

# Caractérisation floristique et dendrométrique des modèles de production de bois énergie dans la région centrale au Togo

## Wood energy production models floristic and dendrometric characterization in Central Region (Togo)

Kaina Ayéki\*, Dourma Marra, Folega Fousseni, Diwediga Badabate, Wala Kperkouma et Akpagana Koffi

Université de Lomé, Faculté des Sciences, Laboratoire de Botanique et Écologie, végétale, 1 BP 1515, Lomé 1, Togo

(\*): Auteur correspondant: [kainaayeki@gmail.com](mailto:kainaayeki@gmail.com)

**Comment citer l'article :** Kaina Ayéki, Dourma Marra, Folega Fousseni, Diwediga Badabate, Wala Kperkouma, Akpagana Koffi (2023). Caractérisation floristique et dendrométrique des modèles de production de bois énergie dans la région Centrale au Togo. *Rev Ecosystèmes et Paysages (Togo)*, 3(2) : 1–13, e-ISSN (Online) : 2790-3230

DOI :

<https://doi.org/10.59384/recopays.tg3221>

**Reçu :** 1 octobre 2023

**Accepté :** 15 décembre 2023

**Publié :** 30 décembre 2023



**Copyright:** © 2023 by the authors.

Submitted for possible open access

publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license

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

### Résumé

Dans la région centrale du Togo, quatre grands modèles de production de bois énergie se distinguent. La présente étude réalisée dans cette région a pour but de mettre en place un outil de prise de décision à travers la caractérisation de ces modèles de production sur les plans floristiques et forestiers. Elle se base sur les inventaires floristiques et forestiers au sein de 122 sites à savoir 61 sites témoins et 61 sites exploités. En se servant des logiciels CANOCO, MINITAB et avec la contribution du tableur Excel, les données floristiques et dendrométriques ont été traitées et analysées. De cette étude, il ressort que les paramètres floristiques varient considérablement d'un modèle de production à un autre. De façon générale, la richesse spécifique est plus élevée dans les sites témoins que dans les sites exploités. Cette différence de richesse spécifique entre les sites témoins et les sites exploités est très significative. Le modèle Héritage individuel semble avoir la plus grande richesse spécifique suivi du modèle Frauduleux individuel. Par contre, en termes de perte de richesse spécifique, le modèle Concessionnaire individuel et le modèle Frauduleux individuel semblent les plus destructeurs. Sur le plan dendrométrique, la surface terrière, la biomasse et la densité obtenues sur les sites exploités comparés aux sites témoins indiquent le modèle concessionnaire individuel et le modèle Frauduleux individuel comme les plus destructeurs des ressources ligneuses végétales comparés aux modèles Concessionnaire collectif et Héritage individuel. Au vu du caractère moins destructeur des modèles Concessionnaire collectif et Héritage individuel et d'une production durable du bois énergie pour les générations présentes et futures, l'intérêt doit être tourné vers ces modèles qui conservent au mieux les écosystèmes forestiers.

### Mots clés

Caractérisation, modèle de production, bois énergie, Région centrale, durabilité

### Abstract

There are four wood energy production models in the central region of Togo. This study carried in this region aimed to establish a decision-making tool by characterizing these production models from a floristic and forestry standpoint. It is based on floristic and forestry inventories at 122 sites, i.e. 61 control sites and 61 harvested sites. Using CANOCO and MINITAB software and an Excel spreadsheet, floristic and dendrometric

---

data were processed and analyzed. The study showed that floristic parameters vary considerably from one production model to another. In general, species richness is higher in control sites than in harvested sites. This difference in species richness between control and harvested sites is highly significant. The Individual Inheritance model appears to have the highest species richness, followed by the Individual Fraudulent model. On the other hand, in terms of species richness loss, the Individual Concessionary model and the Individual Fraudulent model appear to be the most destructive. In dendrometry terms, basal area, biomass and density obtained on logged sites compared with control sites indicate that the individual concessionary model and the individual fraudulent model are the most plant wood resources destructive, compared with the collective concessionary and individual inheritance models. In view of Collective Concessionary and Individual Inheritance models less destructive nature and wood energy production sustainable for present and future generations, interest should be turned towards these models which best forest ecosystems conserve.

### Keywords

Characterization, production model, wood energy, Central Region, sustainability

---

## 1. Introduction

Le bois énergie est d'une importance capitale dans la vie des populations surtout les plus démunies (Arnold et al. 2006). Il est à la base d'une filière source d'emploi et de revenu aussi bien pour des acteurs publics que privés (Deglise & Donnot, 2004 ; Ouédraogo, 2006 ; Gazull & Gautier, 2015). Il est la principale source d'énergie et d'emplois pour des personnes en Afrique (Ryan et al. 2016 ; Kiruki et al. 2019 ; Smith et al. 2019). En Afrique subsaharienne, la dépendance des populations vis-à-vis de l'énergie issue de la biomasse est de plus en plus grandissante (May-Tobin, 2011 ; Chidumayo & Gumbo, 2013 ; Miranda Santos et al. 2017). La production du bois énergie se fait suivant plusieurs modèles impactant de façon différente les écosystèmes. Plusieurs travaux ont démontré que les perturbations des équilibres environnementaux sont liées aux modèles d'exploitation des ressources ligneuses (Sounon *et al.*, 2007 ; Ousséni *et al.*, 2011 ; Kadeba et al. 2015). Ces modèles de production sont discriminés en fonction des formations végétales, des techniques utilisées, du mode d'accès à la ressource, des acteurs (Nkoua & Gazull, 2011) du statut de l'aire de production (Gazull & Gautier, 2015) . On distingue donc des modèles à base des plantations privées ou agroforêts (Marien, 2008 ; Peltier et al. 2014), publics, des espaces aménagés ou non aménagés (Gazull & Gautier, 2015) et des modèles à base des forêts naturelles (Ndegwa et al. 2018). La connaissance floristique et structurale d'un milieu donné est un outil indispensable pour appuyer les politiques de développement d'un secteur (Melom et al. 2015).

Au Togo, à l'instar des pays de l'Afrique subsaharienne, la production de bois énergie se fait suivant des modèles de production peu caractérisés. L'impact de la production du bois énergie sur les écosystèmes a été largement abordé et démontrée par plusieurs auteurs (Fontodji et al. 2009 ; Kokou et al. 2009 ; Traore et al. 2011 ; Kaina et al. 2018 ; Kombate et al. 2022). Etant donné qu'il existe plusieurs modèles de production, il n'existe pas de données spécifiques de l'impact de la production du bois énergie suivant les modèles de production. Cependant, le souci d'une gestion rationnelle des ressources pousse à rechercher des meilleures stratégies pour une durabilité des écosystèmes. La caractérisation des modèles de production de bois énergie pourrait être un outil d'aide à la décision pour la survie des populations et des écosystèmes des zones de production de bois énergie.

Cette étude est menée dans la Région Centrale du Togo, qui regorge une dizaine de bassins de production de bois énergie (Kaina et al. 2021) dont la production se fait actuellement sur la base de plusieurs modèles. La caractérisation de ses modèles de production sur le plan forestier et floristique serait un atout pour la gestion efficace de la filière bois énergie et une bonne protection des écosystèmes déjà vulnérables. L'objectif général de cette étude est de contribuer à une gestion rationnelle des ressources ligneuses à travers la caractérisation des modèles de production de bois énergie. Elle envisage plus spécifiquement à (i) évaluer la diversité floristique des modèles de production de bois énergie, (ii) déterminer la structure des sites de production de bois énergie suivant les modèles de production et (iii) analyser l'impact de chaque modèle de production sur les ressources ligneuses.

