



JOURNAL OF OASIS AGRICULTURE AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT

www.joasdjournal.org



p-ISSN: 2724 – 699X
e-ISSN: 2724-7007

Croissance et production des peuplements d'*Acacia mangium* d'âges différents sur le sol sableux du plateau de Batéké/RD Congo

Growth and production of *Acacia mangium* stands of different ages on the sandy soil of the plateau of Batéké /DR Congo

Maximain Polycarpe Mungyeke Mayola*, Christophe Lumpungu Kabamba & Jules Aloni Komanda

Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Gestion des Ressources Naturelles, Université de Kinshasa, R.D.C

Article info

Histoire :

Reçu le 21 Février 2023

Accepté le 02 Mai 2023

Mots clés : *Acacia mangium*, Plateau de Batéké, Agroforesterie séquestration de carbone, bois-énergie

Auteur correspondant :

maxmungyeke@gmail.com

Article info

Article history:

Received 21 February 2023

Accepted 02 May 2023

Keywords: *Acacia mangium*, Batéké Plateau, Agroforestry, carbon sequestration, wood-energy



Copyright©2023 JOASD

*Corresponding author

maxmungyeke@gmail.com

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Résumé

La présente étude visait de caractériser les peuplements d'*Acacia mangium* qui étaient restés en place après la récolte du manioc dans un système agro forestier au village Ibi au plateau de Batéké dans le but d'évaluer leur contribution dans l'offre du bois-énergie aux ménages, des cendres pour l'agriculture et dans la séquestration de carbone pour la lutte contre les gaz à effet de serre, responsables du changement climatique. Cette évaluation, qui avait été menée sur des peuplements d'âges différents (5 âges) : 10, 23, 34, 46 et 84 mois, avait porté sur les paramètres de croissance, du nombre et de types d'espèces dans le sous-bois, ainsi que sur les valeurs en énergie, en cendre et en carbone séquestré. Les résultats ont montré que tous les paramètres étaient influencés par l'âge du peuplement. La croissance en hauteur était de 2 m avec un volume de 1,1m³ à 10 mois, puis elle était montée à 23,2 m de haut et 322,2 m³. ha⁻¹ de volume à 84 mois. La production de la litière était de 0,13 Mg. ha⁻¹ à 10 mois contre 24,9 Mg. ha⁻¹ à 84 mois. Le nombre d'espèce de sous-bois était de 7 à 0 mois (lors de la transplantation) contre zéro à 84 mois, alors que la séquestration de carbone était de 11,17 contre 535,6 tonnes de CO₂. ha⁻¹ à 84 mois. L'obtention de l'énergie pour les ménages et de la cendre pour l'agriculture, qui était aussi fonction de l'âge du peuplement, ne pouvait se faire qu'avec le renoncement d'une partie de la séquestration de carbone.

Abstract

The present study aimed to characterize the *Acacia mangium* stands that remained in place after cassava harvesting in the agroforestry system at Ibi village in the plateau of Batéké. This was to assess their contribution to the supply of wood fuel for households, ash for agriculture and carbon sequestration for the fight against greenhouse gases, responsible for climate change. This assessment, which was conducted on stands of the following ages: 10, 23, 34, 46 and 84 months, focused on growth parameters, number and type of species in the under trees as well as energy, ash, and carbon sequestration values. Results showed that all parameters were influenced by the age of the stand. Height growth was 2 m with a volume of 1.1 m³ at 10 months and then became 23.2 m and 322.2 m³. ha⁻¹ at 84 months. Litter production was 0.13 tons. ha⁻¹ at 10 months versus 24.9 tons. ha⁻¹ at 84 months. The number of understory species was 7 versus zero at 84 months while carbon sequestration was 11.17 versus 535.6 tons CO₂. ha⁻¹ at 84 months. Obtaining energy for households and ash for agriculture, which was also a function of stand age, could only be achieved by forgoing some carbon sequestration.

1. INTRODUCTION

La gestion de la fertilité des sols est une question omniprésente dans les pratiques agricoles depuis l'origine de l'humanité. Aujourd'hui, elle prend une dimension encore plus importante pour nourrir une population toujours plus croissante sur une terre non extensible et « massacrée ». Ce souci est plus particulièrement vrai dans les sols sableux à cause de leur fragilité et leur pauvreté chimique (Sanchez, 2002 ; Koy et al., 2010). C'est le cas en RD Congo des sols sableux du plateau des Batéké ayant une fertilité fugace (Pieri, 1989). Plusieurs raisons expliquent cette situation. Il s'agit premièrement de leur nature sableuse ou argilière à faible pouvoir de rétention cationique, conséquence de la pédogenèse ferralitique qui leur a donné naissance. Deuxièmement, les températures élevées dans les milieux tropicaux qui accélèrent la minéralisation de la matière organique de ces sols ; et les pluies intensives prenant le relais en lessivant la plupart des éléments nutritifs en dehors du profil du sol (Van wambeke, 1991). Ce qui donne lieu à des sols squelettiques pauvres. La solution serait de compenser ces pertes par l'apport des fertilisants minéraux. Mais l'application des fertilisants minéraux n'est pas très efficace car ils subissent le même lessivage que les éléments minéraux naturels du sol (Cahn et al., 1993). En outre, les engrais minéraux sont onéreux et pas disponibles pour les ruraux. Comment donc gérer la fertilité de ces sols pour une production durable ou soutenue des cultures sans les fragiliser davantage ?

