

Caractérisation structurale de la végétation ligneuse du Parc National de Mozogo-Gokoro (Cameroun)

Received: 2018-06-28; revised: 2018-12-05; accepted: 2018-12-15

Rodrigue Constant Sani Sandjong¹, Mama Ntoupka², Toua Vroumsia³ et Adamou Ibrahima³

¹* Faculté des Sciences, Université de Maroua, BP 814 Maroua, Cameroun, Auteur correspondant,
E-mail: sanirocos@yahoo.fr

² Institut de Recherche Agricole pour le Développement Section Forêt, BP 170 Foumban, Cameroun

³ Université de Ngaoundéré, Faculté des Sciences, Département de Sciences Biologiques, B.P. 454 Ngaoundéré, Cameroun

Résumé: La gestion forestière durable est étroitement dépendante de la compréhension de la dynamique structurale. Cette étude vise la description de la structure de la végétation ligneuse du Parc National de Mozogo-Gokoro, situé en zone soudano-sahélienne au Cameroun. À l'issue d'un inventaire floristique, prenant en compte tous les individus ligneux, les analyses ont porté sur les paramètres suivants: la structure diamétrale, les types de tiges, la répartition en classes de hauteurs, les types biologiques et les types végétatifs. Ces différentes formes de caractérisation ont prouvé globalement le vieillissement du peuplement. Les pourcentages des types végétatifs montrent une végétation dominée par les arbustes (63,12 %), mais avec une présence non négligeable de lianes (26,34 %) et d'arbres (10,54 %). À partir des tests de corrélations diamètres-hauteurs, le paramètre types de tiges, avec une domination des hautes (1521 tiges/ha) et moyennes tiges (733 tiges/ha), est démontré plus crédible dans l'étude de la structure intégrale de la végétation ligneuse. L'analyse structurale des espèces présente quant à elle des tendances, montrant l'importance de l'ensemble des paramètres et une divergence dans les pressions subies. En somme, dans le processus de gestion durable du parc, la régénération et la croissance des ligneux se manifestent comme une préoccupation concernant l'ensemble du peuplement, mais de façon plus ciblée suivant les espèces.

Mots clés: Corrélations diamètres-hauteurs, flore, diversité structurale, ligneux, parc, soudano-sahélienne

STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF THE WOODY VEGETATION OF MOZOGO-GOKORO NATIONAL PARK (CAMEROON)

Summary: *Sustainable forest management is closely dependent on the understanding of structural dynamics. The aim of this study is to describe the structure of the woody vegetation of the Mozogo-Gokoro National Park, located in the Sudano-Sahelian zone in Cameroon. At the end of a floristic inventory considering all the ligneous individuals, the analyses took into account the following parameters: the diametrical structure, the types of stems, the distribution in classes of heights, the biological types and the vegetative types. Globally, these different forms of characterization have proved the aging of the stand. The percentages of vegetative types show vegetation dominated by shrubs (63.12%), but with a significant presence of lianas (26.34%) and trees (10.54%). Based on the diameters-heights correlation tests, the type of stems parameter, with a dominance of high (1521 stems/ha) and medium-high stems (733 stems/ha), is shown to be more credible in the study of the integral structure of woody vegetation. However, the structural analysis of the species presents trends, showing the importance of all the parameters and a divergence in the pressures. Finally, in the process of sustainable management of the park, regeneration and growth of woody vegetation is a worry concerning the entire stand, but in a more targeted manner when depending on the species.

Key words: Diameter-height correlation, flora, structural diversity, park, woody species, Sudano-Sahelian

STRUKTURELLE CHARAKTERISIERUNG VON GEHÖLZVEGETATION IM MOZOGO-GOKORO NATIONAL-PARK (KAMERUN)*

Zusammenfassung: Nachhaltige Forstwirtschaft hängt stark vom Verständnis der Strukturdynamik ab. Diese Studie zielt darauf ab, die Struktur der Waldvegetation des Mozogo-Gokoro-Nationalparks zu beschreiben, der sich in der Sudano-Sahel-Zone in Kamerun befindet. Nach einer floristischen Bestandsaufnahme, die alle Gehölzindividuen berücksichtigte, bezogen die Analysen folgende Parameter ein: die diametrale Struktur, die Stammtypen, die Verteilung in den Höhenklassen, die biologischen Typen und die vegetativen Typen. Diese verschiedenen Charakterisierungsformen haben die Alterung des Standes allgemein bestätigt. Die Prozentsätze der vegetativen Arten zeigen eine Vegetation, die von Sträuchern dominiert wird (63,12%), aber eine signifikante Präsenz von Lianen (26,34%) und Bäumen (10,54%) aufweist. Mittels der Durchmesser-Höhen-Korrelationstests wird gezeigt, dass der Stammtyp-Parameter mit der Dominanz hoher (1521 Stämme/ha) und mittelgroßer Stämme (733 Stämme/ha) bei der Untersuchung der Gesamtstruktur von Gehölzvegetation der wichtigste ist. Die Strukturanalyse der Arten weist Trends auf, welche die Bedeutung aller Parameter und eine Stress-Divergenz zeigen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Regeneration und das Wachstum der Gehölzvegetation im Rahmen eines nachhaltigen Parkmanagements das Hauptproblem für den gesamten Bestand darstellt, je nach Art jedoch unterschiedlich stark ist.

Schlagworte: Durchmesser-Höhen-Korrelation, Flora, Strukturelle Vielfalt, Gehölze, Park, sudano-sahelisch

1 INTRODUCTION

La gestion durable des forêts et la conservation de la biodiversité, exigent un suivi de l'état des peuplements forestiers, par des méthodes efficaces d'analyses structurales de la végétation (GUINN & al. 2004, LEBLANC 2014). La structure végétale s'intéresse à la fois à la distribution et à la dynamique des espèces, aux caractéristiques dendrométriques (diamètres, hauteurs, volumes), à la stratification et au recouvrement (JIBRIN 2013). La description des caractéristiques individuelles des tiges et la mise en évidence des strates, constituent des paramètres d'évaluation de la stabilité, de la dégradation ou de la limitation de la résilience des peuplements (THOMPSON & al. 2013, RABHI & al. 2016).

Les végétations non perturbées présentent un équilibre dynamique entre mortalité et croissance, reflété par la structuration de la flore ligneuse (HARPER 1977, 1997). Une tendance modélisée en J inversé est généralement caractéristique des structures en équilibre dans les formations végétales tropicales (CLARK & CLARK 1992, FELFILI 1997). Par ailleurs, la dynamique des systèmes écologiques est fréquemment affectée par des pressions exceptionnelles et très intenses (perturbations), ou permanentes et modérées (stress) (ROSELT/OSS 2004, HIÉRNAUX & LE HOUÉROU 2006). En zone sèche, les structures végétales des écosystèmes sont marquées par le stress des sécheresses sévères, en conjonction avec la surexploitation des ressources ou les usages multiples. Les caractéristiques structurales sont également révélatrices des événements liés à la vie des peuplements (RONDEUX 1999, PASCAL 2003). Elles renseignent notamment sur l'écologie des espèces, les contraintes sylvi-coles éventuelles et l'état de la ressource ligneuse (RUSSELL & al. 2010, AGARWALA & al. 2016). Ainsi, les dynamiques spécifiques déterminant les structures végétales, sont influencées par les conditions environnementales, lesquelles sont particulièrement contraignantes dans les zones sèches (CECCON & al. 2006, LEBRIJA-TREJOS & al. 2011, JIBRIN 2013, ALEMAN 2013).

La région septentrionale soudanienne et sahélienne de l'Extrême-Nord au Cameroun, fragile écologiquement, subit de façon régulière des périodes prolongées de sécheresse, une pression anthropique significative du fait d'un accroissement démographique exponentiel (DONFACK & al. 1996, M'BIANDOU & al. 2002, WAKPONOU & al. 2008). Avec de fortes contraintes environnementales dans cette région sèche du pays, la dynamique des écosystèmes peut ne pas toujours adhérer à la distribution décroissante de la flore ligneuse comme modèle structural. Des auteurs tels qu'ADJONOU & al. (2010) et RABIOU & al. (2015), démontrent dans les zones sèches soudanienne et sahélienne en Afrique de l'Ouest, cette configuration structurale sous pressions des peuplements forestiers ou des espèces ligneuses. Toutefois, la plupart des inventaires floristiques néglige les individus de tailles réduites, ou les considère comme faisant partie de la régénération, alors qu'ils sont souvent représentatifs de nombreuses espèces dans ces écosystèmes sensibles.

Il est donc important d'avoir une compréhension de la structuration de la flore ligneuse, tenant compte des réalités écologiques propres aux milieux soudano-sahéliens. Cette étude se focalise sur une telle démarche, indispensable pour

la gestion durable du Parc National de Mozogo-Gokoro (PNMG), situé dans cette zone géographique au Cameroun (BELLEFONTAINE & al. 1997, THOMAS & MIDDLETON 2011, UICN, 2012). Afin de vérifier l'hypothèse d'une stabilité de la végétation, l'objectif principal visé est de décrire la diversité structurale de la flore ligneuse de cette aire protégée. Les objectifs spécifiques ci-après ont été retenus : analyser la structure végétale ligneuse dans la globalité du peuplement, puis à l'échelle des espèces abondantes, procéder concomitamment, à une évaluation de la pertinence de certains paramètres pour une meilleure interprétation des résultats.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Site d'étude

Le PNMG est localisé dans la plaine de Koza (piémonts des monts Mandara), incluse dans une zone sèche à l'Extrême Nord du Cameroun (10° 56' à 10° 96' Nord et 13° 54' à 13° 58' Est). Sa superficie est estimée à 1400 ha (Fig. 1).

Le climat de type soudano-sahélien qui y règne est marqué par une variabilité pluviométrique intense, une pluviosité annuelle se situant autour de 800 mm, et des températures moyennes annuelles oscillant entre 26° C et 28° C (SANDJONG SANI & al. 2017). La végétation est qualifiée de soudano-sahélienne et constituée essentiellement de forêts galeries, de forêts denses sèches à claires, de savanes boisées et de fourrés (FOTIUS 2000, SANDJONG SANI et al. 2013a). Cette végétation fait face à une pression anthropique importante, avec une densité de la population supérieure à 300 habitants/km² (République du Cameroun 2005). La majorité de cette population est étroitement dépendante de l'agriculture, dont la qualité de la pratique est souvent décriée avec un défaut de modernisation (BOUTRAIS & al. 1984, SANDJONG SANI & al. 2013b). L'élevage est la deuxième activité majeure des paysans dans cette zone géographique (DONFACK & al. 1996, SANDJONG SANI & al. 2013b).

2.2 Méthodes

2.2.1 Dispositif de collecte des données

Les données ont été obtenues sur la base d'un inventaire floristique réalisé dans les trois zones végétales du parc (Unités de Collecte ou UC) distinguées par télédétection, non homogènes et dont les éléments constitutifs sont très dispersés sur le terrain (SANDJONG SANI & al. 2017). Il s'agit de l'UC1 (Mosaïque de forêts galeries, forêts denses sèches et fourrés arbustifs, 392,73 ha soit 29,64 % de la surface végétale), l'UC2 (Mosaïque de forêts denses sèches à claires et fourrés arbustifs, 836,33 ha soit 63,12 % de la surface végétale) et de l'UC3 (Mosaïque de forêts sèches claires à savanes boisées et de fourrés arbustifs, 95,91 ha soit 07,24 % de la surface végétale).

Le plan de collecte de données est semi-aléatoire et stratifié. En effet, à partir de cette localisation par télédétection des UC, les déplacements pour l'implantation des placettes d'inventaire se sont effectués au hasard sur le terrain, à travers les multiples pistes existantes dans la végétation (aménagées par l'administration forestière ou créées par

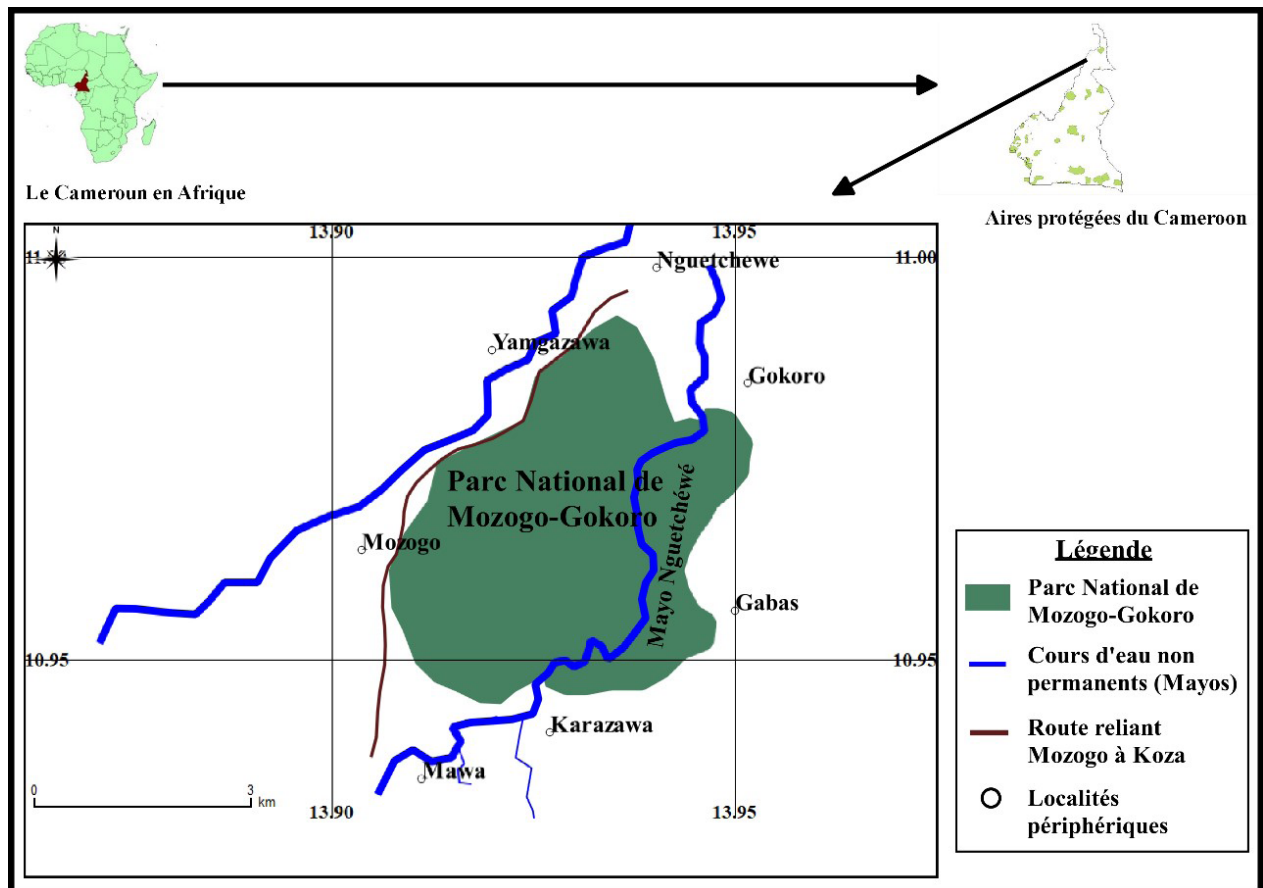


Fig. 1: Localisation du Parc National de Mozogo-Gokoro / Location of Mozogo-Gokoro National Park (SANDJONG SANI & al. 2017).

