

ESTIMATION DE LA BIOMASSE AERIENNE DES ARBRES A TRONC NON CONFORME (CONTREFORTS) DES FORETS DU BASSIN CENTRAL CONGOLAIS PAR LA METHODE NON DESTRUCTRICE : CAS DES FORETS DE YASIKIA (OPALA/PROVINCE TSHOPO/RDC).

Lomba B. Christophe(1) et LISINGO Janvier (1)

(1) Université de Kisangani, Faculté des Sciences, Département d'Écologie et Gestion des Ressources Végétales, Laboratoire de Palynologie, Anatomie du bois et la biodiversité forestière, B.P. 2012 Kisangani, R.D. Congo.

***Corresponding Author : -**

RESUME

Il est important d'estimer la biomasse aérienne et les stocks de carbone des arbres à tronc non conforme dans les forêts du bassin central congolais pour planifier la gestion de ressources et d'évaluer la contribution de ces forêts dans l'atténuation des effets des changements climatiques, et, cela dans le cadre de la conservation à l'échelle d'une réserve, que pour Mesurer, Rapporter et Vérifier les stocks de carbone forestiers dans le cadre des stratégies nationales pour la réduction des émissions des Gaz à Effet de Serre liées à la Déforestation et à la Dégradation des forêts (REDD+). Cette étude a visé la mise en place d'un protocole d'estimation de la biomasse aérienne et les stocks de carbone correspondant des arbres à architecture particulière dans la forêt de Yasikia. Pour y arriver, une étude dendrométrique a été effectuée pour tous les arbres à tronc non conforme. Les données dendrométriques ont été récoltées sur 189 arbres repartis en 9 familles et 20 espèces. Les résultats de cette étude montrent qu'il est préférable d'utiliser le diamètre équivalent pour une bonne estimation de la biomasse car la prise de diamètre à la fin de contrefort ou au dessus, sous estime la quantité de biomasse pour un arbre à tronc non conforme. L'équation ayant permis d'estimer la biomasse ligneuse à partir de différents diamètres était celle de Brown et al. (1989).

MOTS CLES : Biomasse ligneuse, stocks de carbone, Tronc non conforme, Forêts de Yasikia.

SUMMARY

It is important to estimate the aerial biomass and the stocks of carbon of the trees to non compliant trunk in the forests of the Congolese central basin to plan the management of resources and to value the contribution of this forests in the attenuation of the effects of the climatic changes, and, it in the setting of the conservation to the scale of a reserve, that to Measure, to Return and to Verify the forests stocks of carbon in the setting of the national strategies for the Reduction of the Broadcasts of the GES bound to the Deforestation and the Deterioration of the forests (REDD+). This survey aimed the setting up of a protocol of evaluation of the aerial biomass and the stocks of corresponding carbon of the trees to particular architecture in the forest of Yasikia. To arrive there, a survey fine dendrometric has been done for all trees to non compliant trunk. The data dendrometric has been harvested on 189 trees left in 9 families and 20 species. The results of this survey show that it is preferable to use the equivalent diameter for a good evaluation of the biomass because the hold of diameter at the end of buttress or to the over, under esteem the quantity of biomass for a tree to non compliant trunk. The equation having permitted to estimate the woody biomass from different diameters was the one of Brown and al. (1989).

KEY WORDS : Woody biomass, stocks of carbon, Trunk congruous not, Yasikia forests.

1. INTRODUCTION

Les forêts africaines qui représentent 15% du stock de carbone forestier mondial (COMIFAC, 2005 ; Laporte et al., 2008) demeurent encore peu étudiées (Vincke, 2011). Par conséquent, peu de données sur la biomasse des forêts d'Afrique centrale sont actuellement disponibles et souvent éparses. Des connaissances scientifiques sont encore insuffisantes et imprécises pour les nombreuses espèces tropicales (Amsallem et al., 2004). Il est donc primordial que les recherches sur ces différents aspects soient favorisées, cela pour planifier au mieux la gestion et la préservation des ressources forestières.

Lors de la récolte des données dendrométriques destinées à l'estimation de la biomasse, en pratique, ce n'est pas le *dbh* qui est mesuré directement, mais la circonférence *C* du tronc de l'arbre à 1,30 m de hauteur, à l'aide d'un ruban souple gradué entourant le tronc (Picard et Gourlet, 2008). La surface terrière de l'arbre est, par définition, la surface de la section du tronc de l'arbre à 1,30 m de hauteur, et est estimée à partir de la circonférence par la relation $S = C^2/4\pi$ (Picard et Gourlet, op.cit).

Le diamètre équivalent, *De*, est le diamètre d'un arbre dont le tronc aurait une forme parfaitement cylindrique et de même surface terrière que l'arbre sujet. Ainsi : $De = C/\pi$.

Il est à signaler que, quand le tronc de l'arbre a une forme cylindrique (tronc conforme), son *dbh* s'identifie à son diamètre équivalent. Mais plus la forme du tronc s'éloigne d'un cylindre, plus l'écart entre le *dbh* et le diamètre équivalent est fort. Pour les troncs non conformes, en particulier ceux des arbres à contreforts ou à racines échasses, la mesure de la circonférence n'a plus de sens. C'est ainsi que la circonférence est mesurée au dessus de contreforts en fonction de recommandation données par Clark et al. (2001). On est alors amené à mesurer la circonférence non plus à 1,30 m de hauteur, mais à une hauteur suffisante *h* pour que le tronc retrouve une forme cylindrique.

Le problème est que la surface terrière (et donc le diamètre équivalent) à une hauteur *h* est inférieure à la surface terrière à 1,30 m (et donc au *dbh*). Il en résulte une sous-estimation systématique de la surface terrière et de la biomasse des arbres à tronc non conforme.