Plusieurs spécialistes de milieux tropicaux recommandent l'utilisation de la matière organique pour résoudre ce problème de fertilité (Pieri, 1989 ; Maldague, 2010 ; Nsombo, 2016). Deux questions se posent pour cela : où et comment l'avoir ? Les petits producteurs africains ont pendant longtemps utilisé la matière organique de la forêt naturelle pour résoudre ce problème de la fertilité. Ils pratiquaient l'agriculture d'abattis-brûlis qui malheureusement libère massivement des quantités d'éléments minéraux dont une infime partie seulement reste dans le sol. Le reste est perdu à cause de la lixiviation hors de la zone racinaire. L'effet positif de cette fertilisation ne dure qu'un à deux ans (Kauffmann et al., 1995 ; Kleinman et al., 1995). De plus, la combustion de cette biomasse dégage beaucoup de CO₂ et de NO_x, qui sont des gaz à effet de serre (Fearnside et al., 1994). Aussi, cette pratique renforce la déforestation (Vosti et al., 2001) et la déséquestration de carbone.

En revanche, la pratique de la jachère qui peut être naturelle ou plantée qui est aussi utilisée par certains producteurs semble être efficace dans la restauration de la fertilité et la production des bois pour les usages divers. Au plateau des Batéké, en RD Congo, l'approche d'agroforesterie dans le temps avec l'espèce *Acacia auriculiformis* a pris de l'ampleur comme moyen de résolution du problème de fertilité récurrent dans ce milieu à sol sableux pauvre. Après essais, *Acacia mangium* (Fig. 1), quoique moins dense qu'*Acacia auriculiformis* (0,5 contre 0,6-0,75) semble être à même de mieux promouvoir la fertilité de sol grâce à la rapidité de sa croissance (en moyenne 4 m de haut/an et 4,35 cm de diamètre/an) et à sa grande production de la biomasse (30 % supérieures à celles de *A. auriculiformis* qui est de 6 Mg/ha/an). Il est aussi caractérisé par la rapidité de décomposition de sa litière (Bernard-Reversat et al., 1993 ; Pegoff, 2008 ; Krisnawati et al., 2011) qui permet ainsi une libération rapide des nutriments pour les plantes.

C'est dans ce but que le projet NOVACEL, à Ibi/Village, avait installé des champs agroforestiers associant *Acacia mangium* avec le manioc pour servir aussi de puits de carbone (Novacel, 2009 ; Gengler, 2011). Après deux ans de culture, le manioc était récolté, *Acacia mangium* a continué son cycle. Les peuplements qui sont analysés (Fig. 2) sont constitués majoritairement de la partie forestière restante après l'exploitation du manioc dans ce système agroforestier. L'hypothèse admise à ce sujet est que les arbres d'*Acacia mangium* exploités en agroforesterie dans le temps donnent un bon état de croissance et de production et accroissent la séquestration de carbone en fonction de l'âge du peuplement.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Zone d'étude

Le milieu d'étude qui sera décrit dans les lignes qui suivent est le plateau des Batéké, en général, et Ibi village, le site expérimental, en particulier. Les plants d'*Acacia mangium* utilisés provenaient d'un mélange de 46 provenances-génotypes d'origine asiatique. L'essai a été mené en juin 2013 à Ibi-Village.

Le plateau des Batéké qui est situé à l'Est de la ville province de Kinshasa, capitale de la RDC, constitue sa partie rurale le long de la route nationale N°1. Il couvre une superficie d'environ 21.823 km². Il est borné au Nord par le fleuve



Fig. 1. Plant d'*Acacia mangium* à Ibi-village, ® Mungyeko



Fig. 2. Peuplement, arbre et litière d'*Acacia mangium* ; ® Matabwana

Congo et se prolonge au Sud dans la province du Kongo-Central jusqu'à la frontière avec l'Angola. A l'Est, il fait frontière avec l'ancienne province du Bandundu (Koy, 2007 ; Biloso, 2008). Le site expérimental, Ibi-Village (Fig. 3), est situé en plein plateau des Batéké, à 140 km de la ville de Kinshasa et à environ 15 km de la cité de Mbankana. Il est limité au Sud par la route nationale N°1 et la réserve de Bombo Lumene, à l'Ouest par la rivière Douale et à l'Est par la rivière Lufimi qui reçoit les eaux de Douale de l'Ouest. Une source d'eau dite source d'Ibi y prend naissance et se jette dans la rivière Lufimi.

Les rivières qui drainent le plateau des Batéké, notamment la Lufimi et le Bombo, coulent du Sud vers le Nord dans des vallées encaissées très profondes (± 250 m entaillées dans les grès polymorphes) et se jettent dans le fleuve Congo (PNUD/UNOPS, 1998 ; Nsombo, 2016).

Selon Baert *et al.* (1991), Kasongo *et al.* (2009) et Koy (2010), le sol du plateau des Batéké, comme déjà dit, est de texture sableuse fine correspondant aux "Sables ocres" de Kalahari, qui incluent les séries néogènes des "Sables ocres" (avec sables à sables argileux très fins non

stratifiés) et les séries paléogènes sous-jacentes des "Grès polymorphes" avec quelques argiles et quelques grains alluvionnaires de teinte variant par endroit (Fig. 4). Ce sol a une composition granulométrique de 3,4 % d'argile, 5,6 % de limon et 91,0 % de sable. Sa densité apparente est d'environ 1,25.

Dans le système de classification WRB, ce sol est classifié comme Rubrique Ferrallitique Arenosol (Dystric) qui n'a qu'une valeur agricole très limitée à cause de sa faible pouvoir de rétention d'eau et de sa capacité d'échange cationique (CEC) inférieure à $<3\text{még}/100\text{g}$ (Baert *et al.*, 1991 ; Koy, 2010). Selon Nsombo (2016), son profil, sous différents écosystèmes (savane, forêt naturelle et forêt d'*Acacia mangium*) est du type ABC.