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1. Zone d'étude

La Région Centrale du Togo est limitée au nord par la région de la Kara, au sud par la région des Plateaux, à l'est par le Bénin et à l'ouest par le Ghana (Figure 1.1). Elle chevauche avec les trois zones écologiques (II, III et IV) définies par Ern (1979). Elle appartient à la zone d'endémisme soudanien définie par White (1986). En termes de poids démographique, la région est la moins peuplée du pays avec une densité moyenne est de 52 habitants/km<sup>2</sup> (INSEED, 2011). Elle jouit d'un climat tropical semi-humide dans sa partie septentrionale et d'un climat guinéen dans sa partie méridionale. Le relief est constitué de plaines, vallées et plateaux dominés par des montagnes accidentées. Le réseau hydrographique est très dense avec un régime d'écoulement saisonnier. Les principaux sols rencontrés sont : des sols ferrallitiques, ferrugineux tropicaux, vertisols, hydromorphes et les sols peu évolués d'érosion.

Elle est caractérisée par des formations forestières et savaniques diversifiées et liées aux conditions climatiques et au relief du milieu. Cependant, celles-ci se dégradent en raison des pressions anthropiques qui favorisent l'extension savanicole. Ainsi sur les montagnes ou plateaux bien arrosés, il y a des formations forestières denses. En dehors de ces formations, il y a aussi des forêts galeries le long des cours d'eau et des forêts de terre ferme. La végétation est fortement menacée par les techniques de mise en valeur agricole, le déboisement abusif pour les besoins en énergie et en bois d'œuvre, les feux de brousse annuels et les flux migratoires à destination de la région centrale.

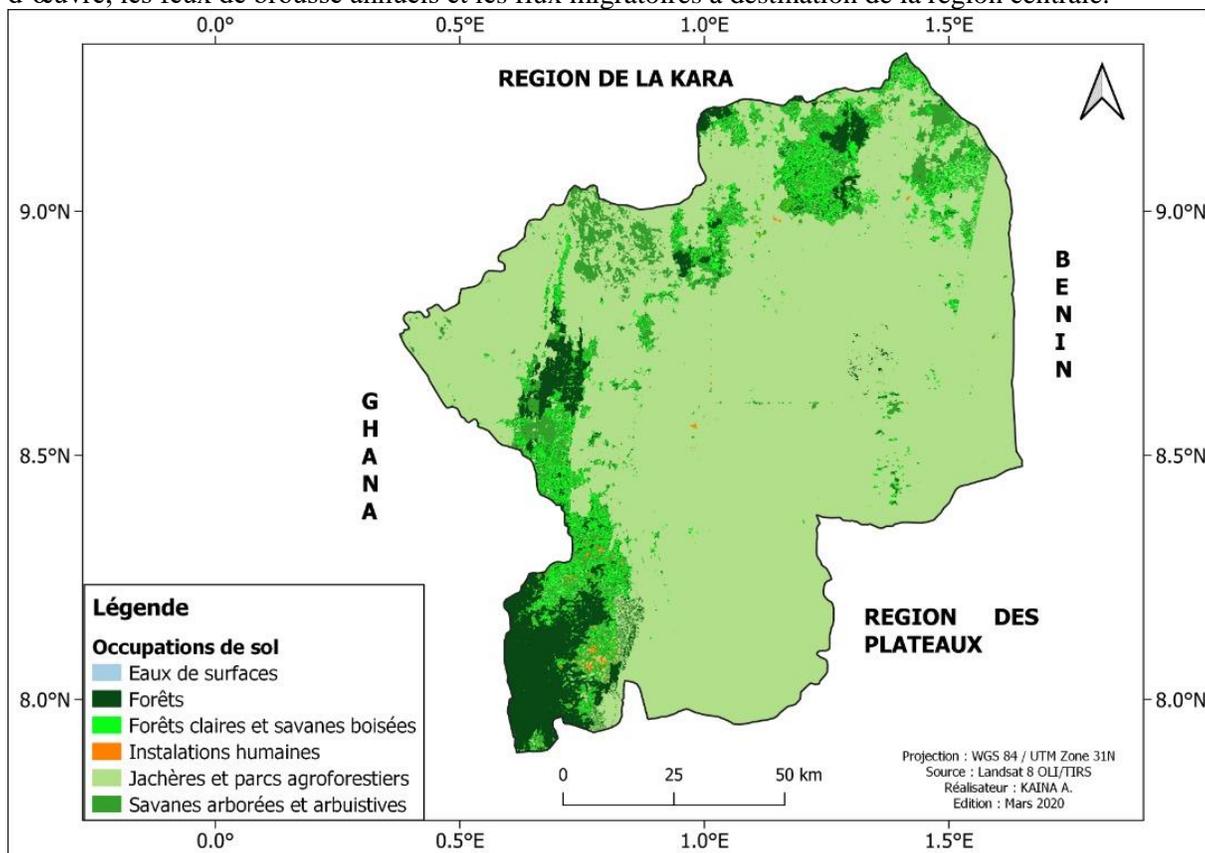


Figure 1. Carte de la Région centrale

### 2.2. Collecte des données

Elle s'est basée sur les inventaires forestiers et floristiques des sites de production de bois énergie et des sites témoins. Les placettes ont été installées par paires de façon qu'une placette dans un site de production soit précédée d'une placette dans une formation végétale similaire juxtaposée plus ou moins conservée. Une orientation par la présence des coupes et/ou des meules de carbonisation a permis d'installer et de réaliser 122 placettes de tailles variables en fonction du type de formation végétale (Sinsin *et al.*, 2010 ; Wala, 2010 ; Woegan, 2011) :

- 1000 m<sup>2</sup> (50 m×20 m) dans les forêts,
- 2500 m<sup>2</sup> (50 m× 50 m) dans les agroforêts et savanes,

- 500 m<sup>2</sup> (50m × 10m le long des cours d'eau (Akpagana, 1989 ; Natta, 2003 ; Adjonou et al. 2009).

Les inventaires floristiques ont consisté à relever toutes les espèces végétales ligneuses présentes dans les placettes en leur affectant un coefficient d'abondance dominance suivant l'échelle de Braun-Blanquet (Braun-Blanquet, 1932). Les inventaires forestiers ont concerné les ligneux. Dans chaque placette, les paramètres dendrométriques tels que la hauteur du fût, la hauteur totale et la circonférence de tous les individus d'arbres (individus à dbh ≥ 10 cm) et des souches ont été mesurés. Il a été aussi installé trois sous placettes de 25 m<sup>2</sup> (5 m × 5 m) de façon diagonale dans chaque placette pour étudier la régénération qui a consisté à compter le nombre de tous les individus ligneux à D < 10 cm conformément aux travaux de (Pereki et al. 2013 ; Atakpama et al. 2014 ; Polo-Akpisso et al. 2016). Les espèces ont été identifiées directement sur le terrain suivant la nomenclature utilisée par la Flore du Togo (Brunel et al. 1984) et conformément à celle de la Flore Analytique du Bénin (Akoègninou et al. 2006).

### 2.3. Traitement et analyse des données

Les données ont été saisies à l'aide du tableur Excel et soumises à des analyses multivariées grâce aux logiciels CANOCO 4.5 et MINITAB 16 afin de connaître la diversité, la composition floristique et l'écologie des groupements végétaux inféodés aux différentes formations végétales exploitées pour la production du bois énergie. Les données floristiques ont été soumises aux calculs des paramètres comme : La richesse spécifique (Rs), l'indice de Shannon (H), l'indice d'équitabilité de Pielou (E) et la densité relative en fonction des modèles de production.

Les mesures dendrométriques ont été traitées avec le Tableur Excel pour déterminer les caractéristiques structurales des espèces suivant les modèles de production. Pour l'ensemble des relevés, le nombre total d'espèces ayant des individus dbh > 10 cm a été déterminé. La courbe rang-fréquence des espèces a été réalisée en calculant les fréquences relatives des espèces. Pour le calcul des paramètres floristiques, les formules suivantes ont été utilisées :

- La richesse spécifique (Rs)  $Rs = No$  (1)
- La fréquence relative (Fr) :  $Fr = \frac{Nri}{Nrt} \times 100$  (2)
- L'indice de Shannon (H') :  $H' = -\sum_{i=1}^S p_i \log_2(p_i)$  (3)

$$L'indice d'équitabilité de Pielou (E) :  $E = \frac{H'}{H'_{max}} = \frac{-\sum_{i=1}^S p_i \log_2(p_i)}{\log_2(S)}$  (4)$$

Les paramètres dendrométriques telles que la densité des tiges à l'hectare et la surface terrière ont été calculés suivant les formules :

$$La densité relative :  $Dr = \frac{ni}{N} \times 100$  (5)$$

Avec Dr : Densité relative, ni : nombre d'individus de l'espèce i, N : nombre total d'individus de toutes les espèces.

$$La surface terrière :  $gi = \frac{\pi}{(4 \times S)} \times \sum D^2 \times 0,0001 \times D^2$  (6)$$

Avec gi en m<sup>2</sup>/ha, D le diamètre en (m) à 1,30 m du sol.