En effet, dans le bassin central congolais, plusieurs espèces d'arbres ont souvent des contreforts, sortes d'expansions plus ou moins aplaties, avec un côté verticale adhérent au tronc et un autre horizontal superposé à des grosses racines traçantes formant ainsi les accotements ailés à la base du fût (Puig, 2001). Ce sont des racines aplaties et remontant assez haut sur le tronc qu'elles paraissent étranglées (Quentin, 2011). Parmi les contreforts on distingue des épaulements et des empattements. Les épaulements sont des contreforts dressés peu marqués et les empattements sont des contreforts peu développés formés par des raccordements des grosses racines à la base du tronc (Dany, 2010).

La végétation de Yasikia quant à elle, est un mélange de forêts sempervirentes, comprenant de grandes étendues de forêts « monodominantes » à *Gilbertiodendron dewevrei* et des forêts « mixtes » dans lesquelles aucune espèce n'est dominante, mais certaines légumineuses Caesalpinioïdés, telles que *Julbernardia seretii* (De Wild) J.Léonard et *Cynometra alexandri* C.H. WRIGHT, sont très abondantes (Makana & al. 2001). Lorsqu'un peuplement contient beaucoup d'arbres à tronc non conforme, c'est la biomasse et la surface terrière du peuplement qui sont sous-estimées (Biomasse estimée < Biomasse observée).

De ce qui précède, on constate que le diamètre est l'un de principaux variables d'entrée les plus utilisées (Gnangle, 2012) et peut être la source de plusieurs incertitudes (erreurs d'estimation) sur l'estimation de la biomasse et la contribution des forêts du bassin central congolais en général et même pour celles de Yasikia au cycle global du carbone. Gnangle (2012) souligne que pour une forêt sempervirente la biomasse aérienne est concentrée dans les troncs. Bien que la mesure des contreforts soit difficile (terrain + calcul) (Matieu, 2013 in Dany, 2010), il est impérieux que les biais et incohérences pour les pieds d'arbres à contreforts qui présentent des contraintes mécaniques soient élucidés.

Pour baliser cet état de fait, trois questions ont été posées.

1. Quelle est la structure d'un peuplement des arbres à tronc non conforme dans un hectare ?
2. Quelles sont les quantités de biomasse aérienne et de stocks de carbone résultant des prises de circonférence à différentes hauteurs des arbres à tronc non conforme ?
3. Que génèrent les différentes mensurations faites sur un arbre à tronc non conforme ($D_{1,30}$; D_{fc} et D_{fc+30}) sur l'estimation de la biomasse ?

A ces questions, les hypothèses correspondantes sont formulées comme suit :

1. De par leurs grandes expansions racinaires, les arbres à tronc non conforme sont en grande partie ceux à gros diamètre et à faible densité relative dans une parcelle d'un hectare.
2. En prenant en compte la particularité de ces pieds, les quantités de biomasse aérienne et de stocks de carbone des arbres à tronc non conforme sont supérieures à celles trouvées dans la littérature.

3. Etant donné que ces arbres n'ont pas un tronc cylindrique, les différentes mensurations de Circonférence ($C_{1,30}$; C_{fc} et C_{fc+30}) provoquent une variation occasionnant ainsi une sous estimation de la biomasse équivalente des arbres à tronc non conforme.

A cet égard, cette étude poursuit comme objectif la mise en œuvre d'un protocole d'estimation de la biomasse aérienne des arbres à tronc non conforme constituant le peuplement.

Spécifiquement :

1. Analyser la structure du peuplement des arbres à tronc non conforme des forêts de Yasikia.
2. Estimer la biomasse aérienne et les stocks de carbone spécifiquement pour cette catégorie architecturale d'arbres.
3. Analyser les variations de la biomasse provoquées par les différentes mensurations faites sur des arbres à architecture non conforme des forêts de Yasikia.

2. METHODOLOGIE

2.1. Site d'étude

Cette étude a été réalisée dans la forêt de Yasikia situé dans la cuvette centrale du bassin du Congo, au sud de la ville de Kisangani, en République Démocratique du Congo dans la Province de la Tshopo, Territoire d'Opala. Elle s'étend entre l'équateur à 1° latitude nord et entre ~ 1° et 25° de longitude Est.

La topographie de la région est peu accidentée, avec des collines occasionnelles comprenant des petites étendues de sols rocailloux peu profonds.

Les sols dans cette région proviennent de la roche granitique précambrienne et ils peuvent être classés dans l'ordre des ferralitiques qui domine la plus grande partie du Bassin forestier du Congo (Brady 1990 in Dany, 2010). Ils sont généralement très profonds, de texture uniforme et manquant d'horizons distincts à partir de ~ 3 cm à 150 cm de profondeur. Ces sols sont de texture sablonneuse à sablo-argileuse. Ils sont acides et pauvres en nutriments, particulièrement en phosphore et en azote (Makana et al. 2001).

La description des forêts denses de Yasikia la rattache à la région guinéo – congolaise (White, 1981 et 1986). Les travaux d'inventaires réalisés dans ces forêts montrent que l'essentiel des forêts est caractérisé par le cortège floristique dominé par *Scorodophloeus zenkeri* Harms.

1.2. Approches méthodologiques

1.2.1. Délimitation, inventaire et identification

Après une prospection de terrain qui a permis de localiser les blocs forestiers intéressants, non perturbé et ayant présenté des conditions favorables pour la mise en place des dispositifs. Au total se 48 placettes ont été définies et matérialisées sur le terrain. Elles ont une forme carrée (25 x 25m) dans une superficie totale de 3 ha ; en raison de 16 placettes par hectare. Pour chaque hectare, nous avons tracé quatre layons principaux pour délimiter une parcelle avec des ficelles en nylon et neuf (9) layons secondaires équidistants de 10 m et perpendiculaires aux layons principaux pour le quadrillage de la parcelle. Les identifications des espèces amorcées sur le terrain ont été vérifiées à la fois par comparaisons avec les spécimens de référence conservés aux herbiers de l'Herbarium National de Yangambi. En plus nous avons utilisé les flores et ouvrages botaniques concernant l'Afrique tropicale et le catalogue de plantes vasculaires des districts de Kisangani et de la Tshopo Lejoly et al. 2010