Quant au climat, selon la classification de Köppen (1931), il est du type Aw₄. C'est un climat tropical humide avec deux saisons bien distinctes, une saison sèche qui s'étend de mi-mai à mi-septembre et une saison humide qui débute à mi-septembre pour s'achever à mi-mai. (Baert *et al.*, 1991 ; Milau, 2016). Les précipitations annuelles

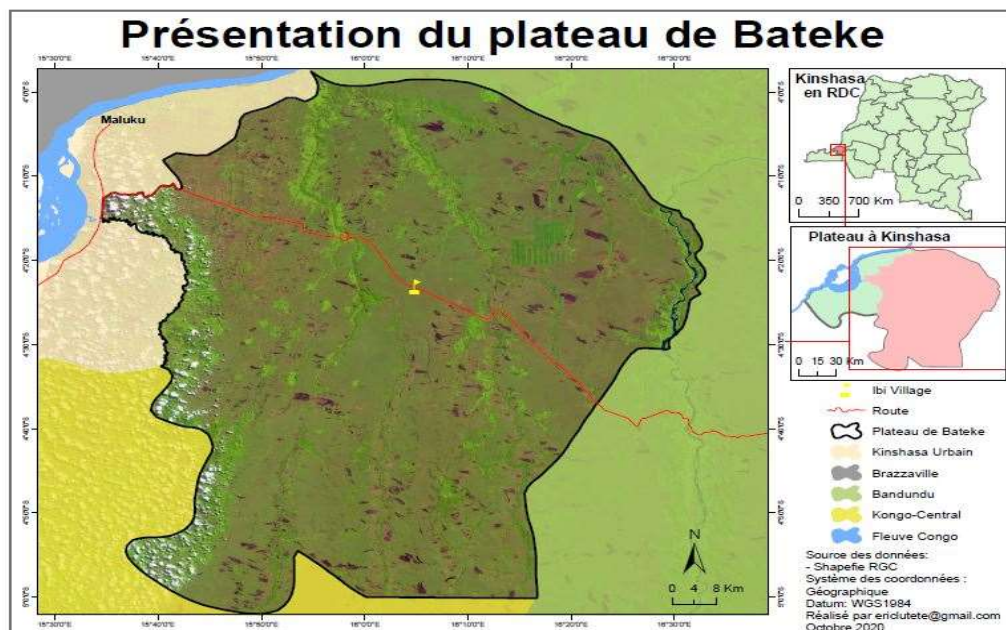


Fig. 3. Localisation d'Ibi-village au plateau des Batéké et en RDC, © Eric Lutete



Fig. 4. Profils des sols des savanes à Duale (A) et des forêts galerie à Bombo (B), ® Milau

qui varient entre 1.300 et 1.600 mm, tombent, en moyenne, en 100 jours avec une distribution bimodale et inégalement répartie tout au long de l'année. La température annuelle moyenne est de 25,7°C et la moyenne mensuelle la plus élevée (27,1°C) se situe au mois d'avril, alors que la température la plus basse, de l'ordre, de 23,2°C, est enregistrée au mois d'août.

La synthèse des données climatologiques de 2000 à 2012 collectées à la Station de Bombo Lumene (Milau, 2016), située près d'Ibi-village, est présentée à la Fig. 5. Le climat ainsi décrit répond, néanmoins, aux exigences écologiques des cultures vivrières pratiquées et d'*A. mangium*.

Ecosystème :

On en distingue deux principaux, l'écosystème forestier et l'écosystème savanicole. La faune, autrefois, très diversifiée y était composée des mammifères, des reptiles, des oiseaux et des poissons. Aujourd'hui, cette faune a subi une forte pression du fait de la pauvreté de la population humaine (Milau, 2016).

2.2. Collecte des données

Pour cette étude, nous avons utilisé des peuplements d'*Acacia mangium* de différents

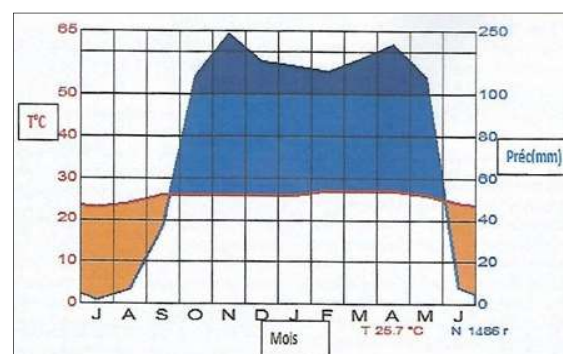


Fig. 5. Diagramme ombrothermique (station de Bombo-lumene) de 2000 à 2012 (Milau, 2016).

Légende : En bleu, période humide et en brun, période sèche. T= température, Préc= précipitation.

âges qui existaient sur place, à Ibi-Village, à des différents endroits. Il y en avait des deux sortes : le reliquat de l'agroforesterie après la récolte du manioc et des jeunes peuplements d'âge < 2 ans. La base de mensuration était constituée de dix placeaux de 3 m x 3 m chacun portant quatre plantes d'*Acacia mangium*.

Nous avons utilisé un dispositif en blocs aléatoires complets comportant cinq traitements correspondant aux âges de peuplements (*Age 1 = 10 mois, Age 2 = 23 mois, Age 3 = 34 mois, Age 4 = 46 mois, Age 5 = 84 mois*). Chaque traitement (placeau) a été repris deux fois, donnant ainsi un total de 10 placeaux*4 plantes d'acacia, soit 40 arbres d'acacia. Nous avons procédé au mesurage aléatoire. Les mensurations suivantes ont été réalisées sur les différents paramètres envisagés à savoir, croissance, peuplement du sous-bois, séquestration de carbone et valeurs en énergie et en cendre :

2.2.1 Les paramètres de croissance

- La hauteur des arbres a été mesurée à l'aide d'un clinomètre selon la formule :

$$Hm = d \times \left(\frac{1}{20}\right) \times \alpha$$

Où Hm= hauteur en mètre, d : Distance entre l'œil de l'observateur et le sommet de l'arbre et α : Facteur correctif de l'angle ;

- La CHP (circonférence à hauteur de la poitrine) a été mesurée à 1,30 m du sol sur les 4 pieds de chaque placeau ;
- Le volume des arbres en m³. ha⁻¹ a été calculé par la formule :

$$V_p = 10^{-4} / 12\pi[(CHP_p)^2 \times Hm] \times 1111$$

Où V_p= volume moyen des arbres en m³ par hectare ; CHP_p = la circonférence moyenne à la hauteur de la poitrine en cm ; Hm = hauteur de l'arbre en m.