Le biovolume (BIOV) et la biomasse (BIOM) vivante ont été estimés selon les formules suivantes :

$$Le biovolume (en cm<sup>3</sup>)  $BIOV = [(D^2 \times \pi \times h) / 4] \times 0,546 \times 1,28$  (7)$$

(π : 22/7 ; 1,28 : "facteur d'expansion racinaire" ; 0,546 : facteur forme de l'arbre ;

D : diamètre de l'arbre en cm ; h : hauteur de l'arbre en cm)

$$La biomasse (BIOM) (en kg)  $BIOM : (Biovolume \times 0,58) \cdot 10^{-3}$  (8)$$

(0,58 g/cm<sup>3</sup> : densité du bois par défaut pour les forêts tropicales d'Afrique (GIEC, 2006 ; Nasi *et al.*, 2009 ; De Madron *et al.*, 2011 ; Badabaté *et al.*, 2012 ; Tsoumou *et al.*, 2016 ; Ifo & Binsangou, 2019).

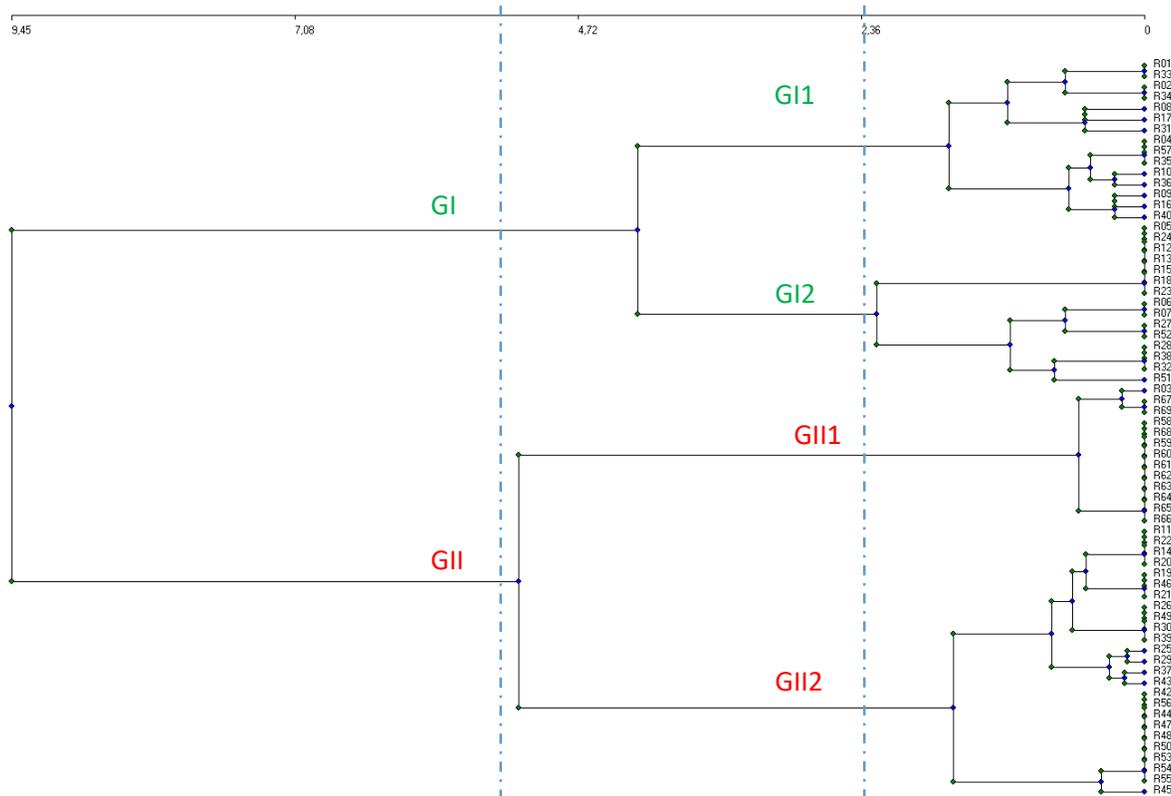
Une matrice « relevés x espèces » a été élaborée dans le Tableur Excel sur la base de la présence/absence des espèces et soumise à une analyse factorielle de correspondance (AFC) à l'aide du logiciel CAP 2.15 (Community Analysis Package) suivant la méthode de Ward's. Elle a permis de discriminer les groupes de relevés sur la base de la diversité floristique.

## 3. Résultats

### 3.1. Discrimination des relevés

La classification ascendante hiérarchique (Magee *et al.*, 2013) des relevés suivant la méthode ward's a permis de discriminer à 55 %, deux grands groupes de relevés (GI et GII) subdivisés chacun en deux sous-groupes à 28 % : GI<sub>1</sub>, GI<sub>2</sub>, GII<sub>1</sub> et GII<sub>2</sub> (Figure 5.5). Les groupes GI<sub>1</sub> et GI<sub>2</sub> représentent les relevés réalisés sur les sites jouissant des modèles de production informels respectivement, le modèle Concessionnaire individuel et le modèle frauduleux individuel. Les groupes GII<sub>1</sub> et GII<sub>2</sub> regroupent des relevés réalisés sur les sites jouissant des modèles de production formels à savoir : Le modèle de production Concessionnaire collectif et le modèle de production Héritage individuel. Les modèles de production de bois énergie ont été discriminés par le type de formation exploitée. Ainsi, le groupe GI<sub>1</sub> regroupe les relevés effectués sur les sites des concessionnaires individuels dans des formations très denses. Le groupe GI<sub>2</sub> regroupe des relevés effectués sur les sites des frauduleux individuels dans des formations denses. Le groupe GII<sub>1</sub> est constitué

des relevés des concessionnaires collectifs réalisés dans des formations ouvertes. Le groupe  $GII_2$  renferme quant à lui des relevés des sites des Héritage individuel réalisés dans les formations très ouvertes.



**Figure 2.** Typologie des relevés par la classification ascendante hiérarchique sur la base de leur similarité floristique

### 3.2. Caractéristiques floristiques et dendrométriques des sites témoins

#### *Caractéristiques floristiques des sites témoins*

Pour les sites témoins, il a été recensé :

- ❖ 106 espèces, 84 genres 37 familles pour le modèle Héritage individuel ;
- ❖ 86 espèces, 74 genres et 33 familles pour le modèle Frauduleux individuel ;
- ❖ 78 espèces, 47 genres et 22 familles pour le modèle Concessionnaire Individuel,
- ❖ 64 espèces, 51 genres et 23 familles pour le modèle Concessionnaire collectif.

L'indice de shannon est respectivement de 6,28 pour les Héritage individuel, 6,1 pour les Concessionnaire collectif, 5,9 pour les Frauduleux individuel et 5,47 pour le Concessionnaire individuel. L'équitabilité de piélou est de 1 pour le modèle Concessionnaire collectif, 0,94 pour les Héritage individuel, 0,92 pour les Frauduleux individuel et 0,87 pour les Concessionnaires individuels. (Tableau 1). Le test non paramétrique de Kruskal Wallis montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les richesses spécifiques (P-value = 0,93 > 0,001), les Ish (P-value = 0,004 > 0,001) et l'équitabilité de piélou (P-value = 0,002 > 0,001) des sites témoins des modèles de production de bois énergie.

