

## Estimation de la biomasse aérienne et du carbone des arbres de *Lophira lanceolata* dans la forêt classée de l'Ouémé supérieur au Bénin

Roméo Worou ADJERAN<sup>1\*</sup>, Toussaint Olou LOUGBEGNON<sup>2</sup> et Gaudence Julien DJEGO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire d'Ecologie Appliquée (LEA), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA),  
Université d'Abomey-Calavi (UAC), 01 BP 526 Cotonou, République du Bénin

<sup>2</sup> Ecole de Foresterie et d'Ingénierie du Bois (EFIB), Université Nationale d'Agriculture (UNA),  
BP 43 Kétou, Bénin

\* Correspondance, courriel : [adjeranromeo@gmail.com](mailto:adjeranromeo@gmail.com)

### Résumé

L'accroissement de la biomasse d'une forêt est important pour sa conservation. L'objectif de cette étude est d'estimer la biomasse aérienne et le carbone des arbres de *Lophira lanceolata* dans la forêt classée de l'Ouémé supérieur au Bénin. Ainsi, 42 placettes carrées de 30 mètres de dimension sont installées. A l'intérieur de chaque placette, les diamètres à hauteur de poitrine ( $dbh \geq 10$  cm) et les hauteurs des individus de *Lophira lanceolata* sont mesurés. Quatre équations allométriques sont utilisées pour quantifier la biomasse et le carbone de l'espèce. Le test-t apparié et le test ANOVA sont utilisés pour comparer les quantités de biomasse sur les quatre équations. Le test de Shapiro-Wilk est utilisé pour comparer le stock de carbone. La moyenne de la biomasse de *Lophira lanceolata* par placette est de 11,50 t/ha ; 9,43 t/ha ; 9,22 t/ha et 6,58 t/ha respectivement pour l'Équation 2, l'Équation 4, l'Équation 1 et l'Équation 3. Cette différenciation des équations se confirme également par le test de Shapiro-Wilk. Mais le test de Kruskal Wallis indique que toutes les quatre équations utilisées sont similaires. Le test-t apparié prouve que l'Équation 1 et l'Équation 4 sont similaires. L'Équation 1 donne une grande quantité de stock de carbone avec 2304998,62 tC/ha x ha. La biomasse et le diamètre des arbres de *Lophira lanceolata* sont liés. Face à cela, il est nécessaire de conserver l'espèce afin qu'elle procure de grande quantité de biomasse.

**Mots-clés :** biomasse, carbone, équation allométrique, *Lophira lanceolata*.

### Abstract

**Overground biomass and carbon estimation of *Lophira lanceolata* trees in the Ouémé forest classified upper in Benin**

Increasing the biomass of a forest is important for its conservation. The objective of this study is to estimate the overground biomass and carbon of *Lophira lanceolata* trees in the Ouémé forest classified upper in Benin. Thus, 42 square plots of 30 meters in size are installed. Inside each plot, the diameters at breast height ( $dbh \geq 10$  cm) and the heights of *Lophira lanceolata* feet are measured. Four allometric equations are used to quantify the species' biomass and carbon. The paired t-test and the ANOVA test are used to compare the quantities of biomass on the four equations. The Shapiro-Wilk test is used to compare the carbon stock. The average biomass of *Lophira lanceolata* per plot is 11.50 t / ha; 9.43 t / ha; 9.22 t / ha and 6.58 t / ha

respectively for *Equation 2*, *Equation 4*, *Equation 1* and *Equation 3*. This differentiation of the equations is also confirmed by the Shapiro-Wilk test. But Kruskal Wallis' test indicates that all the four equations used are similar. The paired t-test proves that *Equation 1* and *Equation 4* are similar. *Equation 1* gives a large amount of carbon stock with 2304998.62 tC / ha x ha. The biomass and diameter of *Lophira lanceolata* trees are related. Faced with this, it is necessary to conserve the species so that it provides a large amount of biomass.

**Keywords :** *biomass, carbon, allometric equation, Lophira lanceolata.*

## 1. Introduction

La déforestation due à la recherche de bois par l'industrie forestière ou pour l'agriculture est en constante progression dans le monde et engendre des problèmes environnementaux [1]. L'agriculture est responsable des répercussions directes sur l'occupation du sol et la configuration du paysage [2]. Ainsi les ressources végétales qui constituent pour les ruraux d'importantes sources de soins médicaux et d'aliments, sont mal gérées du fait de la forte emprise humaine [3]. Donc l'une des alternatives pour diminuer la dégradation des forêts serait relative à l'accroissement de la biomasse des arbres. Puisque les forêts naturelles procurent une large gamme de biens et de services aux populations locales [4]. Ces forêts jouent un rôle appréciable dans la diminution de la concentration du gaz carbonique à cause des quantités importantes de carbone stockées dans leur végétation et le sol [5]. En effet, l'efficacité du stockage de carbone dans la matière organique est un élément qui reflète une bonne santé d'un écosystème, de la qualité des conditions environnementales comme le climat, la disponibilité en éléments nutritifs et en eau du sol [6]. Pour la mise en œuvre du mécanisme de réduction des émissions dues à la déforestation et la dégradation, la quantification des stocks de biomasse et de carbone est essentielle [7]. Ainsi, quantifier les stocks de biomasse et de carbone contenus dans les forêts tropicales est devenu une priorité internationale [8]. De ce fait, la forêt représente une source d'énergie, de matériau, et constitue un milieu riche en biodiversité [9]. Les arbres ont un rôle compensatoire dans la séquestration du dioxyde de carbone issu des activités anthropiques [10]. L'augmentation des surfaces forestières engendre l'augmentation de leur biomasse [11]. Mais les activités humaines sont responsables des changements de la superficie de ces forêts [12]. Puisque les modes de gestion agricole et pastorale font remettre en question la durabilité de la ressource des parcs arborés [13]. La présente étude est initiée dans le but de développer des solides arguments quant à l'importance de la biomasse d'un arbre. La spécificité est concentrée sur les arbres de *Lophira lanceolata*. Puisque *Lophira lanceolata* possède de multiples usages [14]. L'objectif de cette étude est d'estimer la biomasse aérienne des arbres de *Lophira lanceolata* dans la forêt classée de l'Ouémé supérieur afin d'en déduire leur potentiel de stockage de carbone. De façon spécifique, il s'agit de tester plusieurs équations allométriques pour estimer cette biomasse. Et de comparer les variations de ces équations allométriques dans le but d'améliorer les estimations de la biomasse et des stocks de carbone de *Lophira lanceolata* au Bénin.

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Situation géographique

La forêt classée de l'Ouémé Supérieur est située dans les communes de Djougou (Département de la Donga), de N'Dali et de Tchaourou (Département du Borgou). Elle est localisée entre 9°11' et 9°47' de Latitude Nord et entre 2°00' et 2°30' de Longitude Est (*Figure 1*). Elle couvre une superficie de 117 542 ha.