les braconniers). De plus, l'installation des placettes a tenu compte de la taille des UC, avec au total dans l'Inventaire Global (IG), 27 placettes d'échantillonnage circulaires de 30 m de rayon réparties ainsi qu'il suit dans la végétation: 8 placettes dans l'UC1, 14 placettes dans l'UC2 et 5 placettes dans l'UC3. Certains auteurs estiment que les placettes carrées et rectangulaires sont plus adaptées aux forêts claires et denses de la zone tropicale (VAN LAAR & AKÇA 2007, HOUÉTO & al. 2013, SALAKO & al. 2013, THIOMBIANO & al. 2016). Toutefois, il a fallu coller cette recherche aux travaux préliminaires sur le même site (Sandjong Sani & al. 2013), en gardant la même forme et dimension des placettes. De plus, la forme circulaire couramment utilisée dans les inventaires forestiers nationaux et internationaux (LECOMTE & RONDEUX, 2002), réduit le doute d'une appartenance ou non d'un arbre à la placette (RONDEUX 1999, KANGAS & MALTA-MO, 2007). Le taux d'échantillonnage n'est certes pas optimal, mais convenable dans le cadre d'un inventaire visant l'aménagement d'une forêt naturelle en zone sèche (BELLE-FONTAINE & al. 1997). Concernant les relevés floristiques, les circonférences ou les diamètres des individus ligneux ont été mesurés à l'aide d'un pied à coulisse, d'un mètre ruban ou d'un dendromètre électronique, à hauteur de poitrine (à 1,30 m du sol) pour les grandes tiges, arbres et lianes, ou entre 30 et 60 cm au-dessus du sol, voire plus bas pour les petites tiges, généralement les arbustes, les arbrisseaux et les sous-arbrisseaux (NTOUPKA 1999, FAYE 2010, KAIRE & al. 2013). Une perche graduée et un dendromètre électronique associé au télémètre laser ont servi à l'estimation des

hauteurs. Au niveau des touffes, seuls deux tiges principales ont été mesurées et le reste comptabilisé.

2.2.2 Analyse structurale de la flore ligneuse

2.2.2.1 Indications de base

Des phyto-indicateurs de diversité structurale (NOSS 1990, ARONSON & al. 1995) ont été considérés dans l'analyse des données. Il s'agit des paramètres ci-après: les structures diamétrales, la distribution en classes de hauteurs, les types biologiques et les types de tiges, puis les types végétatifs, la représentativité en individus sarmenteux ou buissonnants et les corrélations diamètres-hauteurs. Certains de ces attributs peuvent être qualifiés de redondants, mais en réalité, il s'agit ici de les comparer ou de montrer les preuves d'un non hasard en cas de résultats concordants. À l'exception des types végétatifs et de la représentativité des individus en touffe, les classes des autres paramètres ont été numérotées dans la description structurale des espèces les plus abondantes (ayant des nombres d'individus les plus élevés dans l'IG), réalisée en spectres bruts des nombres d'individus. Les tests d'homogénéité (Khi-deux) et de Kruskal-Wallis ont été appliqués pour la comparaison des différentes classes des paramètres structuraux dans l'IG. Les logiciels XLSTAT 2018 et Minitab 18 ont été utilisés dans les analyses statistiques.

2.2.2.2 Détermination de la structure diamétrale

La distribution des classes de diamètres est un indicateur important intervenant dans l'étude structurale de la végétation, sa tendance évolutive et sa dynamique de régénéra-

tion. Les diamètres ont été estimés à partir des valeurs de circonférence pour les individus de très faibles tailles. Les classes définies (en m) sont d'inégales amplitudes:]0-0,1],]0,1-0,25],]0,25-0,5],]0,5-0,75],]0,75-1],]1-1,5] et]4-4,5]. Les étendues des classes]0-0,1] et]0,1-0,25] ont été réduites dans l'optique de mettre en exergue les individus généralement exclus de certains inventaires et considérés comme jeunes. Les trois premières classes inférieures précédentes ont été subdivisées en six sous-classes, concernant l'analyse des structures diamétrales des espèces arbustives et lianescentes:]0-0,05],]0,05-0,1],]0,1-0,2],]0,2-0,3]]0,3-0,4] et]0,4-0,5]. *A contrario*, les individus de plus grands diamètres étant réduits, voire inexistant, les classes correspondantes ont été délibérément omises ou étendues pour éviter de trop grandes dispersions.

2.2.2.3 Caractérisation de la diversité des types de tiges

Les types de tiges représentent une classification particulière des individus en fonction de la hauteur (SANDJONG SANI & al. 2013b). Il s'agit d'une caractérisation de la structure verticale de la végétation adaptée aux zones sahélienne et soudanienne, où la plupart des espèces ont une taille réduite (inférieure à 5 m). Elle est calquée sur le modèle des travaux préliminaires (SANDJONG SANI & al. 2013b) et vise principalement une confrontation méthodologique avec les classifications usuelles. Les critères sont définis dans le tableau 1.

Tableau 1: Critères de la classification des types de tiges / Criteria for the classification of stem types.

Classes de hauteurs en m	Types de tiges
] 0-1]	Tiges de régénération
] 1-1,5]	Tiges d'avenir
] 1,5-3]	Tiges moyennes
> 3	Hautes tiges

2.2.2.4 Caractérisation des types biologiques

Les types biologiques définis par l'écologue Danois RAUNKIAER (1934), donnent la répartition d'espèces en fonction de la position des bourgeons et des jeunes pousses pendant la mauvaise saison (ABERLIN & DAGET 2003). C'est un indicateur de la structure verticale de la végétation et des conditions écologiques au niveau de l'écosystème, du paysage et dans la zone phytogéographique, cadrant mieux avec une terminologie connue que celle des types de tiges. Cette caractérisation s'est faite précisément en se basant sur les individus. L'intérêt d'une telle démarche, c'est d'établir une structuration verticale de la végétation sur la base de classes de hauteurs vulgairement connues avec des appellations précises, afin de les comparer à d'autres classifications fondées également sur le nombre d'individus. Concernant les ligneux, les types biologiques du tableau 2 ci-après peuvent être identifiés dans la flore du parc.

2.2.2.5 Détermination de la distribution en classes de hauteurs

Les classes de hauteurs majoritairement de même amplitude ont été définies pour rétablir dans la méthodologie une certaine équité dans la stratification verticale des individus, pour une comparaison avec les types de tiges et types biologiques. Les classes de hauteurs (en m) retenues sont les

suivantes:]0-2],]2-4],]4-6],]6-8],]8-10],]10-12],]12-14] et]14-35].

Tableau 2: Critères de la classification des types biologiques / Criteria for the classification of biological types.

Classes de hauteurs en m	Types biologiques	Abréviations
] 0,25 à 2]	nanophanérophytes	np
] 2 à 8]	microphanérophytes	mp
] 8 à 30]	mésophanérophytes	MésP
> 30	mégaphanérophytes	MégP

2.2.2.6 Distinction des types végétatifs et calcul des taux d'individus en touffe

Les types végétatifs désignent dans cette étude, des structures botaniques décrivant entièrement le port adulte des espèces. Ils ont été regroupés dans les 3 grands groupes suivants: arbustes, lianes, en fonction de la classification d'ARBONNIER (2009). Par souci de simplification, les espèces correspondant aux arbrisseaux et sous-arbrisseaux (hauteurs < 2 m) ont été classées parmi les arbustes. Pour les espèces pouvant correspondre à plusieurs types végétatifs et non citées dans l'ouvrage d'ARBONNIER (2009), la taille d'observation sur le terrain a été privilégiée dans la classification (arbre: plus de 7 m, arbuste: < 7 m).

Le taux (T) d'individus en touffe d'une espèce ou d'une unité d'échantillonnage a été calculé par la Formule 1.

Formule 1:

$$T = \frac{\text{Nombre de tiges en touffe d'un taxon ou d'une unité d'échantillonnage}}{\text{Nombre total de tiges du taxon ou de l'unité d'échantillonnage}} \times 100$$

T est le taux (T) des individus en touffe en %.

2.2.2.7 Eléments de comparaison des paramètres structuraux

Dans une démarche d'analyse comparative de certains paramètres structuraux basés sur des classes de diamètres ou des classes hauteurs, il a fallu au préalable caractériser les distributions théoriques de Weibull correspondantes. Il est rappelé que la loi de Weibull à 3 paramètres (a, b et c) est donnée par la fonction de densité de probabilité f pour toute valeur d'une variable aléatoire x (RONDEUX, 1999) (Formule 2).

Formule 2:

$$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x - a}{b}\right)^{c-1} \exp \left[- \left(\frac{x - a}{b}\right)^c \right]$$

x = diamètre ou hauteur d'une tige; f (x) = valeur de densité de probabilité au point x; a = paramètre de position; b = paramètre d'échelle ou de taille; et c = paramètre de forme lié à la structure des classes de diamètres ou des classes de hauteurs considérées. Dans notre cas, a = 0 car l'inventaire floristique prend en compte tous les individus. Les autres paramètres (b et c) ont été estimés par maximum de vraisemblance en utilisant le logiciel Minitab 18.

Les valeurs du paramètre de forme (c) sont généralement utilisées comme critères dans l'interprétation des structures végétales impliquant les classes de diamètres ou de

hauteurs. En s'inspirant des travaux de GLÈLÈ KAKAI & al. (2016) et de KERSHAW & al. (2017), ils peuvent être reformulés comme suit:

- pour $c < 1$, la distribution est en J-renversé ou en « L » caractéristique des peuplements multispécifiques à fort potentiel de régénération;
- lorsque $c = 1$, la distribution est dite exponentielle décroissante, caractéristique de populations à fort potentiel de régénération mais présentant un problème de survie lors de la transition entre stades de développement;
- $1 < c < 3,6$ correspond à une distribution asymétrique positive ou asymétrique droite (structure en « i »), caractéristique des peuplements artificiels monospécifiques avec prédominance relative d'individus jeunes, mais peut aussi refléter des populations à faible potentiel de régénération dû aux actions exogènes, surtout dans les petites classes de diamètres ou de hauteurs;
- pour $c = 3,6$; la distribution est symétrique (structure normale), caractéristique également de populations à faible potentiel de régénération dû aux actions exogènes;
- et lorsque $c > 3,6$; la distribution est asymétrique négative ou asymétrique gauche (structure en « J »), caractéristique de peuplements monospécifiques à prédominance d'individus âgés, et de populations dégradées (parfois en extinction) à très faible potentiel de régénération dû aux pressions anthropiques.

En analysant l'allure des courbes ou des histogrammes, on peut également distinguer des structures asymétriques zigzagüées (positive et négative), des structures symétriques zigzagüées, des structures en pointe et en cloche, des structures concaves et convexes, des structures erratiques.

Les distributions théoriques ont été déterminées à partir du nombre d'individus et des densités observées. Les densités (D_o) observées ont été calculées dans chaque classe par la Formule 3.

Formule 3:

$$D_o = \frac{\text{Nombre de tiges d'une classe } i}{\text{Nombre total de placettes considérées (UC ou IG)} \times \text{Surface en ha d'une placette}}$$

D_o = densité observée en tiges/ha de la classe i .

Les valeurs théoriques (densités et les nombres d'individus) relatives à la distribution de Weibull ont été calculées dans chaque classe par la formule 4.

Formule 4:

$$\text{Valeur théorique} = \frac{\text{Total des valeurs observées} \times \% \text{ densités de probabilités de la classe}}{\text{Total des valeurs observées}}$$

Les meilleures adéquations des structures observées aux distributions théoriques ont été interprétées par les valeurs de Khi-deux faibles et les seuils de probabilité (p-value) découlant des tests d'ajustement (hypothèse nulle: il y a absence d'ajustement à la loi de Weibull). Les distributions ne respectant pas les conditions d'application des tests de Khi-deux ont été transformées par la règle de proportionnalité, tout en excluant les classes nulles.

De plus, dans cette analyse de la pertinence des paramètres structuraux, des tests de corrélations de Pearson ont été appliqués entre diamètres et hauteurs dans les différentes classes. Afin d'interpréter les résultats de ces tests, le coefficient de détermination (R^2) et la p-value ont été les critères retenus. Pour justifier ce choix, il est connu que le coefficient de détermination représente la fraction de la variabilité expliquée par la corrélation sur la variabilité globale. HERVÉ (2016) le considère comme ayant une capacité explicative globale des corrélations.

Globalement, un paramètre est jugé meilleur lorsqu'il présente une bonne adéquation à la loi de Weibull et se caractérise dans ses différentes classes par des corrélations hautement significatives entre diamètres et hauteurs (p-values $< 0,05$; coefficients de détermination élevés). En outre, concernant les espèces, le nombre élevé de classes ayant un effectif ≥ 20 individus a été ajouté comme critère supplémentaire. À partir d'un codage en rang, la totalité de ces critères a été prise en compte pour cette comparaison des paramètres de structure.

