

Article de recherche

Reçu: 24 Novembre 2021/Accepté: 21 Décembre 2021

Diversité structurale des ligneux en lien avec l'utilisation des terres en paysage du socle éburnéen au Togo

F. Folega^{1*}, L.M. Haliba¹⁻², A.A. Folega¹⁻², R. Ekoungoulou³,
K. Wala¹, K. Akpagana¹

¹Laboratoire de Botanique et Écologie Végétale, Faculté des Sciences, Université de Lomé, 01bp1515 Lomé - Togo.

²Département de foresterie, Institut National de Formation Agricole (INFA) de Tové, Togo

³Département des Techniques Forestières, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et de Foresterie, Université Marien Ngouabi, BP69 Brazzaville, Republic of Congo

*Auteur correspondant : ffolegamez@live.fr

ملخص

لا تزال الإدارة المستدامة للنظم الإيكولوجية للأراضي الحرجية مصدر قلق كبير. تهدف هذه الدراسة التي أجريت في منطقة الطابق السفلي من إيبورني في توغو إلى تحديد التنوع الهيكلي والعلاقة بين المعالم الهيكلية واستخدام الأراضي. للقيام بذلك، تم إجراء عمليات جرد للغابات والبيئة. تم التمييز بين 49 نوعاً من الأخشاب ضمن أربعة أشكال من استخدام الأراضي، وهي مناطق الغطاء النباتي الموسمي تليها حدائق الزراعة الحراجية والحدائق المنزلية والسافانا المندھورة. تتميز هياكل القطر والارتفاع بوجود قوي للأفراد ذوي القطر الصغير والمتوسط الارتفاع في معظم أشكال استخدام الأراضي في المنطقة. تخزن حدائق الحراجة الزراعية كمية من الكربون أكثر من أشكال استخدام الأراضي الأخرى.

الكلمات المفتاحية: التنوع الهيكلي؛ أشكال استخدام الأراضي؛ المعلمات البيئية حجر الأساس الإيبورني

Abstract

Sustainable management of woodland ecosystems remains a major concern. This study conducted in the Eburnean basement landscape of Togo aims to determine the structural diversity, the relationship between structural parameters and land use. To do so, forest and ecological inventories were carried out. Forty-nine woody (49) woody species were discriminated within four forms of land use, namely seasonal vegetation zones followed by agroforestry parks, home gardens and degraded savannahs. Diameter and height structures are characterized by a strong presence of small diameter and medium height individuals in most land use forms in the area. Agroforestry parks store more carbon than other land use forms.

Keywords: ecological parameters, Eburnean bedrock, land use forms, structural diversity.

Résumé

La gestion durable des écosystèmes boisés demeure une préoccupation majeure. Cette étude menée dans le paysage du socle éburnéen au Togo a pour but de déterminer la diversité structurale, la relation entre les paramètres structuraux et l'utilisation des terres. Pour ce faire, des inventaires forestiers et écologiques ont été réalisés. Quarante-neuf (49) espèces ligneuses ont été discriminées au sein de quatre formes d'utilisations des terres à savoir les zones de végétation saisonnière suivies des parcs agroforestiers, des jardins de case et des savanes dégradées. Les structures en diamètre et en hauteur sont caractérisées par une forte présence d'individus de faible diamètre et de hauteurs moyennes dans la plupart des formes d'utilisation des terres de la zone. Les parcs agroforestiers stockent plus de carbone que les autres formes d'utilisations des terres.

Mots clés : diversité structurale ; formes d'utilisation des terres ; paramètres écologiques ; socle éburnéen

1. Introduction

La conservation et la gestion rationnelle des ressources floristiques et fauniques font partie des grandes orientations de la politique environnementale de la plupart des pays du continent africain surtout ceux situés dans les latitudes où le stress hydrique est significativement important (Lambin et al. 2003; Boulain et al. 2006). La conservation et la gestion durable des forêts et des écosystèmes boisés dans la majorité des pays africains demeurent des préoccupations perpétuelles en matière d'agenda sur les questions environnementales globales de l'heure (Polo-Akpiisso et al. 2016; Kemavo 2018).

Les écosystèmes boisés en zones soudanienne et sahélienne sont perçus comme des sanctuaires indéniables pourvoyeurs de services d'approvisionnement (en nourriture, eau, bois et fibres), régulation du climat (Cycle climatologique, hydrologique), de soutien aux processus naturels (pédogénèse, cycle nutriments, photosynthèse) et culturels (Paysages, sources de loisirs et de satisfactions esthétiques et spirituelles) (Maljean-Dubois, 2017).

Au Togo, la zone soudanienne est fortement caractérisée par un couvert végétal épars dominé par les légumineuses épineuses évoluant sur des sols peu pourvus en matière organique et faiblement productive d'un point de vue agricole. Les reliques de la strate arborescente bien que peu dense favorisent la conservation des sols et de l'eau qui facilite le développement de la végétation du sous-étage aux valeurs socio-économique et culturelle considérables (Koumoui et al. 2013; Kpedenou et al. 2016).

Les périodes de sécheresse successives, combinées à une pression démographique drastique, ont entraîné une forte dégradation de la végétation de ce socle. La strate arborée a fait l'objet d'une exploitation sévère pour répondre à une demande sans cesse croissante des populations en terre cultivable, bois de feu, fourrage et produits dérivés (Caloz et al. 1993).

Cette compétition sans cesse croissante entre les besoins de nouvelle terre pour une production agricole suffisante et ceux du maintien d'un taux de couverture forestière en vue d'assurer des services écosystémiques de qualité est très récurrente au

nord du Togo. L'absence ou les insuffisances liées aux politiques et aux mesures d'aménagement et d'une gestion durable des terres et des ligneux de ce paysage pourrait aisément expliquer cet état de fait. Or, il est connu que tout cadre favorable pour un aménagement efficace des ressources passe impérativement par la connaissance et l'état des lieux des ressources disponibles, leur état de conservation et leur évolution dans le temps et dans l'espace (Caloz et Collet, 2001).

La connaissance de la diversité et de la structure des ligneux d'un paysage comme celui du socle Eburnéen au Togo constitue un outil indispensable pour appuyer la mise en œuvre de la politique nationale de développement durable (Fousséni et al. 2019) et des Objectifs du Développement Durable (ODD) 13, 14 et 15. Pourtant il est plus qu'évident que peu d'études et de connaissances sont disponibles sur la composition floristique, la structure des formations ligneux et les modes de gestions pour véritablement mesurer ou apprécier la contribution des ressources phylogénétiques du paysage du socle éburnéen à l'atteinte des priorités aussi bien qu'au niveau local que national.

D'après tout ce qui précède, il s'avère important de déterminer la diversité structurale des ligneux en lien avec l'utilisation des terres du paysage du socle Eburnéen au Togo afin d'envisager une meilleure conservation de ces formations végétales.

La présente étude voudrait contribuer à une meilleure gestion de la composante des ligneux du paysage du socle éburnéen au Togo. Elle se propose d'évaluer la diversité structurale des ligneux et de déterminer la relation entre paramètres structuraux et formes d'utilisation des terres au sein du paysage.

2. Matériels et méthodes

2.1. Milieu d'étude

Le socle Eburnéen est situé au nord-ouest du Togo dans la région des Savanes (Figure 1). L'affleurement s'observe entre $-0^{\circ}14'$ et $0^{\circ}49'$ LE et $10^{\circ}77'$ et $11^{\circ}11'$ LN. Ce paysage a une superficie de $1\,293\text{ km}^2$ (Poss, 1996), soit 13,4% de la région des Savanes.

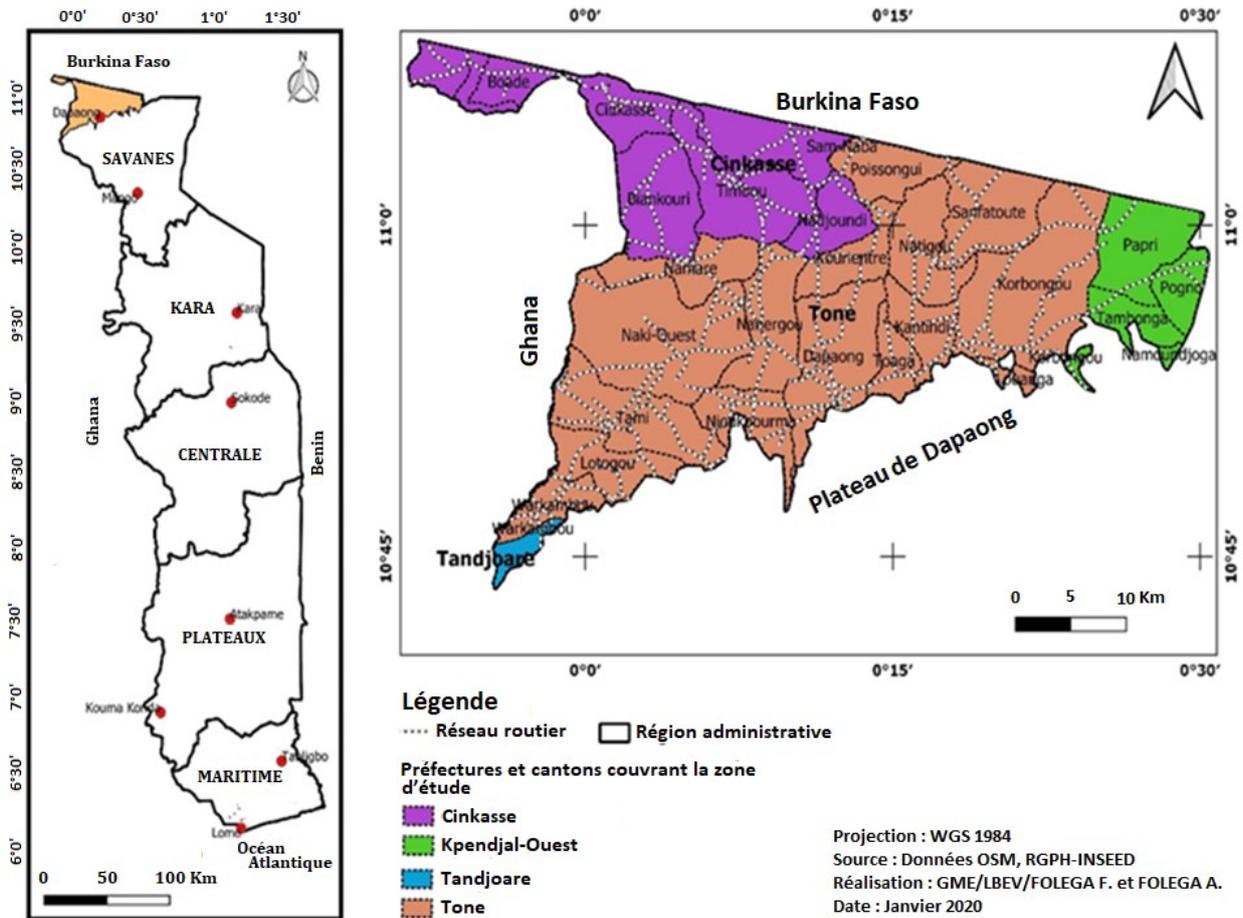


Figure 1. Localisation de la zone d'étude.