2.2.2. Les paramètres de sous-bois

- La Litière (feuilles et brindilles) existant sur chaque placeau a été prélevée et pesée.
- L'ensemble de la végétation du sous-bois a été pesée.
- Le nombre et les types d'espèces de la végétation en dessous des arbres ont été comptés et identifiés.

2.2.3. La séquestration de carbone

Elle a été évaluée par la méthode indirecte pour les différents compartiments des peuplements :

arbres, végétation du sous-bois et litière au sol. Les formules suivantes ont été utilisées :

- Cp= Vp x Db x CF x 3,66 + 0,2 x Cp (compartiment arbre)
- Où Cp= Séquestration de carbone dans les arbres en Mégagramme de CO₂.ha⁻¹, Vp= volume du peuplement en m³; Db= densité d'*Acacia mangium* = 0,57 g.cm⁻³, CF= fraction carbone = 0,5 pour les arbres.
- Clit= MS x CF x 3,66 (compartiment litière)
- Où Clit= Séquestration de carbone dans la litière en Mégagramme de CO₂.ha⁻¹, MS= matière sèche en Mg. ha⁻¹, CF= fraction carbone = 0,33 pour la litière.
- Cbs= MS x CF x 3,66

Où Cbs= Séquestration de carbone par la biomasse de sous-bois en Mégagramme de CO₂.ha⁻¹, MS= matière sèche en Mg. ha⁻¹, CF= fraction carbone = 0,47 pour les herbes.

2.2.4 Les valeurs en énergie et en cendre des biomasses

Elles ont été calculées par les formules suivantes :

- Valeur cendre= Poids sec x Cc ; Poids sec= volume frais x coefficient de matière sèche x la densité sèche. Cc= coefficient de transformation de biomasse en cendre est de 0,78 pour l'arbre entier, 0,039 pour les herbes et 0,15 pour la litière ;
- Valeur énergie = Poids sec x Cen ; Poids sec= volume frais x coefficient de matière sèche x la densité sèche ; Cen= coefficient de transformation de biomasse en énergie est de 19,8 MJ. kg⁻¹ pour l'arbre entier, de 15,7 MJ. kg⁻¹ pour les herbes et la litière (Brunerova et al., 2018 ; Maj et al., 2019).

2.3. Analyse statistique

Les résultats ont été analysés en se servant du test d'ANOVA et de LSD à 5 %. L'analyse du degré d'association entre les différents paramètres étudiés a été réalisée par le calcul du coefficient de corrélation de Bravais-Pearson.

3. RESULTATS

3.1. Paramètres de croissance

Le Tableau 1 donne les résultats sur les différents paramètres de croissance des peuplements d'*A. mangium* étudiés à Ibi/plateau des Batéké, à savoir, la hauteur, la circonférence à la hauteur de la poitrine CHP et le volume des arbres.

Les arbres avaient des hauteurs, statistiquement différentes, selon les âges. La hauteur moyenne était de 2 ; 7,9 ; 10,7 ; 13,3 et 23,2, respectivement à 10, 23, 34, 46 et 84 mois d'âge (Tableau 1). L'on a remarqué que même si la hauteur continuait de croître dans le temps, cependant le rythme de croissance mensuelle décroissait avec l'âge de l'arbre.

La circonférence des arbres à la hauteur de la poitrine était également différente statistiquement, selon les âges. Elle était de : 8,8 ; 12,4 ; 29,4 ; 39,1 et 68,1 cm, respectivement chez les arbres de 10, 23, 34, 46 et 84 mois (Tableau 1).

Il en était de même pour le volume des arbres, dont les résultats dans le Tableau 1 montrent également des différences statistiques significatives, selon les âges.

3.2. Paramètres de sous-bois dans les peuplements

Les paramètres de sous-bois qui comprennent le poids de la litière, la masse de la végétation en dessous des arbres, leur nombre et les types des espèces végétales sont repris dans les Tableaux 2 et 3.

Le poids de la litière résiduelle cumulée était de 0,13 ; 0,74 ; 12,1 ; 19,4 et 24,9 Mg. ha⁻¹,

Tableau 1. Hauteur, CHP et Volume moyen de peuplement d'*Acacia mangium* de différents âges

Ages de Peuplements (mois)	Hauteur (m)	CHP (cm)	Volume moyen frais (m ³ . ha ⁻¹)
10	2,0 e*	8,8 e	0,91 e
23	7,9 d	12,4 d	7,16 d
34	10,7 c	29,4 c	54,53 c
46	13,3 b	39,1 b	119,9 b
84	23,2 a	68,1 a	634,48 a

*[Des lettres différentes indiquent des différences statistiques significatives (p<0,05) d'après le test de Fisher LSD].

Tableau 2. Paramètres du sous-bois (en Mg. ha⁻¹)

Nature et âges Peuplement en mois	Poids de la litière végétale	Biomasse des espèces végétales	Nombre des espèces végétales
Savane	-	17a	7,6 a
10	0,13 d*	13,3 b	7,5 a
23	0,74 d	6,5 c	1,8c
34	12,1 c	3,8 d	5,5 b
46	19,4 ab	1,9 e	2,2 c
84	24,9 a	0,0001 f	0,1d

*[Des lettres différentes indiquent des différences statistiques significatives (p<0,05) d'après le test de Fisher LSD].