3 RÉSULTATS

3.1 Distribution des classes de diamètres dans le massif

Dans l'IG, la distribution des classes de diamètres indique l'importance majeure d'individus de diamètres faibles, appartenant aux classes]0-0,1 m] et]0,1-0,25 m], avec une densité cumulée de 2546,35 tiges/ha (différence significative avec les autres classes dans la procédure de comparaisons multiples de Conover-Iman associée au test de Kruskal Wallis).

L'examen de ces distributions conformément à la loi de Weibull (Fig. 2) montre des structures diamétrales en forme de L ou de J inversé dans les UC ($0,62 \leq c \leq 0,97$) et l'IG ($c = 0,64$). Elles indiquent ainsi la forte présence de jeunes, mais également d'individus dont le développement pourrait être compromis par les strates arborescentes, souvent qualifiés de rabougris.

3.2 Types de tiges, types biologiques et distribution des classes de hauteurs

Les distributions en classes de hauteurs présentent des configurations assez irrégulières avec domination des individus de hauteurs inférieures à 10 m (absence d'homogénéité des classes dans les UC, $\chi^2 = 462,83$; $p < 0,0001$). Dans les UC et l'IG, les classes]0-2],]2-4] et]4-6] se distinguent comme étant les plus importantes, ce qui constitue une preuve d'une domination de la strate arbustive (Fig. 3).

Les micro-phanérophytes sont les plus nombreux dans les distributions des types biologiques dans les UC et l'IG. Il y a absence d'uniformité des types biologiques dans les UC ($\chi^2 = 237,78$; $p < 0,0001$). Toutes les structures présentent une forme en « i », marquant une importance relative d'individus jeunes (Fig. 4).

Concernant la répartition des types de tiges dans les UC et l'IG (Fig. 5), les tiges les mieux représentées sont les hautes et moyennes tiges, en rapprochement avec les struc-

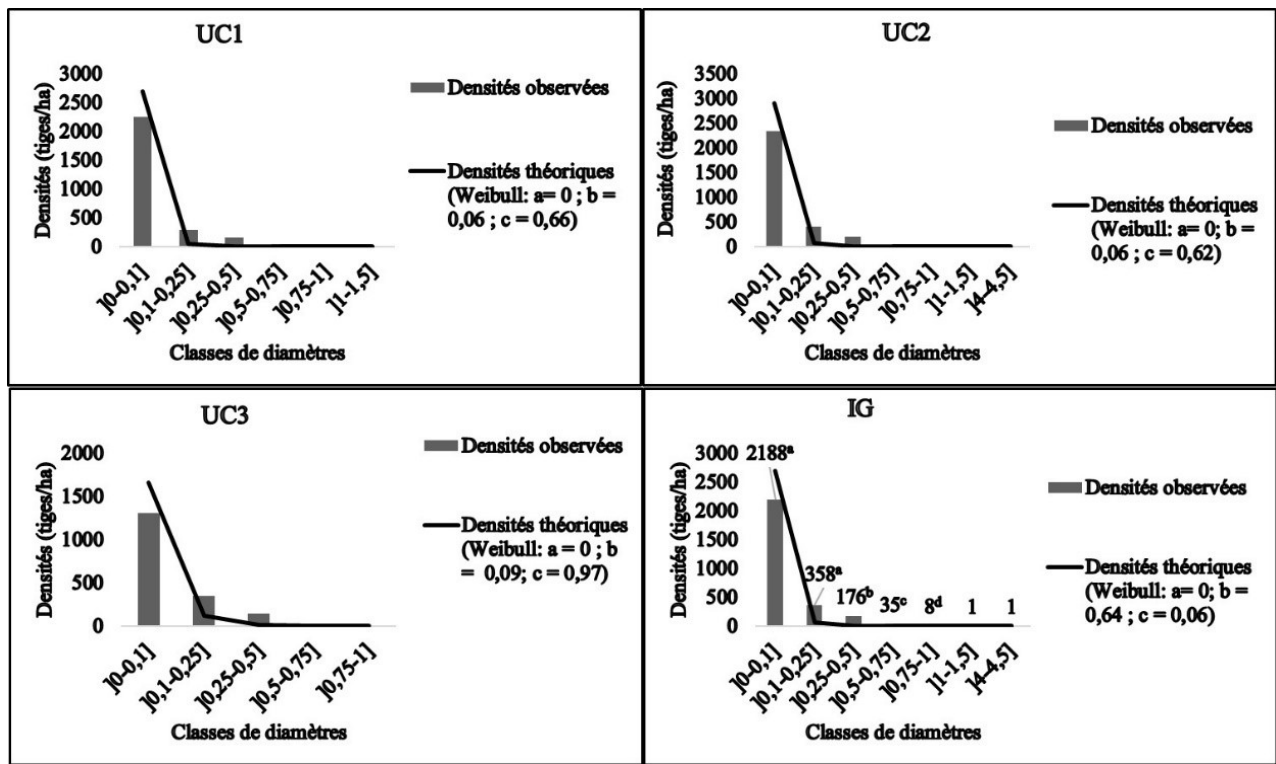


Fig. 2: Distributions des classes de diamètres dans l'IG et les UC / Diameter classes distributions in Global Inventory (IG) and Collection Units (UC)
 a, b, c, d: Dans l'IG, lorsque l'une de ces lettres est identique dans au moins deux classes de diamètres, cela indique une absence de différences significatives au de test de Kruskal-Wallis associé aux comparaisons de Conover-Iman (pour obtenir la même amplitude, les classes [0-0,1] et [0,1-0,25] sont regroupées dans ce test) / a, b, c, d: In the IG, identity of one of these letters in at least two diameter classes indicates an absence of significant differences using Kruskal-Wallis test associated with Conover-Iman comparisons (to obtain the same amplitude, [0-0.1] and [0.1-0.25] classes are grouped in this test).

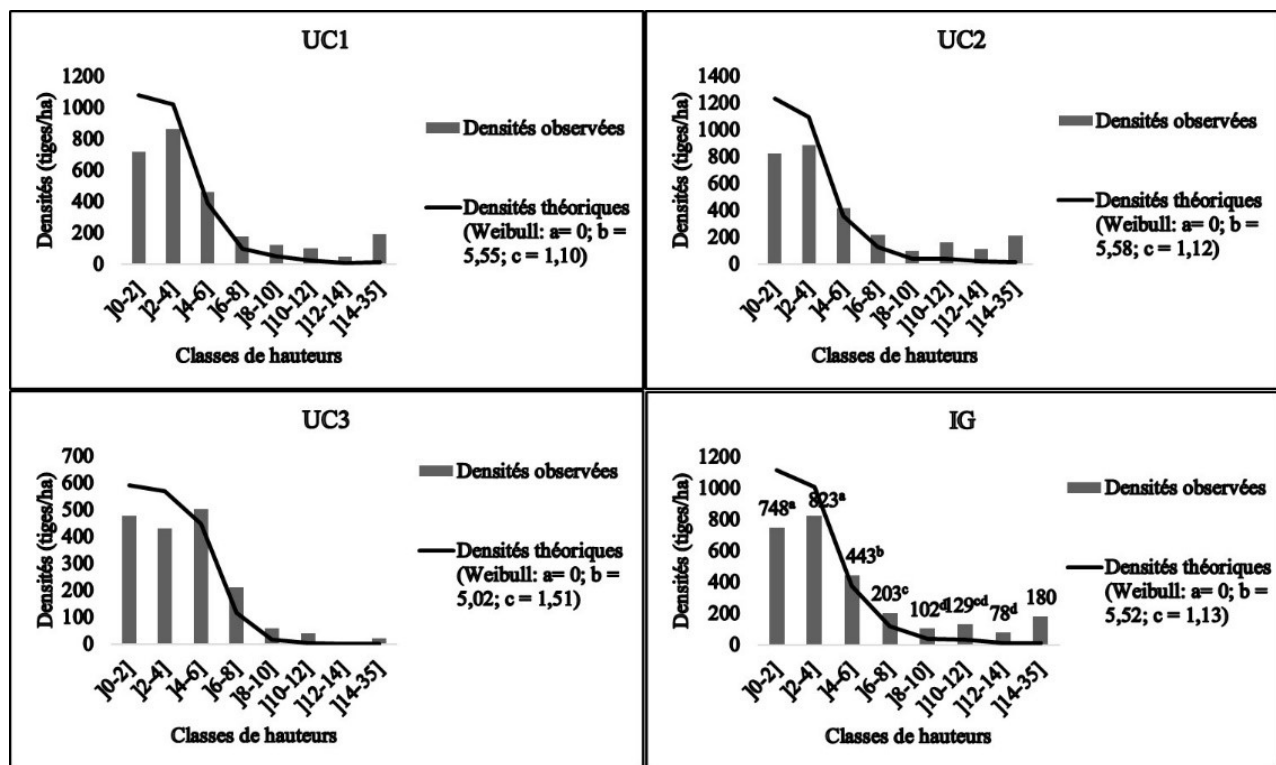


Fig. 3: Distributions des classes de hauteurs dans les UC et l'IG / distribution of height classes in UC and IG.
 a, b, c, d: voir Fig.2 / a, b, c, d: see Fig.2.

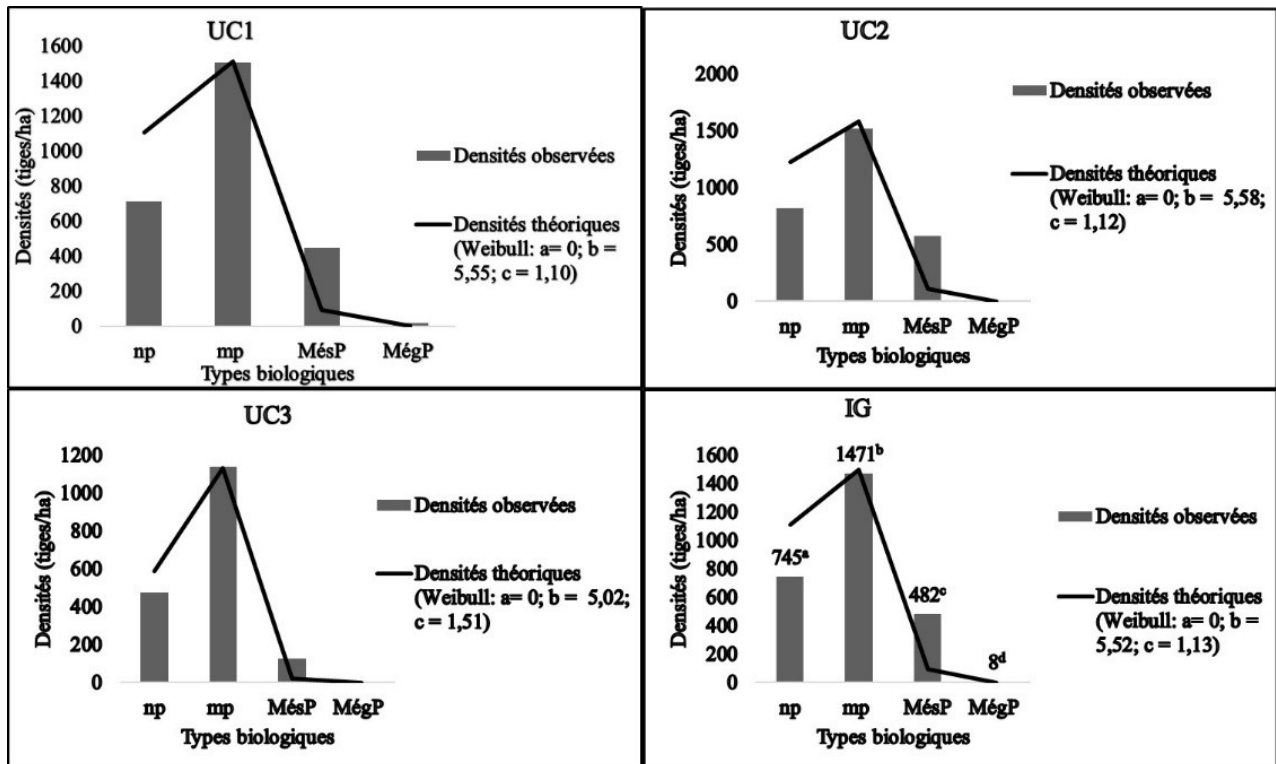


Fig. 4: Distributions des types biologiques dans les UC et l'IG / distribution of biological types in UC and IG. np = Nanophanérophytes, mp = microphanérophytes, MésP = mésophanérophytes, MégP = mégaphanérophytes, a, b, c, d: voir Fig.2 / a, b, c, d: see Fig.2.

tures asymétriques droites. Le test d'homogénéité montre une inégalité des types de tiges dans les UC ($\chi^2 = 120,98; p < 0,0001$). Toutefois, la différence de structure est remarquable dans la comparaison de cette classification des types

de tiges avec la distribution des classes de diamètres. Selon la loi de Weibull, ces distributions fondées sur les classes de hauteurs devraient décrire des structures asymétriques positives, avec $1,10 \leq c \leq 1,51$ dans les UC et $c = 1,13$ dans