Le paysage du socle Eburnéen est une plaine constituée d'un vaste ensemble de terrains très plissés, métamorphisés et largement granitisés sur lequel repose en discordance des terrains sédimentaires du bassin de la volta formant la couverture (Blaser et al. 2011). Il s'agit d'un socle très ancien qui s'étend sur une grande partie de l'Afrique occidentale dont la bordure est située en territoire togolais. Le socle Eburnéen est principalement constitué de granite et de gneiss très hétérogènes même à une échelle métrique. Il comprend également des amphibolites et des amphibolopyroxénites qui affleurent sous forme d'auréoles de bandes quelques hectares (Blaser et al. 2011).

Deux types de sols se sont développés sur le socle Eburnéen. Il s'agit des sols peu évolués d'apport (sols ferrugineux tropicaux lessivés à faible profondeur) et des sols peu évolués d'érosion. En

dehors des deux principaux types, on retrouve également; des sols hydromorphes formés des alluvions déposées par les cours d'eau. Le socle Eburnéen est drainé par plusieurs cours d'eau relevant des sous bassins de la Volta blanche et de l'Oti. Les plus importants sont entre autres le Biankouri, Oubiario et le Zintagou.

Le paysage du socle Eburnéen jouit d'un climat tropical soudanien à deux saisons (Jacquin et al. 2010). Une saison sèche d'environ sept mois (octobre à avril) et une saison des pluies couvrant une période relativement courte (mai à septembre). Les températures oscillent entre 23 et 32° C en saison sèche et entre 22 et 34° C en saison des pluies. La température moyenne annuelle dans cette zone est de 28°C (Jacquin & Goulard 2013; Folega et al. 2019). La quantité de pluies varie entre 800 et 1100 mm ; mais n'excède pas 963 mm

de nos jours. Le socle Eburnéen est sous l'emprise de l'harmattan et de la mousson, qui s'installe respectivement en saison sèche et en saison pluvieuse.

Sur la base des travaux de recherches conduit en 2019, cinq formes d'utilisations (Folega et al. 2019) majeures des terres ont été identifiées. Il s'agit :

Zones de végétation marécageuses saisonnier comprennent dominées par les espèces de *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn. (46%), *Azadirachta indica* A. Juss. (13%), *Sarcocephalus latifolius* (Smith) Bruce (9%), *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f. (9%), *Acacia sieberiana* DC. (7%) ;

Parcs agroforestiers constitués essentiellement de *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f. (26%), *Azadirachta indica* A. Juss. (24%), *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn. (3%), *Anogeissus leiocarpus* (DC.) Guill. & Perr. (4%).

Jardins de case/trame urbaine à majorité *Senna siamea* (Lam.) Irwin & Barneby (51%), *Azadirachta indica* A. Juss. (18%), *Mangifera indica* L. (5%), *Lannea microcarpa* Engl. & K. Krause (4%), *Moringa oleifera* Lam. (4%) ; et

Savanes dégradées dominées par *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f. (10%), *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn. (11%), *Vitex doniana* Sweet (3%), *Terminalia laxiflora* Engl. (3%).

Tout comme les ressources végétales, la faune subit de fortes pressions dues à la croissance démographique et à l'urbanisation. Outre les feux de végétations couplés au braconnage, d'autres pratiques cynégétiques basées sur l'abattage illicite de la faune représentent un grave danger pour la faune sauvage dans cette zone (Polo-Akpiisso et al. 2016). Cependant, il dispose d'une faune aquatique dominée de *Synodontis obesus*, *Hepsetus odoe*, *Labeo coubie*, *Gymnarchus niloticus*, *Heterotis niloticus*, *Paraphiocephalus obscurus*, *Pelmatochromis guntheri*, *Tilapia zillii*, etc. Les reptiles représentés *Crocodylus niloticus*, *Python sebae*, *Varanus* y sont rencontrés dans les écosystèmes et agrosystèmes. L'avifaune très diversifiée est à dominance pélican (*Pelecanus* sp.) et jabiru du Sénégal (*Ephippiorhynchus senegalensis*).

La population de la zone est estimée de 253 566 habitants selon le 4^{ème} Recensement Général de la Population et de l'habitat réalisé en 2010 (INSEED-TOGO, 2011). Cette population est inégalement répartie dans 29 cantons qui couvrent quatre préfectures (Cinkassé, Tône, Kpendjal et Tandjoare) et est exclusivement composée des

groupes socioculturels tel que les Bissa, Gourma, Mamproussi, Moba, Peuls, et Yanga. Les revenus des ménages de ce paysage sont basés essentiellement sur l'agriculture, l'élevage, et de la commercialisation des produits agricoles. Sur les marchés locaux, le mil, le sorgho, le soja, le maïs sont des céréales couramment rencontrées. D'autres produits tels que les produits saisonniers comme la patate douce, les ignames, le manioc, les produits maraichers et les fruits spontanés (Karité, Raisinier, Vitex, etc.) ne sont pas du reste. On y trouve aussi des produits de la pêche (anguilles, silures, carpe, crabe) et de l'élevage (volaille, fromage, bétails). Les marchés sont, les lieux publics où se déroulent les transactions. La plupart de ces marchés sont bihebdomadaires dans les grands cantons (Hutchinson et al. 2015).

2.2. Collecte des données de terrain

À partir du fichier vecteur du socle éburnéen et du logiciel QGIS 3.83 (Folega et al. 2021), 99 points à maille régulière de 5 km ont été posés afin de générer les placettes d'inventaire (Figure 2). Ce choix s'explique par la volonté d'échantillonner systématiquement les ligneux dans toutes les différentes formes d'utilisations des terres dans le socle.

Les points d'échantillonnage ont été traqués à partir de l'application MapsMe installé sur un téléphone portable. À chaque point d'échantillonnage un quadra de 1 ha soit 100 m x 100 m a été établie grâce au penta décimètre et au GPS.

2.2.1. Inventaires forestiers

Ainsi tous les individus ligneux dont le diamètre à hauteur de poitrine (DHP=1,30 m) est supérieur ou égal à 5 cm (Lisle, 2006; Gorelick et al. 2017; Folega et al. 2019) sont systématiquement mesurés. Les mesures concernent le diamètre, la hauteur fût, la hauteur totale, le diamètre de la couronne (N-S et E-W), l'état de santé. Le diamètre est mesuré à l'aide d'un ruban pi au dhp, tandis que la hauteur est mesurée à l'aide d'un l'hypsomètre. Pour chaque individu mesure une nomenclature suivant les flores analytiques du Togo (Brunel et al. 1984) et du Bénin (Akoègninou et al. 2006) lui est affecté couplée de sa forme biologique et phytogéographique (White, 1986; Jürgens et al. 2012; Thiombiano et al. 2012).

2.2.2. Inventaires écologiques

En dehors de l’inventaire forestier, les caractéristiques écologiques ont été relevées dans chaque quadrat d’échantillon. Il s’agit notamment du taux de recouvrement global de la végétation, du type d’occupation et d’utilisation du sol, du niveau de drainage, du niveau d’exploitation du bois, la densité des pratiques culturales, l’intensité des feux de végétation. Ces paramètres sont notés en utilisant une échelle à trois grandeurs : « faible », « élevée » et « très élevée ».

2.3. Analyses statistiques

2.3.1. Analyse de la diversité structurale des ligneux

Après la saisie des données, suivies d’une double vérification (contrôle de qualité), une matrice principale «61 quadrat x Espèces » est établie. Cette matrice a permis de dresser la liste générale des espèces.

Ensuite définit de façon appropriée, il s’adjoint à chaque espèce des moyennes statistiques calculées.

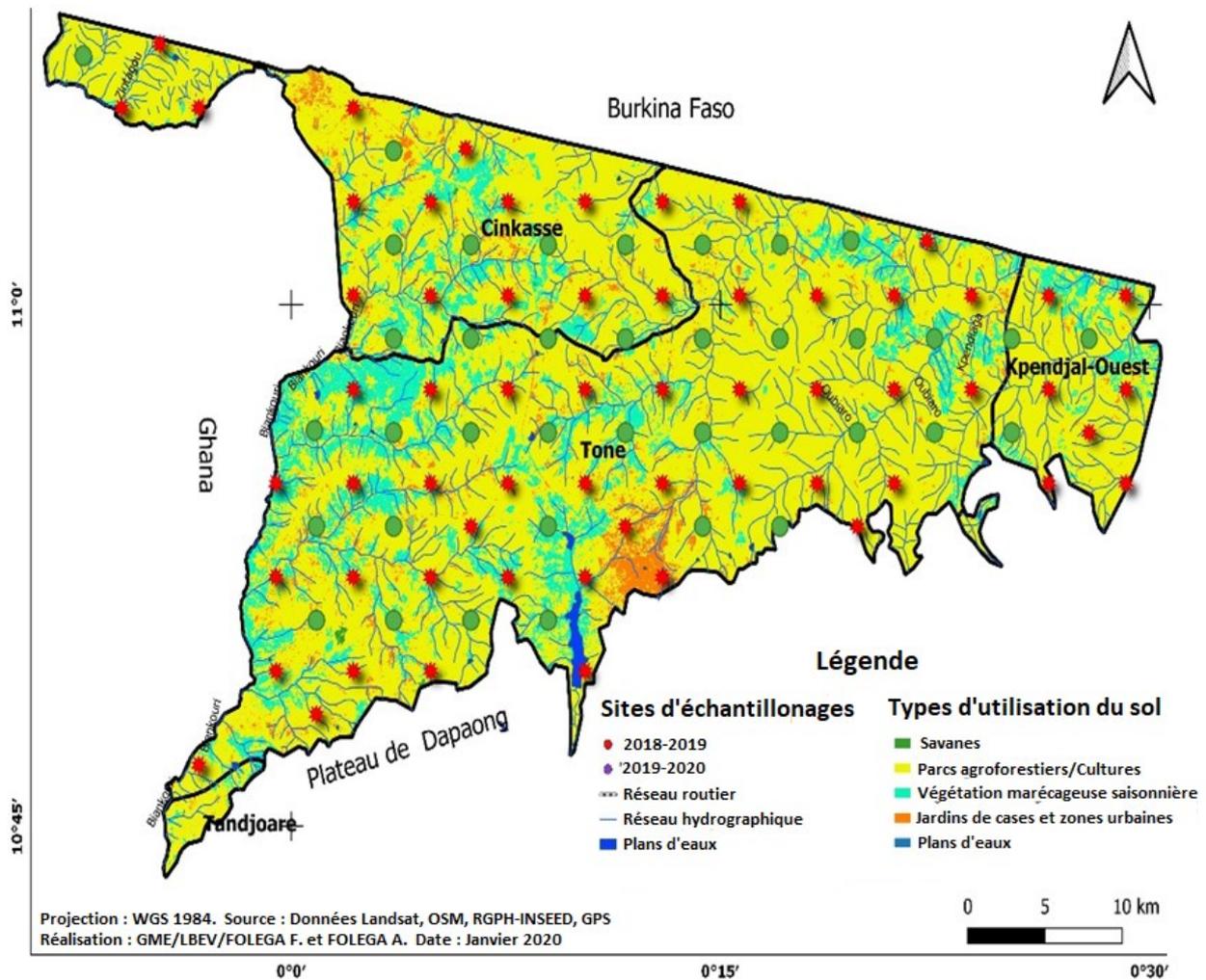


Figure 2. Présentation des 99 points d’inventaires de la végétation.