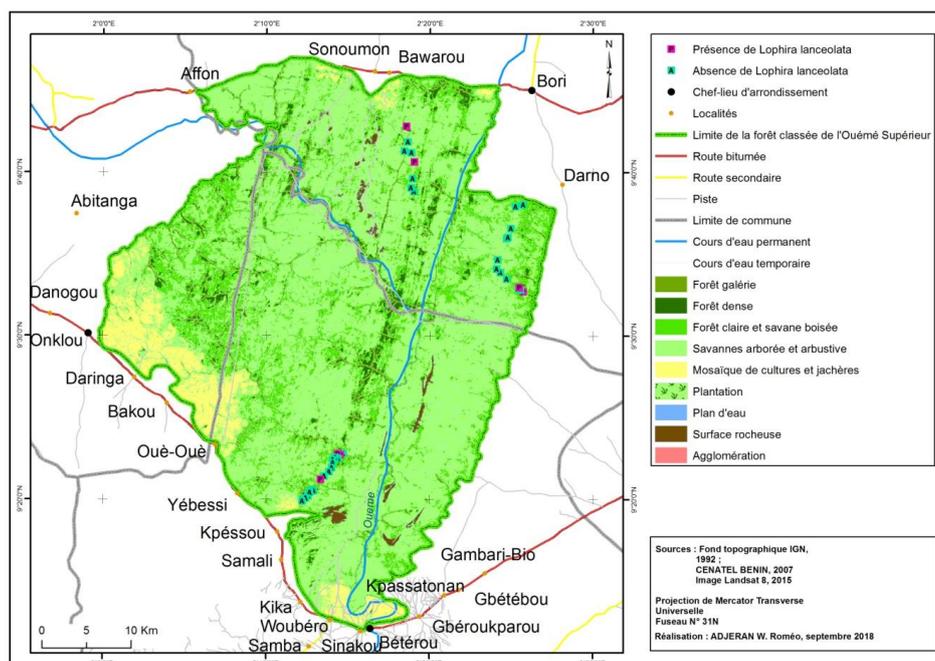


Figure 1 : Situation géographique de la forêt classée de l’Ouémé Supérieur

## 2-2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans le cadre de cette étude est constitué des individus de *Lophira lanceolata* au sein des placettes installées dans la forêt classée de l’Ouémé supérieur.

## 2-3. Méthode de collecte des données

Les données ont été collectées dans les unités d’observation de la forêt classée de l’Ouémé supérieur. Ces unités d’observation sont faites selon une approche probabiliste. A cet effet 42 placettes de 30 m x 30 m ont été installées avec une distance de 200 m l’un de l’autre. A l’intérieur de chaque placette, les diamètres de *Lophira lanceolata* ayant un DBH  $\geq 10$  cm à hauteur de poitrine sont mesurés à l’aide du compas forestier. De plus les hauteurs totales des arbres de cette espèce sont mesurées à l’aide de clinomètre.

### 2-3-1. Description des placettes comportant *Lophira lanceolata* au niveau de la forêt

Sur les 42 placettes installées, *Lophira lanceolata* est présente dans 8 placettes. Le **Tableau 1** renseigne les caractéristiques des placettes dans lesquelles *Lophira lanceolata* est présente.

Tableau 1 : Caractéristiques des placettes où *Lophira lanceolata* est présente

Placettes	Coordonnées		Type de formation	Type de sol	Situation topographique
	X	Y			
P10	416818	1036788	Savane arbustive	Argilo-limoneux	Mi-versant
P11	416530	1036903	savane arbustive	Gravelot-argileux	Mi-versant
P19	414598	1034033	Savane boisée	Argilo-limoneux	bas-versant
P23	425146	1069805	Savane boisée	Gravelot-argileux	sommet de versant
P27	424249	1073823	Savane arbustive	Argilo-limoneux	bas-versant
P28	437316	1055145	Savane boisée	Argilo-limoneux	bas-versant
P32	436890	1055631	Savane arborée	Gravelot-argileux	sommet de versant
P33	436872	1055628	Savane arbustive	Argilo-limoneux	sommet de versant

## 2-4. Analyse des données

### 2-4-1. Estimation de la biomasse aérienne des individus de *Lophira lanceolata*

Pour calculer la biomasse aérienne de chaque arbre de *Lophira lanceolata*, quatre équations allométriques sont testées. Les raisons qui ont motivé le choix de ces équations sont multiples. La forêt classée de l'Ouémé supérieur fait partir de la région soudanienne. De plus le régime pluviométrique est inférieur à 1500 mn/an. Cette forêt appartient à une zone de forêt sèche. Ensuite les variables qui entrent dans les équations diffèrent d'une équation à l'autre. C'est sur ces remarques que les quatre équations allométriques ont été retenues pour estimer la biomasse au niveau des individus de *Lophira lanceolata* dans cette forêt. **L'Équation 1 et l'Équation 2** sont issues de [15]. Alors que **l'Équation 3** provient de [16] et **l'Équation 4** provient de [17].

$$BA = 0,112 \times (dbh^2 \times H \times \rho)^{0,916} \quad (1)$$

$$BA = \rho \times \exp(-0,667 + 1,784 \ln(dbh) + 0,207(\ln(dbh))^2 - 0,0281 (\ln(dbh))^3) \quad (2)$$

$$BA = 0,132 \times (dbh)^{2,230} \quad (3)$$

$$BA = dbh (1,929 + 0,116 \times dbh + 0,013 \times dbh^2) \quad (4)$$

*BA* étant la Biomasse aérienne sèche,  $\rho$  la densité de bois sec en  $g/cm^3$  et *dbh* le diamètre à hauteur de poitrine en cm.

Ces équations allométriques ont des variables différentes. **L'Équation 1** prend en compte le *dbh*, la hauteur et la densité de bois. Alors que **l'Équation 2** prend en compte le *dbh* et la densité de bois. **L'Équation 3 et l'Équation 4** considèrent uniquement le DBH. La densité de bois sec de *Lophira lanceolata* a été obtenue dans la base de données de Densité de Bois sec en Afrique. Après le calcul de la biomasse de chaque arbre de *Lophira lanceolata*, la somme des biomasses en Kilogramme (Kg) par placette est calculée. Cette dernière a été ensuite convertie en tonne /hectare (t/ha) par **l'Équation 5**.

$$BA_{(t/ha)} = BA_{(Kg)} / 1000 / 0,09 \quad (5)$$

*BA<sub>(t/ha)</sub>* étant la Biomasse en tonne/hectare, *BA<sub>(Kg)</sub>* la Biomasse en Kilogramme et 0,09 la superficie d'une placette.

### 2-4-2. Relation entre biomasse-diamètre-hauteur des arbres de *Lophira lanceolata*

La relation entre la biomasse, le diamètre et la hauteur des arbres de *Lophira lanceolata* est effectuée à l'aide d'une équation de régression multiple (**Équation 6**).

$$BA = c + a \times D + b \times H \quad (6)$$

*BA* étant la Biomasse aérienne de *Lophira lanceolata*, *c*, *a* et *b* les constantes.