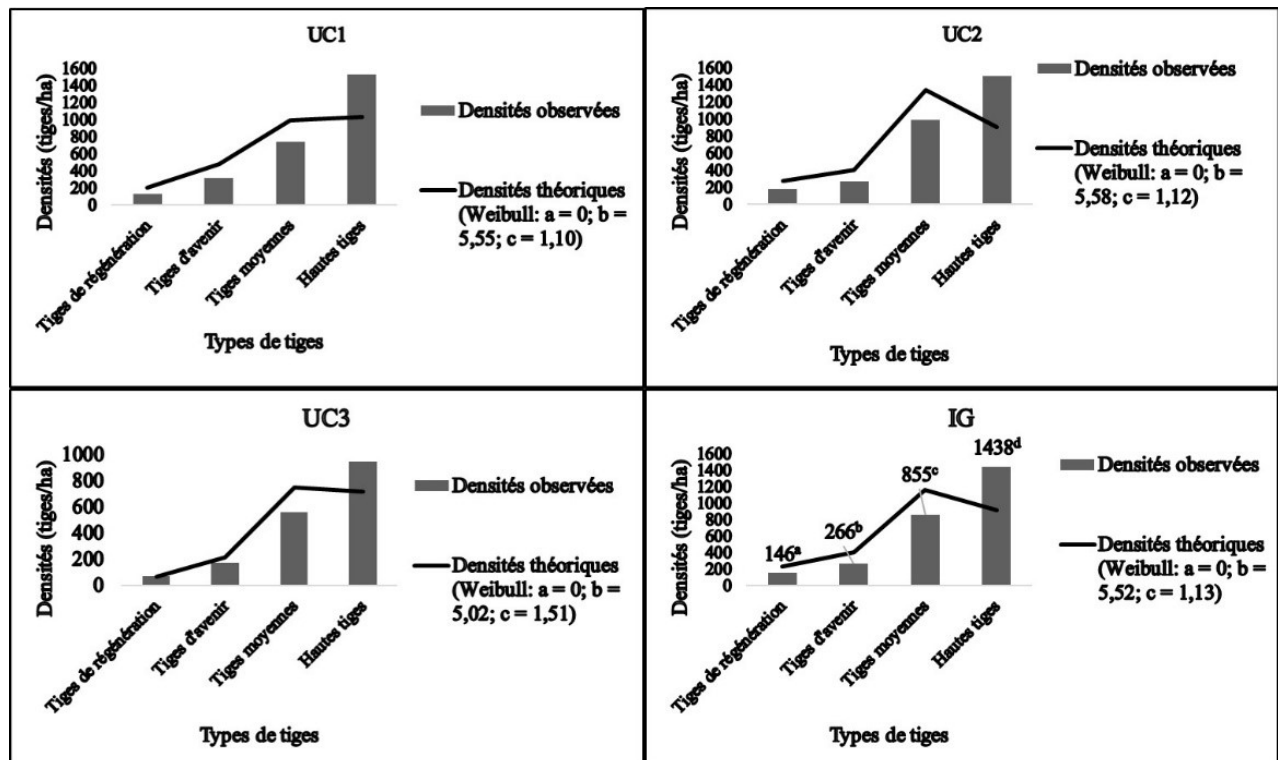


Fig. 5: Pourcentages d'individus par types de tiges dans les UC et l'IG / percentages of individuals by types of stems in UC and IG. a, b, c, d: voir Fig.2 / a, b, c, d: see Fig.2.

l'IG. Elles traduisent donc une faible régénération liée aux facteurs exogènes.

3.3 Types végétatifs

Les arbres, arbustes et lianes sont retrouvés en proportions considérables dans l'inventaire global, avec un risque d'uniformité presque nul de ces différents types végétatifs ($\chi^2 = 77,61$; $p < 0,0001$). Les arbustes sont les plus nombreux dans toutes les UC et l'IG (Fig. 6).

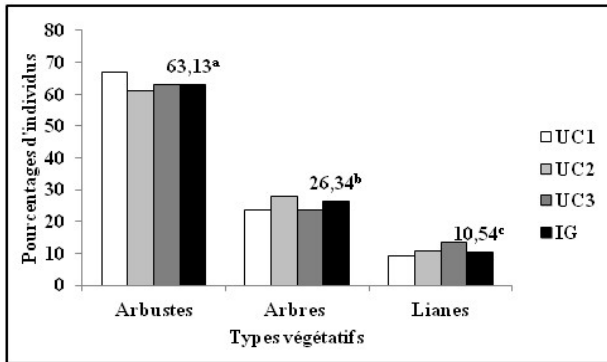


Fig. 6: Pourcentages d'individus par types végétatifs dans les UC et l'IG / percentages of individuals by vegetative types in UC and IG. a, b, c, d: voir Fig.2 / a, b, c, d: see Fig.2.

La présence de diverses formes de plantes est une caractéristique de la maturité de cet écosystème. En effet dans cette zone géographique, la trajectoire des peuplements végétaux aboutit généralement à la domination d'arbustes (steppes ou savanes arbustives). S'agissant particulièrement des lianes, elles constituent une preuve d'hygrométrie ou d'une bonne conservation de la flore. L'importance des lianes, avec parfois des diamètres et des hauteurs exceptionnels en zone sèche (Fig. 7), reflète une relative stabilité du parc et l'importante durée de la mise en défens. Pour croître et abonder, la synusie lianescente doit trouver un terrain propice d'espèces préexistantes de coopération.

Le taux d'individus en touffe correspondant généralement aux espèces sarmenteuses est évalué à 42,84 % du nombre total de tiges dans l'inventaire global. Il est très élevé et traduit la dynamique de fourrés d'arbustes, d'arbrisseaux et sous-arbrisseaux. Le sous-bois est donc extrêmement broussaillieux, considérant que l'espèce la plus concernée est *Senegalia ataxacantha* (Fig. 8).



Fig. 7: Lianes de grandes dimensions dans le parc / big size woody lianas in the park: a) *Opilia amentacea*, b) *Ancylobotrys amoena*

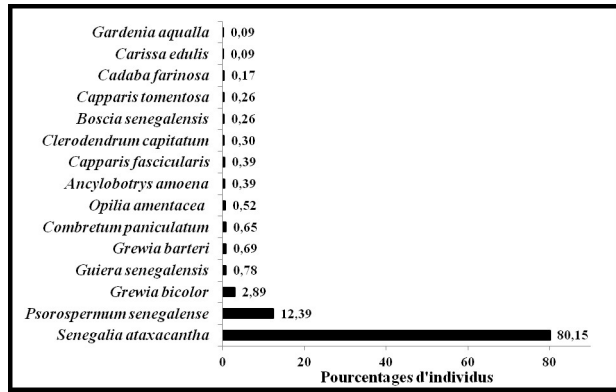


Fig. 8: Espèces les plus représentatives des touffes / the most representative clump species.

3.4 Corrélations diamètres-hauteurs dans le peuplement ligneux et implications

Les corrélations diamètres-hauteurs, réalisées dans l'UC1 (6213 individus), l'UC2 (11799 individus), l'UC3 (2545 individus) et dans l'IG (20557 individus) montrent un pourcentage de 31 à 45 % d'individus dont la variance des hauteurs est expliquée par les diamètres et vice versa. Ces liaisons sont donc illustrées avec une grande densité de résidus (Fig. 9).

Les pressions anthropiques, l'existence de compétitions pour la lumière ou l'interférence de variables bioclimatiques (variabilités thermique et pluviométrique, intensité de la sécheresse) peuvent expliquer ce type de corrélation. Ces facteurs sont susceptibles d'entraîner des croissances en hauteur en disproportion avec les diamètres, visibles surtout dans l'UC3. Ceci laisse un doute sur la véracité des paramètres de structures verticale et horizontale. Il faut donc s'interroger sur la pertinence des illustrations de ces structures, s'effectuant sur une base simplifiée (Classes de diamètres et de hauteurs de même étendue) dans la végétation du parc, sans autres considérations dans les analyses. Ainsi, pour accorder plus de crédit à l'un des paramètres d'analyses structurales dans l'ensemble du peuplement, des tests de corrélations entre diamètres et hauteurs dans chaque classe et la qualité de l'ajustement à la loi de Weibull justifient le plus grand intérêt à accorder à la représentation structurale qualifiée de répartition des types de tiges (Tableau 3).

Les distributions des types de tiges paraissent mieux refléter la structure végétale de l'ensemble du peuplement. Avec la domination des hautes et moyennes tiges, la structure en « J » de la végétation met donc en évidence la limitation de la régénération et la maturation de notre écosystème. La figure 10 illustre la physionomie de cette végétation dans les différentes UC.

3.5 Structure des espèces ligneuses les plus abondantes

Les courbes illustrant les structures des principales espèces abondantes montrent des divergences de forme en fonction des paramètres (Fig. 11). Dans la majorité des espèces (exception de *Cadaba farinosa* et de *Boscia senegalensis*), il est parfois distingué à fois des structures d'allure décroissante ou croissante, des structures convexes, concaves, en cloche, en pointe, des structures zigzagüées voire erratiques.

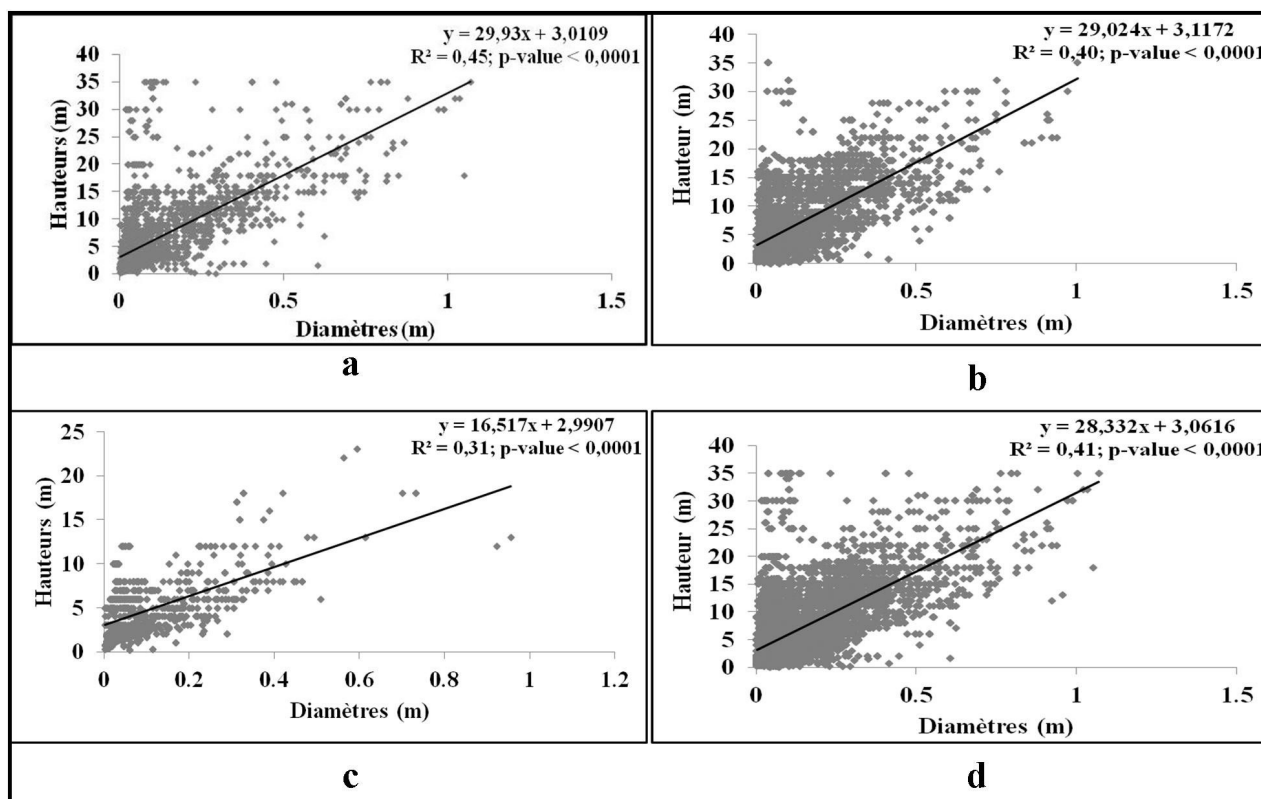


Fig. 9: Corrélations diamètres-hauteurs / diameter-height correlation: a) dans l'UC1/in UC1, b) dans l'UC2/in UC2, c) dans l'UC3/in UC3, d) dans l'IG/in IG.

L'interprétation de ces structures spécifiques paraît plus aisée et restreinte avec l'analyse des distributions en diamètres et en hauteurs suivant la loi de Weibull (Tableau 4). La plu-

structurale doit être relativisée, en raison de la limitation de la qualité de l'ajustement à la loi de Weibull, et des discordances constatées chez certaines espèces (*Bombax costatum*, *Boscia senegalensis*, *Combretum paniculatum*, *Dalbergia melanoxylon*).

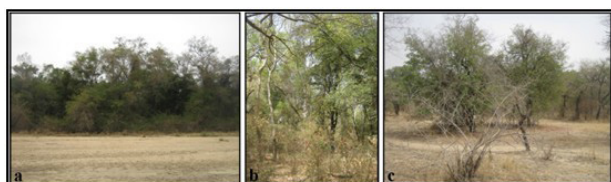


Fig. 10: Physiognomie de la végétation dans les différentes UC / Vegetation physiognomy in different UC: a) UC1, b) UC2, c) UC3

Il a été donc indispensable d'évaluer la pertinence des paramètres structuraux dans chacune des espèces (Tableau 5). Le paramètre type de tiges semble mieux correspondre aux arbustes et aux lianes. Les classifications usuelles (distribution en classes de diamètres et de hauteurs, répartitions des types biologiques) s'ajustent relativement à tous les types végétatifs. Pour la plupart des espèces, la régénération est analysée faible ou non garantie, traduisant une forte mortalité juvénile ou une exploitation supérieure au renouvellement.

part des espèces présente des caractéristiques de population quasi stable à régénération garantie, avec des structures en J renversé ou asymétriques positives. Toutefois, cette analyse

Tableau 3: Distinction des paramètres de diversité structurale de la végétation / Distinction of structural diversity parameters of the vegetation.

*: Moyennes des R² ou des coefficients de détermination dans les différents tests corrélations / *: Averages of R² or of the coefficients of determination in the different correlation tests

Paramètres	Pourcentages de P < 0,05 dans les tests	Moyennes des R ² *	Paramètres de Weibull et résultats des tests d'ajustement des diamètres (D) ou des hauteurs (H)	Degré de pertinence à l'aide d'une échelle croissante de 1 à 4
Classes de hauteurs	75	0,04	H: a = 0 ; b = 5,52 ; c = 1,13/ $\chi^2 = 1759,00$; P < 0,0001	2
Classes de diamètres	50	0,04	D: a = 0 ; b = 0,06 ; c = 0,64/ $\chi^2 = 2882,64$; P < 0,0001	1
Types de tiges	100	0,13	H: a = 0 ; b = 5,52 ; c = 1,13/ $\chi^2 = 1473,19$; P < 0,0001	4
Types biologiques	75	0,08	H: a = 0 ; b = 5,52 ; c = 1,13/ $\chi^2 = 2336,57$; P < 0,0001	3

Tableau 4: Interprétation des structures des espèces ligneuses les plus abondantes / Interpretation of the structure of the most abundant woody species.