Tableau 1. Les différents paramètres statistiques.

Paramètres	Formules	Sources
Densité totale (D) des ligneux	$D = \frac{n}{S}$	(Melesse & Jordan 2002)
Diamètre moyen (Dm)	$Dm = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n di$	(Melesse & Jordan 2002)
Surfaces terrières (G)	$G = \frac{\pi}{45} \sum_{i=1}^n 0.0001 di^2$	(Karimi & Peng 2004)
Hauteur moyenne	$Hm = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n hi$	(Karimi & Peng 2004)

n > nombre de pieds par relevé et S > aire de relevé en hectare, di > diamètre à 5,74 m de l'arbre i et hi > hauteur de l'arbre

lées à partir des paramètres physiques mesurés. Ces calculs concernent particulièrement les paramètres dendrométriques tels que la densité des tiges à l'hectare (nombre de pieds/ha), le diamètre moyen (Dm en cm), la hauteur moyenne (Hm en m) et la surface terrière (G en m^2/ha) dont les formules sont résumées ci-dessous (Tableau 1).

2.3.2. Relation entre paramètres structuraux et utilisation des terres

Pour réaliser cette analyse, les données de la matrice précédente sont réorganisées en fonction du type d'utilisation des terres. Ainsi, pour chaque type d'utilisation des terres de la zone d'étude, les composantes de la diversité alpha telles que : la richesse spécifique (R_s), l'indice de Shannon-Wiener (I_{sh}) l'équitabilité de Pielou (E) (Magurran, 2005), et l'indice de valeur d'importance des espèces (IVI) (Karimi et Peng 2004; Pereki et al. 2013) sont analysées comme relevé dans le Tableau 2.

Pour chaque type d'utilisation des terres, les paramètres dendrométriques tels que la densité des tiges à l'hectare (D), le diamètre moyen (Dm en cm), la hauteur moyenne (Hm en m) et la surface terrière (G en m^2/ha) sont également déduites.

Le calcul de la biomasse aérienne (BA) par les équations allométriques développées par (Chave et al. 2005) et celui de la biomasse souterraine (BS)

évaluée à partir de la biomasse aérienne par le modèle développé par (Cairns et al. 1997) de chaque arbre dans les relevés échantillonnés, ont permis d'évaluer la biomasse totale (productivité) disponible sur le socle éburnéen.

$$BA = \text{EXP} [-2,187 + 0,916 \text{LN} (\rho H D^2)] \quad (1)$$

Avec D : diamètre à hauteur de poitrine (Diallo et al. 2011); ρ : densité spécifique du bois (en t/m^3 séché à $103^\circ C$) et H : hauteur totale de l'arbre.

Pour les espèces dont la densité spécifique n'est pas connue, la densité moyenne $\rho = 0,58 t/m^3$ a été attribuée par (Chave et al. 2005).

$$BS = \text{EXP} [-1,0587 + 0,3386 \text{LN}(BA)] \quad (2)$$

Avec BS : biomasse souterraine et BA : biomasse aérienne.

La somme de la biomasse aérienne (BA) et la biomasse souterraine donne la biomasse totale (Da et al. 2008) :

$$BT = BA + BS \quad (3)$$

Le Stock de Carbone (SC) a été déduit par la formule suivante :

$$SC = BT \times CF \quad (4)$$

CF : le ratio de carbone par défaut toutes espèces confondues (Sylla, 2012), égal à 0,47.

Tableau 2. Composantes de la diversité alpha.

Composantes	Formules	Sources
Richesse spécifique (R_s)	$RS = S$	
Indice de diversité de Shannon (I_{sh}) :	$I_{sh} = - \sum_{i=1}^s (ni/n) \log_2 (ni/n)$	(Karimi & Peng, 2004)
Indice de Valeur d'Importance des espèces (IVI)	$IVI = Rdo + Rde + Fr$	(Manandhar et al. 2009)
Indice d'équitabilité de Piélou (E)	$E = \frac{I_{sh}}{\log_2 S}$	(Satyanarayana et al. 2011)

S : nombre total des espèces d'un biotope; Rdo : la dominance relative, Rde : densité relative; Fr : Fréquence relative, ni : nombre d'individus de l'espèce i , n = nombre total d'individus.

L'équivalent de CO₂ (EqC) est déterminé par la relation suivante :

$$EqC = 3,67 \times SC \text{ (Sylla, 2012)} \quad (5)$$

En fin selon le type d'utilisation des terres, les analyses de statistique descriptive sont appliquées aux données d'inventaires écologiques afin d'établir une relation entre potentiel ligneux et menaces potentielles.

3. Résultats

3.1. Diversité structurale des ligneux du paysage

Les inventaires physiques des ligneux dans les différents quadrats installés ont permis de faire ressortir un total de 757 individus constitués de 49 espèces ligneuses réparties en 41 genres et 21 familles. La courbe rang-fréquence des espèces (Figure 3) montre une forte présence de certaines espèces comme *Azadirachta indica* A. Juss. (20%), *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f. (19%), *Senna siamea* (Lam.) Irwin & Barneby (10%), *Diospyros mespiliiformis* Hochst. ex A. Rich. (9%), *Borassus aethiopum* Mart. (7%), *Lannea microcarpa* Engl. & K. Krause (3%), *Tamarindus indica* L. (3%). Les autres espèces ont des fréquences inférieures à 3%. La corrélation des diamètres en fonction des hauteurs des individus d'arbres (Figure 4) montre une forte abondance des individus de faible diamètre et hauteur.

Les familles les plus représentées en nombre des espèces sont les Meliaceae (21%), Sapotaceae (19%), Caesalpiniaceae (13%), Ebenaceae (9%), Arecaceae (8%), Anacardiaceae (7%), Mimosaceae (6%). Les autres familles ont peu d'espèces représentatives.

Une forte dominance des mésophanérophyles (55%) est observée sur le spectre biologique des espèces suivies des microphanérophytes (31%). Les Macrophanérophytes et les nanophanérophyles sont les moins représentés avec respectivement 13% et 1%.

Le spectre phytogéographique des espèces montre une dominance des soudano-zambéziennes (25%) suivies des espèces paléo-tropicales (22%), les éléments de base soudanienne (20%), les espèces introduites (14%) et plurirégionales africaines (9%). Les espèces guinéo-congolaises (3%), soudano-guinéennes (3%), pantropicales (3%) et afro tropicales (1%) sont très faiblement représentées.

Le diamètre moyen des ligneux de ce paysage est de 32,20 cm \pm 5,53 alors que la hauteur moyenne est de 6,83 m \pm 0,87. La hauteur fût moyenne est de 2,53 m \pm 2,06. La surface terrière de ces ligneux peut-être estimée à 1,46 m²/ha \pm 1,21. Les indices de Shannon (I_{sh}) et d'équitabilité de Piélou (E) sont respectivement de 3,95 bits et 0,71. La densité des ligneux est de 12,41 pieds/ha.

La répartition des individus ligneux par classe de diamètre montre une structure en « L » centrée sur une classe de diamètre de 5-35 cm de diamètre (Figure 5). Ceci illustre donc une forte représenta-

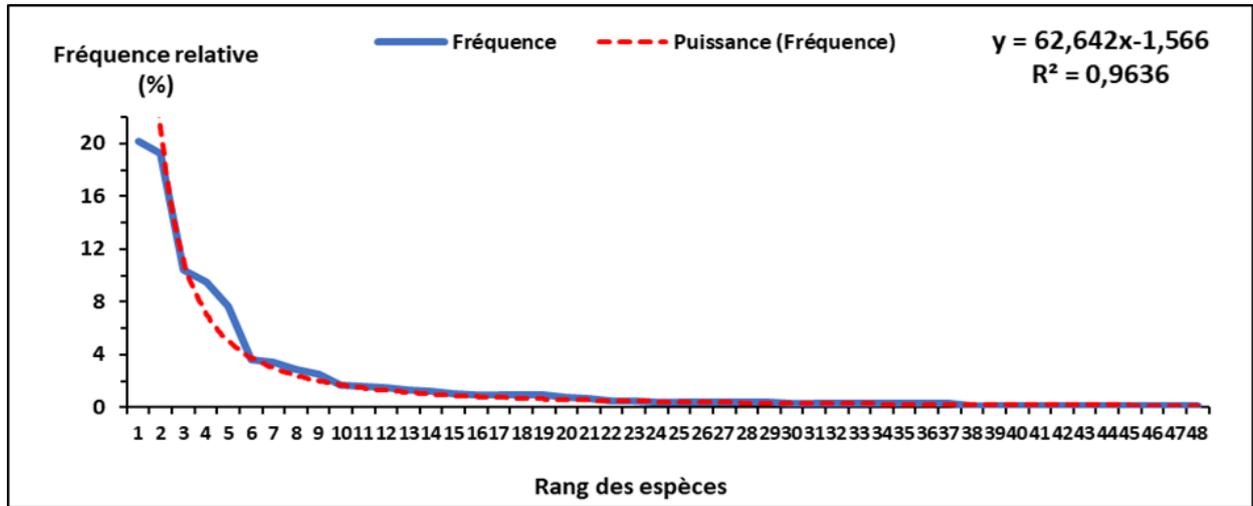


Figure 3. Rang-fréquence des espèces citées.

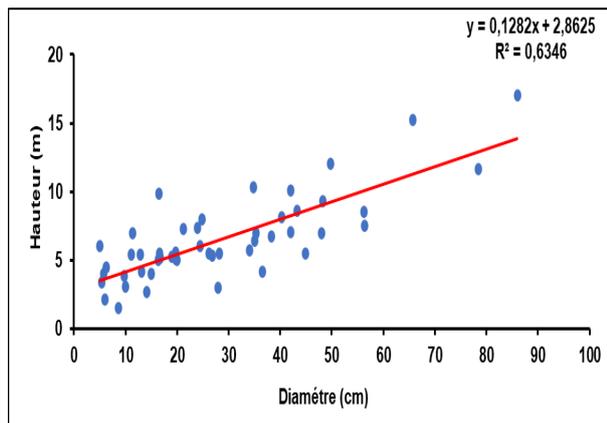


Figure 4. Corrélation des diamètres en fonction des hauteurs des individus d'arbres.

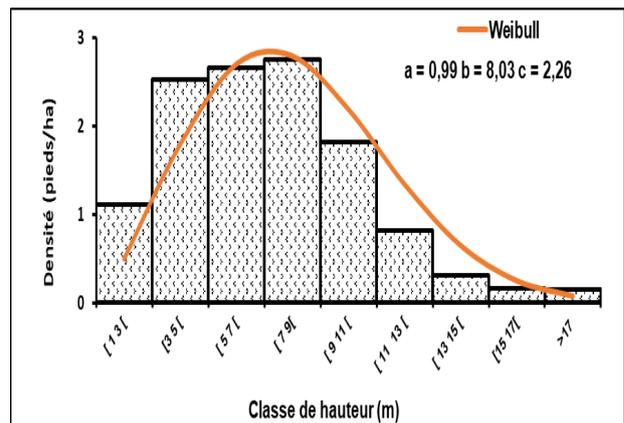


Figure 6. Structure en hauteur des ligneux de la zone.