Tableau 3. Types d'espèces végétales dans le sous-bois

Espèces	Ages en mois					
	savane	10	23	34	46	84
<i>Aframomum albobolaceum</i>	+/-	-/+	-/+	+	++	-
<i>Anisophilea quangensis</i>	+/-	-/+	-	-/+	-	-
<i>Chromolaena odorata</i>	-	+	-/+	++	++	-/+
<i>Cyperus esculentus</i>	++	+/-	-	-	-	-
<i>Dichrostachys cinerea</i> Subsp <i>Platycarpa</i>	+/-	+/-	-	-/+	-	-
<i>Digitaria polybotrya</i>	+	+	-	-/+	-	-
<i>Eragrostis tenella</i>	-/+	-/+	-	+/-	-	-
<i>Hymenocardia acida</i>	++	++	-	+	-	-
<i>Hymenocardia ulmoides</i>	+	+	-	-	-	-
<i>Hyparrhenia diplandra</i>	++	++	++	-/+	-/+	-
<i>Landolphia lanceolata</i>	+	+	-	+/-	-/+	-
<i>Melinis amethystea</i>	-/+	+/-	-	-	-	-
<i>Milletia eetveldeana</i>	-/+	-/+	-	+	-	-
<i>Paropsia brazzeana</i>	-	-	-	-/+	-	-
<i>Smilax anceps</i>	+	+	+/-	-/+	-	-
<i>Pteridium aquilinum</i>	-/+	-/+	-/+	+	-	-
Conclusion (nombre d'espèces)	7-8	7-8	1-2	5-6	2	0

(-) : espèce absente ; (-/+) : espèce absente mais présente dans 10-30% ; (+/-) : espèce présente dans 31-50% ; (+) : espèce présente dans 51-70% et (++) : espèce présente à plus de 71% de l'ensemble des espèces trouvées.

respectivement, à 10, 23, 34, 46 et 84 mois d'âge (Tableau 2). Ces poids représentaient la matière végétale à différent degré de décomposition tombée à la surface du sol. La production de la biomasse et la litière résiduelle annuelle par la savane mise en défens, quoique inférieure à celle du peuplement de 84 mois, était cependant proche de celle du peuplement de 46 mois et supérieure à celle du peuplement de 34 mois. Ceci revient à dire que la mise en défens de la savane pourrait améliorer substantiellement l'apport en matière organique au sol et par conséquent améliorer sa fertilité.

La biomasse des espèces de sous-bois varie inversement avec l'âge du peuplement. En effet, le peuplement le moins âgé avait une moyenne de 13,3 Mg. ha⁻¹ et celui le plus âgé de 0,0001 Mg. ha⁻¹. Le nombre d'espèces dans le sous-bois diminue aussi avec l'âge pour devenir presque nul à 84 mois. La savane et le peuplement de 10 mois avaient le même nombre d'espèces, soit 8 et presque aussi les mêmes types d'espèces (Tableau 3). Dans le peuplement le plus âgé (84 mois d'âge), l'on constate que le sous-bois était presque inexistant (Tableau 3).

3.3. Valeurs en énergie, en cendre et en carbone séquestré dans les peuplements d'*Acacia mangium*

Les valeurs en énergie, en cendre et en carbone séquestré dans les peuplements d'*Acacia mangium* sont présentées dans le tableau 4. Il

apparaît des résultats du tableau 4 que les valeurs de l'énergie, de la cendre et du carbone séquestré sont tributaires de l'âge de la végétation et de la nature du produit. La valeur en énergie des arbres et de la litière augmente avec l'âge du peuplement, alors que celles de la végétation de sous-bois diminue. Il en est de même pour la valeur en cendre et du carbone séquestré. A l'âge de 84 mois, les valeurs en énergie, en cendre et en carbone séquestré des arbres seuls (4404,26 GJ d'énergie. ha⁻¹, 173,5 Mg de cendre. ha⁻¹ et 407,06 Mg CO₂ séquestré. ha⁻¹) et du total de l'écosystème (4796,76 GJ d'énergie. ha⁻¹, 177,23 Mg de cendre. ha⁻¹ et 437,13 Mg CO₂ séquestré. ha⁻¹) dépassent de loin celles de la savane (266,9 GJ d'énergie. ha⁻¹, 0,66 Mg de cendre. ha⁻¹ et 20,53 Mg CO₂ séquestré. ha⁻¹).

3.4. Évaluation des corrélations

Les coefficients de corrélation entre quelques paramètres observés sont présentés dans le Tableau 5. Cette matrice est calculée entre la hauteur, la circonférence à la hauteur de la poitrine, le volume de l'arbre et le poids de la litière résiduelle.

On constate une corrélation positive entre tous ces paramètres. Cependant, la circonférence à la hauteur de la poitrine (CHP) et la hauteur (H) ainsi que le poids de la litière résiduelle ont été fortement corrélées alors que le poids de la litière résiduelle et le volume ne l'ont été que moyennement.

Tableau 4. Valeurs en énergie, en cendre et en carbone séquestré dans les peuplements

Nature et âge	Energie GJ. ha ⁻¹			Cendre Mg. ha ⁻¹			Carbone séquestré Mg CO ₂ .ha ⁻¹			Total écosystème		
	Arbres	Litière	VSB*	Arbres	Litière	VSB*	Arbres	Litière	VSB*	Energie	Cendre	Carbone
Savane	-	-	266,9	-	-	0,66	-	-	20,53	266,9	0,66	20,53
0 mois	6,34	2,04	208,81	0,25	0,02	0,59	0,58	0,16	16,06	217,19	0,86	16,80
23 mois	49,72	11,62	102,05	1,96	0,11	0,25	4,60	0,89	7,85	163,39	2,32	13,34
34 mois	378,59	189,97	59,66	14,91	1,81	0,15	34,99	14,61	4,59	628,22	16,87	54,19
46 mois	832,33	304,58	29,83	32,79	2,91	0,07	76,93	23,43	2,29	1166,74	35,77	102,65
84 mois	4404,26	390,93	1,57	173,50	3,73	0	407,06	30,07	0	4796,76	177,23	437,13

*VSB= végétation de sous-bois

Tableau 5. Matrice des coefficients de corrélation de Pearson

Variables	H	CHP	VOL	LIT
H	1			
CHP	0,9758	1		
VOL	0,9280	0,9105	1	
LIT	0,9604	0,9201	0,7911	1

Légende : H= Hauteur, CHP= Circonférence à la hauteur de la poitrine, VOL = Volume de l'arbre, LIT= poids de la litière résiduelle

4. DISCUSSION

4.1. Paramètres de croissance

D'après Krisnawati *et al.*, (2011), les arbres d'*Acacia mangium* sont généralement grands et peuvent atteindre une hauteur de 30 m. Pegoff (2008), qui a travaillé sur l'espèce dans les mêmes conditions d'Ibi/Plateau de Batéké, a signalé qu'*Acacia mangium* avait atteint 2,3 m de haut à l'âge de 11 à 12 mois. Heriansyah *et al.* (2008) au Sumatra avaient obtenu des *Acacia mangium* de 2 ans mesurant 7,66 m de haut.