Espèces	Paramètres des distributions théoriques de Weibull de diamètres (D) et hauteurs (H)	Interprétation
<i>Ancylbothrys amoena</i>	D : a = 0 ; b = 0,02 ; c = 0,53	1
	H: a = 0 ; b = 1,43 ; c = 0,17	1
<i>Anogeissus leiocarpa</i>	D : a = 0 ; b = 0,20 ; c = 1,62	2
	H: a = 0 ; b = 13,18 ; c = 1,83	2
<i>Balanites aegyptiaca</i>	D : a = 0 ; b = 0,17 ; c = 1,31	2
	H: a = 0 ; b = 6,09 ; c = 1,91	2
<i>Bauhinia thonningii</i>	D : a = 0 ; b = 0,13 ; c = 1,46	2
	H: a = 0 ; b = 4,91 ; c = 2,05	2
<i>Bombax costatum</i>	D : a = 0 ; b = 0,66 ; c = 2,15	2
	H: a = 0 ; b = 34,64 ; c = 3,96	3
<i>Boscia senegalensis</i>	D : a = 0 ; b = 0,02 ; c = 0,97	1
	H: a = 0 ; b = 1,38 ; c = 1,87	2
<i>Cadaba farinosa</i>	D : a = 0 ; b = 0,01 ; c = 0,85	1
	H: a = 0 ; b = 0,54 ; c = 0,72	1
<i>Celtis toka</i>	D : a = 0 ; b = 0,14 ; c = 1,15	2
	H: a = 0 ; b = 6,76 ; c = 1,31	2
<i>Cissus quadrangularis</i>	D : a = 0 ; b = 0,02 ; c = 1,14	2
	H: a = 0 ; b = 9,35 ; c = 2,87	2
<i>Clerodendrum capitatum</i>	D : a = 0 ; b = 0,00007 ; c = 0,09	1
	H: a = 0 ; b = 0,77 ; c = 1,29	1
<i>Combretum collinum</i>	D : a = 0 ; b = 0,18 ; c = 1,61	2
	H: a = 0 ; b = 9,91 ; c = 1,85	2
<i>Combretum paniculatum</i>	D : a = 0 ; b = 0,03 ; c = 1,20	2
	H: a = 0 ; b = 3,09 ; c = 0,90	1
<i>Dalbergia melanoxylon</i>	D : a = 0 ; b = 0,11 ; c = 1,05	2
	H: a = 0 ; b = 2,26 ; c = 0,60	1
<i>Diospyros mespiliformis</i>	D : a = 0 ; b = 0,09 ; c = 1,09	2
	H: a = 0 ; b = 5,36 ; c = 1,41	2
<i>Grewia bicolor</i>	D : a = 0 ; b = 0,03 ; c = 1,67	2
	H: a = 0 ; b = 2,44 ; c = 2,94	2
<i>Khaya senegalensis</i>	D : a = 0 ; b = 0,37 ; c = 1,22	2
	H: a = 0 ; b = 30,96 ; c = 3,36	2
<i>Opilia amentacea</i>	D : a = 0 ; b = 0,05 ; c = 1,32	2
	H: a = 0 ; b = 11,82 ; c = 1,74	2
<i>Psorospermum senegalense</i>	D : a = 0 ; b = 0,04 ; c = 2,02	2
	H: a = 0 ; b = 5,28 ; c = 11,17	3
<i>Pterocarpus erinaceus</i>	D : a = 0 ; b = 0,83 ; c = 5,07	3
	H: a = 0 ; b = 26,23 ; c = 3,43	2
<i>Senegalia ataxacantha</i>	D : a = 0 ; b = 0,05 ; c = 2,44	2
	H: a = 0 ; b = 5,74 ; c = 2,06	2
<i>Stereospermum kunthianum</i>	D : a = 0 ; b = 0,20 ; c = 1,25	2
	H: a = 0 ; b = 8,93 ; c = 1,32	2
<i>Tamarindus indica</i>	D : a = 0 ; b = 0,20 ; c = 1,26	2
	H: a = 0 ; b = 10,60 ; c = 2,13	2
<i>Vachellia sieberiana</i>	D : a = 0 ; b = 0,37 ; c = 1,66	2
	H: a = 0 ; b = 19,24 ; c = 2,57	2
<i>Ziziphus mucronata</i>	D : a = 0 ; b = 0,04 ; c = 1,22	2
	H: a = 0 ; b = 7,18 ; c = 1,09	2

1: Structure en «L» ou «J» renversé, 2: Structure asymétrique positive, 3: Structure d'allure croissante en «J» / 1: "L" or reversed "J" structure 2: Positive asymmetric structure, 3: Negative asymmetric structure.

Tableau 5: Pertinence des paramètres d'analyse structurale / Relevance of the parameters used for the structural analysis.

Espèces (types végétatifs)	CE	Paramètres de structure				Paramètre pertinent (ES)
		Classes de diamètres (CD)	Classes de hauteurs (CH)	Types biologiques (TB)	Types de tiges (TT)	
<i>Ancylobothrys amoena</i> (Liane)	% (n)	100,00 (1)	100,00 (1)	50,00 (2)	100,00 (2)	CD (Rg)
	μR^2 /n/r	0,56/1/1	0,58/1/3	0,34/2/2	0,43/2/4	
<i>Anogeissus leiocarpa</i> (Arbre)	% (n)	66,66 (3)	62,50 (8)	66,66 (3)	50,00 (2)	TB (Rp)
	μR^2 /n/r	0,06 /3/3	0,03 /8/4	0,14 /3/1	0,12 /2/3	
<i>Balanites aegyptiaca</i> (Arbre)	% (n)	100,00 (3)	60,00 (5)	66,66 (3)	100,00 (2)	TT (Rf)
	μR^2 /n/r	0,15 /3/2	0,07 /5/4	0,19 /3/3	0,22 /2/1	
<i>Bauhinia thonningii</i> (Arbuste)	% (n)	50,00 (4)	100,00 (2)	100,00 (1)	100,00 (2)	TT (Rf)
	μR^2 /n/r	0,10/4/4	0,10 /2/3	0,08 /1/1	0,19 /2/2	
<i>Bombax costatum</i> (Arbre)	% (n)	33,37 (3)	100,00 (1)	Nd (0)	Nd (0)	CH (Rp)
	μR^2 /n/r	0,09 /3/2	0,19 /1/3	Nd/0/1	Nd/0/4	
<i>Boscia senegalensis</i> (Arbuste)	% (n)	100,00 (2)	100,00 (2)	100,00 (2)	100,00 (3)	CH (Rg)
	μR^2 /n/r	0,39 /2/4	0,40 /2/1	0,40 /2/2	0,15 /3/3	
<i>Cadaba farinosa</i> (Arbuste)	% (n)	100,00 (1)	0,00 (1)	0,00 (1)	100,00 (1)	CD (Rg)
	μR^2 /n/r	0,17 /1/2	0,08 /1/3	0,01 /1/3	0,04 /1/1	
<i>Celtis toka</i> (Arbre)	% (n)	66,66 (3)	75,00 (8)	100,00 (3)	66,66 (3)	CH (Rp)
	μR^2 /n/r	0,10 /3/4	0,21 /8/3	0,18 /3/2	0,17 /3/1	
<i>Cissus quadrangularis</i> (Liane)	% (n)	0,00 (1)	40,00 (5)	100,00 (2)	0,00 (1)	TB (Rf)
	μR^2 /n/r	0,004 /1/2	0,22 /5/3	0,02 /2/1	0,005 /1/4	
<i>Clerodendrum capitatum</i> (Arbuste)	% (n)	100,00 (1)	50,00 (1)	0,00 (2)	100,00 (3)	TT (Rg)
	μR^2 /n/r	0,02 /2/4	0,10 /1/1	0,10 /2/1	0,10 /3/3	
<i>Combretum collinum</i> (Arbre)	% (n)	100,00 (3)	50,00 (8)	100,00 (3)	50,00 (2)	TB (Rp)
	μR^2 /n/r	0,14 /3/3	0,07 /8/4	0,27 /3/2	0,03 /2/1	
<i>Combretum paniculatum</i> (Arbuste)	% (n)	0,00 (2)	100,00 (1)	50,00 (2)	100,00 (2)	TT (Rf)
	μR^2 /n/r	0,006 /2/1	0,08 /1/3	0,37 /2/4	0,12 /2/2	
<i>Dalbergia melanoxylon</i> (Arbuste)	% (n)	0,25 (4)	66,66 (3)	50,00 (2)	50,00 (2)	CH (Rp)
	μR^2 /n/r	0,02 /4/3	0,23 /3/1	0,27 /2/4	0,10 /2/2	
<i>Diospyros mespiliformis</i> (Arbre)	% (n)	66,66 (3)	60,00 (5)	66,66 (3)	50,00 (3)	CD (Rg)
	μR^2 /n/r	0,24 /3/3	0,03 /5/4	0,15 /3/2	0,09 /3/1	
<i>Grewia bicolor</i> (Arbuste)	% (n)	100,00 (2)	100,00 (2)	66,66 (2)	75,00 (4)	CD ou CH (Rg)
	μR^2 /n/r	0,27 /2/3	0,22 /2/2	0,19 /2/1	0,08 /4/4	
<i>Khaya senegalensis</i> (Arbre)	% (n)	100,00 (3)	100,00 (1)	100,00 (1)	100,00 (1)	CH (Rf)
	μR^2 /n/r	0,34 /3/2	0,70 /1/1	0,70 /1/3	0,79 /1/4	
<i>Opilia amentacea</i> (Liane)	% (n)	100,00 (3)	33,33 (6)	100,00 (2)	100,00 (2)	TT (Rf)
	μR^2 /n/r	0,23 /3/4	0,29 /6/3	0,07 /2/2	0,37 /2/1	
<i>Psorospermum senegalense</i> (Arbuste)	% (n)	100,00 (2)	100,00 (2)	100,00 (2)	100,00 (2)	TT ou CD (Rp)
	μR^2 /n/r	0,05 /2/1	0,01 /2/4	0,01 /2/3	0,19 /2/2	
<i>Pterocarpus erinaceus</i> (Arbre)	% (n)	Nd (0)	0,00 (1)	100,00 (1)	100,00 (1)	TB ou TT (Rp ou Rf)
	μR^2 /n/r	Nd/0/2	0,14 /1/1	0,23 /1/3	0,23 /1/3	
<i>Senegalia ataxacantha</i> (Arbuste)	% (n)	100,00 (3)	75,00 (8)	66,66 (3)	100,00 (2)	CD (Rg)
	μR^2 /n/r	0,09 /3/2	0,10 /8/3	0,09 /3/4	0,05 /2/1	
<i>Stereospermum kunthianum</i> (Arbre)	% (n)	100,00 (3)	60,00 (5)	50,00 (2)	50,00 (2)	CD (Rp)
	μR^2 /n/r	0,22 /3/3	0,03 /5/4	0,31 /2/2	0,19 /2/1	
<i>Tamarindus indica</i> (Arbre)	% (n)	75,00 (4)	87,50 (8)	100,00 (3)	100,00 (2)	TB (Rf)
	μR^2 /n/r	0,08 /4/4	0,10 /8/3	0,16 /3/1	0,26 /2/2	
<i>Vachellia sieberiana</i> (Arbre)	% (n)	100,00 (1)	0,00 (1)	100,00 (1)	100,00 (1)	TT (Rf)
	μR^2 /n/r	0,46 /1/4	0,07 /1/3	0,32 /1/2	0,45 /1/1	
<i>Ziziphus mucronata</i> (Arbuste)	% (n)	100,00 (2)	100,00 (3)	100,00 (3)	50,00 (2)	CH ou TB (Rp)
	μR^2 /n/r	0,31 /2/1	0,42 /3/4	0,38 /3/3	0,06 /2/2	

CE: Critères d'évaluation; n: Nombre de classes testées; %: Pourcentage des p-values < 0,05; μR^2 : Moyenne des coefficients de détermination des corrélations; r: Rang du paramètre en rapport aux tests d'ajustement à la loi de Weibull; Nd: Non déterminé; ES: Évaluation de la structure; Rf: régénération faible, Rp: régénération ralentie ou perturbée, Rg: régénération garantie / CE: Evaluation criteria; n: Number of classes tested; %: Percentage of p-values < 0.05; μR^2 : average of the correlation coefficients of the determination; r: Parameter rank related to Weibull law adjustment tests; Nd: Not determined; ES: Assessment of the structure; Rf: weak regeneration, Rp: slowed down or disturbed regeneration, Rg: guaranteed regeneration.

4 DISCUSSIONS

4.1 Diversité structurale d'un écosystème soudano-sahélien d'âge avancé

Les traits structuraux de la végétation du PNMG reflètent globalement une dynamique sous pressions, conforme aux conditions écologiques soudano-sahéliennes. Les facteurs de perturbations ont été mis en évidence par les structures en J de la végétation dans chaque UC et l'IG, traduites par la domination des hautes et moyennes tiges. À l'image de plusieurs formations végétales de la zone sèche soudano-sahélienne (LEBRUN 1966, ROLLET 1981, PASCAL 2003), les structures diamétrales dans les UC et l'ensemble du peuplement présentent à l'inverse une forme en J-renversé. PETERS (1997) a qualifié de telles structures de type I, caractéristiques des populations stables marquées par une réduction régulière du nombre d'individus des classes de petites dimensions aux plus grandes. D'après ROLLET (1981), les structures de type I caractérisent un état d'équilibre, avec des taux de mortalité et de recrutement constants pour chaque classe de diamètres. Mais en réalité, ces distributions de diamètres montrent la grande importance combinée des jeunes des strates arborées et arbustives, d'arbrisseaux et sous-arbrisseaux et d'individus rabougris. IDRISSE & al. (2017) pensent que dans de telles structures, les individus de grandes tailles sont souvent victimes d'une forte exploitation.