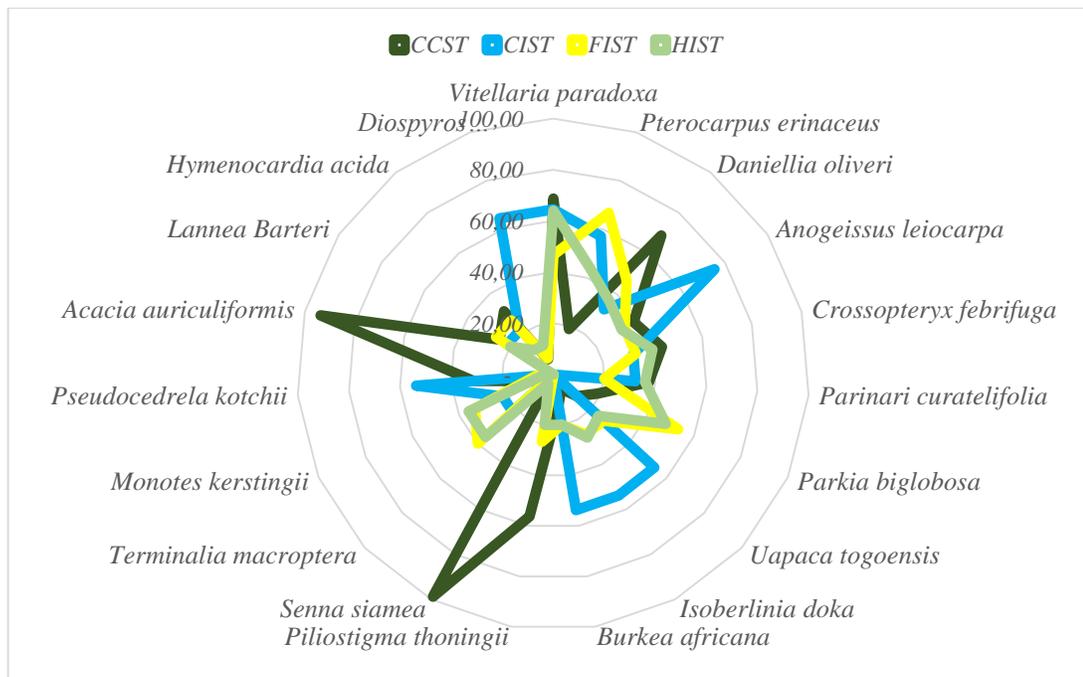
**Tableau 1.** Caractéristiques floristiques des sites témoins en fonction des modèles de production

Modèles	Rs	Genres	Familles	Ish	Eq
CC	64	51	23	6,1	1
CI	78	47	22	5,47	0,87
FI	86	74	33	5,94	0,92
HI	106	84	37	6,28	0,94

**CCST** : Concessionnaire collectif ; **CIST** : Concessionnaire individuel ; **FIST** : Frauduleux individuel ; **HIST** : Héritage individuel.

Les espèces les plus fréquentes sont :

- ❖ *Senna siamea* (80 %), *Acacia auriculiformis* (75 %), *Vitellaria paradoxa* (69 %), *Daniellia oliveri* (69 %) et *Piliostigma thonningii* (56 %) pour les sites du modèle Concessionnaire collectif ;
- ❖ *Anogeissus leiocarpa* (71 %), *Diospyros mespiliformis* (57 %), *Pouteria alnifolia* (42 %) pour les sites du modèle Concessionnaire individuel ;
- ❖ *Pterocarpus erinaceus* (67 %), *Uapaca Togoensis* (43 %), *Parkia biglobosa* (53 %), *Terminalia macroptera* (40 %), *Monotes kerstingii* (33 %), *Pericopsis laxiflora* (33 %) et *Lophira lanceolata* (40 %) pour les sites du modèle Frauduleux individuel ;
- ❖ *Vitellaria paradoxa* (64 %), *Pericopsis laxiflora* (40 %), *Parkia biglobosa* (48 %), *Pterocarpus erinaceus* (44 %), *Monotes kerstingii*, *Crossopteryx febrifuga* (40 %), *Terminalia macroptera* (36 %) et *parinari curatellifolia* (36 %) pour les sites du modèle Héritage individuel (Figure 3)



**Figure 3.** Fréquences relatives des espèces des sites témoins

### Caractéristiques dendrométriques des sites témoins

Il ressort de cette étude, une biomasse à l'hectare de 195,65 t pour le modèle Concessionnaire individuel, 124,5 t pour le modèle Frauduleux individuel, 84,67 t pour le modèle Héritage individuel et 46,23 t pour le modèle Concessionnaire collectif. Le biovolume est de 337 m<sup>3</sup> pour le modèle Concessionnaire individuel, 227 m<sup>3</sup> pour le modèle Frauduleux individuel 145 m<sup>3</sup> pour le modèle Héritage individuel, et seulement 98 m<sup>3</sup> pour le modèle Concessionnaire collectif. La surface terrière est de 28 m<sup>2</sup>/Ha pour le Concessionnaire individuel, 14m<sup>2</sup>/Ha pour le modèle Héritage individuel, 10 m<sup>2</sup>/Ha pour le modèle Frauduleux individuel et seulement 5,6 m<sup>2</sup>/Ha pour le modèle Concessionnaire collectif. La densité relative (nombre de tige par hectare) est plus élevée dans le modèle Frauduleux individuel (292) suivi du modèle Concessionnaire individuel (274), Concessionnaire collectif (225) et enfin du modèle Héritage individuel (118).

La hauteur moyenne et le diamètre moyen des arbres les plus élevés sont observés dans le modèle Concessionnaire individuel tandis que ces variables sont faibles dans le modèle Concessionnaire collectif. (Tableau 2).

**Tableau 2.** Caractéristiques dendrométriques des sites témoins en fonction des modèles de production

Modèles	Biov (m <sup>3</sup> /Ha)	Biom (t/Ha)	Pieds/ha	Hmoy (m)	Dmoy (m)	Sterrière (m <sup>2</sup> /Ha)
CCST	98,10	46,23	225	10 ± 4,2	17 ± 9,7	5,6 ± 0,02
CIST	337,33	195,65	274	13,79 ± 4,54	29,1 ± 26,6	28,33 ± 0,67
FIST	277,23	124,50	292	11,99 ± 3,87	27,9 ± 20,31	10,25 ± 0,099
HIST	145,98	84,67	118,00	12,05 ± 4,28	27,09 ± 28,36	14,23 ± 0,11

Source : Données terrain 2019

**Biov** : biovolume ; **Biom** : Biomasse ; **Hmoy** : Hauteur moyenne ; **Dmoy** : Diamètre moyen et **Sterrière** : Surface terrière

### 3.3. Caractéristiques floristiques et dendrométriques des sites exploités

#### Caractéristiques floristiques des sites exploités

Il a été recensé au total :

- 75 espèces sur les sites du modèle Héritage individuel, 56 espèces pour le modèle Frauduleux individuel, 50 espèces pour le modèle Concessionnaire collectif et 48 espèces pour le modèle Concessionnaire individuel,
- 63 genres pour le modèle Héritage individuel, 50 pour le modèle Frauduleux individuel, 43 et 33 respectivement pour le modèle Concessionnaire individuel et le modèle Concessionnaire collectif,
- 31 familles sur les sites du modèle Héritage individuel, 21 pour les sites du modèle Frauduleux individuel, 22 pour les sites du modèle Concessionnaire individuel et 17 familles pour les sites du modèle Concessionnaire collectif.

L'indice de shannon est élevé dans l'ensemble des modèles témoignant d'une richesse spécifique élevée. Ainsi les sites exploités du modèle Héritage individuel ont un indice plus élevé (5,64) suivi respectivement du modèle Concessionnaire individuel (5,42), du modèle Frauduleux individuel (5,39) et du modèle Concessionnaire collectif (5,28). L'indice d'équitabilité de piélou est par contre plus élevé pour les sites du modèle Concessionnaire individuel (0,97) suivi du modèle Concessionnaire collectif (0,94), du modèle Frauduleux individuel (0,93) et enfin du modèle Héritage individuel (0,91) (Tableau 3). Le test de Kruskal Wallis montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les richesses spécifiques des sites des différents modèles ((P-value =0.115 > 0.001).

