

ESTIMATION DU STOCK DE CARBONE DES ESPECES DE BOIS D'ŒUVRE MENACEES DU MASSIF FORESTIER DE YAPO-ABBE (COTE D'IVOIRE)

F. P. SIE OUATTARA¹, K. KOUADIO¹, K. YAO²

¹Unité Pédagogique et de Recherche (UPR) de Botanique, Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, 22 BP 582 Abidjan 22 (Côte d'Ivoire).

²Centre National de Floristique (CNF), UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, 22 BP 582 Abidjan 22 (Côte d'Ivoire).

*Auteur correspondant : E-mail : ouattara3@gmail.com ; Tél : (+225) 0757060207 / 0546666057

RESUME

La présente étude a été réalisée dans le Massif Forestier de Yapo-abbé (MFYA), au Sud-Est de la Côte d'Ivoire. Elle vise à évaluer la diversité structurale et le stock de carbone des espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018, dans les trois biotopes du MFYA. Les méthodes de relevé de surface et itinérant ont été utilisées pour la collecte des données floristiques et structurales. Les résultats montrent que le MFYA est riche de 24 espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018. Les valeurs des indices de diversité montrent que les trois biotopes du MFYA sont faiblement diversifiés. La structure diamétrique a montré que le peuplement des 24 espèces de bois d'œuvre inventoriées est mieux conservé dans les biotopes forêt secondaire et jachère. Par contre, dans le biotope forêt reboisée, le peuplement de celles-ci est perturbé. L'estimation du stock de carbone a montré que ces espèces de bois d'œuvre menacées ont un fort potentiel de séquestration de carbone et jouent un rôle primordial dans l'atténuation des effets du changement climatique et dans la régulation du climat dans la Région de l'Agnéby-Tiassa, en Côte d'Ivoire.

Mots clés : Espèces de bois d'œuvre, Liste Rouge de l'UICN, Stock de carbone, Massif Forestier de Yapo-Abbé, Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

ESTIMATION OF CARBON STOCK OF ENDANGERED TIMBER SPECIES IN THE YAPO-ABBE FOREST (CÔTE D'IVOIRE)

This study was conducted in Yapo-Abbe forest in South-Eastern Cote d'Ivoire. It aims to assess the structural diversity and carbon stock of timber species included on the IUCN red list of 2018, in the three biotopes of the yapo-abbe forest massif. Surface and traveling survey methods were used for the collection of floristic and structural data. The results show that Yapo-Abbe forest is rich in 24 species of timber listed on the IUCN Red List of 2018. The values of the diversity indices show that the three biotopes of the Yapo-Abbe forest massif are poorly diversified. The diametric structure has shown that the stand of the 24 timber species inventoried, is better preserved in secondary forest and fallow biotopes. On the other hand, in the reforested forest biotope, the population of these is disturbed. The carbon stock estimate has shown that these threatened timber species have a high potential for carbon sequestration and play a key role in mitigating the effects of climate change and in regulating the climate in the Region of Agneby-Tiassa, in Cote d'Ivoire.

Keywords : *Timber species, IUCN Red List, Carbon stock, Yapo-Abbe Forest, Cote d'Ivoire.*

INTRODUCTION

Les forêts tropicales sont des écosystèmes particulièrement importantes en raison de la quantité de carbone qu'elles contiennent (40 à 50 % du carbone terrestre) et de l'ampleur des transformations anthropiques dont elles font l'objet (Koffi, 2016 ; Panzou *et al.*, 2016). Selon la FAO (2011), la dégradation des forêts en zone tropicale, s'est fortement accentuée ces 50 dernières années. Et l'homme, pendant cette période, a modifié l'environnement dans des proportions plus vastes qu'à toute autre période comparable de l'histoire de l'humanité, mettant en péril les écosystèmes forestiers. Or ceux-ci génèrent de nombreux biens et services dont l'un des plus importants et nécessaires au maintien de la vie, est la séquestration du carbone atmosphérique (Monssou *et al.*, 2016).

En Côte d'Ivoire, plusieurs hectares de forêt sont détruits chaque année, suite aux activités anthropiques, qui sont en partie, à l'origine de la disparition de plusieurs espèces de plantes dont celles de bois d'œuvre (Ouattara *et al.*, 2019). Comme conséquence, sur les 80 espèces connues, 36 sont inscrites sur la liste rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature, version 2018 (UICN, 2018), soit 45 %, qualifiées de menacées d'extinction. Aussi, la destruction des surfaces forestières a-t-elle pour conséquence l'augmentation du taux de CO₂ dans l'atmosphère qui contribue davantage au renforcement du réchauffement climatique. Selon Le Quere *et al.* (2013), la déforestation et la dégradation des forêts tropicales représentent plus de 10 % des émissions anthropiques mondiales de gaz à effet de serre.

Le Massif Forestier de Yapo-Abbé (MFYA), l'une des 231 forêts classées de Côte d'Ivoire, qui semble être bien conservé du fait de sa richesse en espèces endémiques (126 espèces) et en espèces rares et/ou menacées (51 espèces), selon Konan (2016), n'échappe pas à ces phénomènes de dégradation et de déforestation. Ce qui entraîne la réduction de la biodiversité dans ledit massif, d'une part et une

forte perturbation du climat dans la région de l'Agnéby-Tiassa, d'autre part. Face aux enjeux économiques et écologiques préoccupants, il devient important d'apprécier le rôle joué par le MFYA dans l'atténuation des effets du changement climatique dans la Région de l'Agnéby-Tiassa. Ceci contribuera à trouver des solutions pour une conservation plus durable des forêts ivoiriennes. Ainsi, l'objectif général de la présente étude est d'évaluer le stock de carbone séquestré par les espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018, dans le MFYA, afin de contribuer à la gestion rationnelle et durable dudit massif. Il s'agit d'une part, de caractériser le peuplement des espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018 et d'autre part, d'évaluer la biomasse et le stock de carbone qui en résulte.