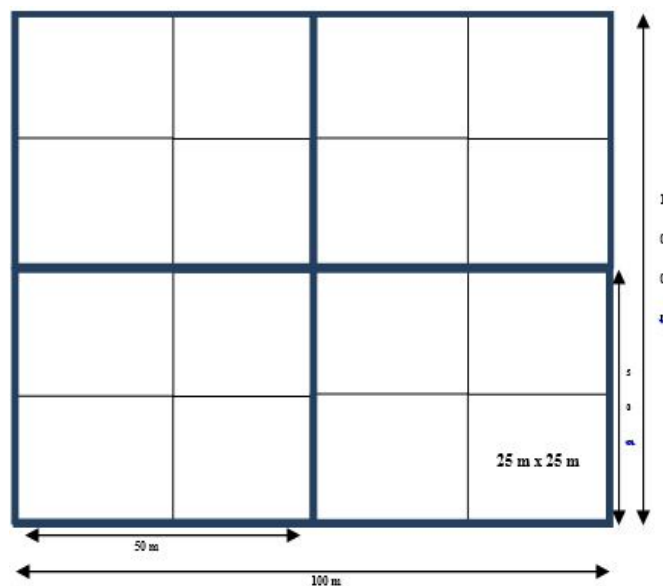


Figure 1 : Représentation du dispositif d'échantillonnage

Après la mise en place de deux dispositifs d'un hectare chacun, toute plante ligneuse érigée de diamètre supérieur à 10 cm et ayant des contreforts à 1,30m étaient mesurés, identifiés et assignés un numéro particulier qui permet son identification sur le terrain. Ainsi chaque étiquette porte un numéro unique formé de trois chiffres. Les numéros sont attribués suivant les colonnes des placettes du sud au nord ou de l'est à l'ouest suivant la disposition de la parcelle, et à l'intérieur de la parcelle suivant un ordre bien défini et la circonférence était mesurée selon trois modalités :

- Mesure de la circonférence du tronc à 1.30 m de hauteur au niveau des contreforts à l'aide d'un ruban spécifique, le *dbh* ;
- Mesure de la circonférence du tronc à une hauteur *h* au-dessus des contreforts à l'aide d'un ruban spécifique, le *dbh* ;
- Mesure de la circonférence à +30 cm de fin contreforts.

La hauteur des arbres qui est une variable importante pour les prédictions de la biomasse, elle est rarement effectuée car elle demande un effort supplémentaire (Quentin, 2012). Pour un bon nombre d'inventaires forestiers, elle est prédite par un modèle la reliant à son diamètre. Dans le cadre de la présente étude, elle a été mesurée à l'aide d'un VERTEX IV pour tous les arbres.

2.2.2. Analyses et traitement des données :

a) Modèle prédictif de la circonférence

La variable qui intéresse le forestier et qui est difficile à mesurer sur un arbre à tronc non conforme est la circonférence équivalente (C_{eq}) à 1,30 m. Par contre, les variables faciles à mesurer sont :

La circonférence à 1,30 m ruban tendu sur les contreforts (C_{130})

La circonférence au-dessus des contreforts, là où le tronc redevient cylindrique (C_{fc})

La hauteur de mesure de la circonférence à laquelle le tronc redevient cylindrique (*h*)

Afin d'estimer la circonférence équivalente, nous avons cherché à ajuster un modèle prédisant cette C_{eq} en fonction des variables explicatives que sont la circonférence à 1,30 m (C_{130}), la circonférence au-dessus des contreforts (C_{fc}) et la circonférence à une hauteur (*h*). Le modèle à ajuster était donné par la moyenne de trois circonférences :

$$C_{eq} = (C_{130} + C_{fc} + C_{fc+30})/3 \quad [1]$$

Où C_{130} = Circonférence à 1,30m sur les contreforts

C_{fc} = Circonférence à la fin des contreforts

C_{fc+30} = Circonférence à +30cm de la fin de contreforts

b) Analyse de la structure

Après avoir obtenu la circonférence équivalente, variable qui a permis de calculer la surface terrière (ST) de peuplement étudié et établir la distribution diamétrique des tiges en classes de diamètre de 10 cm. La ST s'exprime en m^2/ha , et la formule de la ST d'un arbre se note petit (g) = $(\delta \times d^2)/4$ [2]. La surface terrière d'un peuplement se note grand (G) et représente la somme des petits (g) de tous les arbres qui composent ce peuplement (Pardré et Bouchon, 1988). Elle est donc exprimée en mètre carré par hectare (m^2/ha). Dans le cadre de cette étude, c'est le diamètre équivalent qui était utilisé.

La répartition ou la distribution des individus par classes présente un grand intérêt en matière de gestion forestière car elle est une expression de la structure du peuplement. Elle traduit aussi la réaction de celui-ci aux conditions écologiques. Cette distribution sera faite par classe de *dbh*, de diamètre cime, de hauteur totale et de hauteur fût. Tous les arbres ainsi répartis selon les différentes classes, seront représentés par des histogrammes sur la base de leur fréquence. Il s'agissait de la distribution par classes des individus ou des effectifs.

c) Calcul des densités

$$Densité (m^2/ha) = \frac{\sum_{i=1}^n \pi \frac{Di^2}{4} (m^2)}{superficie du site (ha)} \quad [3]$$

Avec *i* un entier qui varie de 1 à *n* nombre de tiges

Di : diamètre à la hauteur de poitrine (1.30m) de *i* tige

d) Estimation de la biomasse aérienne et équations allométriques

Dans le cas de la présente étude, nous avons précisément la biomasse épigée totale d'un arbre (AGB) à partir de l'équation allométrique de Brown et al. (1989) prenant en compte la densité et de diamètre

$$AGB_{est} = \text{Exp}(-2.134 + 2.53 \ln(D^2)) \quad [4] \quad (\text{Brown et al., 1989})$$

e) Estimation de stock de carbone

L'estimation de stock de carbone dans la forêt dépend de la connaissance de la biomasse aérienne sèche (Vieira et al, 2008). Il a été signalé que le carbone contenu dans la biomasse sèche d'un arbre est de 50 % (Brown, 1997 ; Houghton et al., 2001 ; Baker et al., 2004 ; Chave et al., 2005 ; Lewis et al., 2009).