Pour Tuomela (1996), les meilleures productions d'*Acacia mangium* observées en Indonésie étaient de 60-90 m³. ha⁻¹ et les faibles variaient entre 30 et 50 m³. ha⁻¹ pour l'âge de 26 mois. La valeur moyenne de volume à l'âge de 7 ans de Sein et Miltchner (2011), soit 197,4 m³, était inférieure à celle obtenue dans notre étude. Les valeurs trouvées dans cette étude sont dans les mêmes fourchettes d'évolution que celles rapportées par les auteurs ci-dessus cités.

4.2. Paramètres de sous-bois dans les peuplements

Sous forêt claire ou savane forestière, la production de litière incluant la fraction épigée de la strate graminéenne était de 4 à 9 Mg. ha⁻¹.an⁻¹ (Trochain, 1980 ; Bernhard-Reversat, 1993 ; Dupuy, 1998). La production de litière était respectivement de 5 à 6 et 6 à 7 Mg. ha⁻¹.an⁻¹ dans la plantation d'*Acacia auriculiformis* âgées de 7 à 8 ans en Côte d'Ivoire et au Congo-Brazzaville (Bernhard-Reversat *et al.*, 1993 ; N'guessan, 1996). Sous les plantations de légumineuses *Leucaena leucocephala* et *Albizia lebbek* âgées de 7 ans en Côte d'Ivoire, elle s'élevait à 6 à 7 Mg. ha⁻¹.an⁻¹ (N'guessan, 1996). Selon Bernhard-Reversat *et al.* (1993), *Acacia mangium* produit plus de 30% de plus qu'*Acacia auriculiformis*. Ces valeurs sont à notre avis comparables à celles trouvées dans les peuplements d'*Acacia mangium* à Ibi/Plateau de Batéké si l'on tient compte de la différence de méthode utilisée pour l'évaluation de la litière. Dans notre cas, il s'agissait de litière restée au sol jusqu'à l'âge du peuplement donné alors que pour les auteurs ci-haut cités cela concerne la litière tombée en cette année d'âge.

La lumière reste un facteur déterminant pour l'expansion de la végétation en dessous de la canopée. Cette végétation de la savane qui disparaît au fur et à mesure que s'installe la forêt mature est bel et bien héliophile. Il est apparu clairement dans notre expérience que les espèces de sous-bois ne pouvaient prospérer qu'en dessous des arbres de 36 à 46 mois d'âges. Cela

s'expliquerait, par le fait que l'ombrage créé par la canopée et la quantité importante de la litière au sol ne permettaient plus un bon développement d'espèces de sous-bois qui sont, à majorité, héliophiles. Cette information est importante pour la conduite des cultures en agroforesterie.

L'on constate que certaines espèces ne prospèrent qu'en savane et disparaissent rapidement quand la phase forestière s'établit (*Hymenocardia spp*, *Cyperus esculentus*, etc), d'autres par ailleurs coexistent aussi bien en forêt qu'en savane et ne disparaît qu'en phase ultime de la forêt (*Hyparrhenia diplandra*, *Smilax anceps*, etc). D'autres espèces encore sont rares en savane du plateau de Batéké mais s'accroissent en nombre avec l'émergence de la forêt pour disparaître ou devenir rare à la phase de forêt mature (*Chromolaena odorata*). Ces changements de phases écologiques seraient en même temps liés aux variations des conditions de fertilité du sol et de la disponibilité de lumière dont certaines de ces espèces en seraient des indicateurs biologiques. Ceci justifie la pratique de la restauration de la fertilité du sol en savane sableuse du plateau de Batéké par la plantation de certaines espèces d'arbres.

S'agissant de la fertilité du sol du plateau des Batéké sous différents types de végétation, Nsombo (2016) a montré que tous les profils des sols des écosystèmes (savane, forêt naturelle et forêt d'*Acacia mangium*) avaient une composition granulométrique de substrat monotone avec plus de 85 % de sable et une moyenne des pH inférieure à 5,5. La matière organique (MO) dans l'horizon de surface (A1) du sol, exprimée en termes de rapport C/N, était de même ordre quel que soit la végétation en place. Elle était respectivement de 17,95 ; 15,3 ; 18,17 et 17,33 respectivement pour la forêt naturelle, forêt d'*Acacia mangium* de 2 ans, forêt d'*Acacia mangium* de 5 ans et la savane naturelle. La différence de matière organique entre les différents écosystèmes de ces végétations résiderait dans la MO contenue dans la végétation elle-même et non dans celle se trouvant dans le sol.

4.3. Valeur en énergie, en cendre et en carbone séquestré dans les peuplements d'*Acacia mangium*

Les arbres et toute végétation, en général, sont des sources potentielles de combustible-énergie et de cendre. Leur plantation et usage contribuerait à atténuer la déforestation et à améliorer les rendements des cultures, et par

ricochet, les revenus de ménages qui peuvent s'impliquer au marché de bois-énergie (Puentes et al., 2017).

Dans le contexte actuel, deux tiers du bois énergie produit pour Kinshasa proviennent de l'agriculture sur brûlis et, le tiers restant provient des forêts, alors que les producteurs ne replantent quasiment pas les arbres (Schure et al., 2011). D'où, nous recommandons le système agroforestier qui constitue une source permanente et renouvelable de bois de feu et de charbon de bois, mais aussi des résidus agricoles comme source d'énergie (Derek, sd) et comme fertilisant.