**Tableau 3.** Caractéristiques floristiques des sites exploités en fonction des modèles de production.

Modèles	Rs	Genre	Famille	Ish	Eq
CCSE	50	33	17	5,28	0,94
CISE	48	43	22	5,42	0,97
FISE	56	50	21	5,39	0,93
HISE	75	63	31	5,64	0,91

**CCSE** : site exploité du modèle concessionnaire collectif ; **CISE** : site exploité du modèle concessionnaire individuel ; **FISE** : site exploité du modèle frauduleux individuel ; **HISE** : site exploité du modèle Héritage individuel

Suivant les fréquences relatives des espèces, *Vitellaria paradoxa* est l'espèce la plus fréquente dans 70 % des relevés réalisés sur les sites du modèle Concessionnaire collectif, 46 % pour le modèle Frauduleux individuel, 44 % pour le modèle Héritage individuel et seulement 14 % pour le modèle Concessionnaire individuel. *Parkia biglobosa* est fréquent à 52 % dans le modèle Héritage individuel, 47 % dans le modèle Frauduleux individuel et 14 % dans le modèle Concessionnaire individuel. *Daniella oliveri* est aussi fréquente à 48 % dans le modèle Héritage individuel, 40 % dans le modèle Concessionnaire collectif et 20 % dans le modèle Frauduleux individuel. *Pterocarpus erinaceus* est fréquente à 42 % dans le modèle Concessionnaire individuel et à 33 % environ dans le modèle Frauduleux individuel.

#### Paramètres dendrométriques des sites exploités

Le nombre de tiges restant à l'hectare est de 58 pour le modèle Concessionnaire collectif, 37 pour le modèle Héritage individuel, 31 pour le modèle Frauduleux individuel et seulement 11 pour le modèle Concessionnaire collectif. La hauteur moyenne la plus élevée est observée au niveau du modèle Concessionnaire individuel (12m) suivi du modèle Héritage individuel (11m), du modèle Frauduleux individuel (10m) et du modèle Concessionnaire collectif (8m). Le diamètre moyen le plus élevé est observé au niveau du modèle Héritage individuel (26 cm) et la plus faible au niveau du modèle Concessionnaire collectif. La surface terrière, la biomasse et le biovolume les plus élevés sont aussi observé chez le modèle Héritage individuel, suivi du modèle Concessionnaire collectif, du modèle Frauduleux individuel et enfin du modèle Concessionnaire individuel où l'on observe des valeurs très faibles. (Tableau 4).

**Tableau 4.** : Caractéristiques dendrométriques des sites exploités

Modèles	Biovolume (m <sup>3</sup> /Ha)	Biomasse	Pieds/ha	Hmoy(m)	Dmoy (cm)	Surface terrière
CCSE	15,72	9,02	58	8,47 ± 3,49	18,33 ± 10,74	1,63 ± 0,01
CISE	4,45	2,79	11	12,24 ± 3,05	20,02 ± 9,21	0,93 ± 0,02
FISE	12,39	7,19	31	10,34 ± 2,85	22,26 ± 10,32	1,52 ± 0,017

<b>HI</b>	24,63	14,29	37	11,51 ± 4,27	25,91 ± 12,83	2,4 ± 0,012
-----------	-------	-------	----	--------------	---------------	-------------

**CCSE** : site exploité du modèle concessionnaire collectif ; **CISE** : site exploité du modèle concessionnaire individuel ; **FISE** : site exploité du modèle frauduleux individuel ; **HI** : site exploité du modèle Héritage individuel

### 3.3. Impact de la production du bois énergie sur les écosystèmes boisés

Une comparaison entre les modèles des sites exploités et ceux des sites témoins s'avère indispensable afin de se prononcer sur le degré d'impact de chaque modèle de production sur les écosystèmes ligneux. La différence observée entre les paramètres calculés sur les sites témoins et les sites exploités a permis donc d'évaluer le taux de perte sur les paramètres floristiques et dendrométriques permettant de discriminer un peuplement donné. Ainsi, il ressort d'après les résultats (Tableau 5) que la perte en espèces entre les sites témoins et les sites exploités n'est pas très importante. Sur ce plan, le modèle Concessionnaire individuel est le plus destructeur avec une perte de 38,46 % de la richesse spécifique suivi du modèle Frauduleux individuel (34,88 %) et du modèle Héritage individuel (29,25 %). Le modèle Concessionnaire collectif est donc le moins destructeur avec une perte floristique de 21,88 %. Pour la densité, on observe une perte de 95,99 % à l'hectare pour le modèle Concessionnaire individuel, 89,33 % pour le modèle Frauduleux individuel, 74,22 % pour le modèle Concessionnaire collectif et 68,38 % pour le modèle Héritage individuel. En ce qui concerne la surface terrière, on note une perte de 96,72 % pour le modèle Concessionnaire individuel, 85,17 % pour le modèle Frauduleux individuel, 83,13 % pour le modèle Héritage individuel et 73,04 % pour le modèle Concessionnaire collectif. Pour la biomasse enfin, les modèles Concessionnaire individuel présente la perte la plus importante (98,57 %) suivi du modèle Frauduleux individuel (94,23 %). Les modèles formels Concessionnaire collectif et Héritage individuel) paraissent être les modèles les moins destructeurs.

**Tableau 5.** Perte floristique et dendrométrique des modèles de production de bois énergie

Paramètres	Modèles	ST	SE	Perte (%)
<b>Richesse spécifique</b>	CC	64	50	21,88
	CI	78	48	38,46
	FI	86	56	34,88
	HI	106	75	29,25
<b>Densité (Pieds/Ha)</b>	CC	225,00	58	74,22
	CI	274,00	11	95,99
	FI	292,00	31	89,38
	HI	117,00	37	68,38
<b>Surface terrière</b>	CC	5,6	1,51	73,04
	CI	28,33	0,93	96,72
	FI	10,25	1,52	85,17
	HI	14,23	2,4	83,13
<b>Biomasse (t/Ha)</b>	CC	46,23	9,02	80,48
	CI	195,65	2,79	98,57
	FI	124,50	7,19	94,23
	HI	84,67	14,29	83,13

**CC** : Concessionnaire collectif ; **CI** : Concessionnaire individuel ; **FI** : Frauduleux individuel ; **HI** : Héritage individuel

## 4. Discussion

### 4.1. Variabilités des paramètres floristiques et dendrométriques

La richesse spécifique, l'indice de Shannon et l'équitabilité de piélou sont des paramètres permettant d'analyser l'état de conservation ou de dégradation des écosystèmes. Ces paramètres varient considérablement d'un modèle de production à un autre que ce soit sur le plan horizontal entre les modèles ayant un même statut que sur le plan vertical entre les sites de statuts opposés. Sur le plan vertical, la richesse spécifique est plus élevée dans les sites témoins que dans les sites exploités indiquant l'impact général de la production du bois énergie sur les écosystèmes boisés. Les résultats de cette étude corroborent avec ceux obtenus par Shuku Onemba (2011) mais le test non paramétrique de Kruskal-Wallis montre une différence non significative entre les richesses spécifiques des sites de même statut (P-value= 0.934 pour les témoins et 0.115 pour les exploités) montrant que la différence est moins significative entre les témoins qu'entre les exploités. Par contre, la différence est significative (P-value =0,000 <0.001) entre les richesses spécifiques des sites témoins et des sites exploités. Kaina et al. (2018) faisaient ressortir une augmentation de la richesse spécifique des sites témoins vers les sites exploités. Les résultats de la présente étude sont en contradiction avec ceux obtenus par ces auteurs ; cette contradiction serait liée à la méthodologie adoptée car dans la présente étude, les inventaires ont été réalisés sur les sites en production ou les sites de production récentes tandis que dans l'étude de Kaina et al. (2018), les sites exploités ont été choisis sans tenir compte de la période où l'exploitation a eu lieu. Ainsi, la production du bois énergie stimule l'apparition de nouvelles espèces certes mais est fonction de la durée à laquelle le site a été exploité. Les sites récents d'exploitation n'ont pas encore eu le temps de

restaurer les espèces endommagées par l'exploitation et les espèces pionnières ne sont pas encore installés. Le modèle Héritage individuel semble dans l'ensemble être le modèle le plus riche en espèces suivi du modèle Frauduleux individuel. Sur le plan vertical, partant des sites témoins vers les sites exploités, en termes de perte de la richesse spécifique, le modèle Concessionnaire individuel est plus destructeur (38 %), suivi du modèle Frauduleux individuel (34 %), du modèle Héritage individuel (29 %) et le modèle Concessionnaire collectif (21 %). Cette perte de richesse spécifique serait due au mode de prélèvement des espèces (coupe sélective, coupe rase, coupe à blanc).

