurs, les résultats ont montré que les espèces épineuses représentent 76,97% de la biomasse. La forte présence des espèces à épines renseigne leur résilience aux contraintes difficiles du milieu. Physiologiquement, les épines permettent aux plantes pérennes de mieux s'adapter aux fortes périodes de chaleurs qui s'abattent dans les régions arides (Dossounon et al. ; 2024 ;).

De plus, la présence de *Pterocarpus lucens* dans cette liste s'explique par le fait qu'elle n'est rencontrée que dans la zone sylvopastorale. *Combretum glutinosum*, pour sa part, est principalement rencontrée dans la zone de transition entre le Bassin arachidier et la zone sylvopastorale (Ngom et al. 2013).

5. Conclusion

L'étude a permis de réaliser une analyse approfondie des données d'inventaire forestier sur les écosystèmes des régions arides et semi-arides du Sénégal. A la lumière des résultats obtenus, une liste non-exhaustive de plus de trente espèces ligneuses a été établie dont *Balanites aegyptiaca* et *Combretum glutinosum* comme étant les deux principales espèces de la zone étudiée. En termes d'abondance, elles représentent respectivement 30,9% et 21,15% de la population ligneuse.

S'agissant de la structure de la population ligneuse, les individus appartenant aux classes de diamètres 1 à 20 cm font une densité de 95 arbres sur une moyenne de 133 soit 71,43% en valeur relative. Aussi, les individus de la quasi-totalité des espèces, à l'exception de *Acacia nilotica* et *Acacia raddiana*, sont distribués dans les classes de diamètres inférieures à 40 cm.

Le processus d'allocation du nombre de pieds a permis de montrer que les classes de diamètres 1 à 20 cm et les espèces *Balanites aegyptiaca* et *Combretum glutinosum* sont considérées comme les principales contributrices. En effet, pour un échantillon de 150 arbres, les classes de diamètres (1 à 20 cm) contribueraient à hauteur de 121 individus soit 80,66% tandis que *Balanites aegyptiaca* et *Combretum glutinosum* seraient à 69 individus sur les 150 de la population à étudier.

La même approche a été adoptée pour constituer des échantillons pour certaines espèces locales de valeur telles que *Balanites aegyptiaca*, *Combretum glutinosum*, *Acacia nilotica*, *Acacia raddiana* et *Pterocarpus lucens*.

En définitive, les résultats de l'étude annoncent des perspectives intéressantes pour l'élaboration des modèles allométriques adaptés pour l'évaluation des stocks de biomasse et carbone des terres forestières des régions arides et semi-arides du Sénégal.

Remerciement

Les auteurs remercient sincèrement les personnes physiques et morales qui ont contribué à la réalisation de cette étude. Qu'elles en soient remerciées pour leur précieuse contribution à cet article.

Contribution des auteurs (section obligatoire)

Rôle du contributeur	Noms des auteurs
Conceptualisation	Mamadou Kora
Gestion des données	Mamadou Kora
Analyse formelle	Mamadou Kora
Enquête et investigation	Mamadou Kora
Méthodologie	Mamadou Kora
Supervision Validation	Elhadji Faye

Écriture – Préparation	Mamadou Kora
Encadrement correction du document	Elhadji Faye

Références

- Arbonnier M (2019) Arbres, arbustes et lianes d'Afrique de l'Ouest, 4e éd. Revue et augmentée. Éditions Quae, Versailles
- Ayéki K (2023) Caractérisation floristique et dendrométrie des modèles de production de bois énergie dans la région Centrale au Togo. *Revue Ecosystèmes et Paysages* 3:1–13. <https://doi.org/10.59384/recopays.tg3221>
- Baraloto C, Rabaud S, Molto Q, et al (2011) Disentangling stand and environmental correlates of aboveground biomass in Amazonian forests: aboveground biomass in amazonian forests. *Global Change Biology* 17:2677–2688. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02432.x>
- Berhaut J (1964) La flore du Sénégal, Clairafrique. Dakar
- Bimare K, Anissoul B, Marra D, et al (2024) Variabilité spatiale des émissions du CO₂ en fonction de la dynamique des affectations des terres forestières de la Région Centrale du Togo. *Revue Ecosystèmes et Paysages* 4:1–14. <https://doi.org/10.59384/recopays.tg4220>
- Brenan JPM (1983) Manual on taxonomy of Acacia species: present taxonomy of four species of Acacia (*A. albida*, *A. senegal*, *A. nilotica*, *A. tortilis*).
- Brown S (2002) Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution* 116:363–372. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00212-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00212-3)
- Brown S, Gillespie A, Lugo AE (1989) Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data. *Forest Science* 881–902
- Chave J, Andalo C, Brown S, et al (2005) Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145:87–99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- Chave J, Condit R, Aguilar S, et al (2004) Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences* 359:409–420. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1425>
- Cissé O (2024) Diagnostic spatial et Perception des agriculteurs sur la fragmentation de la Forêt Classée De Mbao (FCM), Dakar, Sénégal. *Revue Ecosystèmes et Paysages* 4:1–10. <https://doi.org/10.59384/recopays.tg4214>
- Dasylyva M, Ndour N, Ndiaye O, Sambou B (2017) Analyse de la flore, de la végétation ligneuse et des fonctions des vallées en zone péri-urbaine post-conflit (Ziguinchor, Sénégal). *Int J Bio Chem Sci* 11:360. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i1.28>
- DEFCCS (2024) Rapport de l'Inventaire forestier national : quelle trajectoire de croissance des forêts du Sénégal entre 2007 et 2023 ?
- Djomo AN, Ibrahima A, Saborowski J, Gravenhorst G (2010) Allometric equations for biomass estimations in Cameroon and pan moist tropical equations including biomass data from Africa. *Forest Ecology and Management* 260:1873–1885. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.08.034>
- Dossounon EB, Ndiaye M, Sarr MS, et al (2024) Utilisation efficiente de l'eau et stock de carbone de ligneux fourragers dans la zone sylvopastorale, au Sénégal. *Revue Ecosystèmes et Paysages* 4. <https://doi.org/10.59384/recopays.tg4105>
- Dutcă I, Mather R, Ioraş F (2020) Sampling trees to develop allometric biomass models: How does tree selection affect model prediction accuracy and precision? *Ecological Indicators* 117:106553. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106553>
- ENABEL (2024) Situation de référence de la neutralité en termes de dégradation des terres dans les régions d'intervention du portefeuille thématique climat sahel / volet Sénégal
- FAO (2019) Trees, forests and land use in drylands : the first global assessment