Pour notre étude, la quantité de Dioxyde de carbone (CO₂) qui serait émise dans l’atmosphère si tous arbres à contreforts dans le terrain – échantillon seront coupés et brûlés complètement peut être calculé comme suit : AGB x 0,5 [5]

Où : AGB = La biomasse aérienne sèche et vivante totale dans le terrain-échantillon ; 0,5= facteur de conversion.

2. Présentation des résultats obtenus

Dans cette partie, nous étalons les résultats obtenus en deux parties. La première s’intéresse à la répartition des individus en familles suivant la structure diamétrique et la seconde sera relative à l’estimation de l’AGB aérienne et stocks de carbone.

1.1. Structure : Afin de déterminer le type forestier dans lequel l’inventaire a été réalisé, nous avons analysé minutieusement quatre (4) paramètres (la densité des familles, la surface terrière, la densité d’arbres dans les plots et la distribution diamétrique).

Densité relative des familles

Légende

- 1 Cannabaceae
- 2 Burseraceae
- 3 Apocynaceae
- 4 Euphorbiaceae
- 5 Malvaceae
- 6 Urticaceae
- 7 Moraceae
- 8 Fabaceae
- 9 Meliaceae

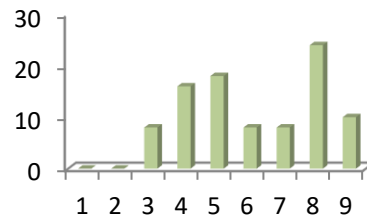


Figure 2 : Répartition des familles dans les plots.

Il est important de signaler que cette observation provient de trois hectares réalisés dans la forêt naturelle de Yasikia. Il ressort de cette figure que les Fabaceae (75%) forment la famille dont la diversité relative est la plus élevée. Elle joue un rôle majeur au niveau de chaque groupe structural que ce soit en termes de densité ou de dominance.

En définitive, nous pouvons dire que les espèces appartenant à la famille Fabaceae sont les plus diversifiées et disposées des contreforts pour le cas de notre étude.

– Surfaces terrière en fonction de classes de diamètre

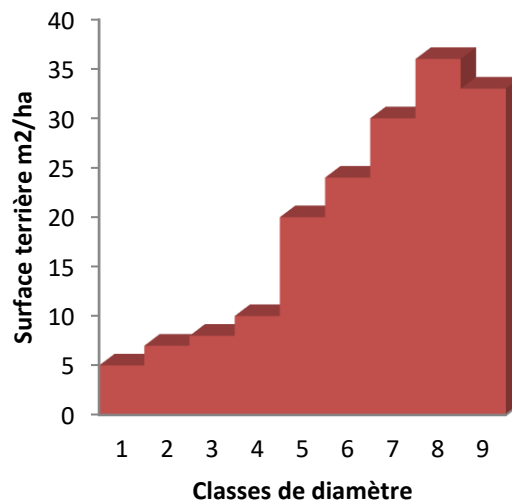


Figure 3 : Représentation de la surface terrière par classe de diamètre

La lecture de cette figure montre la distribution des surfaces terrières en fonction des classes de diamètre. Il nous semble nécessaire de préciser que sur cet histogramme, les classes de diamètre vont de [10 -20 cm] à [90 -100 cm]. Les classes [80 - 90 cm] et [90 – 100cm] occupent la plus grande proportion de surfaces terrières dans nos parcelles, suivi de ceux de diamètre moyen [70 – 80cm].

– Densité d’arbres à tronc non conforme et la surface terrière par espèce dans les plots

Un total de 189 arbres ont été échantillonnés sur trois plots d’un hectare chacun (57 arbres pour le plot 1 ; 65 arbres pour le plot 2 et 67 arbres pour le plot 3). Ces 189 pieds sont repartis en 20 espèces différentes. Ils ont été identifiés et mesurés, ils se répartissent entre en 14 genres et 9 familles.

Pour l’ensemble des espèces inventoriées, la densité ainsi que les différentes surfaces terrières de chaque espèce sont données dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 : Densité et surfaces terrières des espèces inventoriées

Espèces	Familles	Densités (N.ind/ha)	ST _{éq} (m ² /ha)	ST _{fc} (m ² /ha)	ST _{fc+30} (m ² /ha)
<i>Alstonia boonei</i>	Apocynaceae	5	3.830	2.850	2.657
<i>Canarium schweinfurthii</i>	Burseraceae	0.6	0.345	1.002	0.541
<i>Celtis mildbraedii</i>	Cannabaceae	2	0.073	0.070	0.065
<i>Cola altissima</i>	Malvaceae	0.5	0.250	0.177	0.164
<i>Dialium pentandrum</i>	Fabaceae	1.04	0.445	0.399	0.542
<i>Ficus mucoso</i>	Moraceae	0.8	0.26	0.091	0.087
<i>Guibourtia demeusei</i>	Fabaceae	0,5	0,030	0,028	0,027
<i>Hunteria congolana</i>	Apocynaceae	0.5	0.041	0.300	0.015
<i>Julbernardia seretii</i>	Fabaceae	13.5	8. 240	7.917	5.691
<i>Khaya anthotheca</i>	Meliaceae	0.5	0.154	0.144	0.138
<i>Lovoa trichilioides</i>	Meliaceae	0.5	0.293	0.290	0.273
<i>Milicia excelsa</i>	Moraceae	2	0.176	0.135	0.222
<i>Musanga cecropioides</i>	Urticaceae	0.4	0.234	0.122	0.602
<i>Piptadeniastrum africanum</i>	Fabaceae	0.56	0.325	0.267	0.255
<i>Pterocarpus soyauxii</i>	Fabaceae	0.5	0.135	0.108	0.106
<i>Pterygota bequaertii</i>	Malvaceae	0.6	0.055	0.065	0.034
<i>Ricinodendron heudelotii</i>	Euphorbiaceae	0.5	0.653	0.433	0.402
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	Fabaceae	34	29.666	20.962	17.390
<i>Tragia tenuifolia</i>	Euphorbiaceae	0.5	0.521	0.345	0.210
<i>Treculia africana</i>	Moraceae	0.5	0.601	0.411	0.467
Total		63.00	46.027	36.12	29.89