### 2-4-3. Calcul du carbone aérien des individus de *Lophira lanceolata*

Pour connaître le carbone de *Lophira lanceolata* en tonne de carbone par hectare et par placette, **l'Équation (7)** est utilisée.

$$\text{Carbone (tC/ha)} = BA \text{ (t/ha)} \times 0,47 \quad (7)$$

*BA<sub>(t/ha)</sub>* étant la Biomasse en tonne /hectare et 0,47 est la fraction de carbone dans la biomasse.

#### **2-4-4. Utilisation des tests statistiques pour l'appréciation de la biomasse et du carbone**

Les statistiques descriptives sont utilisées pour apprécier la variation de la biomasse et du carbone des placettes. Cette statistique prend en compte le minimum, le maximum, la moyenne, l'écart type, l'intervalle de confiance et l'incertitude. Ensuite la boîte de dispersion de la biomasse est effectuée en fonctions des équations avec le logiciel R3.3.3. Ceci permet de visualiser la quantité de biomasse de placettes de chaque équation allométrique. En plus le test-t apparié est effectué avec le logiciel R 3.3.3 pour vérifier l'existence ou non d'une différence significative sur les quantités de biomasse selon les équations. Pour ce test, les équations des biomasses des placettes sont testées deux à deux. Ce test compare deux variables entre elles. Ainsi il est utilisé pour comparer les résultats des quantités de biomasse des équations pris deux à deux. Donc la comparaison s'est faite de la manière suivante : *l'Équation 1 et l'Équation 2* ; *l'Équation 1 et l'Équation 3* ; *l'Équation 1 et l'Équation 4* ; *l'Équation 2 et l'Équation 3* ; *l'Équation 2 et l'Équation 4* ; *l'Équation 3 et l'Équation 4*. En outre, le carbone des placettes de chaque équation est visualisé par la courbe de la boîte de dispersion issue de la fonction graphique du logiciel R3.3.3.

#### **2-4-5. Comparaison des quantités de carbone par le test d'ANOVA**

Cette ANOVA (Analyse de Variance à un facteur) est utilisée pour comparer les quantités de carbone issues des quatre équations allométriques. Le logiciel Minitab14.0 est utilisé.

#### **2-4-6. Calcul du stock de carbone aérien de *Lophira lanceolata***

Afin de connaître le stock de carbone de *Lophira lanceolata* dans la forêt, le stock moyen de carbone aérien des individus de *Lophira lanceolata* dans la forêt est calculé d'abord par la formule [8] de *l'équation 8*. Puis le stock de carbone de l'ensemble des pieds de *Lophira lanceolata* dans la forêt est calculé par *l'Équation 9*.

$$SMCA_{(tC/ha/placette)} = \sum \text{des valeurs de carbones}_{(tC/ha)} / NP \quad (8)$$

*SMCA* étant le Stock Moyen de Carbone Aérien en tonne de Carbone par hectare et par placette, *NP* le nombre de placettes

$$SCA_{(tC/ha \times ha)} = SMCA_{(tC/ha/placette)} \times SF \quad (9)$$

*SCA* étant le Stock de Carbone Aérien, *SF* la superficie de la forêt.

Enfin, le test de Shapiro-Wilk est fait avec le logiciel R 3.3.3 pour vérifier l'existence ou non d'une différence significative sur le stock de carbone issu de ces quatre *Équations*.

### **3. Résultats**

#### **3-1. Estimation de la biomasse de *Lophira lanceolata***

##### **3-1-1. Biomasse aérienne des individus de *Lophira lanceolata* en fonction des équations par placette**

La biomasse aérienne en kilogramme (Kg) puis en tonne par hectare (t/ha) des arbres de *Lophira lanceolata* par placette et par types d'équation est présentée dans le **Tableau 2**.

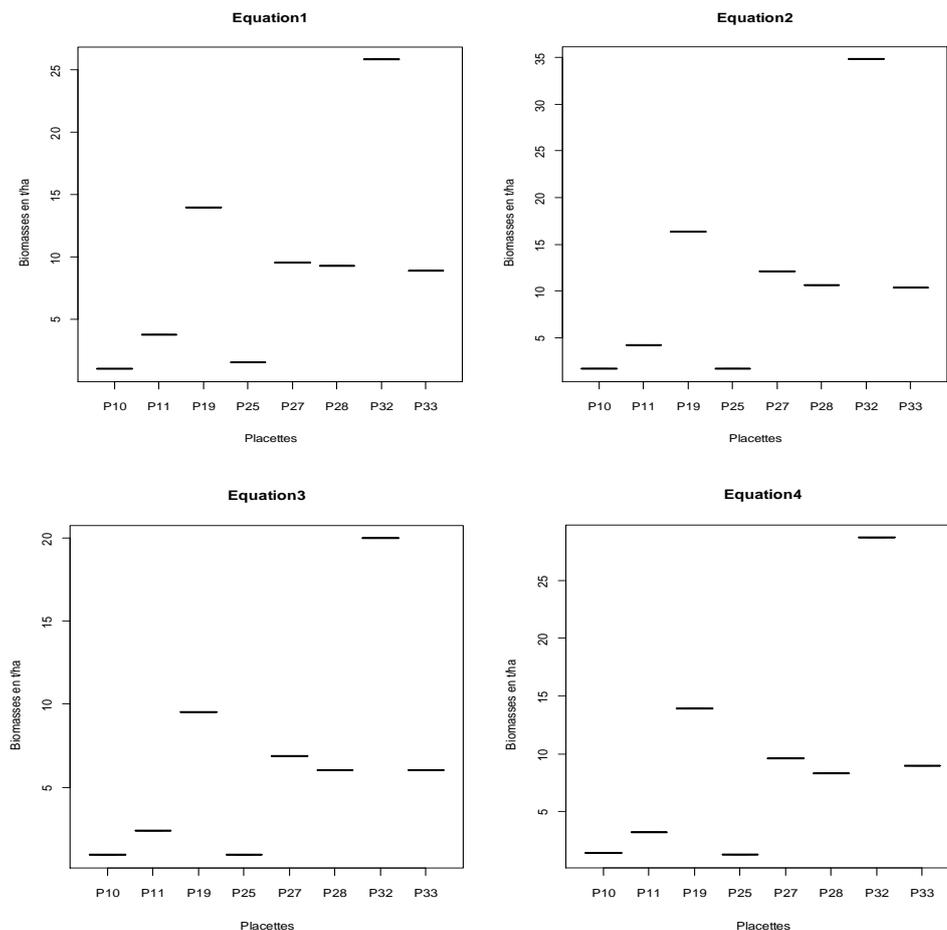
**Tableau 2 : Biomasse aérienne des individus de *Lophira lanceolata* par placette en fonction des équations**

Placettes	Equation 1		Equation 2		Equation 3		Equation 4	
	BA en Kg	BA en t/ha						
P10	89,69	1	156,91	1,74	84,91	0,94	130,85	1,45
P11	339,66	3,77	382,77	4,25	214,19	2,38	289,4	3,22
P19	1254,09	13,93	1474,92	16,39	854,59	9,5	1255,22	13,95
P25	140,32	1,56	152,55	1,7	83,61	0,93	112,62	1,25
P27	856,61	9,52	1089,46	12,11	619,26	6,88	867,39	9,64
P28	835,67	9,29	962,53	10,69	543,03	6,03	746,37	8,29
P32	2320,49	25,78	3128,94	34,77	1796,49	19,96	2581,22	28,68
P33	800,23	8,89	932,34	10,36	543,06	6,03	806,33	8,96

De grandes quantités de Biomasses s'observent avec *l'Équation 2* et de faibles quantités avec *l'Équation 3*. La biomasse varie entre 1,7 t/ha à 34,77 t/ha avec *l'Équation 2* et de 0,93 t/ha à 19,96 t/ha avec *l'Équation 3*.