- Faye G, Frison P-L, Diouf A-A, et al (2018) Soil moisture estimation in Ferlo region (Senegal) using radar (ENVISAT/ASAR) and optical (SPOT/VEGETATION) data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 21:S13–S22. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.11.005>
- Folega F, Lamboni P, Kombate B, et al (2024) Un système pilote de suivi régional de la biodiversité au Togo dénommé BioReMa-Togo (Système de suivi de la biodiversité region Maritime). *Revue Ecosystèmes et Paysages* 4:1–13. <https://doi.org/10.59384/recopays.tg4204>
- Folega, F., Haliba, M., Folega, A. A., Ekougoulou, R., Wala, K., & Akpagana, K. (2022). Diversité structurale des ligneux en lien avec l'utilisation des terres du Socle Eburneen au Togo. *Annales de la Recherche Forestière en Algérie*, 12(1), 7-25.
- Fousseni, F., Bilouktime, B., Mustapha, T., Kamara, M., Wouyo, A., Aboudoumisamilou, I., ... & Koffi, A. (2023). Land Use Change and the Structural Diversity of Affem Boussou Community Forest in the Tchamba 1 Commune (Tchamba Prefecture, Togo). *Conservation*, 3(3), 346-362.
- Folega, F., Kanda, M., Konate, D., Pereki, H., Wala, K., Atakpama, W., ... & Akpagana, K. (2017). Foresterie urbaine et potentiel de séquestration du carbone atmosphérique dans la zone urbaine et péri-urbaine de Kpalimé (Togo). *Rev. Sc. Env. Univ., Lomé (Togo)*, 14(1), 7-28.
- Fousseni, F., Kperkoun, W., Zhang, C. Y., Zhao, X. H., & Koffi, A. (2011). Woody vegetation of protected areas in northern Togo. Cases of Barkoissi, Galangashi and Oti-Keran: ecological and structure analyses of plant communities. *Forestry Studies in China*, 13, 23-35.
- Fousséni, F., Wouyo, A., Madjouma, K., Djibril, K., Kissao, G., Kperkouma, W., & Koffi, A. (2019). Flore des espaces verts urbains de la ville d'Atakpamé au Togo. Synthèse: *Revue des Sciences et de la Technologie*, 25(2), 25-39.
- Gibbs HK, Brown S, Niles JO, Foley JA (2007) Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environ Res Lett* 2:045023. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/2/4/045023>
- GIEC (2006) Choix des méthodologies et identification des catégories de sources clés. In: *Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre*. p 34
- Grassi G, House J, Dentener F, et al (2017) The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation. *Nature Clim Change* 7:220–226. <https://doi.org/10.1038/nclimate3227>
- Grouzis J, Nizinski J, Akpo EL (1991) L'arbre et l'herbe au Sahel : Influence de l'arbre sur la structure spécifique et la production de la strate herbacée, et sur la régénération des espgces ligneuses. Montpellier - France, p 15
- Hall JB (1992) Ecology of a key African multipurpose tree species, *Balanites aegyptiaca* (Balanitaceae): the state-of-knowledge. *Forest Ecology and Management* 50:1–30. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(92\)90311-V](https://doi.org/10.1016/0378-1127(92)90311-V)
- Henry M, Picard N, Trotta C, et al (2011) Estimating tree biomass of sub-Saharan African forests: a review of available allometric equations. *Silva Fenn* 45:. <https://doi.org/10.14214/sf.38>
- Herold M, Román-Cuesta RM, Mollicone D, et al (2011) Options for monitoring and estimating historical carbon emissions from forest degradation in the context of REDD+. *Carbon Balance Manage* 6:13. <https://doi.org/10.1186/1750-0680-6-13>
- Kabelong Banoho L-P-R, Zapfack L, Weladji RB, et al (2020) Biodiversity and carbon sequestration potential in two types of tropical rainforest, Cameroon. *Acta Oecologica* 105:103562. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2020.103562>
- Kaïré M (1999) La production ligneuse des jachères et son utilisation par l'homme au Sénégal
- Kébé M, Sagna MB, Diallo M, et al (2020) Étude des caractéristiques écologiques d'un peuplement ligneux de la Grande Muraille verte dans le Ferlo nord, Sénégal. *Rebpasres* 63–67