De l’analyse du tableau 1, il s’en suit que la densité des arbres dans les trois hectares de cette partie des forêts de Yasikia est de 63 individus par hectare. L’espèce *Scorodophloeus zenkeri* se présente comme celle qui a une densité élevée (34 individus à l’hectare). Elle est suivie de l’espèce *Julbernardia seretii* (13.5 individus à l’hectare) et *Alstonia boonei* (5 individus à l’hectare) alors que les autres espèces ont des densités faibles dans les trois plots. En tenant compte de différents points de mensurations, ces arbres occupent en moyenne 46,027m²/ha pour le diamètre équivalent, de 36,12 m²/ha pour le diamètre pris à la fin de contreforts et de 29,89m²/ha pour le diamètre à +30cm de contreforts.

- Distribution diamétrique des arbres

La figure 5 présente le nombre de tiges par classe de diamètre.

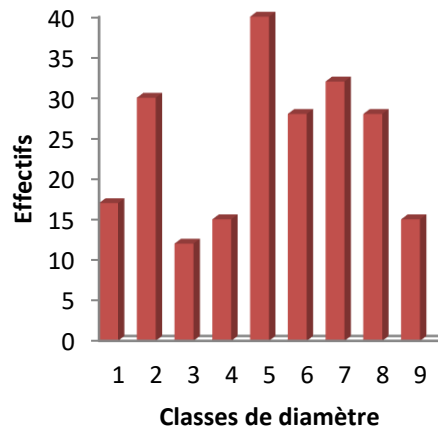


Figure 4 : Distribution diamétrique des arbres à tronc non conforme dans la parcelle

La figure 5 ci-dessus illustre les densités en fonction des classes de diamètre. Il sied de remarquer que les arbres à tronc non conforme sont plus représentés dans les classes diamétriques 2,5,6,7 et 8. L'allure des barres, nous permet de dire que cette structure est en forme de « Cloche », avec beaucoup d'arbres de tailles moyennes.

1.2. Estimations de biomasse ligneuse aérienne et stocks de carbone

Dans le cadre de cette étude, la biomasse et les stocks de carbone de 189 arbres, appartenant à 20 espèces, a été obtenue pour chaque point de mensuration de diamètre et selon l'équation allométrique de Brown et al., 1989.

a) Biomasse par espèces et classes de diamètre

Afin d'estimer la biomasse des parcelles de notre étude, l'équation de Brown et al. 1989 était utilisée. Cette équation a montrée que la teneur en biomasse des arbres à tronc non conforme est de 472,54T/ha lorsque l'on arrive à obtenir le diamètre équivalent. Tandis que lorsque le diamètre a été juste mesuré à la fin de contreforts, la biomasse obtenue est 338,23T/ha et afin lorsque le diamètre est pris à +30cm de la fin des contreforts, la biomasse est de 246,36T/ha.

b) Biomasse en fonction et distribution diamétrique

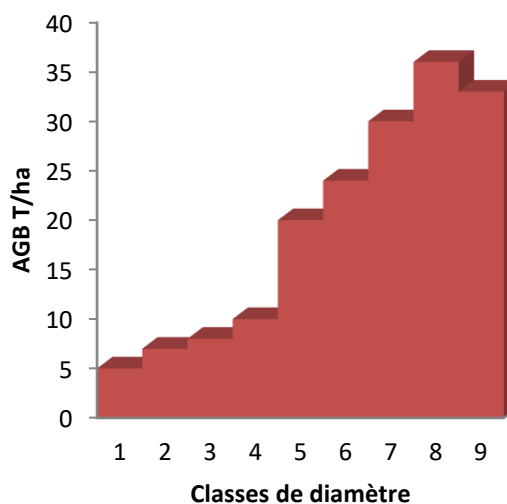


Figure 5 : Biomasses en fonction des classes de diamètre des arbres

Au regard de cet histogramme, il ressort que la biomasse la plus importante est observée sur les gros arbres. Nous constatons aussi que la proportion de la biomasse pour chaque classe de diamètre à la figure 6 ci-dessus est plus signifiée dans les classes diamétriques [50 – 60cm] ; [70 – 80cm] ; [80 – 90cm] et [90 – 100cm]. Elles représentent en moyenne 80% de l'AGB totale.

Il convient de signaler que Brown (1997) et Puig et al. (1990) ont confirmé que « le montant de la biomasse des arbres augmente avec le diamètre ».

2. Etude de corrélation entre l'AGB et la surface terrière

Pour les parcelles de notre étude on observe une relation de proportionnalité entre l'AGB et la surface terrière.

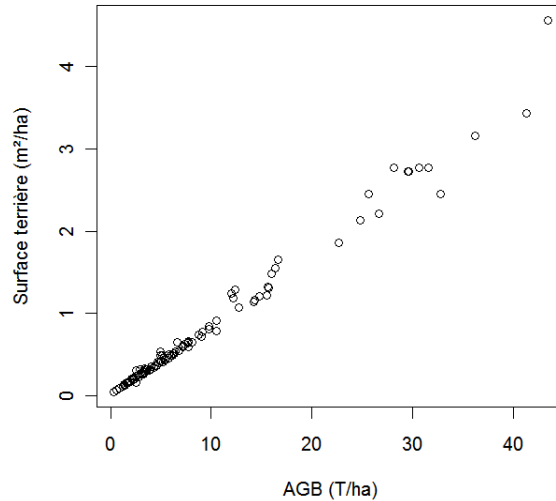


Figure 6: Corrélation entre l'AGB et la surface terrière

Nous constatons que la plus forte valeur de l'AGB correspond à la plus forte valeur de la surface terrière et de même la plus petite valeur de l'AGB correspond à la plus petite valeur de la surface terrière. Cette corrélation est forte et positive ($r=0.991$; $p\text{-value}= 2.2e-16$). La proportion de la biomasse pour chaque classe de diamètre à la figure ci-dessus, nous montre que la biomasse aérienne de grands arbres à contreforts ($>50\text{cm}$) représente en moyenne 80% de celle de l'AGB totale.