### 3-1-2. Boîte de dispersion de la biomasse des placettes suivant les équations allométriques

La *Figure 2* présente la dispersion de la biomasse des placettes suivant les *Équations* allométriques.

**Figure 2 : Boîte de dispersion de la biomasse au sein des placettes et suivant les équations allométriques**

L'analyse de la **Figure 2** montre que la dispersion maximale se trouve au niveau de **l'Équation 2**, avec environ 35 tonnes de biomasse par hectare. Alors que la faible valeur de la biomasse se trouve au niveau de **l'Équation 3**.

**3-1-3. Test-t apparié sur biomasse entre les équations deux à deux**

Le **Tableau 3** présente les résultats du test-t apparié fait entre les équations deux à deux, sur la biomasse de *Lophira lanceolata*.

**Tableau 3 : Test-t apparié pour apprécier la différence ou non de la biomasse entre les équations deux à deux**

Type de liaisons entre les équations	t	Degré de liberté (df)	Probabilités
Test entre Equation 1 et Equation 2	-2,2695	7	0,05752
Test entre Equation 1 et Equation 3	3,868	7	0,006188
Test entre Equation 1 et Equation 4	-0,51054	7	0,6253
Test entre Equation 2 et Equation 3	3,05	7	0,01858
Test entre Equation 2 et Equation 4	3,1724	7	0,01565
Test entre Equation 3 et Equation 4	-2,9189	7	0,02237

En observant les probabilités associées au test, on constate qu'il y a une différence entre le test-t apparié sur les équations testées deux à deux (car les probabilités sont inférieures à 0,05). Mais selon le test, **l'Équation 1** et **l'Équation 4** sont similaires (car la probabilité donne 0,62, ce qui est supérieure à 0,05).

**3-1-4. Statistique descriptive de la biomasse aérienne de Lophira lanceolata et par équation allométrique**

Le **Tableau 4** présente la statistique descriptive de la biomasse aérienne de *Lophira lanceolata* par **Équation** allométrique

**Tableau 4 : Statistique descriptive de la biomasse aérienne de Lophira lanceolata et par équation allométrique**

	Équation 1	Équation 2	Équation 3	Équation 4
	Biomasse en t/ha	Biomasse en t/ha	Biomasse en t/ha	Biomasse en t/ha
Minium	1,00	1,70	0,93	1,25
Maximum	25,78	34,77	19,96	28,68
Moyenne	9,22	11,50	6,58	9,43
Ecart type	8,04	10,77	6,21	8,96
Erreur type	2,84	3,81	2,19	3,17
Intervalle de confiance	5,57	7,46	4,30	6,21
moyenne-1C	3,64	4,04	2,28	3,22
Incertitude	60,46	64,87	65,34	65,83

La moyenne de la biomasse de *Lophira lanceolata* par placette est de 11,50 t/ha ; 9,43 t/ha ; 9,22 t/ha ; 6,58 t/ha respectivement pour **l'Équation 2**, **l'Équation 4** ; **l'Équation 1** et **l'Équation 3**.

**3-1-5. Relation entre la biomasse-le diamètre-la hauteur des arbres de Lophira lanceolata**

Le **Tableau 5** donne la relation entre la biomasse-le diamètre-la hauteur des arbres de *Lophira lanceolata*.

**Tableau 5 : Relation entre la biomasse-le diamètre-la hauteur des arbres de *Lophira lanceolata***

		Constantes	t (test des student)	Probabilité	R <sup>2</sup> ajusté	Fisher	Signification globale du modèle
<b>Équation 1</b>	Constant	-312,508	-4,78	0,0001	0,911 ou 91,1 %	83,305	0,001
	Diamètre	26,905	6,704	0,0001			
	Hauteur	3,006	0,312	0,76			
	Equation du modèle	Biomasse = -312,508 + 26,905xDBH *** +3,006 x H					
<b>Équation 2</b>	Constantes		t(test des student)	Probabilité	R <sup>2</sup> ajusté	Fisher	Signification globale du modèle
	Constant	-304,206	-5	0,0001	0,948 ou 94,8 %	145,54	0,001
	Diamètre	40,146	10,749	0,0001			
	Hauteur	-16,977	-1,894	0,79			
Equation du modèle	Biomasse = -304,206 + 40,146 x DBH *** -1,894 x H						
<b>Équation 3</b>	Constantes		t(test des student)	Probabilité	R <sup>2</sup> ajusté	Fisher	Signification globale du modèle
	Constant	-181,733	-4,677	0,0001	0,938 ou 93,8 %	122,6	0,001
	Diamètre	23,789	9,973	0,0001			
	Hauteur	-10,757	-1,879	0,81			
Equation du modèle	Biomasse = -181,733 + 23,789xDBH *** -10,757x H						
<b>Équation 4</b>	Constantes		t(test des student)	Probabilité	R <sup>2</sup> ajusté	Fisher	Signification globale du modèle
	Constant	-273,612	-3,868	0,002	0,910 ou 91 %	82,047	0,001
	Diamètre	36,462	8,397	0,0001			
	Hauteur	-19,226	-1,845	0,86			
Equation du modèle	Biomasse = -273,612+ 36,462xDBH *** -19,226 x H						

Les quatre équations ont montré qu'il y a un lien entre la biomasse, le diamètre et la hauteur des arbres de *Lophira lanceolata* ( $p < 0,05$ ).

### 3-1-6. Relation entre biomasse - diamètre et entre biomasse-hauteur

Les équations de régression entre la biomasse et le diamètre d'une part, et entre la biomasse et la hauteur d'autre part, sont représentées par la **Figures 3, Figure 4, Figure 5** et **Figure 6**.