MATERIEL ET METHODES

SITE D'ETUDE

La présente étude a été réalisée dans le Massif Forestier de Yapo-Abbé (MFYA), situé au Sud-Est de la Côte d'Ivoire, dans la Région administrative de l'Agnéby-Tiassa, entre 5°40'02" et 5°47'32" de latitude Nord et 3°57'02" et 4°11'37" de longitude Ouest (Figure 1). D'une superficie de 28790 ha, le MFYA est à cheval sur les Sous-Préfectures d'Azaguié dans le Département d'Agboville et de Yakassé-Mé dans le Département d'Adzopé. Il comprend trois biotopes : la forêt secondaire, la forêt reboisée ou plantations forestières et la jachère. Le climat de type subéquatorial, est caractérisé par une pluviométrie moyenne d'environ 1400 mm/an et par une température moyenne annuelle de 27°C (SODEXAM, 2014). Au plan humain, le MFYA est à cheval sur les territoires des groupes ethniques Abbey et Attié, respectivement, des Départements d'Agboville et d'Adzopé (SODEFOR, 1999).

Le matériel biologique utilisé au cours de cette étude est constitué des espèces de bois d'œuvre rencontrées dans le MFYA, notamment celles inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018.

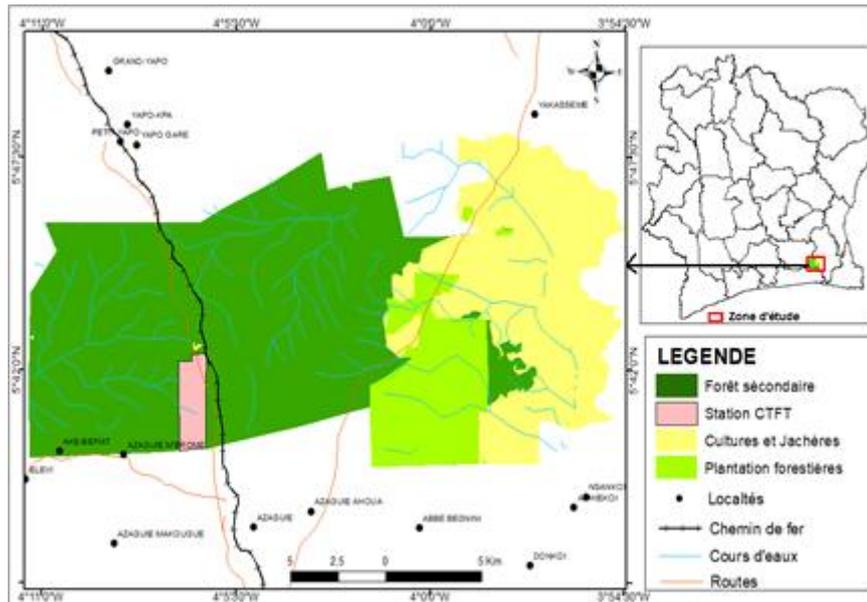


Figure 1 : Présentation du Massif Forestier de Yapo-Abbé.
Presentation of the Yapo-Abbe forest Massif.

COLLECTE DE DONNEES

Le dispositif d'échantillonnage installé dans les trois biotopes du MFYA est constitué d'une parcelle rectangulaire de 100 m de longueur et 50 m de largeur, soit une superficie de 0,5 ha, pour l'inventaire des individus de diamètre supérieur ou égal à 10 cm ($dbh \geq 10$ cm) des espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018. Sur la médiane verticale

de la parcelle de 0,5 ha, quatre placettes de 10 m de côté, soit une superficie de 100 m² chacune, et équidistantes de 20 m, ont été installées, pour l'inventaire de la régénération ($2,5 \leq dbh \leq 10$ cm) des espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018, afin de maximiser la biomasse et le stock de carbone (Figure 2). Au total, 60 parcelles ont été installées dans le MFYA, à raison de 20 parcelles par biotope (Figure 3).

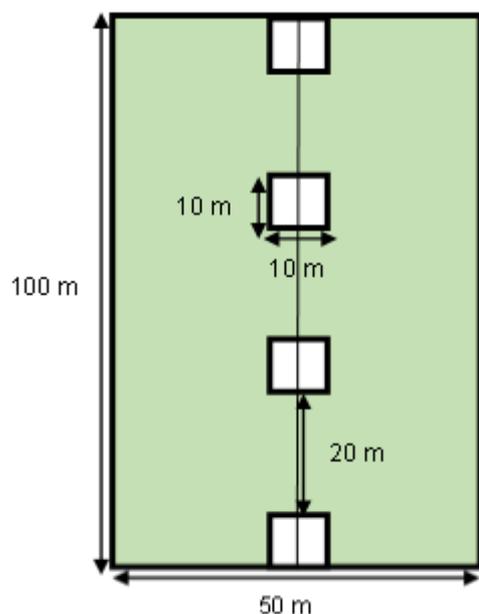


Figure 2 : Conformation du dispositif d'échantillonnage.
Conformation of the sampling device.