3. Discussions

3.1. Taille des parcelles et méthodes

La matière organique végétale est principalement produite par photosynthèse. Une partie de la production correspond à une augmentation de biomasse, récoltable par l'homme ou par d'autres consommateurs. Une autre partie est utilisable par la végétation pour ses propres besoins. L'étude que nous avons menée sur le terrain nous a permis d'évaluer la biomasse pour une catégorie précise d'arbres de la végétation. Nous ne connaissons pas la taille optimale d'une parcelle d'étude de la production forestière en termes de biomasse ; celle-ci doit faire l'objet d'une nouvelle recherche.

Pour notre étude, nous avons travaillé sur trois parcelles de 10000m^2 ($100 \times 100\text{m}$), soit 1 ha chacune. Les études menées par Poore (1968) ont montré qu'une parcelle de 2 à 4 ha était nécessaire pour obtenir un échantillonnage représentatif d'une forêt relativement homogène. Dany (2010) a confirmé qu'il y a une limite supérieure à la taille des parcelles puisque de grandes superficies augmentent la diversité et ne représentent plus le même type de forêt étudié.

L'étude sur l'évaluation de la biomasse doit se faire sur une forêt primaire celle-ci n'ayant pas encore subi toute perturbation humaine. Pour cette évaluation, la méthode classique consiste à couper et peser chaque organe de l'arbre. Cette méthode ne peut s'appliquer que dans une forêt en pleine exploitation. Notre étude étant menée dans une forêt primaire non perturbée, nous avons opté pour la non destruction possible de la structure de la forêt et comme alternative, nous avons utilisé des ficèles à la place des layons pour délimiter nos parcelles.

3.2. Structure du peuplement

a) Densité et distribution diamétrique

La densité obtenue dans nos différents plots, est en moyenne de 63 arbres à tronc non conforme/ha, cette densité ne concernant que des arbres ayant un statut particulier, ne peut concorder avec les valeurs généralement trouvées dans certaines forêts tropicales du monde dans la littérature ((HERTEL et al. 2009 ; GROENEVELD et al. 2009 ; Antin, 2009 ; LODHIYAL et al, 2009 ; ANONYME , 2009 ; in CULMSEE et al. 2010). La densité des tiges augmente avec l'augmentation des classes de diamètres (Tableau 1). Néanmoins, ces résultats corroborent à ceux de trouvés dans les forêts du Parc National de l'Ivondo at dans la Réserve Naturelle d'Ipassa à Masuku au Cameroun par QUENTIN (2011) qui a trouvé une densité de 51,5 arbres à tronc non conforme (contrefort)/ha. LOKE et al. (2015) ont obtenu 50,5 arbres à tronc avec contreforts/ha dans la forêt d'Epulu.

L'étude de la distribution diamétrique dans nos trois plots montre que les individus de petites tailles sont moins nombreux. Par conséquent, il ne serait pas nécessaire d'argumenter avec l'hypothèse de ROLLET (1971) in CULMSEE

(2010) faisait croire que « Dans une forêt naturelle, les diamètres des arbres se conforment à une distribution exponentielle. Donc il est tout à fait intéressant de noter que pour les arbres à tronc non conforme, à travers nos trois plots d'études, ne correspond pas à cette hypothèse : il y a beaucoup d'arbres de grand diamètre et très peu de petit diamètre. LOKE et al. (2010) l'ont également souligné. Ce qui nous permet de confirmer notre première hypothèse selon laquelle les arbres à tronc non conforme sont en grande partie ceux à gros diamètre et à faible densité relative dans une parcelle. Il convient de signaler qu'en se basant sur ce constat, ce site répond au critère d'une forêt non perturbée. Afin de mieux soutenir cette idée, il est intéressant d'observer la proportion de l'AGB et les classes de surface terrière ≥ 50 cm.

b) La surface terrière

Dans la littérature, nous avons constaté que la surface terrière de plusieurs parcelles de 1 ha dans les forêts tropicales humides de certains pays du monde est compris entre 30,7m²/ha et 45,75m²/ha. Cependant, nos résultats montrent des valeurs de surface terrière nettement supérieures à celles observées dans beaucoup de forêt du monde. Pour l'ensemble de nos trois parcelles, la surface terrière totale équivalente est de 46,027m²/ha alors que les arbres à tronc non conforme n'est qu'un cortège d'arbres dans une parcelle. Il convient de mentionner que la surface terrière des arbres ayant fait objet de cette étude augmente avec l'augmentation des classes de diamètre.

3.3. Biomasse totale

Notre étude fournit l'estimation de l'AGB totale la plus exacte actuellement disponible pour les arbres à tronc non conforme dans le bassin central congolais à Yasikia. Une conclusion générale est que dans ces forêts très satisfaisantes s'établissant à peu près de 472,54 T/ha pour les arbres à tronc non conforme en moyenne pour le site d'étude. A Epulu, LOKE et al. (2015) ont obtenu 469,770 T/ha . Il est à noter que cette estimation a été effectuée en utilisant un modèle allométrique amélioré (BROWN et al., 1989) pour estimer la biomasse des arbres.

Nos résultats de l'AGB pour les parcelles d'étude ne correspondent pas aux valeurs obtenues dans la littérature suite à l'attribution d'un statut particulier aux arbres ayant une architecture non conforme. Ce qui nous permet de confirmer notre deuxième hypothèse stipulant que les quantités de l'AGB et de stocks de carbone des arbres à tronc non conforme sont supérieures à celles trouvées dans la littérature.

Dans nos trois parcelles, les arbres de grandes tailles (≥ 60 cm de DBH) représentent 80% de la biomasse aérienne. Il sied de confirmer que dans les forêts tropicales, les grands arbres sont inévitablement l'élément dominant de la biomasse aérienne. Ceci a été confirmé également par LOKE et al. (2015) à Epulu.