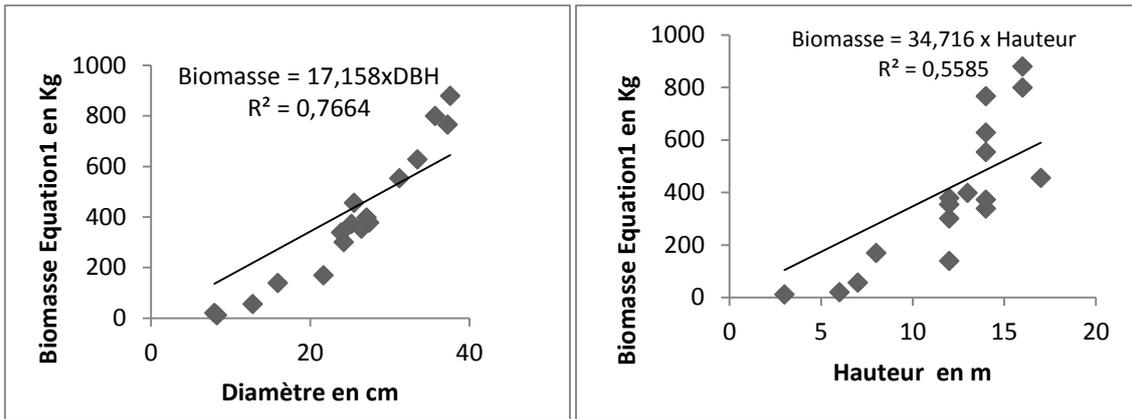


Figure 3 : Relation entre la biomasse et le diamètre (a); la biomasse et la hauteur (b) à l'aide de l'équation 1

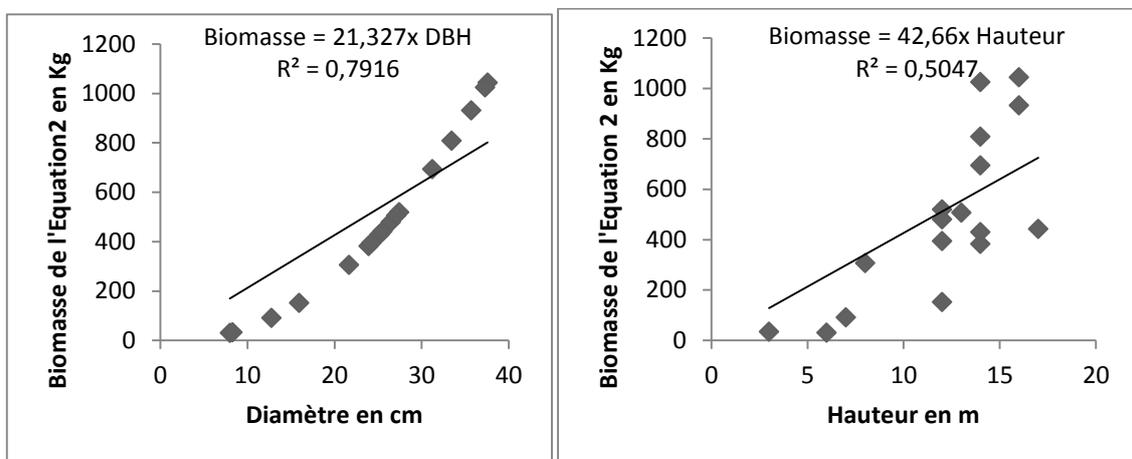


Figure 4 : Relation entre la biomasse et le diamètre (a); la biomasse et la hauteur (b) l'aide de l'équation 2

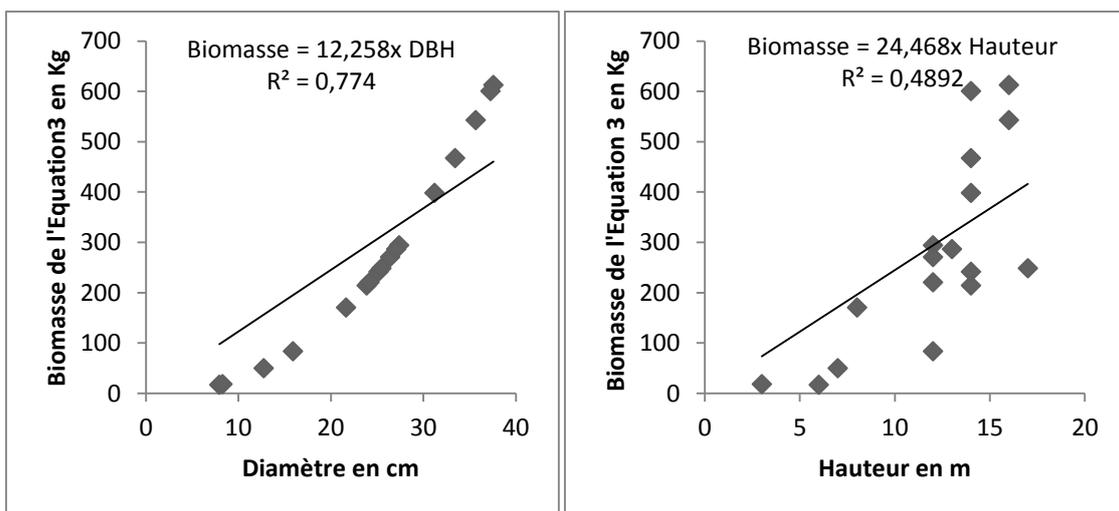
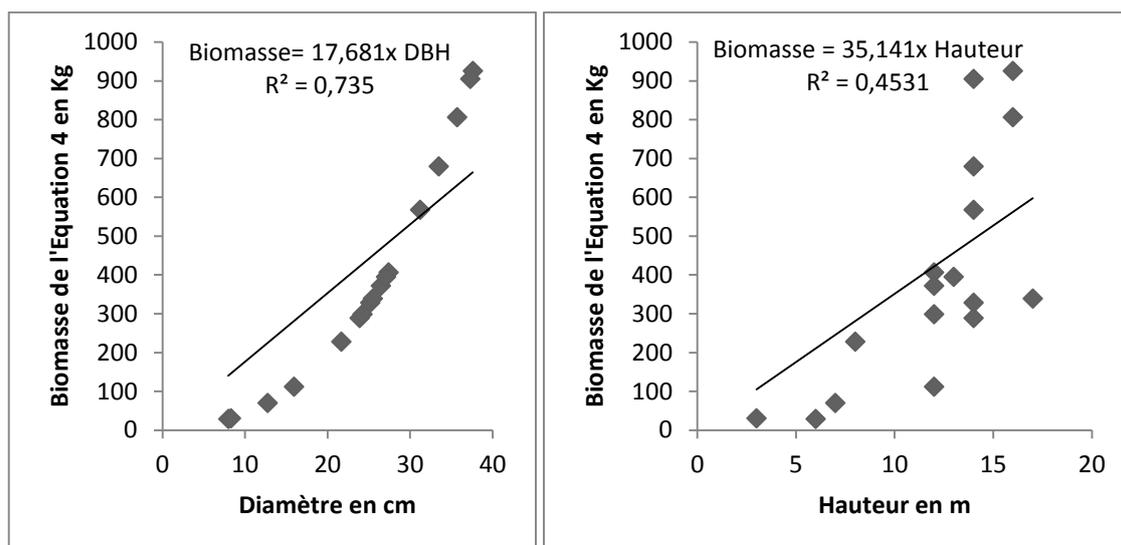


Figure 5 : Relation entre la biomasse et le diamètre (a); la biomasse et la hauteur (b) l'aide de l'équation 3



**Figure 6 :** Relation entre la biomasse et le diamètre (a); la biomasse et la hauteur (b) à l'aide de l'équation 4

A partir de ces figures, on déduit une forte liaison entre la biomasse et le diamètre des arbres de *Lophira lanceolata* quelque soit les types d'équations considérées. Les coefficients de détermination  $R^2$  sont forts ( $R^2 > 0,7$ ). Alors qu'au niveau de la relation diamètre et hauteur le lien est faible.