La coupe abusive de certaines espèces peut entraîner leur disparition et la perte des services écosystémiques (Larwanou et al. 2010 ; Kiruki et al. 2017 ; Randriamalala et al. 2017). Le faible taux de perte des espèces dans le modèle Concessionnaire collectif est lié à leur stratégie de conservation des espèces par la régénération naturelle assistée. Lors des coupes, les producteurs épargnent des rejets qu'ils entretiennent dans leurs champs car ce modèle regroupe plus les agriculteurs qui exploitent à partir de leur propre plantation à vocation bois énergie dont l'un des piliers de ce modèle est le maintien ou l'amélioration de la diversité. Les modèles Concessionnaire individuel et Frauduleux individuel semblent être les plus destructeurs à cause du type d'exploitation qui est fait ; les producteurs de ce modèle n'ayant pas le droit de propriété ni d'usage sur la ressource s'introduisent de façon clandestine et frauduleuse dans les formations boisées où les espèces sont ciblées parfois même en coupe rase d'une population d'une espèce prisée entraînant sa disparition. Les pratiques se font même parfois nuitamment accentuant la pression et la dégradation des écosystèmes (Larwanou et al. 2010). Une étude faite en 2010 au Niger a montré qu'il existait une différence significative dans la richesse spécifique entre les sites dont la régénération naturelle est assistée et les sites exploités frauduleusement (Peltier et al. 2010 ; Peltier et al. 2014). Le modèle Héritage individuel est le troisième modèle destructeur d'après les résultats de cette étude et cela s'expliquerait par le fait que les producteurs de ce type de modèle étant aussi des agriculteurs propriétaires terriens ont la latitude de décider des espèces à conserver sur leurs sites. Les sites ainsi exploités ayant pour destinée la mise en valeur pour l'agriculture des produits rentiers sont épargnés d'espèces jugées nuisibles au bon développement des semences (Haglund et al. 2011 ; Bakehe, 2018 ; Reyniers, 2019). Les espèces qui ont la chance de s'y développées sont les espèces à usage multiples pour la plupart à potentialité nourricière ou fertilisante (Gillet et al. 2016 ; Houmenou et al. 2017 ; Fachola et al. 2018 ; Ngbolua & Djolu, 2019 ; Ngbolua et al. 2019 ; Azenge & Meniko, 2020).

Chez les Concessionnaire collectif, la perte d'espèces serait due au mode de production basé sur la plantation. En effet, les espèces plantées à vocation bois énergétique par ces producteurs sont souvent des espèces à croissance rapide. Bien qu'associant les espèces locales, les producteurs lors de l'exploitation ont plus tendance à conserver les espèces dont la croissance est rapide et favorable à la rentabilité d'où la perte en espèce forestières naturelles à croissance lente. Les richesses spécifiques obtenues sur les sites témoins des modèles de production de cette étude sont similaires comparées à l'étude faite dans la même zone où une richesse spécifique des ligneux (94) a été obtenue par Wala et al. (2012) dans la réserve de faune d'Alédjo. Adjonou et al. (2010) avaient obtenu une richesse spécifique de 62 espèces ligneuses et Pereki et al. (2013) une richesse spécifique de 69 pour les ligneux dans la réserve de faune d'Abdoulaye.

#### **4.2. Les potentialités dendrométriques et structurales des modèles de production de bois énergie**

La surface terrière est plus élevée sur le plan horizontal dans le modèle Concessionnaire individuel (28 m<sup>2</sup>/Ha) suivi du modèle Héritage individuel (14 m<sup>2</sup>/Ha), Frauduleux individuel (10 m<sup>2</sup>/Ha) et Concessionnaire collectif (5 m<sup>2</sup>/Ha) au niveau des sites témoins. Les surfaces terrières obtenues dans cette étude sont de façon générale inférieures à celles obtenues par (Issifou et al., 2018) (18,77 à 31,14 m<sup>2</sup>/Ha), et (Bawa et al. 2022) dans la forêt communautaire d'Agbandi (22,63 ± 0,10 m<sup>2</sup>/ha). Elles sont très inférieures à celles obtenues par une étude dans les forêts humides de la zone écologique IV du Togo de 50 à 113,67 m<sup>2</sup>/ha (Adjossou, 2009) liée à la grosseur des arbres. Les valeurs faibles des surfaces terrières obtenues sur les sites témoins dans cette étude s'expliqueraient par le fait que les sites témoins choisis dans la présente étude ne sont pas en réalité des sites exemptés par les pratiques anthropiques ; ce sont des sites plus ou moins conservés par rapport aux sites exploités. Les placettes des sites témoins étant réalisées le plus proche possible des sites exploités, ces sites témoins sont aussi des sites convoités par les producteurs et dans la plupart desquels certaines espèces prisées ont été déjà prélevées diminuant ainsi la surface terrière et les paramètres structuraux (Raoliarivelo et al. 2010 ; Ramananjatovo, 2013 ; Randriamalala et al. 2017).

Sur les sites exploités, la surface terrière la plus élevée est observée chez les Héritage individuel (2.4m<sup>2</sup>/ha) suivies des modèles Concessionnaire collectif (1.62 m<sup>2</sup>/ha) des Frauduleux individuel (1.52 m<sup>2</sup>/ha) et Concessionnaire individuel (0.93 m<sup>2</sup>/ha) pour la plus faible. Ces surfaces terrières sont très faibles dans l'ensemble par rapport à celles des sites témoins indiquant l'impact de la production du bois énergie et des pressions anthropiques sur la structure des ligneux (Rakotomalala, 2012 ; Randriamalala et al., 2017). En termes de perte de surface terrière suivant l'analyse verticale entre les sites témoins et les sites exploités, le modèle Concessionnaire individuel est le plus destructeur avec une perte de surface terrière de 94 % suivi du modèle Frauduleux individuel (85 %), du modèle Héritage individuel (83 %) et enfin du modèle Concessionnaire collectif (64 %). La densité, le biovolume et la biomasse à l'hectare sont aussi impactés par la production du bois énergie. Ainsi le modèle Concessionnaire individuel est le plus destructeur ayant un taux de perte très élevé en ces paramètres dendrométriques. Une perte respective de 75 %, et 95 % est observé

pour la densité à l'hectare allant de 103 pieds à 25 pieds à l'hectare et la biomasse allant de 107 tonnes à 5 tonnes à l'hectare. De façon générale, la production du bois énergie impact significativement les paramètres structuraux et dendrométriques des peuplements ligneux. Les résultats obtenus dans la présente étude corroborent avec ceux de Kokou et al. (2009) qui signalaient que la production du charbon de bois impactait significativement la structure des ligneux. La fabrication du charbon de bois, l'exploitation des ressources ligneuses et la récolte des produits forestiers non ligneux modifient la structure et influencent la diversité des peuplements comme le montrent diverses études (Witkowski & O'Connor, 1996 ; Ojeda et al., 2000 ; Durma et al. 2013).