- Ketterings QM, Coe R, Van Noordwijk M, et al (2001) Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* 146:199–209. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00460-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00460-6)
- Kumar MB, Jacob George S, Jamaludheen V, Suresh TK (1998) Comparison of biomass production, tree allometry and nutrient use efficiency of multipurpose trees grown in woodlot and silvopastoral experiments in Kerala, India. *Forest Ecology and Management* 112:145–163. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00325-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00325-9)
- Malhi Y, Grace J (2000) Tropical forests and atmospheric carbon dioxide. *Trends in Ecology & Evolution* 15:332–337. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)01906-6](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)01906-6)
- Mensah S, Noulèkoun F, Ago EE (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>
- Ndiaye O, Aly D, Bassimbé SM, Aliou G (2013) Diversité floristique des peuplements ligneux du Ferlo, Sénégal. *vertigo*. <https://doi.org/10.4000/vertigo.14352>
- Ndong AT, Ndiaye O, Faye MN, et al (2015) Espèces ligneuses du Ferlo-Nord, Sénégal : état actuel et usage. *com* 401–422. <https://doi.org/10.4000/com.7557>
- Ngom D, Bakhoun A, Kindomihou V, Sékouna D (2012) Firewood potential production of three sahelian woody species (*Grewia bicolor*, *Pterocarpus lucens* and *Combretum glutinosum*) in Ferlo (Northern Senegal). *Advances in Environmental Biology* 2329–2334
- Ngom D, Fall T, Sarr O, et al (2013) Caractéristiques écologiques du peuplement ligneux de la réserve de biosphère du Ferlo (Nord Sénégal). *Journal of Applied Biosciences* 5008–5023
- Niang K, Ndiaye O, Diallo A, Guisse A (2014) Flore et structure de la végétation ligneuse le long de la Grande Muraille Verte au Ferlo, nord Sénégal. *J App Bioscience* 79:6938. <https://doi.org/10.4314/jab.v79i0.15>
- Pardé J, Bouchon J (1988) *Dendrométrie*. 2 ed. Nancy, Ecole Nationale du génie rural, des Eaux et Forêts, 328 p, 2 ed. Nancy, Ecole Nationale du génie rural, des Eaux et Forêts,
- Paul KI, Radtke PJ, Roxburgh SH, et al (2018) Validation of allometric biomass models: How to have confidence in the application of existing models. *Forest Ecology and Management* 412:70–79. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.01.016>
- Picard N, Saint-André L, Henry M (2012) Manuel de construction d'équations allométriques pour l'estimation du volume et la biomasse des arbres
- Quentin MM, Alfred N, Alexis LN (2022) Estimation de la Biomasse des Arbres et Incertitudes Associées (Revue Bibliographique). *ESJ* 11:. <https://doi.org/10.19044/esipreprint.11.2022.p656>
- Sawadogo L, Savadogo P, Tiveau D, et al (2010) Allometric prediction of above-ground biomass of eleven woody tree species in the Sudanian savanna-woodland of West Africa. *Journal of Forestry Research* 21:475–481. <https://doi.org/10.1007/s11676-010-0101-4>
- Stephenson NL, Das AJ, Condit R, et al (2014) Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size. *Nature* 507:90–93. <https://doi.org/10.1038/nature12914>
- Thiam S, Sambou B, Mbow C, Guisse A (2014) Élaboration de modèles allométriques d'*Acacia Sénégal* L. Willd pour l'analyse du carbone ligneux en milieu sahélien : cas de la zone sylvopastorale au Sénégal. *Afrique SCIENCE* 304–315
- Vieilledent G, Vaudry R, Andriamanohisoa SFD, et al (2012) A universal approach to estimate biomass and carbon stock in tropical forests using generic allometric models. *Ecological Applications* 22:572–583. <https://doi.org/10.1890/11-0039.1>

Villela DM, Nascimento MT, De Aragão LEOC, Da Gama DM (2006) Effect of selective logging on forest structure and nutrient cycling in a seasonally dry Brazilian Atlantic forest. *Journal of Biogeography* 33:506–516. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01453.x>