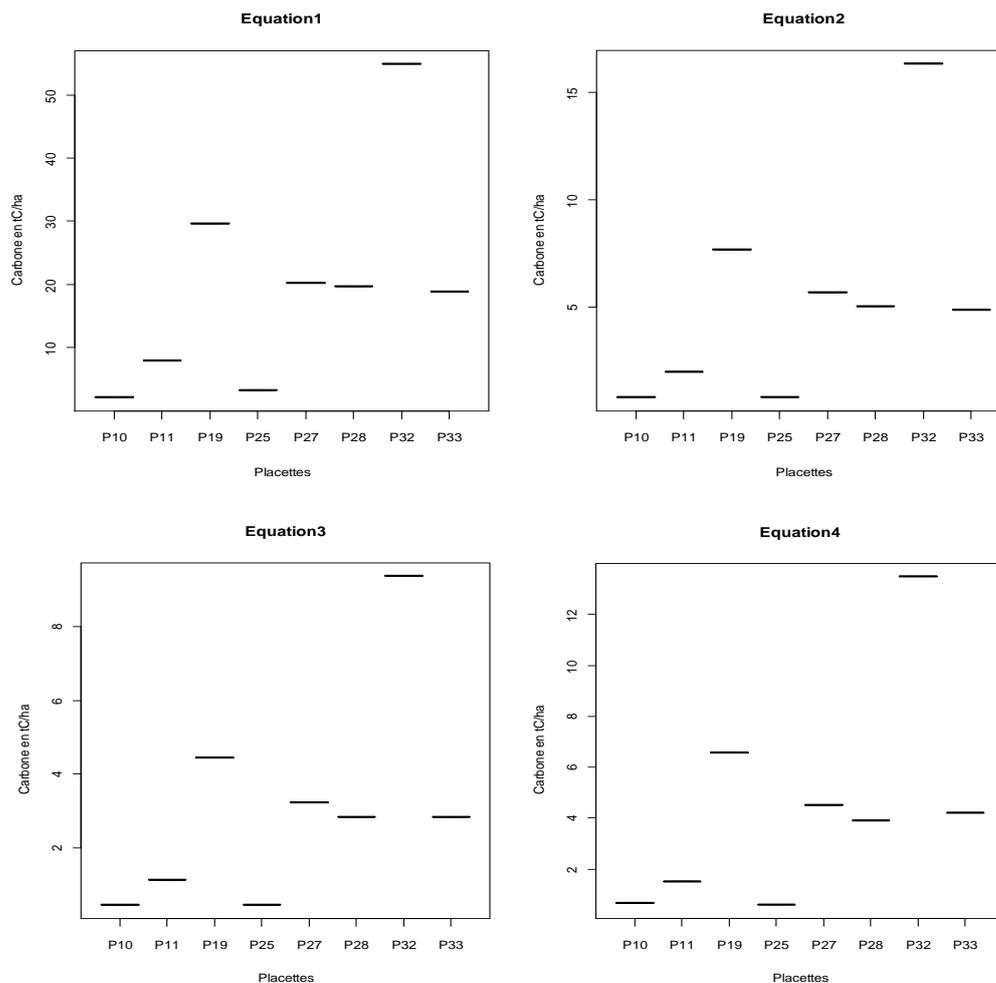
### 3-2. Quantité de carbone aérien de *Lophira lanceolata* ans la forêt de l'Ouémé supérieur

#### 3-2-1. Carbone aérien des individus de *Lophira lanceolata* par placette

Le **Tableau 6** et la **Figure 7** présentent les résultats de carbone aérien des individus de *Lophira lanceolata* par placette en fonction des quatre équations.

**Tableau 6 :** Carbone aérien des individus de *Lophira lanceolata* par placette

	<b>Équation 1</b>	<b>Équation 2</b>	<b>Équation 3</b>	<b>Équation 4</b>
Placettes	Carbone en tC/ha	Carbone en tC/ha	Carbone en tC/ha	Carbone en tC/ha
P10	2,12	0,82	0,44	0,68
P11	8,03	2	1,12	1,51
P19	29,65	7,7	4,46	6,56
P25	3,32	0,8	0,44	0,59
P27	20,25	5,69	3,23	4,53
P28	19,76	5,03	2,84	3,9
P32	54,86	16,34	9,38	13,48
P33	18,92	4,87	2,84	4,21



**Figure 7 : Répartition de carbone selon les équations au sein des placettes**

L'analyse du **Tableau 6** et de la **Figure 7** montre que la quantité de carbone des pieds de *Lophira lanceolata* diffère entre les équations. Mais quelque soit les quatre équations, le fort taux de carbone s'observe au niveau de la placette (32). Ce carbone de la placette 32 varie entre 9,38 à 54,86 tonnes de carbone par hectare respectivement pour l'Équation 1 et l'Équation 3.

**3-2-2. Résumé du test d'ANOVA sur les carbones selon les quatre équations allométriques**

Le **Tableau 7** donne les résultats d'ANOVA pour le test des carbones fait sur les quatre équations allométriques.

**Tableau 7 : ANOVA pour le test des carbones selon les quatre équations allométriques**

Source de variation	DDL	SCE	CM	F	P
Equations	3	1426,6	475,5	5,52	0,004
Erreur	28	2412,4	86,2		
Total	31	3839,1			

DDL = degré de liberté ; SCE = somme des carrés des écarts ; CM = carré moyen (SCE/DDL) ; F = statistique de Fisher-Snedecor (CM Equation/CM Erreur) ; Prob = probabilité

L'analyse de Variance ANOVA montre que la probabilité est égale à 0,004 ( $0,004 < 0,05$  le seuil critique). Alors on rejette l'hypothèse  $H_0$  d'égalité des carbones suivant les quatre équations et on retient qu'il y a une différence significative sur la quantité de carbone suivant les équations allométriques.

### 3-2-3. Statistique descriptive sur le carbone aérien en fonction des quatre équations

La statistique descriptive de la quantité de carbone aérien en fonction des équations est consignée dans le **Tableau 8**.