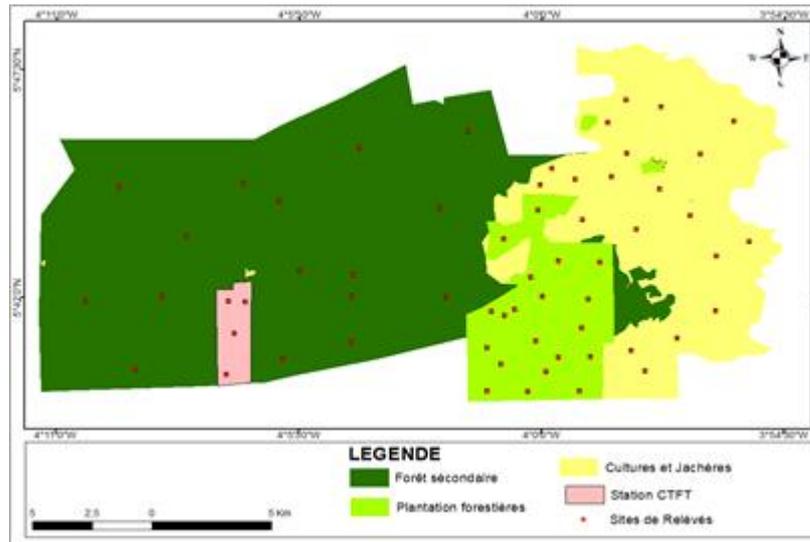


Figure 3 : Distribution des sites de relevés floristiques dans les trois biotopes du Massif Forestier de Yapo-Abbé.

Distribution of floristic survey sites in the three biotopes of the Yapo-Abbe forest massif.

ANALYSE DES DONNEES

DIVERSITES QUALITATIVE ET QUANTITATIVE

Au cours de cette étude, la liste des espèces de bois d'œuvre inscrites sur la

liste rouge de l'UICN de 2018, inventoriées dans le MFYA, a été établie, en fonction de leurs statuts UICN et de leurs catégories commerciales (P1 : espèces principales de première catégorie ; P2 : espèces principales de deuxième catégorie ; P3 : espèces principales de troisième catégorie). Les genres et les familles de ces espèces ont été mis à jour, selon APG IV (2016). Aussi, la diversité des trois biotopes en espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018 a été évaluée, à l'aide des indices de diversité de Shannon (1949) et d'équitabilité de Pielou (1966). Pour déterminer l'abondance des individus de ces espèces et avoir une idée précise de l'espace occupé par celles-ci dans les trois biotopes, la densité et l'aire basale ont été calculées. Les indices de diversité ont été calculés à partir des équations (1) et (2) suivantes :

$$H' = - \sum (n_i / N) \times \ln (n_i / N) \quad (1)$$

Avec H' : indice de diversité de Shannon qui s'exprime en bit ; n_i , nombre d'individus d'une espèce i et N : nombre total d'individus de toutes les espèces recensées. H' varie généralement

entre 1 et 5 (Felfili *et al.*, 2004).

$$E = H' / \ln S \quad (2)$$

Avec E : équitabilité, S : nombre total d'espèces recensées sur une parcelle. E est compris entre 0 et 1 (Frontier *et al.*, 2008).

Pour les paramètres structuraux, les équations (3) et (4) ont été utilisées :

$$D = n/s \quad (3)$$

Avec D : densité exprimée en tiges/ha, n : nombre de tiges recensées et S : surface en ha.

$$S = \sum (D^2 \times \pi / 4) \quad (4)$$

Avec S : aire basale exprimée en m^2/ha ; D : diamètre en m.

La distribution des tiges par classes de diamètre des espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018, inventoriées, a permis de construire pour chaque biotope du MFYA, un histogramme qui renseigne par sa forme, sur l'équilibre du peuplement de ces espèces.

ESTIMATION DE LA BIOMASSE ET DU STOCK DE CARBONE

L'estimation du stock de carbone dans les écosystèmes forestiers requiert l'évaluation de la biomasse, qui peut être séparée en biomasse aérienne et en biomasse souterraine. La biomasse aérienne a été évaluée à partir du

package « BIOMASS » du logiciel Rstudio. Elle est définie à partir de l'équation (5) ci-dessous :

$$AGB=0,0673 \times (\rho D^2 H)^{0,976} \quad (5)$$

Avec AGB (Above Ground Biomass) : biomasse aérienne en Kg ; D : diamètre du tronc en cm ; H : hauteur totale de l'arbre en m et ρ : densité spécifique du bois en g/cm³.

La biomasse souterraine ou racinaire (BGB : Below Ground Biomass) des ligneux est prédite à partir de l'estimation de la biomasse aérienne (GIEC, 2006), selon l'équation (6) suivante :
 $BGB = 0,37 \times AGB$ (6)

La biomasse totale ou total biomass (TB) des ligneux est obtenue par addition de la biomasse aérienne et de la biomasse souterraine, selon l'équation (7) ci-dessous :

$$TB = AGB + BGB \quad (7)$$

Le stock de carbone (C) séquestré est égal à 50% de la biomasse totale. Le dioxyde de carbone (CO₂) séquestré est obtenu en faisant intervenir le rapport des masses molaires du carbone et du CO₂. La masse de CO₂ est calculée selon l'expression (8) suivante :

$$m(\text{CO}_2) = C \times (44/12) \quad (8)$$

Avec $m(\text{CO}_2)$: quantité de CO₂ séquestré ; exprimée en Kg et C : quantité de carbone stocké dans un arbre en Kg.

Dans cette étude, les stocks de biomasse, de carbone et de CO₂ équivalent de tous les arbres des espèces ligneuses inventoriées ont été déterminés, y compris ceux des espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018.

TEST DE COMPARAISON DES MOYENNES

Les valeurs moyennes des différents paramètres mesurés dans les trois biotopes du MFYA ont fait l'objet d'analyse statistique. La normalité de la distribution des données a été vérifiée par le test de ShapiroWilk. Il a été suivi des tests d'ANOVA (Analyse de Variance) et de Tukey pour la comparaison des moyennes, quand la distribution des données respecte la normalité. Dans le cas contraire, le test de Kruskal-Wallis suivi du test de Dunn sont effectués pour la comparaison des moyennes. Le niveau de significativité choisi pour ces analyses est de 5 % ($P = 0,05$).