Par ailleurs, la représentativité des microphanérophytes est corroborée par l'importance des tiges moyennes et des arbustes. Ces résultats sont conformes à la stratification des forêts galeries, des forêts denses sèches et des savanes arborées telle que décrite par LETOUZEY (1968, 1985) dans le sillage de la conférence de Yangambi en 1956 (AUBREVILLE 1957). Ces types d'individus (microphanérophytes, tiges moyennes et arbustes) sont considérés comme étant plus aptes à surmonter les longues saisons sèches (GROUZIS 1988, COURTERON 1998). La relative sous-représentativité des tiges de régénération ou des nanophanérophytes prouve le vieillissement du peuplement. L'écosystème n'assure plus pleinement sans contraintes le renouvellement des individus. En considérant la régénération comme étant l'ensemble des individus juvéniles du sous-bois d'espèces arborescentes (ROLLET 1981), leur moindre importance serait le reflet d'un écosystème subissant des perturbations et la dynamique compétitive des espèces. Mais, cette interprétation peut être nuancée, s'il est pris en compte d'autres potentiels de régénération (TESFAYE et al. 2010, DOUH & al. 2014) tels que les repousses par souches, marcottes ou drageons, et les possibilités de propagations des jeunes issues des chutes intenses de graines de la canopée (séminal adventif) ou de la banque de graines du sol (séminal édaphique). Les espèces ayant de nombreux individus en touffe doivent certainement bénéficier de cette multiplicité de mécanismes de dispersion. DONFACK (1998) estime que la régénération des ligneux dans ce type de milieu n'est pas en réalité un prob-

lème, mais il faut indexer les fortes pressions humaines limitant leur développement.

Les corrélations entre diamètres et hauteurs sont non conformes au modèle en équilibre de CUSSET (1980), surtout dans l'UC3. L'importance des résidus, relatifs à un comportement divergent pour plusieurs valeurs de diamètres ou de hauteurs, réduit la significativité de la corrélation (FARR & al., 1989, DELEUZE & al. 1996). D'après CHAVE et al. (2014), cette caractéristique peut révéler l'influence du stress bioclimatique (variabilité thermique et pluviométrique, intensité de la sécheresse). Les vieux peuplements ont une complexité structurale pouvant expliquer une telle caractéristique (PAN & al. 2013).

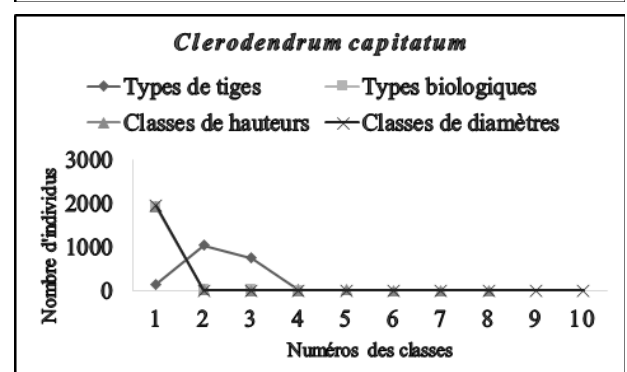
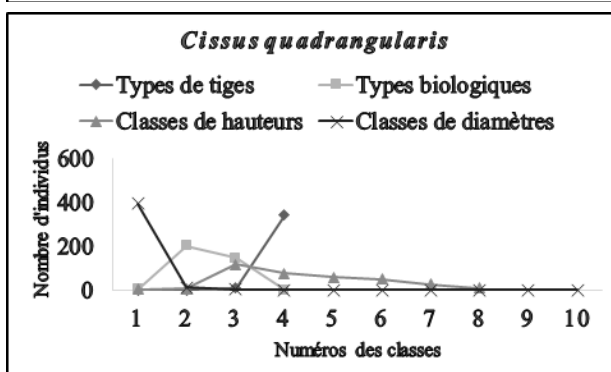
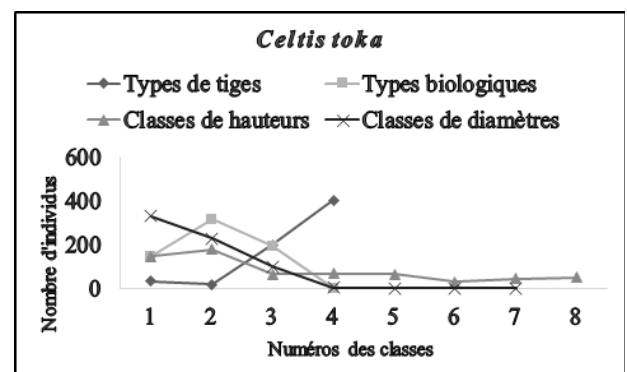
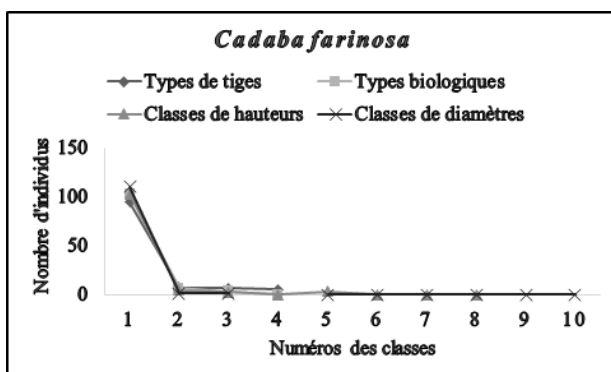
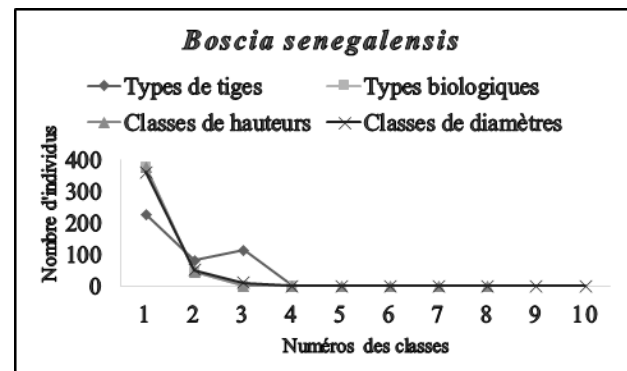
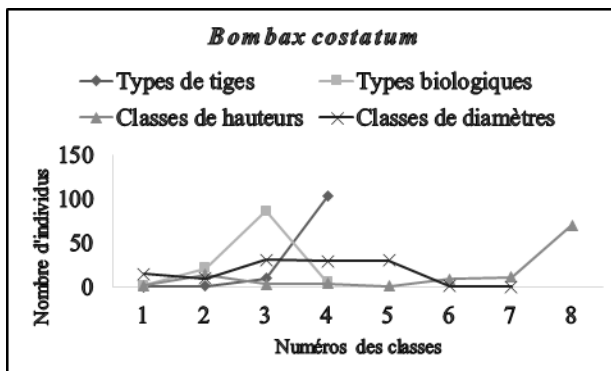
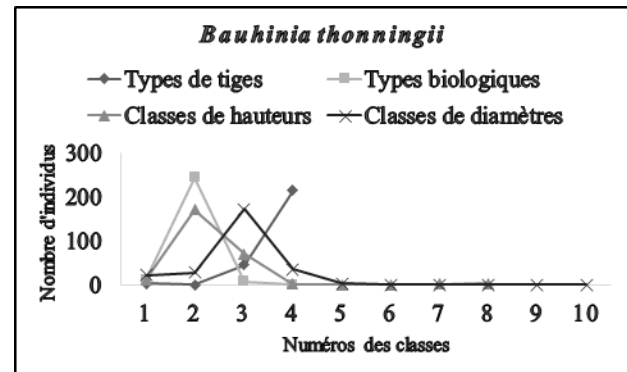
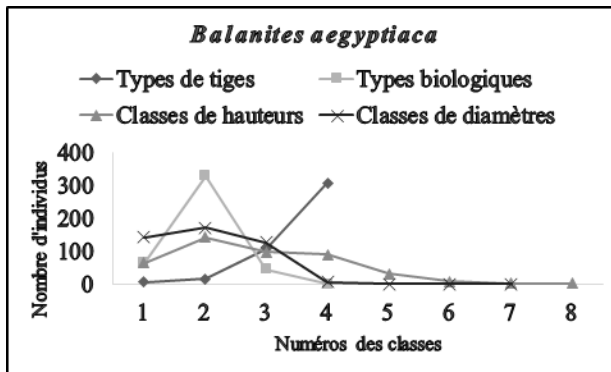
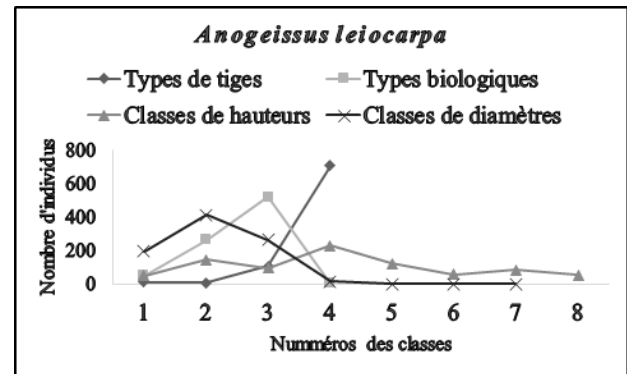
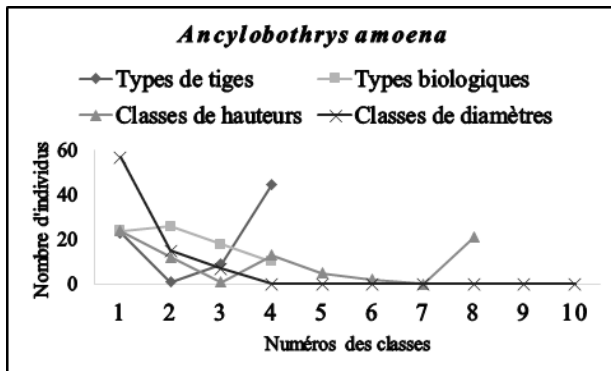
La forte présence d'individus lianescents, qualifiés de formes biologiques efficaces dans les fourrés soudano-sahéliens (COURTERON 1998), représente un autre trait distinctif de cette structure de la végétation. Les grandes lianes marquent la physionomie des végétations matures (GENTRY 1991, GILLESPIE & al. 2000). Certains auteurs (SCHNITZER & CARSON 2010, Vivek & PARTHASARATHY 2015) considèrent les lianes comme ayant un effet réducteur des recrutements, de la régénération, de la croissance et de la reproduction des arbres et arbustes.

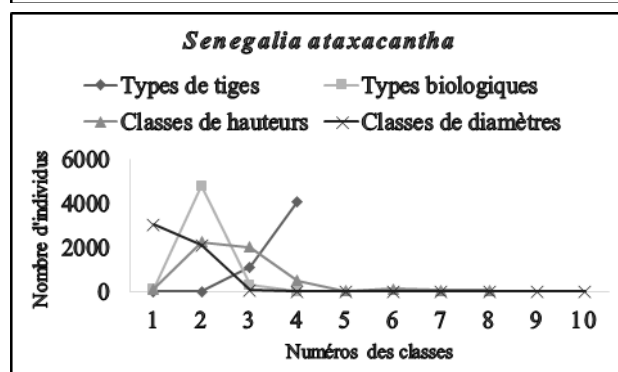
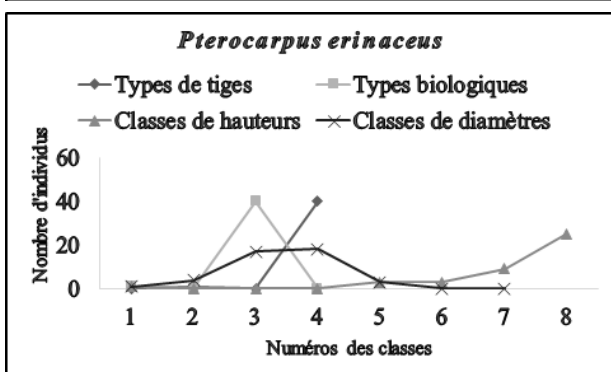
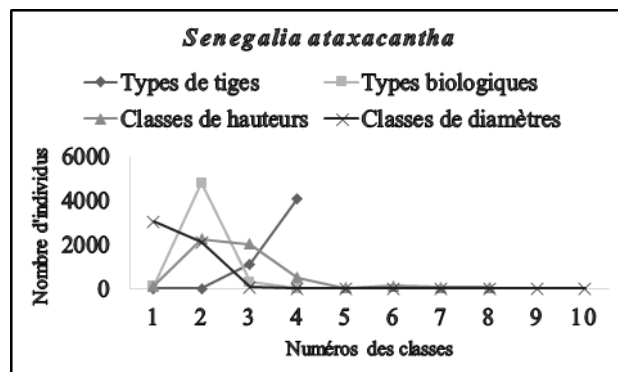
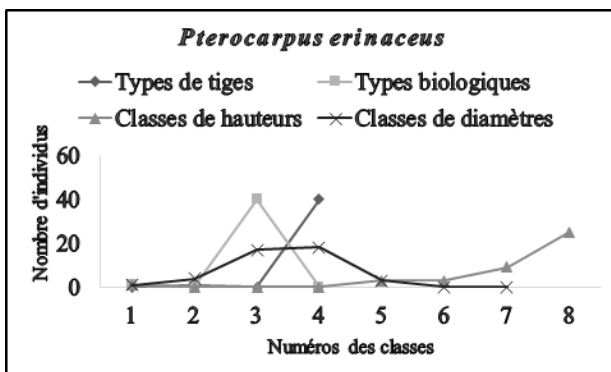
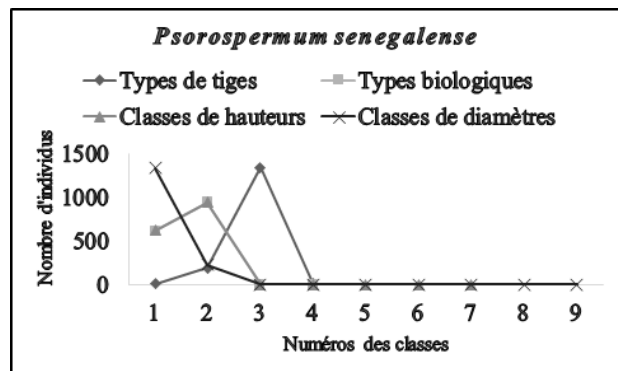
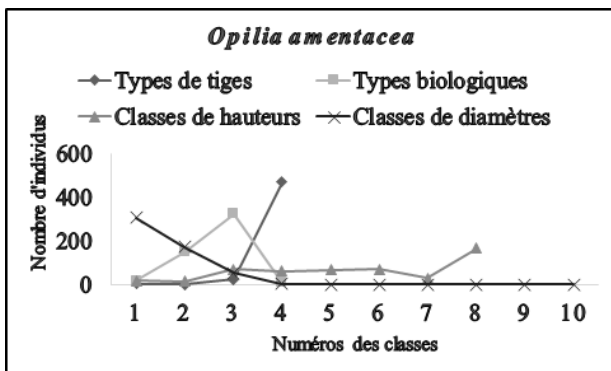
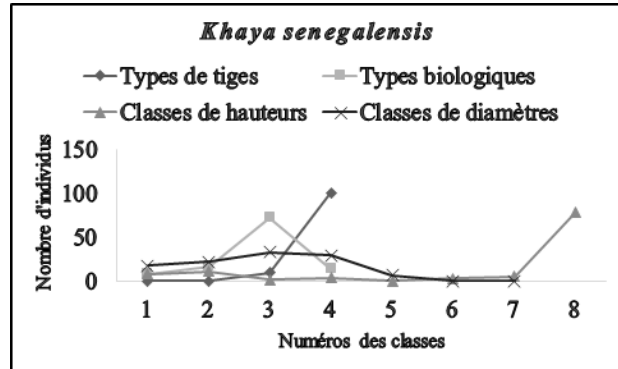
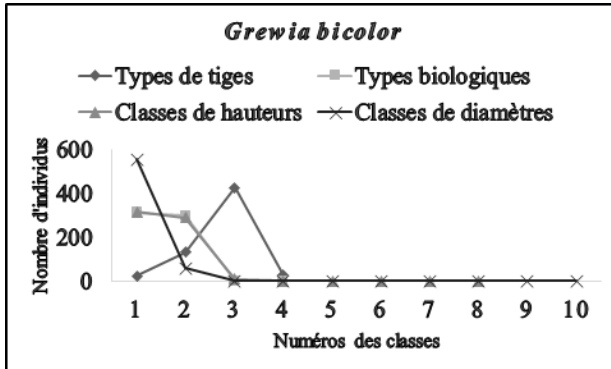
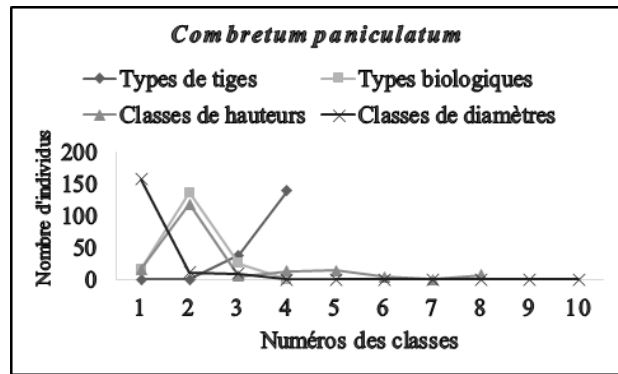
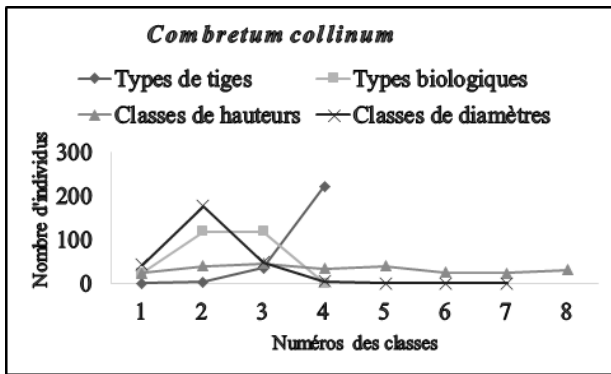
4.2 Variabilité structurale des espèces