Pour le carbone séquestré dans les arbres, Kachaka (2014) avait trouvé par la méthode destructive, plus précise, la valeur de 763,7 Mg CO₂. ha⁻¹ sur le peuplement d'*Acacia mangium* de 7 ans à Ibi, alors que nous, par la méthode indirecte, nous avons évalué cette quantité à 407,06 Mg CO₂. ha⁻¹. Sur le même site, Pegoff (2008) rapporte aussi une valeur de 407,4 Mg CO₂. ha⁻¹ par la méthode destructive sur un peuplement d'*Acacia auriculiformis* de 7 ans.

L'établissement d'un facteur de correction entre la méthode indirecte utilisée et la méthode directe devra être précisé en se servant d'un échantillonnage beaucoup plus grand. On peut bien penser que l'afforestation par l'agroforesterie est un moyen efficace en vue d'augmenter la production grâce à la litière et/ou la cendre fertilisante qui peuvent en être issues d'une part, d'appui à l'offre en bois et énergie en sauvegardant les forêts naturelles et de séquestration de carbone pour la lutte contre le changement climatique. La liberté est laissée au producteur de décider de quel pourcentage de bois à affecter à chaque spéculation (énergie, cendre et séquestration de carbone). L'utilisation de cendre en production devra faire l'objet d'investigation spéciale afin d'en préciser les quantités à utiliser pour éviter l'augmentation exagérée de pH qui peut entraîner l'indisponibilisation des autres éléments minéraux, particulièrement les oligo-éléments, déjà déficients dans beaucoup de sols congolais (Lumpungu, 1997).

5. CONCLUSION

Dans cette étude, il a été question d'analyser la croissance et la production des arbres d'*Acacia mangium* de peuplements de différents âges (10, 23, 34, 46 et 84 mois) après la récolte du manioc dans un système agroforestier. Ces arbres devraient servir à la fois comme stratégie d'amélioration de la fertilité du sol et de l'offre

des combustibles (bois ou charbon) à la mégapole Kinshasa. Il s'en est dégagé ce qui suit :

- les arbres ont bien grandi en hauteur et en circonférence pour atteindre, à l'âge de 84 mois, les valeurs de 23,2 m de haut, 68,1 cm de CHP et 634,48 m³ de volume. ha⁻¹ ;
- la production de la litière résiduelle accumulée a augmenté avec l'âge des arbres, alors que la végétation de sous-bois a diminué en poids et en nombre d'espèces. L'âge de 10 mois de peuplement était rapproché de la savane en ce qui concerne les valeurs de poids et du nombre d'espèces de sous-bois, soit 17 contre 13,3 Mg. ha⁻¹ et 7,6 contre 7,5 espèces ;
- les peuplements d'*A. mangium* renferment de l'énergie calorifique valorisable, de la cendre et du carbone séquestré, ce qui peut bien servir aux besoins de ménages, de la fertilisation des champs et de la lutte contre le changement climatique. L'écosystème dans sa globalité peut offrir jusqu' à 4796,76 GJ d'énergie calorifique. ha⁻¹, 177,23 Mg de cendre. ha⁻¹ et 437,13 Mg CO₂ séquestré. ha⁻¹ à 84 mois, et
- les corrélations entre la hauteur, la circonférence à la hauteur de la poitrine, le volume des arbres d'*Acacia mangium* et la litière en dessous des arbres sont grands et positifs.
- Il en découle, comme l'a aussi souligné Sente (2011), que la croissance des arbres d'*A. mangium* au plateau des Batéké/RDC est soutenable et sa production dépendrait de l'âge. Cette croissance se trouve dans une fourchette acceptable et appellerait l'espèce à jouer un rôle important dans l'apport des éléments minéraux et des combustibles pour la gestion rationnelle des écosystèmes des sols sableux pauvres du plateau de Batéké.

REFERENCES

- Baert, G., Embrechts, J., De Dapper, M. & Mapaka, M. (1991). Cartographie des Sols, évaluation des terres. Feuille de Kinshasa. Etude de la reconnaissance au 200.000ème. Texte explicatif n°7. Région: Kinshasa, Sous-région: Lukaya, Cataractes. Université de l'Etat de Gand (ITC) A.G.C.D.
- Bernhard-Reversat, F., Diangana, D. et Tsatsa, M. (1993). Biomasse, minéralomasse et productivité en plantation d'*Acacia mangium* et *A. auriculiformis* au Congo. Bois et Forêts des Tropiques, n°238 (4), 35-44.
- Biloso, M. (2008). Valorisation des produits forestiers non ligneux du plateau de Bateke en périphérie de Kinshasa (R.D. Congo),

- Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, 252p.
- Brunerova, A., Roubík, H., Brožek, M., Haryanto, A., Hasanudin, U., Iryani, D. A., Herák D. (2020). "Valorization of bio-briquettes fuel by using spent coffee ground as an external additive," *Energies* 13(54), 1-15. DOI: 10.3390/en13010054.
- Cahn, M.D., Bouldin, D.R., Cravo, M.S., Bowen, W.T. (1993). Cation and nitrate leaching in an oxisol of the Brazilian Amazon, *Agron J*, No 85, 334-340.
- Derek E. (sd). Une source renouvelable de combustible,
<http://www.fao.org/3/f9645f04.htm>
- Dupuy, B. (1998). Bases pour une sylviculture en forêt dense tropicale humide africaine, Projet FORAFRI et CIRAD Forêt, 387p.
- Fearnside, P.M., Graca, P.M.L., Filho, N.L., Rodrigues, F.J.A., Robinson, J.M. (1994). Tropical forest burning in Brazilian Amazonia: measurement of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Pará. *For Ecol Manage* 123:65-79.
- Fortin, G., Lelong, B. (2009). Etude du marché et de la compensation carbone. Rapport technique, Cythelia Expertise et conseil, Montagnole/France, 44p.
- Gengler, S. (2011). Estimation de l'immobilisation en éléments minéraux dans une chronoséquence d'*Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. sur Arénosols, Plateau des Bateke, République Démocratique du Congo. Rapport technique. Université Catholique de Louvain-la-Neuve (UCL), Unité des Eaux et Forêts, 121 p.
- Heriansyah, I., Miyakuni, K., Kato, T., Kiyono, Y., Kanazawa, Y. (2008). Growth characteristics and biomass accumulations of *Acacia mangium* under different management practices in Indonesia. *Journal of Tropical forest science* 19: 226-235.
- Kachaka, E.Y. (2014). Carbone stocké dans un essai de provenances d'*Acacia mangium* à Ibi Village sur le plateau des Batéké en République Démocratique du Congo. Mémoire de maîtrise en Agroforesterie. Université Laval, Québec/Canada, 111p.
- Kasongo, R.K., Van Ranst, E., Verdoodt, A., Kanyankogote, P., Baert, G. (2009). Impact of *Acacia auriculiformis* on the chemical fertility of sandy soils on the Batéké plateau, D.R. Congo. *Soil Use and Management*, 25, 21-27.
- Kauffman, J.B., Cummings, D.L., Ward, D.E., Babbitt, R. (1995). Fire in the Brazilian Amazon. 1. Biomass, nutrient pools, and losses in slashed primary forests. *Oecologia* 104:397-408
- Kishimoto, S., Sugiura, G. (1985). Charcoal as a soil conditioner. *Int Achieve Future* 5: 12-23.
- Kleinman, J.A., Pimentel, D. and Bryant, R.B. (1995). The ecological sustainability of slash-and-burn agriculture. Elsevier Science B.V: Agriculture, Ecosystems and Environment 52, 235-249.
- Köppen, W. (1931). *Grundriss der Klimakunde*. Handbuch. 2d eds., Berlin, Walter de Gruyter, 388 pp.
- Koy, K. (2010). Amélioration de la qualité des sols sableux du plateau des Batéké (RD Congo) par application des matériels géologiques et des déchets organiques industriels locaux. Thèse de Doctorat en Sciences de la Terre. Université de GENT, 400p.
- Krisnawati, H., Maarit, K., Markku, K. (2011). *Acacia mangium* Willd. Ecology, silviculture and productivity, Center for International Forestry Research, 26p.
- Lumpungu, C.K. (1997). Fertilisation des cultures tropicales. Cours à l'UK/Boma, inédit.
- Ma, Y.J., Li, S.G., Wang, Z.Q. (1979). Effect of weathered coal on the colloidal property of soils (in Japanese). *Tu Jang Hsueh Pao* 16:22-28.
- Maldague, M. (2010). *Traité de gestion de l'environnement tropical. Tome1: développement intégré des régions tropicales. Approche Systémiques-Notions-Approches-Méthodes.* FOGRN-BC, Université Laval, Québec, Canada, 441 p.
- Milau, E. F. (2016). Etude de la diversité des communautés lombriciennes dans la Réserve et Domaine de Chasse de Bombo-lumene, plateau des Batékés. Thèse de doctorat. Université de Kinshasa, 122 p.

- N'guessan, K.A., Soro, S. (1996). Production de litière sur Jachères naturelles et artificielles au nord de la côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine* 18(3) : 235-242.
- Novacel (2009). Clean Development Mechanism Project Design, Document Form for Afforestation and Reforestation Project Activities (CDM-AR-PDD), version 04.
- Nsombo, M.B. (2016). Évolution des nutriments et du carbone organique du sol dans le système agroforestier du plateau des Batéké en République Démocratique du Congo, Thèse de doctorat, Ecole Régionale d'Aménagement Intégré des Forêts et Territoires Tropicaux (ERAIFT), 197p.
- Pegoff, G. (2008). Puits de carbone: Essai de Provenance sur 92 variétés d'*Acacia mangium*, *auriculiformis* et *crassicaarpa* et évaluation des stocks de carbone dans une forêt d'*Acacia auriculiformis*, Mémoire de Master, Université Libre de Bruxelles, 80p.
- Piéri, C. (1989). Fertilité des savanes. Bilan de trente ans de recherches et de développement, CIRAD, Paris, France.
- PNUD/UNOPS (1998). Monographies de la Province de Kinshasa, 345 p.
- Sanchez, P.A. (2002). Soil fertility and hunger. *Africa. Science*, 295 : 2019-2020.
- Puentes R. Y., Torssonon P., Ramcilovik S.S., Pitkänen S. (2017). Fuelwood value chain analysis in Cassou and Ouagadougou, Burkina Faso: From production to consumption ,In *Energy for Sustainable Development* 21:14-23.
- Schure J., Ingram V., Marien JN., Nasi R., Dubiez E. (2011). Le bois énergie pour les centres urbains en République Démocratique du Congo. Brief N°8.
- Sente, A. (2011). Impact de l'*Acacia auriculiformis* sur les propriétés des sols sableux du plateau Batéké, République Démocratique du Congo. Rapport technique. Université Catholique de Louvain-la-Neuve (UCL), Unité des Eaux et Forêts, 98 p.
- Trochain, J. L. (1980). Ecologie végétale de la zone intertropicale non désertique. Université Paul Sabatier éd., Toulouse, 468p.
- Tuomela, M., Vikman, M., Hatakka, A., Itävaara, M. (2000). Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresour. Technol.* 72,169–183.
- Van Wambeke, A. (1991). Sols des tropiques. Propriétés et appréciation. CTA, 335p.
- Vosti, S.A., Witcover, J., Carpenter, C.L., Magalhaes de oliveira, S.J, Dos Santos, J.C. (2001). Intensifying Small-Scale Agriculture in the Western Brazilian Amazon: Issues, implication and implementation. *CAB International. Tradeoffs or Synergies?* 247-266.