RESULTATS

RICHESSSE ET DIVERSITE FLORISTIQUES DES TROIS BIOTOPES

L'inventaire floristique réalisé dans le Massif Forestier de Yapo-Abbé (MFYA) a permis de recenser 24 espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018 (Tableau 1). Ces dernières sont réparties entre 21 genres, appartenant à 10 familles, dominées par les Malvaceae (07 espèces) et les Meliaceae (06 espèces). En considérant les différents statuts de conservation de l'UICN, ces 24 espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge sont réparties en 17 espèces vulnérables (VU), soit 70,83 % ; 05 espèces de préoccupation mineure (LC ou LR/lc), soit 20,83 % ; 01 espèce quasi-menacée (LR/nt) avec 4,17 % et 01 espèce en danger de disparition (EN) avec également 4,17 % (Tableau 1). Le nombre d'espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018, recensées, est de 13, 16 et 24, respectivement, dans la jachère, la forêt reboisée et la forêt secondaire (Tableau 2). Les résultats de l'analyse statistique consignés dans le Tableau 2 montrent que les valeurs moyennes de la richesse en espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018, des biotopes forêt secondaire et jachère sont significativement différentes ($K=5,998$; $P=0,04$).

En considérant les catégories commerciales des espèces de bois d'œuvre, les 24 espèces inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018, inventoriées, sont dominées par les espèces principales de première catégorie (P1), à plus de 85 % dans les trois biotopes. Quant aux espèces principales de deuxième catégorie (P2) et troisième catégorie (P3), elles sont faiblement représentées dans le massif.

La valeur totale de l'indice de Shannon calculée pour l'ensemble des individus des espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018, recensées dans le MFYA, est de 2,2 bits pour la forêt secondaire ; 1,5 bits pour la forêt reboisée et 1,4 bits pour la jachère (Tableau 2). Ces valeurs montrent que les trois biotopes du MFYA sont faiblement diversifiés et les différences entre les valeurs moyennes de l'indice de Shannon de ces biotopes ne sont pas statistiquement significatives ($F=1,139$;

$P=0,327$). Concernant l'indice d'Équitabilité de Piérou, la forêt secondaire a la valeur totale la plus élevée, qui est de 0,7. La jachère enregistre une valeur totale de 0,6 tandis que la valeur totale la plus faible de cet indice, qui est de 0,5, a été obtenue pour la forêt reboisée. Ces valeurs montrent que la répartition des individus

inventoriés des 24 espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018, est moyennement équilibrée dans l'ensemble du MFYA, notamment dans la forêt secondaire. Les valeurs moyennes de cet indice des trois biotopes du MFYA ne sont pas significativement différentes ($K=0,693$; $P=0,707$).

Tableau 1 : Liste des espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018 recensées dans le Massif Forestier de Yapo-Abbé.

List of timber species included on the IUCN Red List of 2018 identified in the Yapo-Abbe forest massif.

Espèces	Familles	Statut UICN (2018)	Catégories commerciales
<i>Anopyxis klaineana</i> (Pierre) Engl.	Rhizophoraceae	VU	P2
<i>Berlinia confusa</i> Hoyle	Fabaceae	LC	P2
<i>Bombax brevicuspe</i> Sprague	Malvaceae	VU	P1
<i>Ceiba pentandra</i> (Linn.) Gaertn.	Malvaceae	LC	P1
<i>Copaifera salikounda</i> Heck.	Fabaceae	VU	P2
<i>Entandrophragma angolense</i> (Welw.) C. DC.	Meliaceae	VU	P1
<i>Entandrophragma cylindricum</i> (Sprague) Sprague	Meliaceae	VU	P1
<i>Entandrophragma utile</i> (Dawe & Sprague) Sprague	Meliaceae	VU	P1
<i>Eriobroma oblongum</i> (Mast.) Pierre ex A. Chev.	Malvaceae	VU	P2
<i>Guarea cedrata</i> (A. Chev.) Pellegr.	Meliaceae	VU	P1
<i>Heritiera utilis</i> (Sprague) Sprague	Malvaceae	VU	P1
<i>Khaya ivorensis</i> A. Chev.	Meliaceae	VU	P1
<i>Lophira alata</i> Banks ex Gaertn. f.	Ochnaceae	VU	P1
<i>Milicia excelsa</i> (Welw.) C. C. Berg	Moraceae	NT	P1
<i>Milicia regia</i> (A. Chev.) C. C. Berg	Moraceae	VU	P1
<i>Nauclea diderrichii</i> (De Wild. & Th. Durand) Merrill	Rubiaceae	VU	P1
<i>Nesogordonia papaverifera</i> (A. Chev.) Cap.	Malvaceae	VU	P1
<i>Parinari excelsa</i> Sabine	Chrysobalanaceae	LC	P3
<i>Parkia bicolor</i> A. Chev.	Fabaceae	LC	P3
<i>Pterygota macrocarpa</i> Schumann	Malvaceae	VU	P1
<i>Terminalia ivorensis</i> A. Chev.	Combretaceae	VU	P1
<i>Tieghemella heckelii</i> (A. Chev.) Pierre ex Dubar	Sapotaceae	EN	P1
<i>Triplochiton scleroxylon</i> K. Schum.	Malvaceae	LC	P1
<i>Turraeanthus africanus</i> (Welw.) Pellegr.	Meliaceae	VU	P1

EN = En danger de disparition ; VU = Vulnérable ; NT = Quasi-menacées ; LC = Préoccupation mineure ; P1 = espèces principales de 1^{ère} catégorie ; P2 = espèces principales de 2^{ème} catégorie ; P3 = espèce principale de 3^{ème} catégorie.

EN = Endangered ; VU = Vulnerable ; NT = Near Threatened ; LC = Least Concern ; P1 = main species of 1st category ; P2 = main species of 2nd category ; P3 = main species of 3rd category.

Tableau 2 : Comparaisons des valeurs totales et moyennes des paramètres floristiques et structuraux des trois biotopes du Massif Forestier de Yapo-Abbé.