Les espèces présentent une variabilité structurale, en conformité avec plusieurs travaux similaires (ADJONOU & al. 2010, HOUNKPÈVI & al. 2011, MUGASHA & al. 2013, RABIOU & al. 2015, IDRISSE & al. 2017) réalisés dans les zones soudanaises et sahéniennes. De nombreuses espèces présentent des structures avec dominations de gros diamètres ou des classes de grandes hauteurs, indiquant une régénération faible. Il s'agit là d'une confirmation au niveau spécifique du vieillissement du peuplement. Les structures d'allures symétriques, erratiques ou zigzagées sont indicatrices d'une régénération faible ou perturbée pour plusieurs espèces (SE-PULCHRE & al. 2008, RABIOU & al. 2015, et KONAN & al. 2015). Toutefois, il a été interprété pour plusieurs populations d'espèces, des structures en J-renversé indiquant une régénération garantie. Cette diversité structurale observée au niveau des espèces, dénote des adaptations liées aux conditions écologiques et à la maturation de l'écosystème. DICKO & al. (2016) ont fait un constat identique dans des zones géographiques similaires.

4.3 Pertinence des paramètres structuraux

Le choix de plusieurs paramètres d'analyses structurales a permis de noter des divergences ou des contradictions, révélant la complexité de leur appréhension. Certains auteurs pensent que les conditions édapho-climatiques et les pressions anthropiques peuvent induire de tels résultats (RABIOU & al. 2015). L'approche méthodologique peut également conduire à une mauvaise interprétation. Il est par exemple nécessaire de définir les classes en considérant





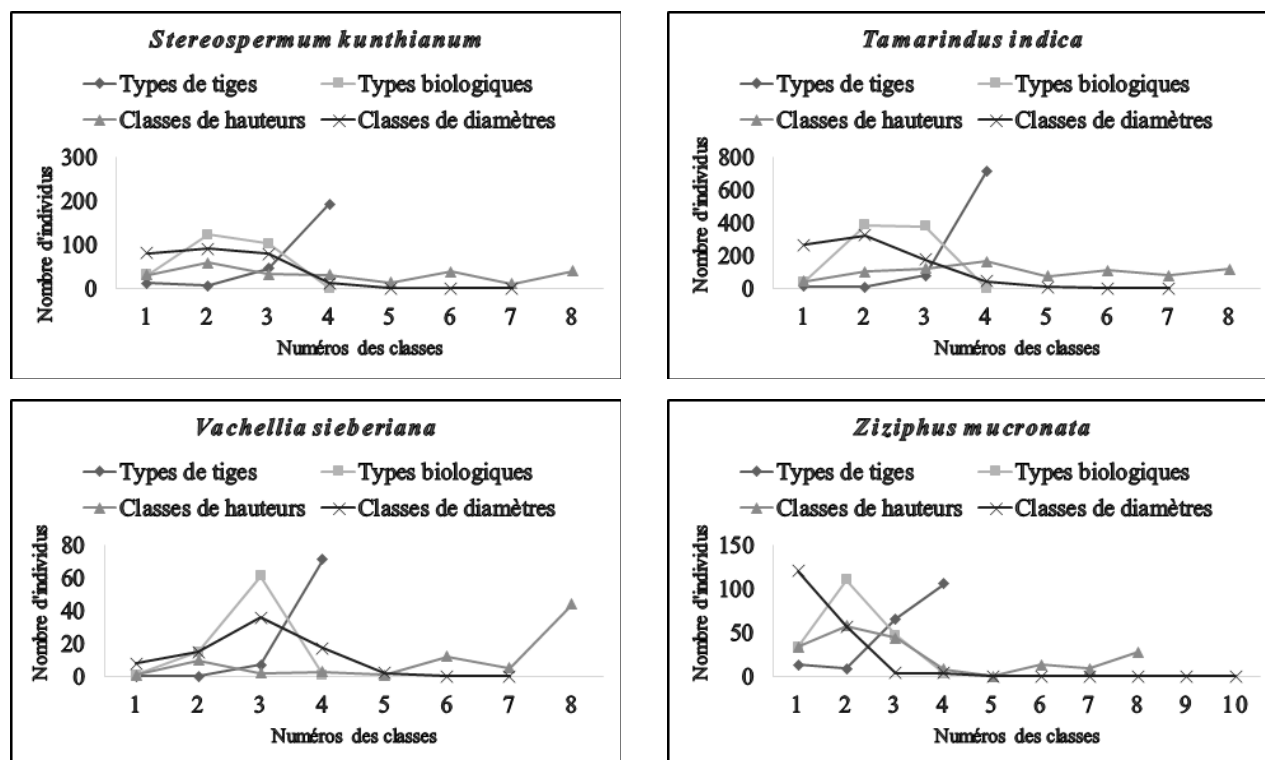


Fig. 11: Structures des principales espèces ligneuses abondantes / structure of the main abundant woody species.

la nature de chaque espèce. Il a donc été indispensable de définir des critères d'évaluation de la pertinence des paramètres structuraux. Fondés sur l'appréciation de la qualité de l'ajustement à la distribution de Weibull et sur des tests corrélations diamètres-hauteurs pour chaque classe des distributions, ils ont apporté plus de précisions sur les configurations structurales décrites dans le peuplement et à l'échelle des espèces. Cependant, les caractéristiques structurales évoluant avec le temps, un suivi dans le long terme s'avère nécessaire, dans la planification d'un aménagement durable (GLÈLÈ KAKAÏ & al. 2016).

5 CONCLUSION

Cette étude a permis de décrire la structure du peuplement ligneux du PNMG, dans sa globalité et en considération des espèces les plus abondantes. En analysant la pertinence des paramètres descriptifs choisis, la distribution des types de tiges s'est illustrée comme une représentation structurale reflétant mieux l'agencement de la végétation ligneuse intégrale. Ainsi, avec des proportions élevées des moyennes et des hautes tiges, la végétation ligneuse du PNMG se caractérise par un déséquilibre écologique conforme aux écosystèmes d'âge avancé. De plus, l'importance d'arbustes et les proportions non négligeables de lianes et d'arbres, ont été jugées comme autres indicateurs de la maturité de cet écosystème, qui se rapproche d'une végétation modèle en zone soudano-sahélienne. Par ailleurs, l'analyse structurale de chacune des principales espèces ligneuses abondantes, a présenté une tendance pour certains paramètres à pouvoir mieux expliquer la répartition des individus, et même de certains types végétatifs (arbres, arbustes, ou lianes). Cette interprétation peut toutefois être nuancée, en raison de la complexité de la dynamique de ce type de milieu, appelant

à plus d'investigations pour une appréhension de son fonctionnement, et une confrontation avec d'autres végétations similaires.

Plusieurs mesures de gestion sont recommandables, à la suite de cette étude structurale de la flore ligneuse du PNMG. D'abord, le vieillissement du peuplement, assez singulier dans cette région soudano-sahélienne doit être considéré comme atout valorisant pour la conservation. Ensuite, le suivi écologique permanent des paramètres structuraux est une option majeure dans la planification d'une gestion durable, afin de faire face aux facteurs humains et bioclimatiques. Il faut également envisager des initiatives globales, favorables à la régénération naturelle assistée ou un enrichissement spécifique ciblé. Il faut pour cela, accorder une priorité aux espèces dont la régénération est faible, ralentie ou perturbée. De plus, la pratique d'éclaircies sélectives d'arbustes fortement représentatives des touffes pourrait éventuellement être réalisée dans cette démarche.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la Fondation Internationale pour la Science (FIS), pour avoir financé les travaux de terrain. Ils témoignent également leur gratitude aux relecteurs qui ont contribué significativement à l'amélioration de la qualité de l'article.

REFERENCES

- ABERLIN J P & DAGET P (2003): Etablir et comparer les spectres biologiques de plusieurs groupements végétaux. Revue d'élevage et médecine vétérinaire des pays tropicaux, 56: 57-61.
- ADJONOU K, ALI N, KOKUTSE A D, SEGLA K N & KOKOU K (2010): Étude de la dynamique des peuplements naturels de *P. erinaceus* Poir. (Fabaceae) surexploités au Togo. Bois et Forêts des Tropiques, 306 (1): 33-43.