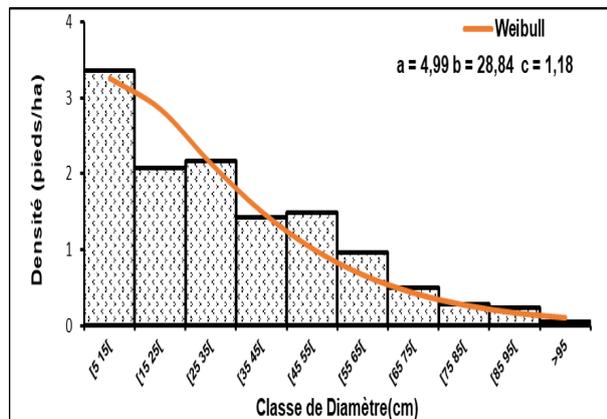


Figure 5. Structure en diamètre des ligneux de la zone.

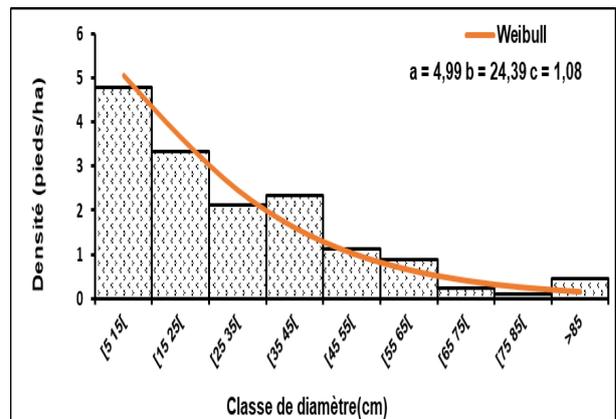


Figure 7. Distribution diamétrique des ligneux recensés.

Tableau 3. Vue synoptique des paramètres structuraux du paysage.

Occupations de sol	ZVS	PA	JC	SD
Nombre de relevés	9	38	10	4
Densité moyenne (pieds/ha)	15,33	11,24	15,4	9,5
Surface terrière (m ² /ha)	1,51 ± 0,04	1,57 ± 0,15	1,15 ± 0,67	1,04 ± 0,92
Diamètre moyen (cm)	28,69 ± 13,59	35,43 ± 7,75	26,27 ± 2	34,75 ± 13,85
Hauteur moyenne (m)	6,50 ± 2,23	7,07 ± 1,20	6,44 ± 1,55	6,34 ± 5,28
Hauteur fût moyen (m)	2,21 ± 1,17	2,50 ± 0,58	2,51 ± 1,25	2,50 ± 2,10
Indice de Shannon (bits)	3,67	3,6	2,6	2,87
Équitabilité de Piélou	0,82	0,68	0,61	0,86

ZVS : zone de végétation saisonnière ; PA : parcs agroforestiers ; JC : jardin de case ; SD : savanes dégradées

tivité des individus de petit diamètre montrant donc un peuple stable des ligneux de ce paysage.

L'histogramme des peuplements de ligneux prospectés dans le paysage du socle éburnéen montre une structure en « cloche » par rapport aux classes de hauteur.

Les hauteurs varient entre 1-17 m montrant une forte représentativité des individus à hauteur moyenne dans le milieu (Figure 6). Les individus les plus représentés sont concentrés dans la classe de hauteur de 7-9 m.

Les déterminants écologiques en fonction de l'échantillonnage sont résumés dans le Tableau 3 pour faciliter une compréhension rapide de la structure des composantes paysagère de la zone d'étude.

3.2. Relation des paramètres structuraux et utilisation des terres

3.2.1. Zones de végétation saisonnière (périmètres maraîchers)

Les zones de végétation saisonnière comprennent 9 relevés constituées de 25 espèces, 21 genres, 15 familles et 138 individus. Les espèces les plus représentées sont : *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn. (46%), *Azadirachta indica* A. Juss. (13%), *Sarcocephalus latifolius* (Smith) Bruce (9%), *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f. (9%), *Acacia sieberiana* DC. (7%). Les ligneux inventoriés dans les zones de végétation saisonnière présentent un diamètre moyen qui est égal à 28,69 cm ± 13,59 avec une hauteur moyenne qui est de 6,50 m ± 2,23 puis d'une hauteur fût moyen qui est égal à 2,21 m ± 1,17. La surface terrière des ligneux rencontrés dans les champs peut être estimés à 1,51 m²/ha ±

0,04 avec un indice de diversité de Shannon(Ish) qui est égale à 3,67 bits et l'indice d'équitabilité de Piélou est de 0,82. La densité des ligneux est de 15,33 pieds/ha dans ces périmètres maraîchers.

La répartition des individus ligneux par classe de diamètre dans ce type d'utilisation des terres montre une structure en « L » centrée sur une classe de diamètre 5-15cm (Figure 7), ceci représente donc une dominance des individus de faible diamètre.

La distribution des classes de hauteurs indique une structure en « cloche » dans tous les champs. Cette structure s'ajuste par la valeur de coefficient de forme de Weibull qui est $c = 1,79$ traduisant ainsi une prédominance des individus de hauteurs moyennes (Figure 8). Ainsi les individus dominants sont compris entre 3-5 m et 5-7m de hauteur.

Les 33% des zones de végétations saisonnières prospectées ont un sol argileux, suivi des sols sablo-argileux et argilo-sableux 22% chacun 11% des

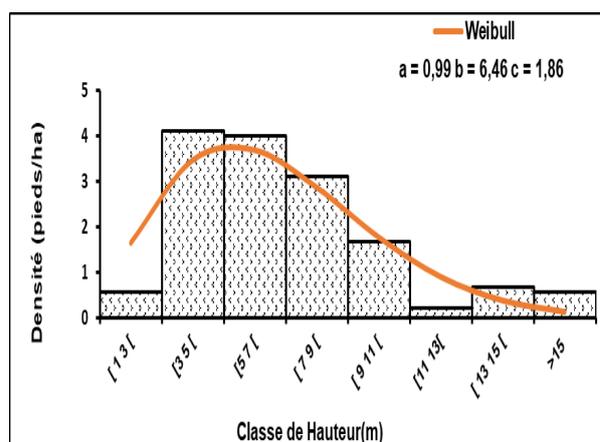


Figure 8. Distribution verticale des ligneux recensés.

champs sont dominés par la cuirasse. D’après ces paramètres écologiques (Tableau 4), l’intensité d’érosion est faible dans 67% des périmètres maraîchers et très élevés dans les 33%. Les cultures sont très denses dans 67% des parcelles et denses dans 33%.

Dans 44% des cas, le pâturage est élevé et très élevé dans 44%. L’intensité de feu de végétation est faible de 56% et très élevée de 33% suivie d’un prélèvement de bois qui est élevé de 33% et faible dans les 44% des cas. La concentration des habitations reste faible dans toutes les zones de végétation saisonnière.

3.2.2. Parcs agroforestiers

Les parcs agroforestiers comprennent 38 relevés constitués de 38 espèces, 31 genres, 18 familles et 427 individus. Les espèces les plus représentées sont : *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f. (26%), *Azadirachta indica* A. Juss. (24%), *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn. (3%), *Anogeissus leiocarpus* (DC.) Guill. & Perr. (4%). Les ligneux inventoriés dans les parcs présentent un diamètre moyen qui est égal à $35,43 \pm 7,45$ avec une hauteur moyenne de $7,07 \text{ m} \pm 1,20$ puis d’une hauteur fût moyen égal à $2,50 \text{ m} \pm 0,58$. La surface terrière de ces ligneux rencontrés dans les parcs peut être estimée à $1,57 \text{ m}^2/\text{ha} \pm 0,15$.

L’indice de diversité de Shannon (Ish) est égal à 3,6 bits et l’indice d’équitabilité de Piélou est de 0,68. La densité des ligneux est de 11,24 pieds/ha dans ces parcs. La répartition des individus ligneux par classe de diamètre dans les parcs montre une structure en « L » marquée par une dominance des individus de la classe de diamètre 5-15cm (Figure 9), ceci traduit donc une dominance des individus

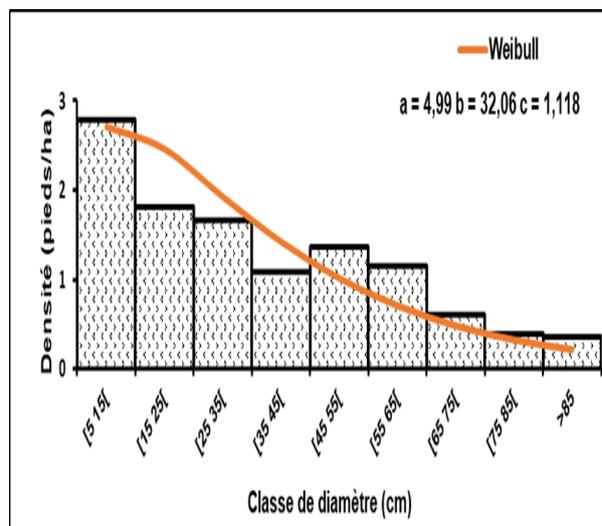


Figure 9. Distribution diamétrique des ligneux recensés.

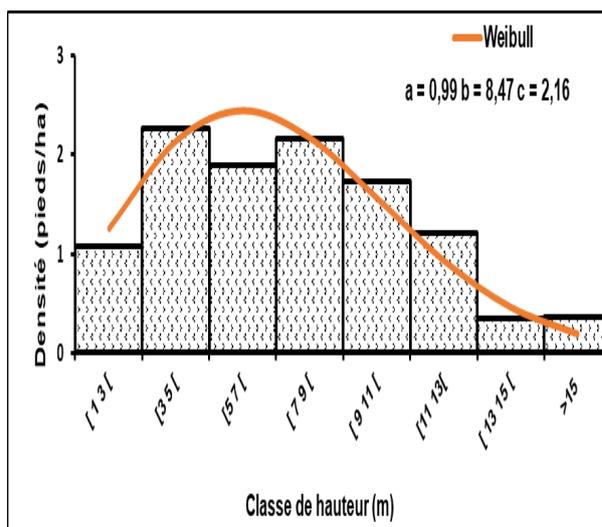


Figure 10. Distribution verticale des ligneux recensés.

Tableau 4. Vue synoptique des paramètres écologiques des zones de végétation saisonnière.

Types de sol	(%)	Paramètres écologiques	Faible (%)	Élevé (%)	Très élevé (%)
		Erosion	67	33	-
Cuirasse	11	Culture	-	33	67
Argileux	33	Pâturage	12	44	44
Sableux	11	Feu de végétation	56	11	33
Sablo-Argileux	22	Prélèvement de bois	44	33	22
Argilo-Sableux	22	Habitat	100	-	-

Tableau 5. Vue synoptique des paramètres écologiques des parcs agroforestiers.

Types de sol (%)	Paramètres écologiques	Faible (%)	Élevé (%)	Très élevé (%)
16	Erosion	53	44	3
Cuirasse 24	Culture	11	34	55
Argileux 8	Pâturage	16	53	32
Sableux 21	Feu de végétation	63	24	13
Sablo-Argileux 32	Prélèvement de bois	39	50	11
Argilo-Sableux	Habitat	89	11	-

de faible diamètre dans les parcs agroforestiers.

