HAL open science

Variabilité spatiale du stock de carbone de la biomasse aérienne de la zone urbaine vers la forêt tropicale dense dans cinq localités de la république du Congo

Suspense Averti Ifo, Stoffenne Binsangou

To cite this version:

Suspense Averti Ifo, Stoffenne Binsangou. Variabilité spatiale du stock de carbone de la biomasse aérienne de la zone urbaine vers la forêt tropicale dense dans cinq localités de la république du Congo. Conférence OSFACO : Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique, Mar 2019, Cotonou, Bénin. hal-02189395

HAL Id: hal-02189395

https://hal.science/hal-02189395

Submitted on 19 Jul 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Variabilité spatiale du stock de carbone de la biomasse aérienne de la zone urbaine vers la forêt tropicale dense dans cinq localités de la république du Congo

IFO Suspense Averti [1,*], BINSANGOU Stoffenne Malonga [1]

[1] Laboratoire de Géomatique et d'Écologie Tropicale Appliquée, Université Marien N'GOUABI, Brazzaville, Congo

[*] Auteur correspondant : Suspense Averti IFO, ifo.suspense@hotmail.fr, averti.ifosuspens@umng.cg

Résumé

Dans le contexte mondial de réchauffement global les forêts du bassin du Congo ont un rôle majeur à jouer dans l'atténuation des changements climatiques. Une étude sur l'impact de la croissance urbaine sur le stock de carbone aérien a été conduite dans de la république du Congo. Cette étude se repose sur l'hypothèse de base suivante, les villes se sont développées sur des terres qui autrefois étaient entièrement forestière. Les objectifs de cette étude étaient de quantifier le stock de carbone dans différents types d'occupation du sol partant de la zone urbaine à la zone de forêt dense. Pour atteindre les objectifs, dans chaque localité, des parcelles d'inventaires de 25 m x 25 m avaient été installées à l'intérieur des villes, les zones dégradées péri urbaines, ainsi que dans les zones où la forêt était stable en utilisant le logiciel 10,6. L'équation de Chave et al., 2014 a été appliqué pour estimer la biomasse aérienne des arbres. Cette étude a montré que la variabilité du stock de carbone est importante de la zone urbaine vers la forêt dense avec des écarts très importants entre les types d'occupation du sol. Le stock de carbone aérien dans toutes les localités d'étude varie de 0,1 $tC.ha^{-1}$ à 5,75 $tC.ha^{-1}$ dans les zones urbaines, de 20 à 76 $tC.ha^{-1}$ dans les jeunes forêts secondaires ainsi que dans les forêts dégradées et de 80 $tC.ha^{-1}$ à 430 $tC.ha^{-1}$ dans les zones de forêts non perturbées. Plusieurs causes anthropiques expliquent cette importante perte de carbone de la forêt vers les zones urbaines : l'abattage des arbres pour des raisons d'agriculture, la collecte du bois énergie, du bois en vue de la construction, l'occupation de l'espace pour des raisons d'implantations d'habitations ont été identifiées pour expliquer la conversion des terres ainsi constatées. L'étude montre que l'implantation des villes et leur extension en pleine zone forestière à des impacts important sur le stock de carbone aérien.

Mots clés : croissance urbaine, déforestation, biomasse aérienne, forêt tropicale, Congo