4.1. Biomasse et différentes mensurations

La figure ci – dessous présente la situation comparative de différentes mensurations faites sur un arbre à tronc non conforme avec l'estimation de la biomasse.

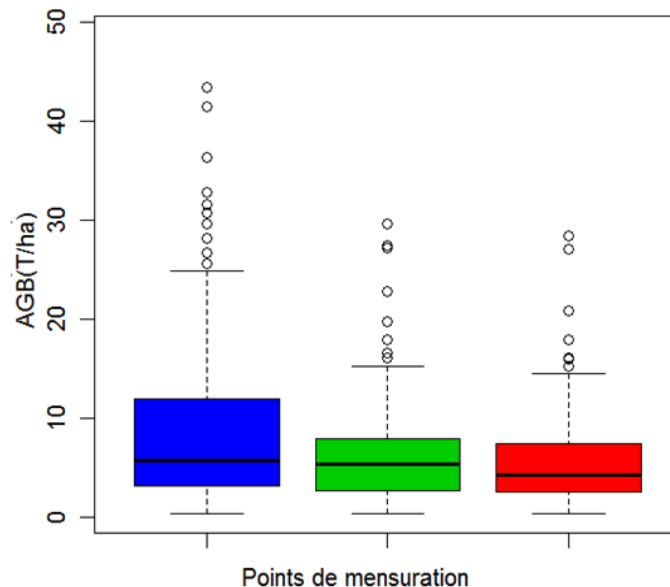


Figure 7 : AGB par point de mensuration (D_{eq} , D_{fc} et D_{fc+30})

En utilisant une seule équation allométrique (BROWN et al 1989), nous avons essayé de l'appliquer à différents points de mensuration de Diamètre. Après avoir comparé ces trois AGB, nous avons constaté qu'il y a des grandes variations entre l'AGB calculée à partir de D_{eq} , D_{fc} et D_{fc+30} . Après analyse de variation, nous avons trouvé une grande hétéroscédasticité entre des variable ($AGB_{eq} > ou \neq de AGB_{fc} > ou \neq AGB_{fc+30}$) avec P-value= 2.2e-16 ; dl=98 ; $\alpha=0.1$. le P-value étant plus bas que le seuil, ces trois AGB sont différents significativement. Ce qui nous permet de confirmer notre dernière et troisième hypothèse selon laquelle les différentes mensurations de Circonférence ($C_{1.30}$, C_{fc} et C_{fc+30})

provoquent une variation occasionnant ainsi une sous estimation de la biomasse équivalente des arbres à tronc non conforme. A cela, il ressort que la prise de circonférence à la fin de contreforts et au dessus, sous estime la quantité de l'AGB, la surface terrière et par conséquent même les stocks de carbone pour un arbre à tronc avec contreforts

4. Conclusion et perspectives

Dans cette étude, nous avons élucidé une estimation précise de la biomasse aérienne ligneuse et de stocks de carbone par la méthode non destructrice des arbres avec contreforts de la forêt de Yasikia en utilisant la mesure de circonférence à trois modalités (1.30m sur contreforts, Fin contreforts à une hauteur h et à 30cm de la fin de contreforts) et la densité du bois.

Les trois hypothèses émises ont été toutes confirmées et les objectifs assignés étaient atteints dans la mesure où nous avons pu obtenir leur structure et une estimation de l'AGB appropriée pour ce cortège d'arbres.

Cela nous permet de conclure que le modèle Pantropicale développé par BROWN et al. (1989), paraît être le plus approprié pour ce travail. Toute fois, les chercheurs FOSTER et al. (2002) ont précisé qu'aucune procédure statistique ne permet de décider sans ambiguïté quel modèle est le meilleur.

En comparant les valeurs de la surface terrière (variant de 0.066 à 46,027 m²/ha) et de la densité (en moyenne de 63 arbres à tronc non conforme par hectare) de nos trois plots d'étude avec des données de la littérature : 35.4 m²/ha pour la surface terrière et de 476 arbres par hectare pour la densité d'après CULMSEE et al. (2010) en Indonésie, nous avons la preuve que les forêts de Yasikia présentent une structure exceptionnelle..

En ce qui concerne la biomasse épigée ainsi que les stocks de carbone, nos estimations sont différentes de celles trouvées dans la littérature et cela se justifie par la prédiction de diamètre équivalent. Cette biomasse varie en fonction de point de mensuration de diamètre.

Perspectives

Tenant compte de l'intérêt de cette étude et de son importance à l'échelle de la planète ; certaines recommandations ont été retenues :

- Certaines parcelles mériteraient d'être retracées afin d'éviter d'énormes marges d'erreurs sur les mesures des arbres.
- L'estimation de la biomasse épigée devrait être effectuée en attribuant aux arbres à contrefort (ou autre épiphytes, lianes, fougères, palmiers, à racines échasses) un statut particulier permettant d'obtenir la circonférence équivalente.
- En amont des projets de gestion de ces forêts, une quantification du stock de carbone serait nécessaire pour quantifier les gains potentiels ou les pertes de carbone dans la forêt de Yasikia..