La distribution des classes de hauteurs indique une structure en « cloche » dans les parcs agroforestiers. Cette structure s'ajuste par la valeur de coefficient de forme de Weibull qui est $c = 2,38$. Montrant ainsi une prédominance des individus de hauteurs moyennes (Figure 10). Ainsi les individus dominants dans les parcs sont compris entre 9 - 11 m de hauteur.

Les parcs inventoriés sont essentiellement installés sur des sols argilo-sableux 32%, des sols argileux (24%) et des sols riches en cuirasses 16% (Tableau 5). L'intensité d'érosion reste faible dans la plupart des parcs 53% et élevée dans les autres 44%. Les cultures sont très denses dans 55% de ces parcs et moins denses dans 34%. Dans 32% des parcs, le niveau de pâturage est très élevé et faible dans 16%. L'intensité de feu de végétation est faible dans 63% des parcs. Le prélèvement de bois est élevé de 50% et faible dans les 39% des cas. La concentration des habitations reste faible dans 89% et élevée dans 11% des cas étudiés.

3.2.3. Jardin de case

Les jardins de case représentent 10 relevés constitués de 18 espèces, 18 genres, 13 familles et 154 individus. Les espèces les plus représentées sont : *Senna siamea* (Lam.) Irwin & Barneby (51%), *Azadirachta indica* A. Juss. (18%), *Mangifera indica* L. (5%), *Lannea microcarpa* Engl. & K. Krause (4%), *Moringa oleifera* Lam. (4 %).

Les ligneux inventoriés dans les jardins de case présentent un diamètre moyen de $26,27 \pm 2,00$ avec une hauteur moyenne qui est de $6,44 \text{ m} \pm 1,55$ puis d'une hauteur fût moyen qui est égal à $2,51 \text{ m} \pm 1,25$. La surface terrière des ligneux rencontrés dans ces jardins de case peut être estimée à $1,15 \text{ m}^2/\text{ha} \pm 0,67$ avec un indice de Shannon (Ish) égal à 2,60 bits ; l'indice d'équitabilité de Piélou est de

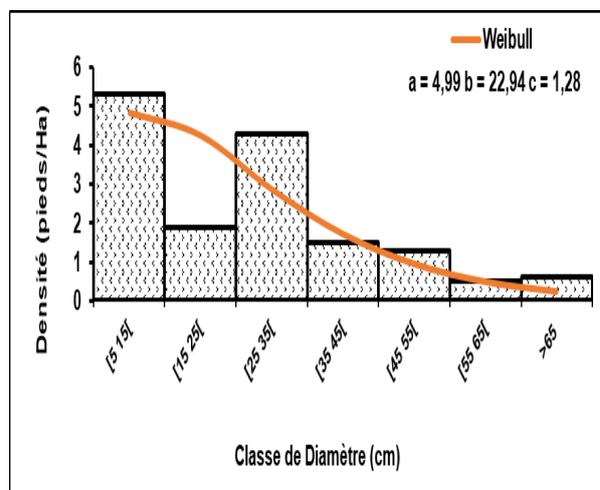


Figure 11. Distribution diamétrique des ligneux recensés.

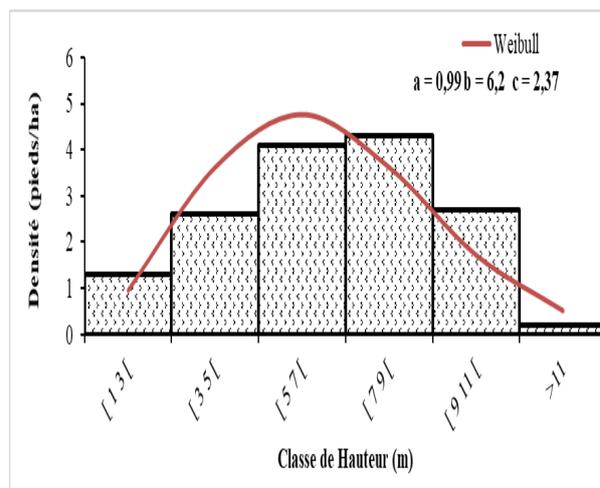


Figure 12. Distribution verticale des ligneux recensés.

0,61. La densité des ligneux est de 15,40 pieds/ha.

La répartition des individus ligneux par classe de diamètre montre une structure en «L» centrée sur une classe de diamètre 5-15cm (Figure 11), ceci représente donc une dominance des individus à faible diamètre dans les jardins de case.

La distribution des classes de hauteurs indique une structure en « cloche ». Cette structure s'ajuste par la valeur de coefficient de forme de Weibull est $c = 2,37$ Montrant ainsi une prédominance des individus de hauteurs moyennes (Figure 12). Ainsi les individus dominants dans les parcs sont compris entre 7-9 m de hauteur.

Les jardins de cases inventoriés sont essentiellement constitués de sol argilo-sableux à 60%, argileux à 20% (Tableau 6). L'intensité d'érosion reste faible dans 80% des jardins de case et élevé dans les 20%. La proportion des cultures reste très dense dans 40% de ces milieux d'habitations et moins dense voire même faible dans 30%. Dans 50% des habitations, le niveau de pâturage est très élevé et faible dans 30%. L'intensité de feu de végétation est faible de 50% et reste aussi élevé dans 40% des cas étudiés. Dans les milieux d'habitations, le prélèvement de bois est élevé dans 70% des cas ainsi que la concentration des habitations qui est de 50%.

3.2.4. Savanes dégradées

Les savanes dégradées représentent 4 relevés constitués de 5 espèces, 5 genres, 5 familles et 38 individus. Les espèces les plus représentées sont : *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f. (10%), *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn. (11%), *Vitex doniana* Sweet (3%), *Terminalia laxiflora* Engl. (3%).

Les ligneux inventoriés dans les savanes dégradées ont un diamètre moyen de $34,75 \pm 13,85$ avec une hauteur moyenne qui est de $6,34 \text{ m} \pm 5,28$ puis d'une hauteur fût moyen qui est égal à $2,50 \text{ m} \pm 2,10$. La surface terrière des ligneux rencontrée dans ces savanes dégradées peut être estimée à

$1,04 \text{ m}^2 / \text{ha} \pm 0,92$ avec un indice de Shannon (Ish) égal à 2,87 bits, l'indice d'équitabilité de Piélou est de 0,86. La densité des ligneux est de 9,50 pieds/ha. La répartition des individus ligneux par classe

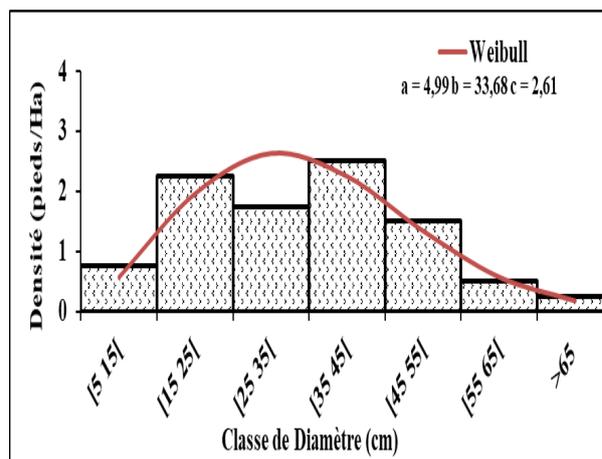


Figure 13. Distribution diamétrique des ligneux recensés.

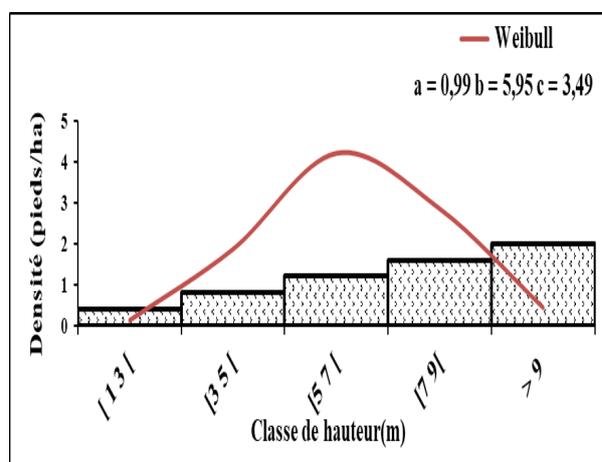


Figure 14. Distribution verticale des ligneux recensés.

Tableau 6. Vue synoptique des paramètres écologiques des Jardins de case.

Types de sol	(%)	Paramètres écologiques	Faible (%)	Élevé (%)	Très élevé (%)
		Erosion	80	-	20
Cuirasse	-	Culture	30	40	30
Argileux	20	Pâturage	30	20	50
Sableux	10	Feu de végétation	50	40	10
Sablo-Argileux	60	Prélèvement de bois	20	70	10
Argilo-Sableux	10	Habitat	10	40	50

Tableau 7. Vue synoptique des paramètres écologiques des savanes dégradées.

Types de sol	(%)	Paramètres écologiques	Faible (%)	Élevé (%)	Très élevé (%)
		Erosion	50	25	25
Cuirasse	75	Culture	50	50	-
Argileux	-	Pâturage		50	50
Sableux	25	Feu de végétation	25	50	25
Sablo-Argileux	-	Prélèvement de bois	25	25	50
Argilo-Sableux	-	Habitat	100	-	-

de diamètre dans les savanes dégradées montre une structure en « cloche » marquée par une dominance des individus de la classe de diamètre 35-45 cm (Figure 13), ceci illustre une fois encore une dominance des individus de diamètre moyen, montrant ainsi le caractère dégradé des ressources ligneuses dans l'ensemble des savanes de ce paysage.

La distribution des classes de hauteurs indique une structure en « L » dans les savanes dégradées. Cette structure s'ajuste par la valeur de coefficient de forme de Weibull qui est $c = 3,49$ traduisant ainsi une prédominance des individus de hauteurs élevées (Figure 14). Ainsi les individus dominants dans les savanes dégradées sont ceux qui ont une hauteur supérieure à 9 m.

Les savanes dégradées inventoriées sont essentiellement constituées à 75% de cuirasse et 25% de sable (Tableau 7).

L'intensité d'érosion reste faible dans 50% des relevés et très élevée dans 25%. La proportion des cultures reste élevée dans 50% des relevés et faible dans 25%. Dans 50% des cas, le niveau de pâturage est très élevé. L'intensité de feu de végétation est faible de 25% et reste aussi élevée dans 50% des cas étudiés. Le prélèvement de bois est très élevé 70% des cas, de même qu'une forte concentration des habitations dans tous les relevés.