**Tableau 8 : Statistique descriptive sur le carbone aérien en fonction des équations**

Types d'Équations	Équation (1)	Équation (2)	Équation (3)	Équation (4)
Statistiques	Carbone en tC/ha	Carbone en tC/ha	Carbone en tC/ha	Carbone en tC/ha
Minium	2,12	0,80	0,44	0,59
Maximum	54,86	16,34	9,38	6,56
Moyenne	19,61	5,41	3,09	4,43
Ecart type	17,11	5,06	2,92	4,21
Erreur type	6,05	1,79	1,03	1,49
Intervalle de confiance	11,86	3,51	2,02	2,92
moyenne-IC	7,75	1,90	1,07	1,51
Incertitude	60,47	64,87	65,35	65,84

Le carbone moyen des pieds de *Lophira lanceolata* par placette est de 19,61 tC/ha ; 5,41 tC/ha ; 4,43 tC/ha ; 3,09 tC/ha respectivement pour **l'Équation 1** ; **l'Équation 2** ; **l'Équation 4** et **l'Équation 3**. Cette quantité de carbone varie également en fonction de la topographie et de type de sol (**Tableau 9**).

**Tableau 9 : Somme et moyenne de carbone selon la topographie et le type de sol**

Équations	Équation 1		Équation 2		Équation 3		Équation 4	
	Somme	Moyenne	Somme	Moyenne	Somme	Moyenne	Somme	Moyenne
Bas-versant	69,66	23,22	18,42	6,14	10,53	3,51	14,99	4,996
Mi-versant	10,15	5,075	2,82	2,925	1,56	0,78	2,19	1,095
Sommet de versant	77,1	25,7	22,01	7,336	12,66	4,22	18,28	6,0933
Sol argilo-limoneux	90,7	18,14	24,11	4,822	13,81	2,762	19,88	3,976
Sol gravelot-argileux	66,21	22,07	19,14	6,38	10,94	3,646	15,58	5,193

En considérant la topographie, *Lophira lanceolata* a de forte quantité de carbone sur les sommets de versant (**Tableau 9**). Avec **l'Équation 1** on observe une forte valeur de carbone que les autres équations (**Figure 8**).

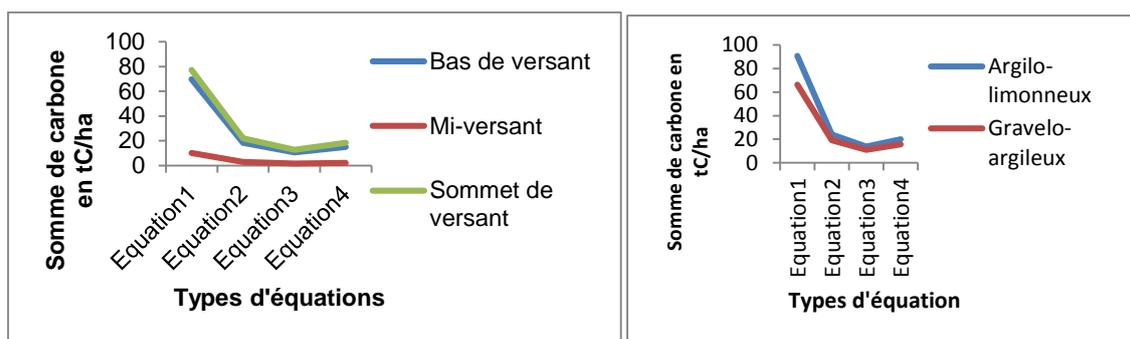


Figure 8 : Somme de carbone selon la topographie (a) et selon le type de sol (b)

Les sols argilo-limoneux concentrent plus de carbone de *Lophira lanceolata* que les sols gravelo-argileux.

**3-2-4. Stock total de carbone aérien de *Lophira lanceolata* en fonction des équations au niveau de la forêt**

Le stock total de carbone aérien de *Lophira lanceolata* de la forêt classée de l’Ouémé supérieur selon les équations est consigné dans le **Tableau 10**.

**Tableau 10** : Stock de carbone aérien des individus de *Lophira lanceolata* en fonction des équations au niveau de la forêt

Équations	Carbone aérien en tC/ha x ha	Probabilité de Shapiro-Wilk
Équation 1	2304998,62	0,0336
Équation 2	635346	
Équation 3	363557,4	
Équation 4	520828,6	

L’utilisation de **l’Équation 1** pour l’estimation du stock de carbone donne une grande quantité de l’ordre de 2304998,62 tC/ha x ha. D’après le test de Shapiro-Wilk, toutes les équations ne donnent pas les mêmes quantités de stock de carbone ( $W = 0,74361$  ;  $p = 0,0336$ ).

**4. Discussion**

Dans la forêt classée de l’Ouémé supérieur, la moyenne de la biomasse de *Lophira lanceolata* par placette est de 11,50 t/ha ; 9,43 t/ha ; 9,22 t/ha ; 6,58 t/ha respectivement pour **l’Équation 2**, **l’Équation 4** ; **l’Équation 1** et **l’Équation 3**. Ces valeurs de biomasse sont faibles [18]. Ces auteurs ont estimé que la biomasse aérienne moyenne de la plantation de mangrove de *R. apiculata* était de 172,94 t/ha et 206,08 t/ha respectivement pour les individus de 12 et 9 ans. Alors que les travaux de [19] ont trouvé dans une forêt en Zambie une biomasse des arbres de cette forêt variant entre 24,49 t/ha à 228,18 t/ha avec une moyenne qui se situe entre 5,54 t/ha et 7,72 t/ha. La faible valeur de la biomasse peut être liée à la dégradation des formations naturelles. En effet la fragmentation des formations naturelles par les activités agricoles entraîne ainsi une fusion des taches agricoles [2]. Les ligneux sont utilisés à diverses fins : bois de service, bois énergie, charbonnage, exploitation commerciale des racines et écorces des espèces médicinales très recherchées [3]. Dans le secteur d’étude, la boîte de dispersion de la quantité de biomasse au sein des placettes donne des valeurs élevées pour **l’Équation 2** et de valeurs faibles au niveau de **l’Équation 3**. S’agissant de la relation entre la biomasse-le diamètre-la hauteur des arbres de *Lophira lanceolata*, le modèle

est globalement significatif au seuil de 0,1 % ( $p = 0,001 < 0,05$ ) pour toutes les quatre équations. Mais la hauteur n'a pas une influence sur la biomasse. Alors que le diamètre influe la biomasse. La vraie question est de savoir quelle équation choisie parmi les quatre équations pour apprécier la biomasse de *Lophira lanceolata*? Autrement dit, est-ce que le choix d'une équation au hasard peut-il avoir des résultats biaisés ? La réponse à cette question mérite une discussion. Puisque s'il faut faire recours au test de Kruskal Wallis, toutes les équations sont similaires pour l'estimation de la biomasse ( $H=3,00$  ;  $DF = 3$  ;  $p = 0,392$ ). S'il faut juste calculer la biomasse sans faire un test, les quantités de biomasse décroissent de **l'Équation 2**, **l'Équation 4** ; **l'Équation 1** et **l'Équation 3**. Mais le test de Shapiro-Wilk estime qu'il y a une différence significative au niveau du stock total de carbone selon les équations ( $W = 0,74361$  ;  $p = 0,0336$ ). En outre le test-t apparié prouve que **l'Équation 1** et **l'Équation 4** sont similaires ( $p = 0,62$ ,  $> 0,05$ ). Le diamètre des arbres est un paramètre essentiel pour l'estimation de la biomasse aérienne de *Lophira lanceolata*. Donc l'accroissement du diamètre de l'espèce contribuera à l'augmentation de sa biomasse aérienne et de stock de son carbone. Or chaque année, une grande quantité de production agricole a de conséquence sur l'environnement [20]. La qualité de la biomasse accumulée par un écosystème peut être affectée par un changement de surface couverte par cet écosystème [5]. Il est donc urgent de prendre des mesures fortes pour conserver *Lophira lanceolata* dans le secteur d'étude. Ceci permettra d'avoir une densité énorme de cette espèce ayant de grands diamètres. Puisque l'espèce a de multiples usages pour la population du Bénin.