Comparisons of the total and average values of the floristic and structural parameters of the three biotopes of the Yapo-Abbé forest massif.

Paramètres mesurés	Valeurs	Forêt secondaire	Forêt reboisée	Jachère
Nombre de Familles	-	10	10	8
Nombre de Genres	-	21	14	13
Nombre d'espèces	totales	24	16	13
	moyennes	4,95 ± 3,15 ^a	3,9 ± 1,58 ^{ab}	3 ± 1,48 ^b
Indice de Shannon	totales	2,2	1,5	1,4
	moyennes	0,98 ± 0,65 ^c	0,83 ± 0,44 ^c	0,73 ± 0,48 ^c
Indice d'équitabilité	totales	0,7	0,5	0,6
	moyennes	0,6 ± 0,35 ^d	0,58 ± 0,27 ^d	0,63 ± 0,29 ^d
Densité	totales	69	21	8
	moyennes	68,50 ± 86,82 ^e	20,50 ± 16,28 ^e	8,10 ± 6,56 ^f
Aire basale	totales	65,53	22,74	5,31
	moyennes	6,55 ± 8,41 ^g	2,27 ± 1,48 ^g	0,53 ± 0,66 ^h

Dans une même ligne, les moyennes affectées de mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de $\alpha = 5\%$.

In the same row, the means assigned the same letters are not significantly different at the threshold of $\alpha = 5\%$.

STRUCTURE DU PEUPELEMENT DES ESPECES DE BOIS D'ŒUVRE INSCRITES SUR LA LISTE ROUGE DE L'UICN

La densité totale la plus élevée a été obtenue dans la forêt secondaire avec 685 individus, soit 69 tiges/ha contre 205 individus pour la forêt reboisée, avec une densité totale de 21 tiges/ha. Pour la jachère, elle a enregistré la densité totale la plus faible, avec 81 individus, soit 08 tiges/ha (Tableau 2). Les valeurs totales des aires basales calculées sont de 65,53 m², soit 6,55 m²/ha pour la forêt secondaire, 22,74 m², soit 2,27 m²/ha pour la forêt reboisée et 5,31 m², soit 0,53 m²/ha pour la jachère (Tableau 2). Ces valeurs montrent que les individus des espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018, recensés, occupent une importante surface terrière dans les forêts

secondaire et reboisée. Par contre, dans la jachère, les individus de ces espèces occupent une surface terrière moindre. Les résultats de l'analyse statistique montrent que les valeurs moyennes de la densité ($K=13,028$; $P=0,001$) et de l'aire basale ($K=15,155$; $P=0,001$) des biotopes forêt secondaire et forêt reboisée sont significativement différentes de celles de la jachère (Tableau 2).

L'allure des histogrammes de distribution des tiges par classes de diamètre, des 24 espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018, inventoriées, varie d'un biotope à l'autre. Dans la forêt secondaire et la jachère, on note une allure en forme de « J inversé » des histogrammes. Par contre, dans la forêt reboisée, l'allure de la distribution obtenue a la forme d'une cloche, donc différente de celles des deux autres biotopes (Figure 4).

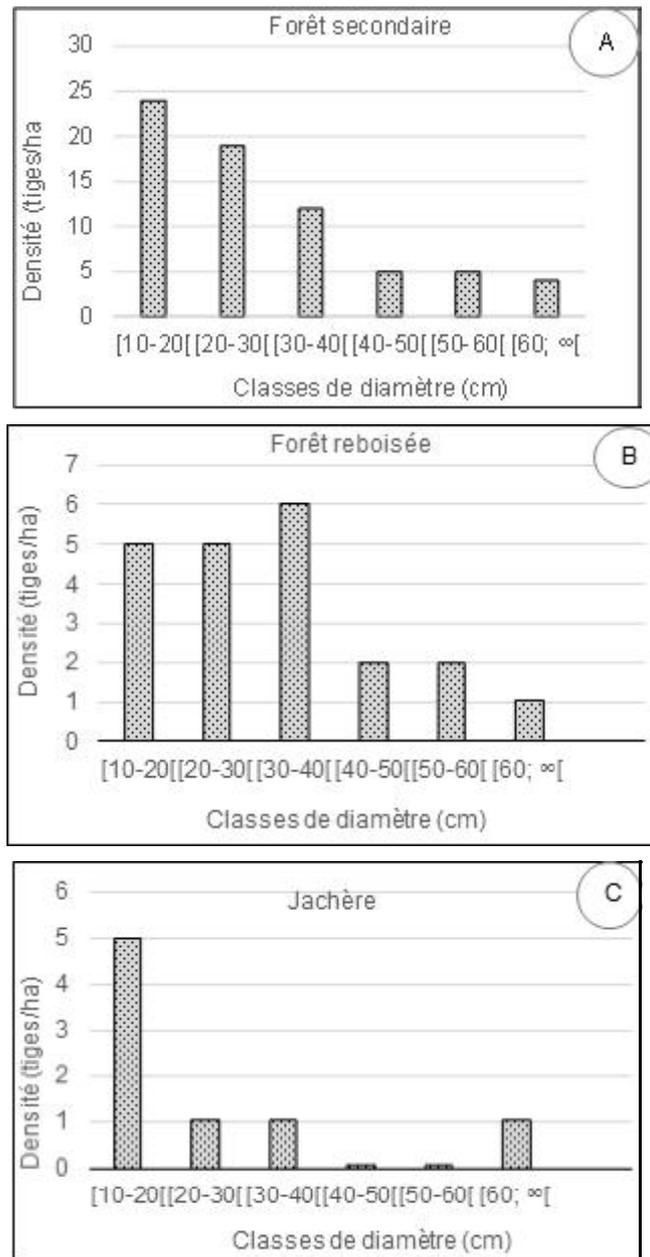


Figure 4 : Histogrammes de distribution des tiges des espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018 par classes de diamètre dans les trois biotopes du Massif Forestier de Yapo-Abbé.