- AGARWALA M, DEFRIES R S, QURESHI Q & JHALA Y V (2016): Factors associated with long-term species composition in dry tropical forests of Central India. *Environmental Research Letters*, 11: 1-10.
- ALEMAN J (2013): Structure de la végétation en Afrique centrale : rôles des forçages anthropiques et naturels. Thèse de Doctorat, Université Montpellier 2, Sciences et Techniques du Languedoc, 219 p.
- ARBONNIER M (2009): Arbres, Arbustes et Lianes des Zones Sèches d'Afrique de l'Ouest (4ème éd). CIRAD-MAR-GRAF- MNHN, Montpellier France, 576 p.
- ARONSON J, FLORET C, LE FLOC'H E, OVALLE C & PONTANIER R (1995): Restauration et réhabilitation des écosystèmes dégradés en zone aride et semi-aride, Le vocabulaire et les concepts. In: L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait? PONTANIER, M'HIRI, ARONSON, AKRIMI, LE FLOC'H (éds.). John Libbey Eurotext, Montrouge, France, pp. 11-29.
- AUBREVILLE A (1957): Accord de Yangambi sur la nomenclature des types africains de végétation, Bois et Forêts des Tropiques, 51: 23-27.
- BELLEFONTAINE R, GASTON A & PETRUCCI Y (1997): Aménagement des forêts tropicales sèches. FAO, 315 p.
- BOUTRAIS J, BOULET J, BEAUVILAIN A, GUBRY P, BARRETEAU D, DIE'J M, BRETON R, SEIGNOBOS C, PONTIE G, MARGUERAT Y, HALLAIRE A & FRECHOU H (1984): Le Nord du Cameroun des Hommes, une région. Éditions de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-mer, Collection Mémoires No 102, Paris, 551 p.
- CECCON E, HUANTE P & RINCÓN E (2006): Abiotic factors influencing tropical dry forests regeneration. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 49 (2): 305-312.
- CHAVE J, RÉJOU-MÉCHAIN M, BURQUEZ A, CHIDUMAYO E, COLGAN M S, DELITTI W B C, DUQUE A, EID T, FEARNSIDE P M, GOODMAN R C, HENRY M, MARTINEZ-YRIZAR A, MUGASHA W A, MULLER-LANDAU H C, MENCUCINI M, NELSON B W, NGOMANDA A, NOGUEIRA E M, ORTIZ-MALAVASSI E, PELISSIER R, PLOTON P, RYAN C M, SALDARRIAGA J G & VIEILLEDENT G (2014): Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20: 3177-3190.
- CLARK D A & CLARK D B (1992): Life history diversity of canopy and emergent trees in a neotropical rain forest. *Ecological Monographs*, 62: 315-344.
- COURTERON P (1998): Relations spatiales entre individus et structure d'ensemble dans les peuplements ligneux soudano-sahéliens au Nord-Ouest du Burkina-Faso. Thèse de Doctorat de l'Université Paul Sabatier Toulouse III, 223 p.
- CUSSET G (1980): Sur les paramètres intervenant dans la croissance des arbres: la relation hauteur/diamètre de l'axe primaire aérien. *Candollea*, 35: 231-255.
- DELEUZE C, BLAUDEZ D & HERVÉ J (1996): Ajustement d'un modèle hauteur-circonférence pour l'épicéa commun, Effet de la densité. *Annales des sciences forestières*, 53 (1): 93-113.
- DICKO A, BIAOU S S H, NATTA K A, GADO C A S & KOUAGOU M (2016): Influence des pressions anthropiques sur la structure des populations de *Pentadesma butyracea* au Bénin, *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 16 (3): consulté en ligne le 04/11/2018.
- DONFACK P (1998): Végétation des jachères du Nord Cameroun, Typologie, diversité, dynamique, production. Thèse de Doctorat en Biologie végétale de l'Université de Yaoundé 1, 225 p.
- DONFACK P, SEINY BOUKAR L & M'BIANDOU M (1996): Les caractéristiques du milieu physique. In: Actes de l'atelier d'échanges sur le thème: Agriculture des savanes du Nord Cameroun, CIRAD, pp. 29-42.
- DOUH C, DAÏNOU K, LOUMETO J J, FAYOLLE A & DOUCET J-L (2014): Explorer la banque de graines du sol pour mieux comprendre la dynamique de régénération des forêts tropicales africaines (synthèse bibliographique), *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 18 (4): 558-565.
- FARR W A, DEMARS D J & DEALY J E (1989): Height and crown width related to diameter for open-growth western hemlock and Sitka spruce. *Canadian Journal of Forest Research*, 19: 1203-1207.
- FAYE E (2010): Diagnostic partiel de la flore et de la végétation des Niayes et du Bassin arachidier au Sénégal: application de méthodes floristique, phytosociologique, ethnobotanique et cartographique. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques et Ingénierie Biologique, Université Libre de Bruxelles, Université d'Europe, 266 p.
- FELFILI E M (1997): Diameter and height distributions in a gallery forest tree community and some of its main species in central Brazil over a six-year period (1985-1991), *Revta brasil. Bot.*, 20 (2):155-162.
- FOTIUS G (2000): Phytogéographie, In: Atlas de la Province Extrême-Nord Cameroun, SEIGNOBOS C, IYÉBI MANDJEK O (Ed.), Paris, MINREST/IRD, pp. 30-37.
- GENTRY A H (1991): The distribution and evolution of climbing plants In: PUTZ F.E., & MOONEY H.A. (eds), *The biology of vines*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 3-42.
- GILLESPIE T W, GRIJALVA A & FARRIS C N (2000): Diversity, composition, and structure of tropical dry forests in Central America, *Plant Ecology*, 147: 37-47.
- GLÈLÈ KAKAÏ R, BONOU W, & LYKKE A M (2016): Approche méthodologique de construction et d'interprétation des structures en diamètre des arbres, *Annales des Sciences Agronomiques (spécial Projet Undesert-UE)*, 20: 99-112.
- GROUZIS M (1988): Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens. ORSTOM, Paris, 336 p.
- GUYNN D C, GUYNN S T, LAYTON P A & BENTLY W T (2004): Biodiversity metrics in Sustainable Certification Programs. *Journal of Forestry*, 102 (3): 46-52.
- HARPER J L (1977): Population biology of plants, Academic Press, London, 892 p.
- HERVÉ M, (2016) : AiAzde-mémoire de statistique appliquée à la biologie, en ligne (<http://cran.r-project.org/web/package/RVaideMemoire/index.html>), consulté le 22/10/2018, 203 p.
- HIERNAUX P, & LE HOUÉROU H N (2006): Les parcours du Sahel, *Sécheresse*, 17 (1-2): 51-71.
- HOUETO G, GLELE KAKAÏ R, SALAKO K V, ASSOGBADJO A, FANDOHAN B, SINSIN B & PALM R (2013): Effect of inventory plot patterns in the floristic analysis of tropical woodland and dense forest. *African Journal of Ecology* 52: 257-264.
- HOUNKPÈVI A, YÈVIDE I S, GANGLO C J A, DEVINEAU J-L, AZONTONDE H A, ADJAKIDJE V, AGBOSSOU K E, DE FOUCAULT B (2011): Structure et écologie de la forêt à *Diospyros mespiliformis* Hochst. Ex A.C. D et à *Dialium guineense* Willd. de la réserve de Massi (La Lama) Bénin, *Bois et Forêt des Tropiques*, 308 (2): 33-46.

- KERSHAW JR J A, DUCEY M J, BEERS T, & HUSCH B (2017): Forest Mensuration, Fifth Edition, John Wiley, New York, 613 p.
- IDRISSA S, HABOU R, MACHI II, MAHAMANE A & MAHAMANE S (2017): Biodiversity and Structure of Woody Plants of Sahelian Rangelands of Baban Rafi, Niger, *International Journal of Biology*, 9 (4): 1-9.
- JIBRIN A (2013): A Study of Variation in Physiognomic Characteristics of Guinea Savanna Vegetation, Environment and Natural Resources Research, 3: 52-60.
- KAIRE M, OUEDRAOGO J S, SARR B & BELEM M (2013): Guide de mesure et de suivi du carbone dans le système sol-végétation des formations forestières et agroforestières en Afrique de l'Ouest, Alliance Mondiale contre le Changement Climatique (AMCC), 47 p.
- KANGAS A & MALTAMO M (2007): Forest inventory: methodology and applications. Springer, Dordrecht, 362 p.
- KONAN D, BAKAYOKO A, TRA BI FÉZAN H, BITIGNON BLEY G A & PIBA S C (2015): Dynamisme de la structure diamétrique du peuplement ligneux des différents biotopes de la forêt classée de Yapo-Abbé, sud de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 94: 8869-8879.
- LEBLANC S (2014): Étude de l'estimation de paramètres structuraux de la forêt à l'aide d'un cadre de modélisation, de la photographie hémisphérique et du LiDAR. Thèse de Philosophie Doctor (Ph.D) en Télédétection de l'Université de Sherbrooke, 226 p.
- LEBRIJA-TREJOS E, PEREZ-GARCIA E A, MEAVE J A, POORTER L & BONGERS F (2011): Environmental changes during secondary succession in a tropical dry forest in Mexico. *Journal of Tropical Ecology*, 27: 477-489.
- LEBRUN J (1966): Les formes biologiques dans les végétations tropicales. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 113 (sup2): 164-175.
- LECOMTE H & RONDEUX J (2002): Les inventaires forestiers nationaux en Europe: tentative de synthèse. *Les Cahiers Forestiers de Gembloux*, 5: 3-24.
- LETOUZEY R (1968): Etude phytogéographique du Cameroun, Paul Lechevalier, Paris, 551 p.
- LETOUZEY R (1985): Domaine sahélien et domaine soudanien. In: Notice de la carte phytogéographique du Cameroun; IRA, Toulouse, pp. 1-26.
- M'BIANDOUM M, GUIBERT H. & OLINA J P (2002) - Caractérisation du climat dans quatre terroirs de la zone soudano-sahélienne du Nord-Cameroun et conséquences pour l'agriculture: Actes du colloque, Savanes africaines: des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis, Garoua, Cameroun, Jamin JY, Seiny Boukar L (Eds), Prasac, N'Djamena, Tchad. Cirad: Montpellier, France; 9 p.
- MUGASHA W A, BOLLANDSAS O M & EID T (2013): Relationships between diameter and height of trees in natural tropical forest in Tanzania, *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 75 (4): 221-237.
- Noss R (1990): Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology*, 4 (4): 355-364.
- NTOUPKA M (1999): Impact des perturbations anthropiques (pâturage, feu, et coupe de bois) sur la dynamique de la savane arborée en zone soudano-sahélienne du Nord du Cameroun. Thèse de Doctorat de l'université, Paul Valéry-Montpellier III, 260 p.
- PAN Y, BIRDSEY R A, PHILLIPS O L & JACKSON R B (2013) - The Structure, Distribution, and Biomass of the World's Forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 44: 593-622.
- PASCAL J-P (2003): Description et dynamique des milieux forestiers, Notions sur les structure et dynamique des forêts tropicales humides. *Revue Forestière de France*, LV (numéro spécial): 118-130.
- PETERS C M (1997): Exploitation soutenue de produits forestiers autre que le bois en forêt tropicale humide: Manuel d'information d'écologie, programme d'appui à la biodiversité, N°2, corporate press, Landover M.D, 49 p.
- RABHI K, MESSAOUDENE M, FORTIN M & COLLET C (2016): Modélisation de la structure en diamètre des reboisements et des peuplements naturels de Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) du Djurdjura (Algérie). *Revue Forestière de France*, LXVIII (1): 44-52.
- RABIOU H, DIOUF A, BATIONO B A, SEGLA K N, ADJONOU K, KOKUTSE A D, RADJI R, KOKOU K, MAHAMANE A & SAADOU M (2015): Structure des peuplements naturels de *Pterocarpus erinaceus* Poir. dans le domaine soudanien, au Niger et au Burkina Faso. *Bois et forêts des tropiques*, Vol. 325 (3): 71-83.
- RAUNKIAER C (1934): The life forms of plants and statistical plant geography. Oxford University Press, London, 632 p.
- RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN (2005): Troisième Recensement Général de la Population du Cameroun (3e RGPC). Rapport de présentation des résultats définitifs, BUCREP, 67 p.
- ROLLET B (1981): La régénération naturelle dans les trouées, un processus général de la dynamique des forêts tropicales humides: 1ère partie, *Bois et forêts des tropiques*, 201: 3-34.
- RONDEUX J (1999): La mesure des arbres et des peuplements forestiers, 2^e Édition. Presses Agronomiques Gembloux, 521 p.
- ROSELT/OSS (2004): Indicateurs écologiques ROSELT/OSS (Réseau d'Observatoires de Surveillance Écologique à Long Terme/ Observatoire du Sahara et du Sahel), une première approche méthodologique pour la surveillance de la biodiversité et des changements environnementaux. *Collection ROSELT/OSS*, document scientifique N° 04, Montpellier, 50 p.
- RUSSELL A E, RAICH J W, BEDOYA ARRIETA R, VALARDE BARRANTES O & GONZÁLEZ E (2010): Impacts of individual tree species on carbon dynamics in a moist tropical forest environment. *Ecological Applications*, 20 (4): 1087-1100.
- SALAKO V K, GLÈLÈ KAKAÏ R, ASSOGBADJO A E, FANDOHAN B, HOUINATO M & PALM R (2013): Efficiency of inventory plots patterns in the quantitative analysis of vegetation: case study of tropical woodland and dense forest in Benin. *Southern forests*, 75 (3): 137-143.
- SANDJONG SANI R C, NTOUPKA M, IBRAHIMA A & VROUMSIA T (2013a): Etude écologique du Parc National de Mozogo-Gokoro (Cameroun): prospections préliminaires de la flore ligneuse et du sol pour sa conservation et son aménagement. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7 (6): 2434-2449.
- SANDJONG SANI R C, NTOUPKA M, IBRAHIMA A & VROUMSIA T (2013b): Essai d'analyses de la conception paysanne de l'évolution, de la gestion et de l'utilité du Parc National de Mozogo-Gokoro (Cameroun). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7 (6): 2490-2503.

- SANDJONG SANI R C, NTOUPKA M, IBRAHIMA A, VROUMSIA T ET ETOUNA J (2017): Inducement of sustainable management planning of Mozogo-Gokoro National Park (Cameroon) by images processing. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 11 (5): 74-91.
- SCHNITZER S A & BONGERS F (2002): The ecology of lianas and their role in forests. *Trends in Ecology & Evolution*, 17 (5): 223-230.
- SEPULCHRE F, DAINOU K & DOUCET J-L (2008): Étude de la vulnérabilité de 18 essences ligneuses commerciales d'Afrique centrale reprises sur la liste rouge IUCN. Association Technique Internationale des Bois Tropicaux (ATIBT), 51 p.
- TESFAYE G, TEKETAY D, ASSEFA Y, FETENE M & BECK E (2010): Regeneration of seven indigenous tree species in dry Afromontane forest, Southern Ethiopia. *Flora*, 205: 135-143.
- THOMAS L, & MIDDLETON J (2011): Lignes directrices pour la planification de la gestion des aires protégées. Gland, Suisse, UICN, 67 p.
- THIOMBIANO A, GLELE KAKAÏ R, P. BAYEN, BOUSSIM J I & MAHAMANE A (2016): Méthodes et dispositifs d'inventaires forestiers en Afrique de l'Ouest : état des lieux et propositions pour une harmonisation. *Annales des Sciences Agronomiques-spécial Projet Undesert-UE 20*: 15-31.
- THOMPSON I D, GUARIGUATA M R, OKABE K, BAHAMONDEZ C, NASI R, HEYMELL V & SABOGAL C (2013): An operational framework for defining and monitoring forest degradation. *Ecology and Society* 18 (2): 20-43.
- UICN (2012): Nouvelles des Aires Protégées en Afrique, n° 50, pp. 1-9.
- VAN LAAR A & AKÇA A (2007): Forest mensuration. Springer, Dordrecht, 383 p.
- VIVEK P & PARTHASARATHY N (2015): Liana community and functional trait analysis in tropical dry evergreen forest of India. *Journal of Plant Ecology*, Vol. 8, n° 5, p. 501-512.
- WAKPONOU A, NIZESETE B D & DUMAY F (2008): Holocene environmental change northern Cameroon. In RUNGE J (ed.): *Dynamics of Forest Ecosystems in Central Africa during the Holocene*, Chapter 9, pp. 139-144.