Abstract

In the context of global change, forests of the Congo Basin have a major role to play in mitigating climate change. A study on the impact of urban growth on the above ground biomass was conducted in Republic of Congo. This study is based on the following basic hypothesis, cities were developed on land where forest existed entirely previously. The aims of this study were to quantify the above ground carbon stock in different types of land use from, the urban area to the primary forest. To achieve the targets, in each locality, 25 m x 25 m inventory plots had been installed within cities, degraded areas perish urban, as well as in areas where the forest was stable using software 10.6. The equation of Chave et al., 2014 was applied to estimate the above ground biomass of trees. This study showed that the variability of carbon stock is significant from urban area to dense forest with very large differences between land use types. The stock of aboveground carbon in all studies locations ranges from 0.1 $tC.ha^{-1}$ to 5.75 $tC.ha^{-1}$ in urban areas, from 20 to 76 $tC.ha^{-1}$ in young secondary forests and degraded forests, and from 80 $tC.ha^{-1}$ to 430 $tC.ha^{-1}$ in non-disturbance forest. Several anthropogenic drivers explain this significant loss of carbon from the forest to urban areas: the felling of trees for agricultural reasons, the collection of wood energy, wood for construction, the occupation of space for reasons for housing settlements have been identified to explain the conversion of the land thus observed. The study shows that the location of cities and their expansion in the middle of the forest area has significant impacts on the aerial carbon stock.

Keywords: urban growth, deforestation, aboveground biomass, tropical forest, Congo

1. INTRODUCTION

La déforestation est un phénomène de régression des surfaces couvertes de forêt. Elle est définie comme étant la conversion d'une terre forestière vers une autre terre autre que la forêt (UICN-PC, 2014a). Selon le GIEC (2014), les émissions dues aux changements d'usage de terre représentent environ la moitié des émissions du secteur AFAT (Agriculture Forêt et autre utilisation des Terres). La déforestation et la dégradation des forêts contribuent approximativement de 12 à 20% aux émissions globales des gaz à effet de serre dans l'atmosphère (Pearson et al., 2005 ; GIEC, 2007 ; van der Warf et al., 2009).

La déforestation est due à plusieurs causes directes et indirectes (Geist et Lambin, 2001 ; Tchatchou et al., 2015 ; Bouetou-Kadilamio et al., 2017 ; Ifo et al., 2017). L'une des causes directes est la croissance urbaine (Tchatchou et al., 2015). Celle-ci détruit les espaces naturels (Aguejdad, 2009) et constitue une source importante des émissions des gaz à effet de serre (GIEC, 2003). Elle participe à la perturbation des écosystèmes forestiers, entrainant ainsi la perte d'important stock de carbone et de la biodiversité forestière (Aguejdad, 2009 ; Seto et al., 2012). Ce stock de carbone constitue un élément clé du cycle global de carbone (FAO, 2017).

En république du Congo, deux études spécifiques confirment l'impact de la croissance urbaine sur la déforestation et la dégradation des forêts. Les pertes des forêts dues à la croissance urbaine sont passées de 261,63 ha dans la période entre les années 2000 et 2014 dans la ville de Ouesso, alors que la perte de la forêt est de près de 610 ha en trente ans entre 1986 et 2016 (Binsangou et al., 2017, Binsangou et al., 2018).

La croissance des villes a des impacts sur la durabilité des écosystèmes forestiers entrainant la perte de la biodiversité dans et autour des villes du Congo d'une part (Ifo et al., 2016). Par ailleurs, elle affecte l'habitat forestier avec des différences importantes notées dans la structure forestière entre les forêts primaires plus éloignées des villes que les forêts dégradées ou des forêts secondaires à proximité de celles-ci (Koubouana et al., 2018).

Plusieurs études ont estimé les stocks de carbone dans les différents réservoirs de carbone au Congo (Ekoungoulou et al., 2014 ; Ifo et al., 2015 ; Ifo et al., 2017 ; Bocko et al., 2017 ; Ifo et al., 2018). Cependant, aucune ne rapporte ni les estimations de stocks de carbone en milieu urbain, ni les impacts des activités anthropiques telles que la croissance urbaine. Cette étude a donc pour objectifs d'évaluer l'impact de la croissance urbaine sur le stock de carbone forestier. Cette étude se repose sur l'hypothèse de base suivante : les villes se sont développées sur des terres qui autrefois étaient entièrement forestière. Les objectifs de cette étude étaient de quantifier le stock de carbone dans différents types d'occupation du sol partant de la zone urbaine à la zone de forêt dense.