3.3. Biomasse vivante et stock de carbone dans les différentes formes d'utilisation des terres

La biomasse totale est de 235,53 t sur l'ensemble des 99 ha prospectés. Le stock total de carbone a été estimé à 4,64 t sur l'ensemble des différentes formes d'utilisation des terres. L'équivalent en CO₂ est de 4,10 t/ha. La biomasse aérienne a été estimée à 1,70 t/ha et la biomasse souterraine à 0,66 t/ha. Par types d'utilisation de terre, on a 2,21 t/ha de biomasses totales vivantes dans les champs ; 5,00 t/ha dans les parcs agroforestiers ; 1,41 t/ha

dans les savanes et de 1,24 t/ha dans les jardins de case. La biomasse totale, le stock de carbone, l'équivalent de CO₂ et la surface terrière sont illustrés dans la Figure 15 qui montre que les parcs Agroforestiers ont une biomasse totale, un stock de carbone, un équivalent de CO₂ et une surface terrière plus élevés que les autres groupes. L'équivalent de CO₂ dans les parcs agroforestiers est au-delà de 8,63 t de CO₂/ha tandis que celui des champs est de 3,81 t de CO₂/ha suivi de celui des savanes et les jardins de case très anthropisés qui stockent moins de 3 t de CO₂/ha. Dans le cadre de notre étude, la biomasse totale a été répartie en classe de diamètre afin de voir l'évolution du stock de carbone et du nombre d'individus en fonction des classes de diamètre des arbres. Nous constatons qu'un nombre élevé d'arbres de diamètre < 10 cm représente 0,45% de la biomasse totale épigée dans toute la zone où au même moment un nombre faible des arbres de diamètre ≥ 100 cm représente 19,22%. Par contre le nombre d'individus diminue avec l'augmentation du diamètre à partir de la classe de diamètre [10-20]. Il existe donc une relation inverse entre les courbes de biomasse épigée et du nombre d'individu en fonction des classes de diamètre. La Figure 16 montre que la majeure partie de la biomasse épigée est stockée dans les arbres de diamètre ≥ 100 cm. Il a été comparé à l'évolution de la biomasse épigée et à celle de la surface terrière sur l'ensemble afin de déduire la relation qui existe entre ces deux paramètres. Il ressort de cette comparaison que la biomasse est fonction de la surface terrière, mais les surfaces terrières <10 sont très élevées et ont une faible Biomasse totale. De l'analyse de cette Figure, nous remarquons une relation de proportionnalité entre la surface terrière et la biomasse.

Les plus fortes valeurs de surface terrières correspondent aux valeurs élevées de biomasse épigée et vice versa. Le stock de carbone est donc fonction de la surface terrière Figure 17.

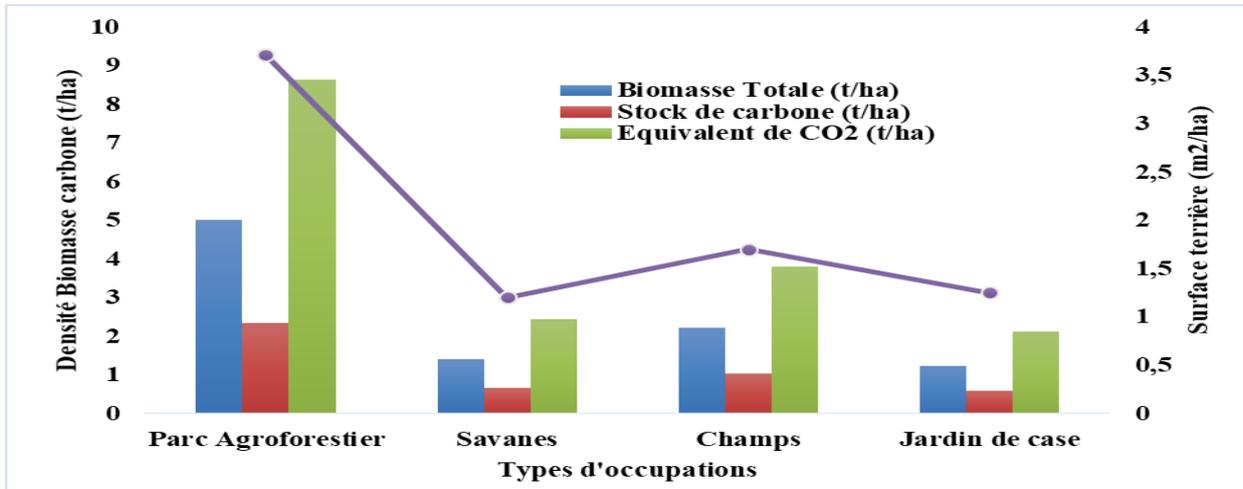


Figure 15. Biomasse totale, stock de carbone et équivalent de CO₂.

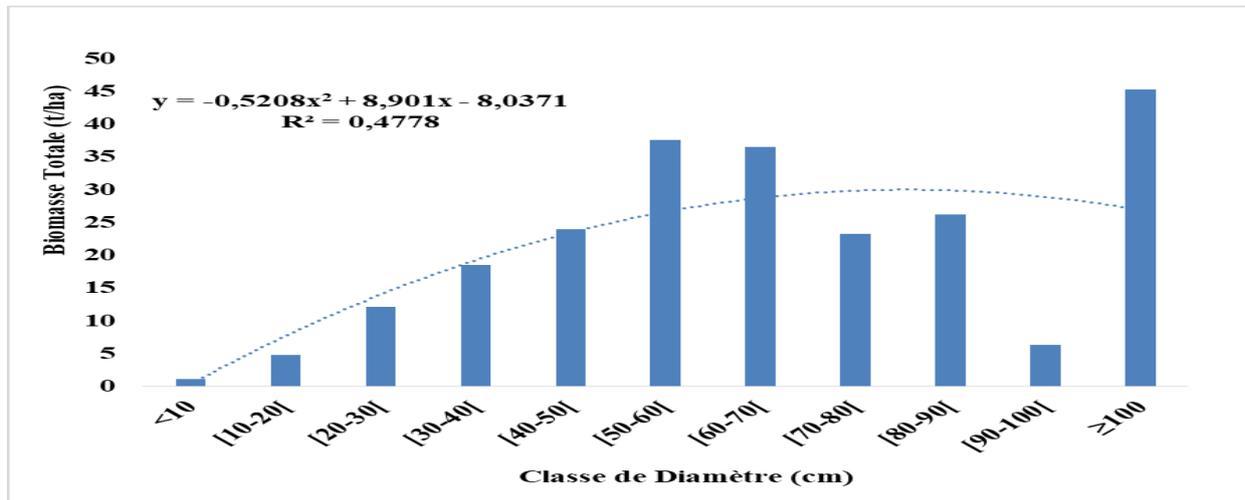


Figure 16. Biomasse épiquée en fonction des classes de diamètre.

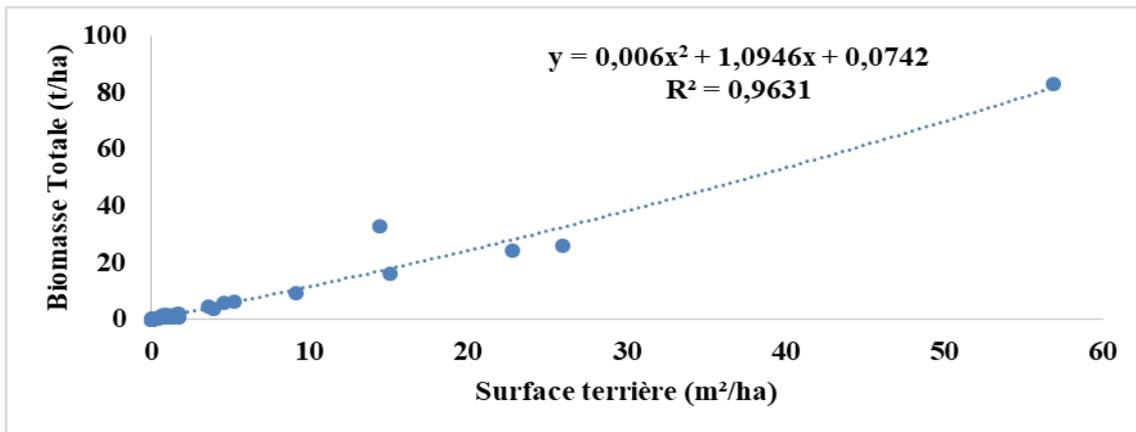


Figure 17. Évolution de la biomasse épiquée en fonction de la surface terrière.

4. Discussion

Les inventaires menés dans le paysage du socle éburnéen ont permis de recenser 48 espèces réparties entre 41 genres et 21 familles. Ces résultats sont comparables aux travaux de recherches réalisés dans les savanes soudanienne et sahélienne où [Aboubacar et al. \(2018\)](#) ont identifié 36 espèces ligneuses réparties en 30 genres et 19 familles en étudiant la structure des populations naturelles de *Neocarya macrophylla*, ligneux d'intérêt alimentaire à Dallol Bosso au Niger. ([Foumier et al. 2001](#)) Quant à eux, relèvent 54 espèces ligneuses réparties en 43 genres et 24 familles dans les parcs à *Cordyla pinnata* (Lepr. ex A. Rich.) Milne-Redh. Du Bassin Arachidier (Sénégal). Toujours dans les mêmes latitudes, d'autres chercheurs ont respectivement inventorié 55 ([Aleza et al. 2018](#)) et 53 espèces ([Ouédraogo et al. 2008](#)) ligneuses au Burkina Faso. Ce qui précède confirme que le socle éburnéen est dominé par les écosystèmes ouverts. Cependant, la différence entre une étude et une autre, pourrait s'expliquer par le choix de la méthode de collecte des données et des formes biologiques considérées qui diffèrent d'une étude à une autre.

La dominance des Meliaceae, Caesalpiniaceae et Sapotaceae confirme que le socle jouit d'un climat sec ([Aubreville, 1950](#)) caractéristiques des savanes africaines ([Fousséni et al. 2019](#); [Lisle, 2006](#)) puis corrèle par une dominance des espèces soudano-zambéziennes ([Aleza et al. 2015](#)). La présence des espèces guinéo-congolaises est sans doute en lien avec le réseau hydrographique favorable au développement d'une flore relativement plus hydrophile, tandis que la présence remarquable des espèces pantropicales, plurirégionales africaines montre une pression anthropique dans cette zone. L'abondance relative des espèces soudanaises sur les autres types phytogéographiques confirme la variabilité de la zone d'étude ([Fousseni et al. 2010](#)).

L'existence des espèces sahéliennes dans cette zone soudanienne a été possible grâce aux animaux transhumants ([Hahn-Hadjali et al. 2006](#)).

La distribution des espèces par classe de diamètre et de hauteur peut être catégorisée en deux types de structures. La distribution en « L » est caractérisée par une répartition décroissante des individus montrant que la pérennité des ligneux est assurée sur l'ensemble du milieu. Cette forte proportion de jeunes individus s'expliquerait par un

fort taux de germination des espèces dans la zone.

En termes de gestion des ressources forestières cette structure diamétrique présente une bonne allure, car les individus de petit diamètre atteindront de grosse dimension dans quelques dizaines d'années et pourront assurer la relève des ressources ligneuses disponibles. Les individus de gros diamètre peuvent être exploités afin de laisser la place aux petits individus d'accroître dans de bonnes conditions et de pouvoir remplir pleinement leur fonction d'autant plus que la pérennité est plus ou moins assurée sur l'ensemble du paysage. La distribution en « cloche » est caractérisée par une grande proportion des individus de classe moyenne, illustrant donc le caractère dégradé des ressources et confirmant que la régénération est menacée dans les savanes. Cette dégradation est en partie due à une forte demande en ressources ligneuse pour la satisfaction des besoins vitaux immédiats dans les ménages ([Devineau et al. 2010](#)).