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Amsallem I., Kone P.D., Wilkie M.L. & Ngandji M., 2004 : *Gestion durable en Afrique central : à la recherche de l'excellence*. Bois et forêts des tropiques 281 (3), 5–17.
- [2] Baker T. R., Phillips O. L., Malhi Y., Almeida S., Arroyo L., DI FIORE A., Erwin T., Killeen T. J., Laurance S. G., Laurance W. F., Lewis S. S. L., Lloyd J., Monteagudo A., Neill D. A., Patino S., Pitman N. C. A., Silva J. N. M. & Vasquez Martinez R., 2004 : *Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass*. Global Change Biology, 10, 545–562.
- [3] Brown S., Gillepsie a. J. R. & e. Lugo A., 1989 : *Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data*. Forest Science, 35 (4), 881–902.
- [4] Brown et Lugo, 1992 ; Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the brazilian amazon. Interciercia 17 (1), 8 -18.
- [5] Brown, S., 1997 : *Estimating biomass and biomass changes of tropical forests. A primer*. (FAO).
- [6] Clark, D.A., Brown, S., Kicklighter, D.W., Chambers, J.Q., Thomlinson, J.R., Ni, J. and Holland, E.A., 2001 : *Net primary production in tropical forests: an evaluation and synthesis of existing field data*. Ecological Applications 11, 371–384.
- [7] Chave J., Andalo C., Brown S., Cairns M.A., Chambers J.Q., Eamus D., Folster H., Fromard F., Higuuchi N., Kira T., Lescure J.-P., Nelson B.W., Ogawa H., Puig H., Riera B., Yamakura T., 2005 : *Tree allometry and improved estimation of carbone stock and balance in tropical forest*. Oecologia, 145: 87-99.
- [8] Chave, J., Muller-Landau, H.C., Baker, T.R., Easdale, T.A., ter Steege, H. and Webb, C.O., 2006 : *Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 Neotropical tree species*. Ecological Applications 16, 2356–2367.
- [9] Commission des forêts d'Afrique Centrale (COMIFAC), 2005. Note d'information 2ème sommet, Brazzaville-Congo : Yaoundé. COMIFAC, Rapport final.
- [10] Culmsee H., Leuschner C., Moser G. and Pitopang R., 2010. Forest aboveground biomass along an elevational transect in Sulawesi, Indonesia, and the role of Fagaceae in tropical montane rain forests. Journal of Biogeography 37, 960–974.
- [11] Dany T., 201: Estimation de la quantité de carbone stockée par une forêt en reconstitution: cas d'une jeune jachère dans la forêt classée de la Mondah. Mémoire DEA (Techniques des eaux et forêts)
- [12] FAO, 2005 : *Evaluation des ressources forestières nationales du Cameroun*. Rapport, Yaoundé, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 231 p.
- [13] FOSTER, R.B., HERNANDEZ, N.C., KAKUDIDI, E.K. & BURNHAM, R.J. 1998: *Rapid assessment of tropical plant communities using variable transects: an informal and practical guide*. Field Museum of Chicago. Chicago, Illinois.
- [14] Gnangle C., 2012 : *Parcs à karité (Vitellaria paradoxa) (Gaertn. c. f.) (Sapotaceae) au Bénin: importance socio-culturelle, caractérisations morphologique, structurale et régénération naturelle*, Université d'Abomey-Calavi (Bénin) - DEA en aménagement et gestion des ressources naturelles (agroforesterie)
- [15] Makana, J.R. 1999 : *Forest structure, species diversity and spatial patterns of trees in monodominant and mixed stands in the Ituri forest*, Democratic Republic of Congo. M.S. Thesis, Department of Forest Science, Oregon State University.
- [16] Makana, J.-R., T.B. Hart et J. Hart 2001 : *GUIDE METHODOLOGIQUE POUR LE PLACEAU DE 40HA DE LA RESERVE DE FAUNE A OKAPIS EPULU* ;
- [17] Henry M., Besnard A., Asante W., Eshun J., Adu Bredu S., Valentini R., Brenoux M. & Saint-André L., 2010. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. Forest Ecology and Management, 260(8), 1375-1388.
- [18] Houghton R.A., Dos Santos Alvalá, R.C., Soares, J.V. et Yu, 2001 : *Distribution of aboveground live biomass in the Amazon basin*. Global Change Biology, 13(4): 816–837.
- [19] Laporte et al., 2008. Les fonctions de la REDD en République Démocratique du Congo (RDC) : The woods hole research centre, p.16.
- [20] Lewis, Simon L., Lloyd, Jon, Sitch, Stephen, Mitchard, Edward T.A., & Laurance, William F. 2009: *Changing Ecology of Tropical Forests : Evidence and Drivers*. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 40(1), 529_549.
- [21] Malhi Y., et Grace J., 2000 : *Tropical forests and atmospheric carbon dioxide*. Trends in Ecology and Evolution 15(8): 332-337.
- [22] Picard et Gourlet, 2008 : *Manuel de référence pour l'installation de dispositif permanent en forêt de production dans le bassin du Congo*. Commission des forêts d'Afrique Centrale p.87, 88, 89, 90, 91, 92 et 93.
- [23] Puig H., Riera B. and Lescure J.P., 1990. Phytomasse et productivité. Bois et Forêts des Tropiques n°220 Spécial Guyane : 25- 32 p. [lianes ; épiphytes ; palmiers ; biomasse totale.
- [24] Quentin M., 2012 : *Estimation de biomasse en forêt tropicale humide / Propagation des incertitudes dans la modélisation de la distribution spatiale de la biomasse en Guyane française*. Thèse doctorale. UAG-FSEN. 184p.
- [25] Rondeux J., 1999 : *La mesure des arbres et des peuplements forestiers*. 2e ed. Gembloux : Les Presses agronomiques de Gembloux. 521 p.

- [26] Vieira S. A., Alves L. F., Aidar M., Araujo L. S., Baker T., Batista J. L. F., Campos M. C., Camargo P. B., Chave J., Delitti W. B. C., Higuchi N., Honorio E., Joly C. A., Keller M., Martinelli L. A., Mattos E. A. de, Metzker T., Phillips O., Santos F. A. M. dos, Shimabukuro M. T., Silveira M. & Trumbore S. E., 2008. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. *Biota Neotropica*, 8(2), 21-29. 113.
- [27] Vincke D., 2011 : *Elaboration d'une méthodologie d'estimation de la biomasse et du stockage de carbone des populations d'espèces ligneuses commerciales du sud-est du Cameroun*. Travail de fin d'études, Gembloux, Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, 65 p.
- [28] Wayner W., 2011 : *Guide de terrain pour l'estimation de la biomasse et le carbone forestier*. Version 1.0. Woods Hole Research Center.
- [29] Weldenson D., 2010 : évaluation de la biomasse et des stocks de carbone sur des placettes forestières en forêts tropicales humides de Guadeloupe
- [30] White L.J.T et Edwards A., 1989. Conservation en forêt pluvial africaine: méthodes de recherche. WCS.pp.130-131.