## 5. Conclusion

Cette étude permet d'estimer la biomasse aérienne et le carbone de *Lophira lanceolata* dans la forêt classée de l'Ouémé Supérieur en comparaison avec quatre équations allométriques. Sur les quatre équations utilisées, l'estimation de la biomasse et du carbone donne une grande quantité avec **l'Équation 2** et la plus petite valeur avec **l'Équation 3**. Cette différenciation des équations se confirme également par le test de Shapiro-Wilk. Mais le test de Kruskal Wallis indique que toutes les quatre équations utilisées sont similaires pour l'estimation de la biomasse et du carbone. En outre le test-t apparié prouve que **l'Équation 1** et **l'Équation 4** sont similaires. Alors que les équations non similaires sont **l'Équation 1 et l'Équation 2** ; **l'Équation 1 et l'Équation 3** ; **l'Équation 2 et l'Équation 3** ; **l'Équation 2 et l'Équation 4** ; **l'Équation 3 et l'Équation 4**. Quelque soit la catégorie d'équation utilisée, *Lophira lanceolata* a de fort taux de carbone sur les sommets de versant et sur les sols argilo-limoneux. Le choix d'une équation pour l'estimation de la biomasse aérienne et du carbone des arbres de *Lophira lanceolata* mérite d'explication pour une bonne analyse des données. Pour la conservation de l'espèce, il est impérieux de limiter la déforestation dues aux facteurs anthropiques. Ceci permettra d'accroître sa biomasse et le stock de son carbone.

## Références

- [1] - B. H. SARA, " *Biomasse aérienne en plantations d'arbres tropicaux* ", Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en biologie, Université du Québec à Montréal, (2008) 51 p.
- [2] - A. MAMA, B. SINSIN, C. DE CANNIERE et J. BOGAERT, *Tropicultura*, 31 (1) (2013) 78 - 8
- [3] - J. DJEGO, S. DJEGO-DJOSSOU, Y. CAKPO, P. AGNANI et B. SINSIN, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5 (4) (2011) 1432 - 1447
- [4] - A. DICKO, H. S. S. BIAOU, A. K. NATTA and G. GOUWAKINNOU, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11 (3) (2017) 1236 - 1253

- [5] - R. R. HERINTSITOHAINA, "Potentialités de stockage du carbone dans le système plante-sol des plantations d'eucalyptus des hautes terres malgaches", Doctorat en Science du Sol, Centre International d'Etudes Supérieures en Sciences Agronomiques, (2009) 181 p.
- [6] - G. ROLLAND, "Stockage de carbone dans la biomasse aérienne en forêt Tropicale humide Guyanaise ", Stage, 2<sup>ème</sup> année de master recherche Forêt, Agronomie, Génie de l'Environnement, mention Agriculture, Forêt, Ecosystèmes, Environnement, (2006) 24 p.
- [7] - G. J. LOUBOTA PANZOU, "Communauté Française de Belgique", Université de liège, Gembloux Agro-Bio Tech, (2018) 141 p.
- [8] - G. J. L. PANZOU, J. L. DOUCET, J. J. LOUMETO, A. BIWOLE, S. BAUWENS, A. FAYOLLE, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 20 (4) (2016) 508 - 522
- [9] - A. GENET, H. WERNSDÖRFER, F. MOTHE, J. B. Q. PONETTE, M. JONARD, C. NYS, A. L. J. RANGER, P. VALLET, L. SAINT-ANDRE, *Rev. For. Fr. LXIII*—, 2 (2011)
- [10] - Y. J. C. KOUADIO, B. A. VROH, Z. B. GONE BI, C. Y. ADOU YAO et K. E. N'GUESSAN, *Journal of Applied Biosciences*, 97 (2016) 9141 - 9151
- [11] - J. L. DUPOUEY, G. PIGNARD, V. BADEAU, A. THIMONIER, J. F. DHOTE, G. NEPVEU, L. BERGES, L. AUGUSTO, S. BELKACEM, C. NYS, *Rev. For. Fr. LII*, numéro spécial, (2000) 139 - 154
- [12] - E. LAITAT, D. PERRIN, M. SHERIDAN, C. LEBEGUE, G. PISSART, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 8 (1) (2004) 27 - 40
- [13] - R. PELTIER, C. NJITI FORKONG, M. NTOUPKA, R. MANLAY, M. HENRY et V. MORILLON, *Bois et Forêts des Tropiques*, 294 (4) (2007) 39 - 50
- [14] - C. A. ONYETO, P. A. AKAH, C. S. NWORU, T. C. OKOYE, N. A. OKORIE, F. N. MBAOJI, I. A. NWABUNIKE, N. OKUMAH and O. OKPARA, *African Journal of Biotechnology*, 13 (16) (2014) 1731 - 1738
- [15] - J. CHAVE, C. ANDALO, S. BROWN, M. A. CAIRNS, J. Q. CHAMBERS, D. EAMUS, H. FÖLSTER, F. FROMARD, N. HIGUCHI, T. KIRA, J.P. LESCURE, B. W. NELSON, H. OGAWA, H. PUIG, B. RIERA, T. YAMAKURA, *Oecologia*, 145 (2005) 87 - 99
- [16] - W. MCGHEE, W. SAIGLE, E. A. PADONOU et A. M. LYKKE, *Annales des Sciences Agronomiques*, 20 - spécial Projet Undesert-UE, (2016) 79 - 98 ISSN 1659 - 5009
- [17] - C. MBOW, M. M. VERSTRAETE, B. SAMBOU, A. T. DIAW and H. NEUFELDT, *Journal of Forest Research*, 18 (2013) 340 - 347
- [18] - P. KRIDIBORWORN, A. CHIDTHAISONG, M. YUTTITHAM, and S. TRIPETCHKUL, *Journal of Sustainable Energy & Environment*, 3 (2012) 87 - 92
- [19] - L K. WERNER, M. LUTZ, Z. WALDEMAR, M M. MUKUFUTE, M. MAURICE, K OLAF. and J. S. ROBERT, *Carbon Balance and Management*, 6 (5) (2011) <http://www.cbmjournals.com/content/6/1/5>
- [20] - E. SOGBOCHI, C. K. BALOGOUN, C. P. A. DOSSA and D. C. K. SOHOUNHLOUE, *American Journal of Physical Chemistry*, 6 (5) (2017) 76 - 87