## 5. Conclusion

Il existe une diversité floristique et structurale des sites de production de bois énergie suivant les modèles de production. Le modèle Héritage individuel présente la plus grande richesse spécifique (106 espèces pour les témoins et 75 pour les sites exploités) ; le modèle Frauduleux individuel vient en seconde position avec 86 espèces pour les sites témoins et 56 pour les sites exploités ; le modèle Concessionnaire individuel est suivi en troisième position avec 78 espèces pour les témoins et 48 pour les exploités et enfin le modèle Concessionnaire collectif avec 64 espèces pour les témoins et 50 pour les exploités. Bien qu'étant le modèle ayant une faible richesse spécifique, on observe une faible perte de diversité spécifique pour le modèle Concessionnaire collectif (21.88%) tandis que la perte de diversité bien qu'étant moins significative est plus observée au niveau des modèles Concessionnaire individuel (38,46%) Frauduleux individuel (34,88%) et Héritage individuel (29,25%) s'expliquant par le caractère frauduleux et clandestin de la production chez les Frauduleux individuel et par le monopole de sélectif du choix des espèces à conserver par le Héritage individuel ayant droit de propriété et d'usage sur les ressources ligneuses.

Les indices de diversité de Shannon et d'équitabilité de Pielou sont encore relativement élevées dans les sites exploités indiquant qu'il existe peu de perturbation floristique malgré les pressions anthropiques exercées sur les ligneux. Par contre, les paramètres structuraux et dendrométriques sont très affectés par la production de bois énergie faisant passer le modèle Concessionnaire individuel pour le plus destructeur de la densité (76%), de la surface terrière (92%) et de la biomasse (95%) et suivi du modèle Frauduleux individuel. Les modèles Concessionnaire collectif et Héritage individuel étant considéré comme les moins destructeur.

## Remerciements

Cette étude a reçu le financement de l'IFS (International Foundation of Sciences) et la COMSTECH (Committee on Scientific and Technological Cooperation) à qui nous exprimons toute notre gratitude

## Contribution des auteurs

Rôle du contributeur	Noms des auteurs
Conceptualisation	Kaina ayéki, Durma mara, Wala kperkouma, Akpagana koffi
Gestion des données	Kaina ayéki, Diwediga badabati
Analyse formelle	Kaina ayéki, Diwediga badabati, Folega fousseni
Acquisition du financement	Kaina ayéki, Diwediga badabati, Akpagana koffi, Durma mara
Enquête et investigation	Kaina ayéki, Durma marra
Méthodologie	Kaina ayéki, Durma marra, Diwediga badabati, Folega fousseni, Wala kperkouma
Gestion de projet	Kaina ayéki, Durma marra, Akpagana koffi
Ressources	Kaina ayéki, Durma marra, Akpagana koffi, Folega fousseni, Diwediga badabati, Wala kperkouma
Logiciels	Diwediga badabati, Fousseni folega
Supervision	Durma marra, Wala kperkouma, Akpagana koffi
Validation	Durma marra, Akpagana koffi
Visualisation	Durma marra, Wala kperkouma, Akpagana koffi, Diwediga badabati, Folega fousseni

Écriture – Préparation	Kaina ayéki, Dourma marra, Diwediga badabati
Écriture – Révision	Kaina ayéki, Dourma marra, Diwediga badabati

## Références

- Adjonou K., Bellefontaine R., Kokou K., 2009. Les forêts claires du Parc national Oti-Kéran au Nord-Togo: structure, dynamique et impacts des modifications climatiques récentes. *Sécheresse*, 20(1): 1-10.
- Adjossou K., 2009. *Diversité, structure et dynamique de la végétation dans les fragments de forêts humides du Togo : Les enjeux pour la conservation de la biodiversité*. Mém. Thèse, Université de Lomé, 190 p.
- Akoègninou A., Van der Burg W., Van der Maesen L. J. G., 2006. *Flore analytique du Bénin*: Backhuys Publishers, 1063 p.
- Arnold J. M., Köhlin G., Persson R., 2006. Woodfuels, livelihoods, and policy interventions: changing perspectives. *World Development*, 34(3): 596-611.
- Atakpama W., Dourma M., Wala K., Péréki H., Batawila K., Akpagana K., 2014. Structure and natural regeneration of *Sterculia setigera* Del. plants communities in Sudanian Zone of Togo (West Africa). *International Journal of Plant & Soil Science*, 3(4): 330-346.
- Azege C., Meniko J. P. P., 2020. Espèces et usages d'arbres hors forêt sur les terres agricoles dans la région de Kisangani en République Démocratique du Congo. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 8(2): 163-169.
- Bakehe N. P., 2018. Productivité agricole et déforestation dans le bassin du Congo. *Économie rurale. Agricultures, alimentations, territoires*, 4(366): 5-19.
- Bawa D. M., Folega F., Atato A., Diwediga B., Wala K., Akpagana K., 2022. Caractéristiques floristiques et structurales de la forêt communautaire d'Agbandi au centre du Togo (Afrique de l'ouest). *Rev Ecosystèmes et Paysages (Togo)*, 1, (2), 55-74
- Braun-Blanquet J., 1932. Plant sociology. The study of plant communities. *Plant sociology. The study of plant communities. First ed.*
- Brunel J.-F., Hiepkö P., Scholz H., 1984. *Flore analytique du Togo: phanérogames*: Englera, 751 p.
- Chidumayo E. N., Gumbo D. J., 2013. The environmental impacts of charcoal production in tropical ecosystems of the world: A synthesis. *Energy for Sustainable Development*, 17(2): 86-94.
- Deglise X., Donnot A., 2004. Bois énergie. *Techniques de l'ingénieur BE*, 8535: 1-21.
- Dourma M., Batawila K., Guelly K. A., Bellefontaine R., Foucault B. d., Akpagana K., 2013. La flore des forêts claires à *Isoblerlinia* spp. en zone soudanienne au Togo. *Acta Bot. Gal.*, 159(4): 395-409.
- Ern H., 1979. Die Vegetation Togos. Gliederung, Gefährdung, Erhaltung. *Willdenowia*: 295-312.
- Fachola B., Gbesso G., Lougbegnon O., Agossou N., 2018. Connaissances ethno-botaniques de *Parkia biglobosa* (JACQ.) R. BR. EX G. Don, de *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. et de *Uvaria chamae* P. Beauv. chez les populations locales du département du plateau au Bénin. *Rev. Ivoirienne Sci. Technol*, 32: 315-330.
- Fontodji J., Mawussi G., Nuto Y., Kokou K., 2009. Effects of charcoal production on soil biodiversity and soil physical and chemical properties in Togo, West Africa. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3(5): 870-879.
- Gazull L., Gautier D., 2015. Woodfuel in a global change context. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 4(2): 156-170.
- Gillet P., Vermeulen C., Feintrenie L., Dessard H., Garcia C., 2016. Quelles sont les causes de la déforestation dans le bassin du Congo? Synthèse bibliographique et études de cas. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 20(2): 183-194.
- Haglund E., Ndjéunga J., Snook L., Pasternak D., 2011. Dry land tree management for improved household livelihoods: farmer managed natural regeneration in Niger. *Journal of environmental management*, 92(7): 1696-1705.
- Houmenou V., Adjatin A., Tossou M. G., Yedomonhan H., Dansi A., Gbenou J., Akoègninou A., 2017. Etude ethnobotanique des plantes utilisées dans le traitement de la stérilité féminine dans les départements de l'Ouémé et du plateau au Sud Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(4): 1851-1871.
- INSEED, 2011. Quatrième recensement général de la population et de l'habitat. Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques et Démographiques, Lomé, Togo, 238 p.
- Issifou I., Kpérkouma W., Marra D., Wouyo A., Madjoulmata K., Koffi K., 2018. Valeur ethnobotanique de l'espèce, *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss (meliaceae) auprès des populations riveraines de la chaîne de l'Atacora au Togo. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 6(1): 64-72.
- Kadeba A., Nacoulma B. M. I., Ouedraogo A., Bachmann Y., Thiombiano A., Schmidt M., Boussim J. I., 2015. Land cover change and plants diversity in the Sahel: A case study from northern Burkina Faso. *Annals of Forest Research*, 58(1): 109-123.
- Kaina A., Dourma M., Folega F., Diwediga B., Wala K., Akpagana K., 2021. Localisation des bassins de production de bois énergie et typologie des acteurs de la filière dans la Région Centrale du Togo. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 37: 196 - 211.