Stem distribution histograms of listed timber species on the IUCN Red List of 2018 by diameter classes in the three biotopes of the Yapo- Abbe Forest Massif.

ESTIMATION DE LA BIOMASSE ET DU STOCK DE CARBONE DANS LE MASSIF FORESTIER DE YAPO-ABBE

Pour les biotopes, la forêt secondaire enregistre les valeurs les plus élevées de biomasse totale (701,58 t, soit 70,16 t/ha) et de CO₂ équivalent (1286,25 t, soit 128,62 tCO₂/ha), alors que les

plus faibles valeurs ont été observées dans le biotope jachère, avec 63,23 t, soit 6,32 t/ha pour la biomasse totale et 115,93 t, soit 11,59 tCO₂/ha pour la quantité de CO₂ équivalent (Tableau 3). Les résultats de l'analyse statistique du Tableau 4 montrent que les valeurs moyennes de biomasse totale et de CO₂ équivalent des forêts secondaire et reboisée sont

significativement différentes de celles de la jachère ($K=11,49$; $P=0,003$). Concernant la biomasse totale de l'ensemble des espèces arborescentes inventoriées dans le MFYA, la valeur est estimée à 2698,94 t, soit 89,97 t/ha. Le carbone séquestré par ces espèces est estimé à 1348,93 t, soit 44,98 tC/ha et le taux de CO₂ équivalent est de 4948,02 t, soit 164,94 tCO₂/ha (Tableau 4). Quand on considère seulement, les espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018,

recensées dans le MFYA, les valeurs de biomasse totale, de carbone séquestré et de CO₂ équivalent sont, respectivement, de 1015,55 t, soit 33,85 t/ha ; 507,75 t, soit 16,92 tC/ha et 1861,86 t, soit 62,06 tCO₂/ha. Ces valeurs indiquent que dans le MFYA, sur l'ensemble des espèces arborées inventoriées, la quantité de CO₂ séquestré par les espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018, est estimée à 37,62 % (Tableau 4).

Tableau 3 : Comparaisons des valeurs totales et moyennes de la biomasse et du stock de carbone des trois biotopes du Massif Forestier de Yapo-Abbé.

Comparisons of total and average values of biomass and carbon stock of the three biotopes of the Yapo-Abbé Forest Massif.

Paramètres Mesurés	Valeurs	Forêt Secondaire	Forêt reboisée	Jachère
Biomasse totale	Totales	701,58	250,74	63,23
	Moyennes	70,16 ± 97,44 ^g	25,07 ± 17,33 ^g	6,32 ± 8,41 ^h
Stock de carbone	Totales	350,79	125,36	31,61
	Moyennes	35,08 ± 48,72 ⁱ	12,53 ± 8,66 ⁱ	3,16 ± 4,2 ^j
CO ₂ équivalent	Totales	1286,25	459,68	115,93
	Moyennes	128,62 ± 178,64 ^k	45,97 ± 31,76 ^k	11,59 ± 15,42 ^l

Dans une même ligne, les moyennes affectées de mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de $\alpha = 5\%$.

In the same row, the means assigned the same letters are not significantly different at the threshold of $\alpha = 5\%$.

Tableau 4 : Comparaison des biomasses totales et stocks de carbone des espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018 et des autres espèces arborescentes inventoriées dans le Massif Forestier de Yapo-Abbé (MFYA).

Comparison of total biomasses and carbon stocks of timber species included on the IUCN Red List of 2018 and other tree species inventoried in the Yapo-Abbe Forest Massif.

	Biomasse totale (t)	Carbone Séquestré (t)	CO ₂ Equivalent (t)	Pourcentage (%)
Espèces de bois d'œuvre UICN (2018)	1015,61	507,79	1861,96	37,62
Autres espèces Inventoriées	1683,47	841,72	3086,31	62,38
Total des espèces arborescentes du MFYA	2699,08	1349,51	4948,27	100

DISCUSSION

Les résultats obtenus sur la richesse floristique ont montré que le Massif Forestier de Yapo-Abbé (MFYA) est riche de 24 espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018. Les biotopes forêt secondaire et forêt reboisée du MFYA sont relativement plus

peuplés en espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018, que le biotope jachère. Cela pourrait s'expliquer par le fait que, les deux premiers biotopes ont respectivement fait l'objet d'enrichissement et de reboisement, lors des différents travaux d'aménagement du massif, dans les années 1930 à 1980 (Piba *et al.*, 2015). La forte présence de ces espèces dans la forêt

secondaire est imputable à la stabilité de ce biotope. En effet, selon Konan (2016), c'est le bloc le mieux conservé du MFYA. Il constitue de ce fait, une zone de protection et de refuge pour ces espèces. La faible présence des espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018 dans le biotope jachère, est liée, certainement, à l'état de dégradation avancé de ce biotope. En effet, cette partie du Massif Forestier de Yapo-Abbé est sujette aux activités agricoles (installations clandestines de plantations agricoles), aux coupes de bois pour la production de charbon de bois et pour le bois d'énergie (Konan, 2016 ; Ouattara *et al.*, 2019).

Les résultats des indices de diversité calculés montrent que les trois biotopes du MFYA sont faiblement diversifiés en espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018. En effet le MFYA fait l'objet de pressions anthropiques sans précédent, notamment, les prélèvements de certaines espèces pour la pharmacopée, l'alimentation et l'artisanat (SODEFOR, 1999). Aussi, la présence relativement faible dans les biotopes de ces espèces pourrait expliquer cette faible diversité obtenue avec cet indice qui prend en compte l'abondance des espèces étudiées (Felfili *et al.*, 2004). La répartition des individus des espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018, inventoriées, est moyennement équilibrée dans la forêt secondaire ; ce qui confirme son caractère stable et relativement hétérogène. Par contre, dans les deux autres biotopes (forêt reboisée et jachère), l'équitabilité est faible. Cette différence est probablement liée au niveau de conservation de ces biotopes. En effet, Odum (1976) a montré que les écosystèmes peu perturbés ont une équitabilité élevée et ceux ayant subi des contraintes anthropiques accentuées, ont une équitabilité faible.