Au nord du Togo, le surpâturage et la déforestation contribuent à la reconfiguration des écosystèmes et du paysage aussi bien sur le plan typologique, physiologique que structural. Dans cette zone climatique l'architecture paysagère fortement anthropisée est guidée par la recherche constante des valeurs agronomiques, économiques et alimentaires ([Wittig et al. 2002](#); [Diallo et al. 2011](#)).

De toutes les unités d'utilisation des terres, les zones couvertes de végétation saisonnière recèlent des densités importantes (15,33 pieds/ha). Ainsi, les faibles densités observées au niveau des autres formes d'utilisations sont sans doute en lien avec la propension des pratiques anthropiques de gestions des ressources naturelles. Cette situation traduirait également l'effet d'une forte pression zoo-anthropique exercée sur les ligneux à travers le pâturage, étêtage, écimage ou élagage inadapté et nocif, coupe frauduleuse, écorçage partiel, la pharmacopée par les populations riveraines ([Liu & Zhou 2004](#); [Hahn-Hadjali et al. 2006](#); [Fousseni et al. 2010](#); [Fousseni et al. 2012](#); [Koumoi et al. 2013](#); [Leßmeister et al. 2019](#)).

Le même constat est fait dans les formations à *Pterocarpus erinaceus* au Bénin et révèle qu'une diminution progressive en individus ligneux adultes des classes de diamètre supérieure ou égale à 35 cm augmenterait la vulnérabilité des arbres très âgés face aux menaces de sauvegardes et de conservations ([Zombré, 2006](#)).

L'indice de Shannon dans les parcs est de 3,67

indiquant donc une forte représentativité des espèces dans les zones de végétation saisonnières, l'indice d'équitabilité de Pielou dans ces zones est de 0,82 ce qui montre une dominance de certaines espèces sur d'autre.

Dans les parcs agroforestiers, la structure démographique très vieillissante, aux valeurs productives est limitée significativement. Ce paramètre structural commun aux parcs et agrosystèmes ouest africain est sans doute lié à la préservation des arbres utilitaires qui auraient bénéficiés des traitements sylvicoles de la part des paysans durant les divers campagnes agricoles (Koumou et al. 2013; Aleza et al. 2015). L'indice de Shannon dans les parcs est de 3,6 indiquant donc une forte représentativité des espèces dans les parcs agroforestiers, l'indice d'équitabilité de Pielou qui est égal à 0,68 montre aussi une faible dominance de certaines espèces sur d'autres. Cette configuration structurale des parcs agroforestiers est à la fois la résultante d'un long processus de dégradations sélectives des individus juvéniles au profit des essences jugées utiles par les paysans et des perturbations liées aux feux de végétations associée aux pratiques culturales sur brulis. Elle explique en définitive les valeurs élevées de diamètres moyens, de surface terrière et hauteur moyenne (Foumier et al. 2001; Bamba et al. 2008; Koumou et al. 2013; Aleza et al. 2015; Atakpama et al. 2017).

Le paysage est aussi caractérisé par des jardins de case pour des densités de 15,40 pieds/ha et de surface terrière de $1,15 \pm 0,67$ m²/ha. Cette densité compte parmi les plus élevées de toutes les unités d'occupation des sols du paysage. Cette situation est fortement corrélée à la capacité et au savoir-faire des résidents dans les mécanismes de domestication de certaines aux valeurs multiples (Gomgnimbou et al. 2009; Lamboni, 2016). Cet état est confirmé aussi par la volonté (Bouko et al. 2007; Dimobe et al. 2012) de disposer du bois d'œuvre et de service d'essence *Azadirachta indica* A. Juss. et *Diospyros mespilliformis* dans les jardins de cases. L'indice de Shannon dans ces unités d'occupation est de 2,6 indiquant donc que les espèces sont faiblement représentées dans ces occupations et l'indice d'équitabilité de Pielou qui est égal à 0,61 montre donc une faible dominance de certaines espèces sur les autres.

Une faible couverture de végétation (9,4 pieds/ha) domine les savanes dégradées de la zone d'étude. Ce type d'occupation n'est pas épargné par

des actions anthropiques qui déciment quelques rares ressources qu'elles contiennent. Seules quelques essences ligneuses de *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f., *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn., *Vitex doniana* Sweet, sont bien conservées dans ces savanes (Dimobe et al. 2015). Cette conservation est d'une importance capitale pour les populations du fait des ressources en produit forestier non ligneux (PFNL) qu'elles apportent (Gomgnimbou et al. 2009). L'indice d'équitabilité de Pielou qui est de 0,86 montre que les espèces sont moins représentées et l'indice de Shannon qui est égale à 2,87 montre que certaines espèces sont plus représentées dans les savanes

Les stocks de biomasse et de carbone sont essentiels pour la mise en œuvre des stratégies d'atténuation des changements climatiques, et notamment le mécanisme de réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation (REDD+). Sur l'ensemble des différentes formes d'utilisation des terres inventoriées sur le paysage du socle éburnéen, les estimations du stock total de carbone sont de 1,11 t/ha avec une quantité de biomasses totales de 9,86 t/ha. Les parcs agroforestiers ont stocké 5,00 t/ha, les champs 2,21 t/ha, les savanes 1,41 t/ha et les jardins de case 1,24 t/ha. Nos résultats sont comparables aux estimations de (Dimobe et al. 2017) au Plateau à Abidjan en Côte d'Ivoire (90,61 t/ha), de (Dimobe et al. 2018) à Lomé (58,1 t/ha) et de Folega et al. (2017) à Kpalimé (83,63 t/ha). La valeur trouvée est largement inférieure aux trois autres citées. Cet écart serait dû aux zones d'études où on a différents types de saisons. Vers le nord deux saisons et vers le sud quatre saisons et aux espèces mises en place. Certes 1,11 t/ha de CO₂ semble être négligeable pour supprimer les effets du changement climatique aux regards des besoins globaux, mais contribue de façon non négligeable à l'atténuer. L'équivalent CO₂ assimilé par les ligneux sur le socle Eburnéen équivaut à 4,10 t/ha. Il est important de relever que les valeurs de stock de carbone ne sont pas des valeurs standards. Elles varient en fonction de l'activité physiologique de l'arbre et de son rythme de croissance, de même que de la longueur de la période de croissance et de la durée de la saison de feuillaison (Dimobe et al. 2019). Les parcs Agroforestiers ont une biomasse totale, un stock de carbone, un équivalent de CO₂ et une surface terrière plus élevés que dans les autres groupes. L'équivalent de CO₂ dans les parcs agroforestiers est au-

delà de 8,63 t de CO₂/ha tandis que celui des champs est de 3,81 t de CO₂/ha suivi de celui des savanes et les jardins de case très anthropisées qui stockent moins de 3 t de CO₂/ha. Cette forte capacité de stockage dans les deux groupes s'explique par leurs gros diamètres et de l'importance significative de leur densité de peuplement. Nous constatons aussi que les parcs agroforestiers couvrent une grande surface terrière comparativement aux autres. Cela signifie que les paysans conservent plus les espèces qui sont dans les parcs agroforestiers pour de diverse raison.

5. Conclusion

La présente étude réalisée dans le paysage du socle éburnéen au Togo a permis de déterminer la diversité structurale des ligneux ; la relation entre paramètres structuraux et utilisation des terres. Les inventaires forestiers réalisés nous ont permis de discriminer 49 espèces réparties en 41 genres et 21 familles. Les espèces les plus représentées sont *Azadirachta indica* A. Juss., *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f. et *Senna siamea* (Lam.) Irwin & Barneby. Les familles les plus représentées sont les Meliaceae, les Sapotaceae, les Caesalpiniaceae et les Ebenaceae. Ainsi, 4 formes d'utilisation des terres ont été identifiées grâce aux relevés. La plupart de ces formes d'utilisation des terres sont des zones de végétation saisonnière suivis des parcs agroforestiers, des jardins de case et des savanes dégradées. Les structures en diamètre et en hauteur sont caractérisées par une forte présence d'individus de faible diamètre et de hauteurs moyennes dans la plupart des formes d'utilisation des terres de la zone.

Références

- Aboubacar, K., Douma, S., Mamoudou, B. M., & Seyni, R. S. D. (2018). Structure des populations naturelles de *Neocarya macrophylla* (Sabine) Prance, ligneux d'intérêt alimentaire, dans le Dallol Bosso, Niger. Bois & forêts des tropiques, 337, 67-78.
- Akoègninou, A., Van der Burg W.J., and Van der Maesen L. J. G., Flore analytique du Bénin. In: Adjakidjè V, Essou B, Sinsin, B., & Yédomonhan, H. (Eds). Cotonou (Bénin): Backhuys, 2006.
- Aleza, K., Wala, K., Bayala, J., Villamor, G. B., Dourma, M., Atakpama, W., & Akpagana, K. (2015). Population structure and regeneration status of *Vitellaria Paradoxa* (CF Gaertner) under different land management regimes in Atacora department, Benin. Agroforestry Systems, 89(3), 511-523.
- Aleza, K., Villamor, G. B., Nyarko, B. K., Wala, K., & Akpagana, K. (2018). Shea (*Vitellaria paradoxa* Gaertn CF) fruit yield assessment and management by farm households in the Atacora district of Benin. PloS one, 13(1), e0190234.
- Atakpama, W., Pereki, H., Batawila, K., & Akpagana, K. (2017). Assessment of gum yield of *Sterculia setigera* Del. in relation to diameter and trees status. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 6(1), 73-77.
- Aubreville A. (1950) Flore Forestière Soudano Guinéenne A.O.F. Cameroun A.E.F., 523 p.
- Bamba, I., Mama, A., Neuba, D., Koffi, K. J., Traore, D., Visser, M., . . . Bogaert, J. (2008). Influence des actions anthropiques sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la province du Bas-Congo (RD Congo). Sciences & Nature, 5(1), 49-60.
- Blaser, J., Sarre, A., & Poore, D. (2011). Status of Tropical Forest Management 2011. ITTO Technical Series No 38., International Tropical Timber Organization, Yokohama, Japan, p 420.
- Bouko, B. S., Sinsin, B., & Soulé, B. G. (2007). Effets de la dynamique d'occupation du sol sur la structure et la diversité floristique des forêts claires et savanes au Bénin. Tropicultura, 25(4), 221-227.
- Boulain, N., Cappelaere, B., Séguis, L., Gignoux, J., & Peugeot, C. (2006). Hydrologic and land use impacts on vegetation growth and NPP at the watershed scale in a semi-arid environment. Regional Environmental Change, 6(3), 147-156.
- Brunel, J.F., Scholz, H., & Hiepko, P. (1984). Flore analytique du Togo. Phanérogames. Eschorn (Germany): GTZ
- Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H. & Baumgardner, G. A. (1997). Roots Biomass Allocation in the World's Upland Forests. Oecologia, 111, 1-11. <http://dx.doi.org/10.1007/s004420050201>
- Caloz, R., Blaser, T., & Willemin, G. (1993). Création d'une orthoimage à l'aide d'un modèle numérique d'altitude: influences des modes de rééchantillonnage radiométrique. aupelf-uref. Les Presses de l'université du Québec, 17-30.
- Caloz, R., & Collet, C. (2001). Précis de Télédétection, Traitements numériques d'images de télédétection, vol. 3. Sainte-Foy, France: Presses de l'Université du Québec/AUPELF.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M., Chambers, J., Eamus, D., Kira, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. Oecologia, 145(1), 87-99.
- Da, D., Yacouba, H., & Yonkeu, S. (2008). Unités morphopédologiques et gestion de la fertilité des sols dans le Centre-Nord du Burkina Faso par les populations