- Kaina A., Wala K., Koumantiga D., Folega F., Koffi A., 2018. Impact de l'exploitation du bois-énergie sur la végétation dans la préfecture de Tchaoudjo au Togo. *Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou*, 1: 69-88.
- Kiruki H. M., van der Zanden E. H., Gikuma-Njuru P., Verburg P. H., 2017. The effect of charcoal production and other land uses on diversity, structure and regeneration of woodlands in a semi-arid area in Kenya. *Forest Ecology and Management*, 391: 282-295.
- Kokou K., Nuto Y., Atsri H., 2009. Impact of charcoal production on woody plant species in West Africa: A case study in Togo. *Scientific Research and Essays*, 4(9): 881-893.
- Kombate B., Dourma M., Folega F., Atakpama W., Wala K., Batawila K., Akpagana K., 2022. Modélisation spatiale multifactorielle de la vulnérabilité des unités d'occupation du sol face au changement climatique dans la Région Centrale au Togo. *Revue Ecosystèmes et Paysages*, 2 (2) : 34-52.
- Larwanou M., Oumarou I., Snook L., Danguimbo I., Eyog-Matig O., 2010. Pratiques sylvicoles et culturales dans les parcs agroforestiers suivant un gradient pluviométrique nord-sud dans la région de Maradi au Niger. *Tropicicultura*, 28(2): 115-122.
- Magee L., Scerri A., James P., Thom J. A., Padgham L., Hickmott S., Deng H., Cahill F., 2013. Reframing social sustainability reporting: Towards an engaged approach. *Environment, Development and Sustainability*, 15(1): 225-243.
- Marien J. N., 2008. Forêts périurbaines et bois énergie : Quels enjeux pour l'Afrique Centrale ? : 217-229.
- Melom S., Mbayngone E., Bechir A. B., Ratnan N., Mapongmetsem P. M., 2015. Caractéristiques floristique et écologique des formations végétales de Massenya au Tchad (Afrique centrale). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 25(1): 3799-3813.
- Miranda Santos S. D. F. d. O., Piekarski C. M., Ugaya C. M. L., Donato D. B., Braghini Júnior A., De Francisco A. C., Carvalho A. M. M. L., 2017. Life cycle analysis of charcoal production in masonry kilns with and without carbonization process generated gas combustion. *Sustainability*, 9(9): 1558.
- Natta A. K., 2003. *Ecological assessment of riparian forests in Benin: Phytodiversity, phytosociology and spatial distribution of tree species*. PhD thesis, Wageningen University, The Netherlands, 215 p.
- Ndegwa G. M., Nehren U., Anhof D., Iiyama M., 2018. Estimating sustainable biomass harvesting level for charcoal production to promote degraded woodlands recovery: A case study from Mutomo District, Kenya. *Land degradation & development*, 29(5): 1521-1529.
- Ndegwa G. M., Nehren U., Iiyama M., Anhof D., 2016. Charcoal production through selective logging leads to degradation of dry woodlands: a case study from Mutomo District, Kenya. *Journal of Arid Land*, 8(4): 618-631.
- Ngbolua K., Djolu D., 2019. Étude pharmaco-biologique de *Sarcocephalus latifolius* (Rubiaceae): Plante antidépresseur de Tradition en République démocratique du Congo. *Editions Universitaires Européennes, Riga: Latvia*: 163 p.
- Nkoua M., Gazull L., 2011. Les enjeux de la filière "plantations industrielles d'eucalyptus" dans la gestion durable du bassin d'approvisionnement en bois énergie de la ville de Pointe-Noire (République du Congo). In Asrdlf FRA. *Colloque ASRDLF 2011*. Schoelcher, Martinique: s.n. 15 p.
- Ojeda F., Maranon T., Arroyo J., 2000. Plant diversity patterns in the Aljibe Mountains (S. Spain) : a comprehensive account. *Biodiversity and Conservation*, 9: 1323-1343.
- Ouédraogo A., 2006. *Diversité et dynamique de la végétation ligneuse de la partie orientale du Burkina Faso*. Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 196 p.
- Ouedraogo B., 2006. La demande de bois-énergie à Ouagadougou: esquisse d'évaluation de l'impact physique et des échecs des politiques de prix. *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie*.
- Ousséni A., Ismaïl T., Paul D. C., Brice S., 2011. Comparative analysis of local populations perceptions of socio-economic determinants of vegetation degradation in sudano-guinean area in Benin (West Africa). *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 3(7): 327-337.
- Pereki H., Wala K., Thiel-Clemen T., Bessike M. P. B., Zida M., Dourma M., Batawila K., Akpagana K., 2013. Woody species diversity and important value indices in dense dry forests in Abdoulaye Wildlife Reserve (Togo, West Africa). *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 5(6): 358-366.
- Polo-Akpiiso A., Wala K., Ouattara S., Foléga F., Tano Y., 2016. Changes in land cover categories within Oti-Kéran-Mandouri (OKM) complex in Togo (West Africa) between 1987 and 2013. *Implementing Climate Change Adaptation in Cities and Communities*: Springer, 3-21.
- Rakotomalala E., 2012. Enjeux et perspectives de la filière charbon de bois en Haïti: un cas d'étude dans le département du Nord-Est. *AgroParisTech*: 100.
- Ramananjatovo R., 2013. *Etude structurale et écologique de la régénération naturelle de la flore dans deux zones à différents degrés de perturbation dans la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly*. Mémoire d'ingénieur, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo, Madagascar, 117 p.
- Randriamalala J. R., Rabeniala R., Masezamana H. N., 2017. Effets de la production de charbon de bois sur les fourrés xérophiles, cas du plateau de Belomotse, Madagascar. *Madagascar Conservation & Development*, 12(1).

- Raoliarivelo L., Rabeniala R., Masezamana H., Andrianarisoa J., Randriamalala R., 2010. Impact de la fabrication de charbon de bois sur la production et la disponibilité fourragère de pâturage en zone subaride, cas de la commune de Soalara-Sud, Toliara II: Q909 project final report, DERAD, Eastern and Southern Africa Partnership Program, Antananarivo, 61 p.
- Reyniers C., 2019. Agroforesterie et déforestation en République démocratique du Congo. Miracle ou mirage environnemental? *Mondes en développement*(3): 113-132.
- Ryan C. M., Pritchard R., McNicol I., Owen M., Fisher J. A., Lehmann C., 2016. Ecosystem services from southern African woodlands and their future under global change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1703): 20150312.
- Shuku Onemba N., 2011. *Impact de l'utilisation de l'énergie-bois dans la ville province de Kinshasa en République Démocratique du Congo (RDC)*. Mémoire de Master, Université du Québec à Montréal, 182 p.
- Smith H. E., Jones D., Vollmer F., Baumert S., Ryan C. M., Woollen E., Lisboa S. N., Carvalho M., Fisher J. A., Luz A. C., 2019. Urban energy transitions and rural income generation: Sustainable opportunities for rural development through charcoal production. *World Development*, 113: 237-245.
- Sounon B., Sinsin B., Goura S., 2007. Dynamic effects of land use on the structure and plant diversity of woodlands and savannas in Benin. *Tropicultura*, 25(4): 221-227.
- Traore L., Ouedraogo I., Ouedraogo A., Thiombiano A., 2011. Perceptions, usages et vulnérabilité des ressources végétales ligneuses dans le Sud-Ouest du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5(1): 258-278.
- Wala K., Woegan A. Y., Borozi W., Dourma M., Atato A., Batawila K., Akpagana K., 2012. Assessment of vegetation structure and human impacts in the protected area of A lédjo (Togo). *African Journal of Ecology*, 50(3): 355-366.
- White F., 1986. *La végétation de l'Afrique*. Recherches sur les ressources naturelles, ORSTOM-UNESCO, carte + mémoire, 391 p.
- Witkowski E. T. F., O'Connor T. G., 1996. Topo-edaphic, floristic and physiognomic gradients of woody plants in a semi-arid African savanna woodland. *Vegetatio*, 124: 9-23.