Les fortes densités des individus des espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018, recensées dans les forêts secondaire et reboisée, trouvent leur explication dans les travaux d'enrichissement et de reboisement réalisés par la SODEFOR (SODEFOR, 1999). En effet, dans la forêt secondaire, une réserve botanique de 528 ha a été créée dans sa partie Nord, pour y mener des travaux expérimentaux sur le comportement des espèces de forêt naturelle en plantations (SODEFOR, 1999). Ces travaux ont conduit les gestionnaires du MFYA à accorder une

importance particulière à ce biotope, d'où sa forte densité en espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018 et par conséquent, sa bonne conservation par rapport aux deux autres biotopes. Cette bonne conservation de la forêt secondaire expliquerait les valeurs élevées d'aire basale de ces espèces inventoriées dans ledit biotope. Aussi, la forte valeur d'aire basale obtenue dans ce biotope est imputable à l'abondance et à l'importance des diamètres de ces espèces recensées. En effet, Ramananjatovo (2013), dans la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly à Madagascar, a montré qu'un milieu écologique a une forte valeur d'aire basale, lorsqu'il abrite un nombre important d'individus de gros diamètre. A l'opposée, la faible densité des individus des espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018, recensés dans le biotope jachère est liée à son niveau élevé de dégradation, comme mentionné ci-dessus. Les distributions diamétriques en « J inversé » obtenues pour la forêt secondaire et la jachère, montrent que dans ces biotopes, les espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018, inventoriées, sont moins perturbées, traduisant ainsi, un renouvellement régulier de leur peuplement. Selon Adjonou *et al.* (2009), la distribution diamétrique en « J inversé » est l'une des caractéristiques typiques de peuplements stables, susceptibles de se renouveler régulièrement dans les forêts denses tropicales. Cependant, la structure diamétrique en « cloche » obtenue pour la forêt reboisée, traduit une perturbation certaine du peuplement des espèces étudiées.

Les biotopes forêt secondaire et forêt reboisée ont des stocks de biomasse et de carbone les plus élevés, alors que le biotope jachère contient les stocks les plus faibles. Ceci pourrait se justifier par la densité des individus des espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018, inventoriées, qui est plus élevée dans les deux premiers biotopes et plus faible dans la jachère. La densité spécifique joue en effet, un rôle déterminant dans la biomasse et la captation du carbone (Vroh *et al.*, 2014). Elle contribuerait à augmenter la biomasse végétale ainsi que la capacité de séquestration (Marshall *et al.*, 2012 ; Yao, 2019). Nos résultats corroborent ceux de Jiagho (2018), qui a estimé un stock élevé de biomasse aérienne (3,285 t/ha) dans la zone forestière (plus dense avec 81 tiges/ha) du Parc National de Waza au Cameroun, contrairement aux zones arbustive

(32 tiges/ha) et inondable (14 tiges/ha) de ce parc, qui enregistrent respectivement des biomasses aériennes de 0,818 t/ha et 0,377 t/ha. Dubé *et al.* (2006) ont montré aussi que la biomasse ou le stock de carbone augmente avec le diamètre ou l'aire basale. Ainsi, dans la présente étude, les forêts secondaire (6,55 m²/ha) et reboisée (2,27 m²/ha) qui ont enregistré les plus fortes valeurs d'aire basale, présentent les stocks élevés de biomasse et de carbone, contrairement au biotope jachère qui, avec une valeur d'aire basale de 0,53 m²/ha, regorge de faibles quantités de biomasse et de carbone séquestré. L'étude a montré que les 24 espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018, inventoriées, ont une capacité de séquestration de carbone de l'ordre de 37,62 % comparé aux autres espèces arborées du MFYA. Cela montre le potentiel de réduction de gaz à effet de serre de ces espèces menacées, notamment le CO₂, qui contribue le plus au réchauffement climatique (GIEC, 2003). Selon le rapport de 2010 de la Banque mondiale sur les émissions de gaz à effet de serre pour la Côte d'Ivoire, chaque habitant émet environ 300 kgs de CO₂ (Vroh *et al.*, 2014). Or, dans le MFYA, le taux équivalent de CO₂ capté par individu d'espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018, inventoriées, est de 1451,26 kgs, soit 1,45 t. Cette valeur témoigne du rôle compensatoire de ces espèces, dans les émissions de CO₂ d'au moins 6000 habitants ; d'où l'important rôle que jouent ces espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN, dans la séquestration de carbone et la protection de l'environnement des populations de la Région de l'Agnéby-Tiassa.

CONCLUSION

L'inventaire floristique réalisé dans le Massif Forestier de Yapou-Abbé (MFYA) a permis de recenser 24 espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018. Elles se répartissent en 17 espèces vulnérables, cinq espèces de préoccupation mineure, une espèce quasi-menacée et une autre en danger de disparition. Le MFYA est faiblement diversifié en espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018. L'analyse de la structure horizontale a montré que dans les biotopes forêt secondaire et jachère, le peuplement des 24 espèces inventoriées est mieux conservé. Par contre, dans la forêt

reboisée, le peuplement de ces espèces est perturbé et leur renouvellement est irrégulier. L'estimation du stock de carbone a révélé que les espèces de bois d'œuvre inscrites sur la liste rouge de l'UICN de 2018, inventoriées, occupent une part importante (soit 37,62 %) dans la séquestration de carbone atmosphérique malgré les pressions qu'elles subissent. Elles jouent avec les autres espèces végétales du MFYA, un rôle capital dans l'atténuation des effets du changement climatique et dans la régulation du climat dans la Région de l'Agnéby-Tiassa, d'où l'intérêt d'une conservation durable du MFYA et notamment des espèces de bois d'œuvre menacées.