- locales. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 2(3), 306-315.
- Devineau, J.-L., Fournier, A., & Nignan, S. (2010). Savanna fire regimes assessment with MODIS fire data: their relationship to land cover and plant species distribution in western Burkina Faso (West Africa). *Journal of Arid Environments*, 74(9), 1092-1101.
- Diallo, H., Bamba, I., Barima, Y. S. S., Visser, M., Ballo, A., Mama, A., Bogaert, J. (2011). Effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du Baoulé). *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 22(2), 97-107.
- Dimobe, K., Wala, K., Batawila, K., Dourma, M., Woegan, Y.A., & Akpagana, K. (2012). Analyse spatiale des différentes formes de pressions anthropiques dans la réserve de faune de l'Oti-Mandouri (Togo). *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement (Hors-série 14)*.
- Dimobe, K., Ouédraogo, A., Soma, S., Goetze, D., Porembski, S., & Thiombiano, A. (2015). Identification of driving factors of land degradation and deforestation in the Wildlife Reserve of Bontoli (Burkina Faso, West Africa). *Global Ecology and Conservation*, 4, 559-571.
- Dimobe, K., Goetze, D., Ouédraogo, A., Forkuor, G., Wala, K., Porembski, S., & Thiombiano, A. (2017). Spatio-temporal dynamics in land use and habitat fragmentation within a protected area dedicated to tourism in a Sudanian savanna of West Africa. *Journal of Landscape Ecology*, 10(1), 75-95.
- Dimobe, K., Tondoh, J. E., Weber, J. C., Bayala, J., Ouédraogo, K., & Greenough, K. (2018). Farmers' preferred tree species and their potential carbon stocks in southern Burkina Faso: Implications for biocarbon initiatives. *PloS one*, 13(12), e0199488.
- Dimobe, K., Kuyah, S., Dabré, Z., Ouédraogo, A., & Thiombiano, A. (2019). Diversity-carbon stock relationship across vegetation types in W National park in Burkina Faso. *Forest Ecology and Management*, 438, 243-254.
- 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 peri-urbaine de Kpalimé (Togo). *Rev. Sc. Env. Univ., Lomé (Togo)*, 14, 7-28.
- Folega, F., Atakpama, W., Wala, K., Mukete, B., Shozo, S., Akira, O., & Akpagana, K. (2019). Land use patterns and tree species diversity in the Volta Geological Unit, Togo. *Journal of Mountain Science*, 16(8), 1869-1882. doi: 10.1007/s11629-018-5154-4
- Folega, F., Kperkouma, W., & Akpagana, K. (2019). Impact de l'expansion urbaine sur la végétation de la commune d'Atakpamé au Togo. *Rev Sc Env Univ Lomé*, 1 (16), 101-124.
- Folega, A.A., Folega, F., Woegan A.Y., Wala K., & Akpagana K. (2021). Dynamique des émissions de gaz à effet de serre liées au secteur foresterie et autres affectations des terres (FAT) dans le paysage du socle Eburnéen au Togo. *Rev Écosystèmes et Paysages (Togo)*, 1(1), 58-72
- Foumier, A., Floret, C., & Gnahoua, G.-M. (2001). Végétation des jachères et succession post-culturale en Afrique tropicale. *La jachère en Afrique tropicale*, 123-168.
- Fousseni, F., Xiuhai, Z., Chunyu, Z., Kperkouma, W., & Koffi, A. (2010). Ecological and numerical analyses of plant communities of the most conserved protected area in North-Togo. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 2(11), 359-369.
- Fousseni, F., Marra, D., Wala, K., Batawila, K., Zhang, C.-y., Zhao, X.-h., & Akpagana, K. (2012). Assessment and impact of anthropogenic disturbances in protected areas of northern Togo. *Forestry Studies in China*, 14 (3), 216-223. doi: 10.1007/s11632-012-0308-x
- 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.
- Gomgnimbou, A. P., Savadogo, P. W., Nianogo, A. J., & Millogo-Rasolodimby, J. (2009). Usage des intrants chimiques dans un agrosystème tropical: diagnostic du risque de pollution environnementale dans la région cotonnière de l'est du Burkina Faso. *BASE*.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27.
- Hahn-Hadjali, K., Schmidt, M., & Thiombiano, A. (2006). Phytodiversity dynamics in pastured and protected West African savannas. Paper presented at the Taxonomy and ecology of African Plants: their conservation and sustainable use-Proceedings of the 17th AETFAT Congress Addis Abeba.
- Hutchinson, J. S., Jacquin, A., Hutchinson, S. L., & Verbeselt, J. (2015). Monitoring vegetation change and dynamics on US Army training lands using satellite image time series analysis. *Journal of Environmental Management*, 150, 355-366.
- INSEED-TOGO. (2011). Recensement général de la population et de l'habitat (du 06 au 21 novembre 2010). Résultats définitifs République Togolaise. . Lome, Togo.
- Jacquin, A., Sheeren, D., & Lacombe, J.-P. (2010). Vegetation cover degradation assessment in Madagascar savanna based on trend analysis of MODIS NDVI time series. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12, S3-S10.
- Jacquin, A., & Goulard, M. (2013). Using spatial statistics tools on remote-sensing data to identify fire regime linked with savanna vegetation degradation. *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems (IJAEIS)*, 4(1), 68-82.

- Jensen, J. R., & Im, J. (2007). Remote sensing change detection in urban environments Geo-spatial technologies in urban environments (pp. 7-31): Springer.
- Jürgens, N., Schmiedel, U., Haarmeyer, D. H., Dengler, J., Finckh, M., Goetze, D., & Luther-Mosebach, J. (2012). The BIOTA Biodiversity Observatories in Africa—a standardized framework for large-scale environmental monitoring. *Environmental monitoring and assessment*, 184(2), 655-678.
- Karimi, H. A., & Peng, J. (2004). Using Maximum Likelihood (ML) and Maximum A Prior Probability (MAP) in Iterative Self-Organizing Data (ISODATA). *Geocarto International*, 19(1), 29-36.
- Kemavo, A. (2018). Potentialités des données de télédétection optique et radar libres d'accès pour l'évaluation et le suivi des écosystèmes forestiers tropicaux: étude de cas au Togo, en République Démocratique du Congo, en Guyane française et en République Dominicaine.
- Koumoi, Z., Alassane, A., Djamgbedja, M., Boukpepsi, T., & Kouya, A.-E. (2013). Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans le Centre-Togo. *AHOHO - Revue de Géographie du LARDYMES*, 7(10), 163-172.
- Kpedenou, K. D., Boukpepsi, T., & Tchamie, T. T. K. (2016). Quantification des changements de l'occupation du sol dans la préfecture de Yoto (Sud-Est Togo) à l'aide de l'imagerie satellitaire LandsAT. *Revue des Sciences de l'Environnement*(13), 137-156.
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S., Angelsen, A., Bruce, J. W., & Folke, C. (2003). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths.
- Lamboni, M. (2016). Analyses des Données RGPH4-Novembre 2010 (État Matrimonial et Nuptialité). Lomé: Institut National de la Statistique et des Études Économiques et Démographiques (INSEED-TOGO).
- Leßmeister, A., Bernhardt-Römermann, M., Schumann, K., Thiombiano, A., Wittig, R., & Hahn, K. (2019). Vegetation changes over the past two decades in a West African savanna ecosystem. *Applied Vegetation Science*, 22(2), 230-242.
- Lisle, R. J. (2006). Google Earth: a new geological resource. *Geology today*, 22(1), 29-32.
- Liu, H., & Zhou, Q. (2004). Accuracy analysis of remote sensing change detection by rule-based rationality evaluation with post-classification comparison. *International Journal of Remote Sensing*, 25(5), 1037-1050.
- Maljean-Dubois, S. (2017). Climat. La COP 22 de Marrakech, une conférence d'étape avant les prochaines échéances.
- Manandhar, R., Odeh, I. O., & Ancev, T. (2009). Improving the accuracy of land use and land cover classification of Landsat data using post-classification enhancement. *Remote Sensing*, 1(3), 330-344.
- MEDDPN, Ministère de l'Environnement, du Développement Durable et de la Protection de la Nature : Inventaire Forestier (2016). Inventaire Forestier National du Togo (2015-2016) (pp. 79). Lome-Togo: MEDDPN Togo.
- Melesse, A. M., & Jordan, J. D. (2002). A comparison of fuzzy vs. augmented-ISODATA classification algorithms for cloud-shadow discrimination from Landsat images. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 68(9), 905-912.
- Ouedraogo, O., Thiombiano, A., Hahn-Hadjali, K., & Guinko, S. (2008). Diversité et structure des groupements ligneux du parc national d'Arly (Est du Burkina Faso). *Flora et Vegetatio Sudano-Sambesica*, 11, 5-16.
- Pereki, H., Wala, K., Thiel-Clemen, T., Bessike, M. P. B., Zida, M., Dourma, M., & 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-Akpiisso, 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 (pp. 3-21): Springer.
- Poss, R. (1996). Étude morphopédologique du nord du Togo à 1/500 000. (Notice Explicative ; 109) (Vol. 101). Paris, France: ORSTOM.
- Satyanarayana, B., Mohamad, K. A., Idris, I. F., Husain, M.-L., & Dahdouh-Guebas, F. (2011). Assessment of mangrove vegetation based on remote sensing and ground-truth measurements at Tumpat, Kelantan Delta, East Coast of Peninsular Malaysia. *International Journal of Remote Sensing*, 32(6), 1635-1650.
- Sylla, D. (2012). Modélisation spatio-temporelle de la vulnérabilité du milieu à la dégradation des sols en milieu semi-aride à partir de données radar. Université de Sherbrooke, 212p.
- Thiombiano, A., Schmidt, M., Dressler, S., Ouedraogo, A., & Hahn-Hadjali, K. (2012). Catalogue des plantes vasculaires du Burkina Faso. Boissiera: mémoires des Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève(65), 1-391.
- White, F. (1986). La végétation de l'Afrique. Recherches sur les Ressources Naturelles (UNESCO).
- Wittig, R., Hahn-Hadjali, K., Krohmer, J., Müller, J., & Sieglstetter, R. (2002). La végétation actuelle des savanes du Burkina Faso et du Bénin-sa signification pour l'homme et la modification de celle-ci par l'homme (aperçu des résultats d'un projet de recherche duré des années). *Etudes flor veg Burkina Faso*, 7, 3-16.
- Zombré, N. (2006). Évolution de l'occupation des terres et localisation des sols nus dans le Centre Nord du Burkina Faso. *Télédétection*, 5(4), 285-297.