REFERENCES

- Adjonou K., Bellefontaine R. et Kokou K. 2009. Les forêts claires du Parc national OtiKéran au Nord-Togo : structure, dynamique et impacts des modifications climatiques récentes. *Sécheresse*, 20 : 1-10.
- APG IV. 2016. An update of the Angiosperm Phylogen Group classification for the orders and families of flowering plants. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181: 1-20.
- Dubé A., Saint-Laurent D. et Sénécal G. 2006. Penser le renouvellement et la politique de conservation de la forêt urbaine à l'ère du réchauffement climatique 50 p.
- FAO. 2011. Situation des forêts du monde. Rome, 586 pp.
- Felfili J. M., Silva Júnior M. C., Sevilha A. C., Fagg C. W., Walter B. M. T., Nogueira P. E. et Rezende A. V. 2004. Diversity floristic and structural patterns of cerrado vegetation in Central Brazil. *Plant Ecology*, 175 : 37- 46.
- Frontier S., Pichod-Viale D., Leprêtre A., Davout D. et Luczak C. 2008. Ecosystèmes : structure, fonctionnement, évolution. 4^e édition. Dunod, Paris, France, 558 p.
- GIEC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry (LULUCF). Institute for Global Environment Strategies (IGES) for ICP. Kamiyamaguchi, Hayama, Kanaga. Japan. 590 p.
- GIEC. 2006. Guide pour l'inventaire national des gaz à effet de serre : Agriculture, Foresterie et Autres usages des terres. Institute for Global Environmental Strategies, Japon, 4: 46-52.
- Jiagho E. R. 2018. Flore et végétation ligneuse à la périphérie du Parc National de Waza (Ca-

- meroun) : Dynamique et implications pour une meilleure gestion. Thèse de Doctorat, UFR Sciences humaines et sociales (Option Dynamique de l'environnement et des risques), Université de Yaoundé 1, Yaoundé, Cameroun, 309 p.
- Koffi K. A. D. 2016. Dynamique de la végétation et valeurs de conservation des espaces anciennement cultivés du Parc National d'Azagny (Sud de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat de l'Université Félix HOUPOUËT-BOIGNY, UFR Biosciences, Côte d'Ivoire, 185 p.
- Konan D. 2016. Etude de la dynamique floristique, structurale et du potentiel germinatif du stock semencier du sol de la forêt classée de yapo abbé : contribution pour une gestion durable des forêts classées de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, UFR des Sciences de la Nature, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire, 217 p.
- Le Quere C., Andres R. J. et Boden T. 2013. The global carbon budget 1959–2011. *Earth System Science Data Discussions*, 5 : 165–185.
- Marshall A. R., Willcock S., Platts P. J., Lovett J. C., Balmford A., Burgess N. D. et Lewis S. L. 2012. Measuring and modelling above-ground carbon and tree allometry along a tropical elevation gradient. *Biological Conservation*, 154 : 20-33.
- Monssou E. O., Vroh B. T. A., Goné Bi Z. B., Adou Yao C. Y. 2016. Evaluation de la Diversité et Estimation de la Biomasse Aérienne des Arbres du Jardin Botanique de Bingerville (District d'Abidjan, Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, 12(6): 185-201.
- Odum E. P. 1976. *Ecologie*. Doin, Montréal, Paris. Editions H.R.W, 257 p.
- Ouattara S. F. P., Kouadio K. et Soro D. 2019. Diversité des espèces de bois d'œuvre menacées de disparition de la flore de la Côte d'Ivoire, dans le Massif Forestier Yapo-Abbé. *European Scientific Journal*, 15(36) : 213-229.
- Panzou G. L., Doucet J. L., Loumeto J. J., Biwolé A., Bauwens S. et Fayolle A. 2016. Biomasse et stocks de carbone des forêts tropicales africaines (synthèse bibliographique). *Bio-technologie, Agronomie, Société et Environnement*, 20 (4) : 508-522.
- Piba S. C., Tra Bi F. H., Konan D., Blé B. et Bakayoko A. 2015. Inventaire et disponibilité des plantes médicinales dans la Forêt Classée de Yapo-Abbé. *European Scientific Journal*, 11 (24) : 161-181.
- Piéluou E. C. 1966. Species diversity and pattern diversity in the study of ecological succession. *Journal of Theoretical Biology*, 10: 370-383.
- Ramananjato R. 2013.- Etude structurale et écologique de la régénération naturelle de la flore dans deux zones à différents degrés de perturbation dans la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly. Mémoire de fin d'études, Diplôme d'Ingénieur, Sciences Agronomiques (Option Eaux et forêts), Université d'Antananarivo, Madagascar, 80p.
- Shannon C. E. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27: 379-423.
- SODEFOR. 1999. Plan d'aménagement de la forêt classée de Yapo et Abbé : 1999 - 2023, SODEFOR, Edition, 141 p.
- SODEXAM. 2014. Données météorologiques de la région de l'Agnéby-Tiassa.
- IUCN. 2018. IUCN Red List of Threatened Species. www.iucnredlist.org. Visité le 27/02/2020.
- Vroh B. T. A., Tiébré M. S. et N'guessan K. E. 2014. Diversité végétale urbaine et estimation du stock de carbone : cas de la commune du Plateau, Abidjan, Côte d'Ivoire. *Afrique Science* 10 (3): 329-340.
- Yao N. O. 2019. Dynamique et valeur écologique de la végétation dans le secteur Sub-Soudanais, Département de Dianra (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat de l'Université Félix HOUPOUËT-BOIGNY, UFR Biosciences, Abidjan, Côte d'Ivoire, 202 p.