2. METHODOLOGIE

2.1. Zone d'étude

Cette étude a été réalisée dans la partie septentrionale de la république du Congo où s'est développé le grand massif forestier de la république du Congo avec près de 15 millions d'hectare. Dans cette zone, cinq villes : Impfondo (Lat., 1º37'33.40ºN ; Long,18º3'14.18º), Dongou (Lat, 2º2'47.56ºN ; Long,18 º3'3.51 ºE) (département de la Likouala) ; Ouesso (Lat, 1º36'55.70ºN ; Long, 16º2'46.98ºE), Ngombe (Lat, 1º25'53.80ºN; Long, 16º10'45.40ºE) et Pokola (Lat, 1º25'3.89ºN, Long, 16º19'43.39ºE) (département de la Sangha) avaient été choisies pour mener l'étude sur la croissance urbaine et impact sur les déforestation et la dégradation forestière (Figure 1).

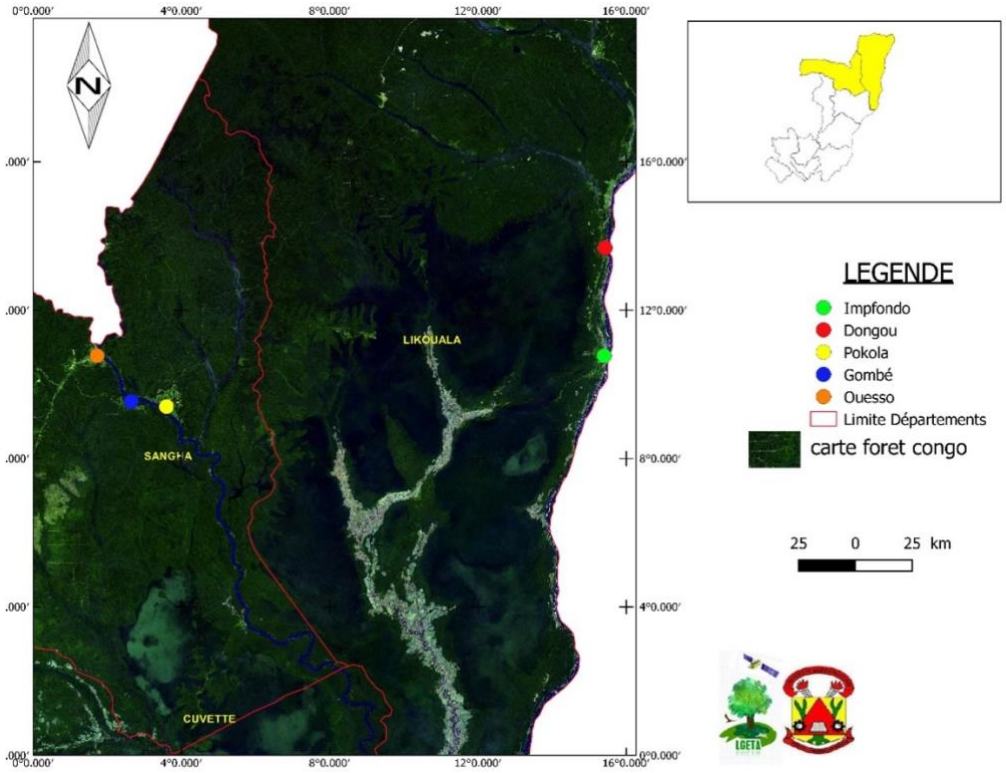

Figure 1 : Présentation de la zone d'étude

2.2. Climat

Le climat du département de la Sangha est du type équatorial congolais caractérisé par une pluviométrie (Samba-Kimbata, 1991). Il tombe plus de 50 mm de pluie tous les mois avec deux minimas en janvier-décembre et juillet (57 à 64 mm) et deux maximas en mai et septembre-octobre (200 à 240 mm). Dans le département de la Likouala, le climat s'apparente aux climats équatoriaux et tropicaux humides du type guinéen forestier caractérisé par une température moyenne annuelle de 25-26 °C ; des précipitations annuelles de 1600 à 1800 mm (Figure 2) avec une variabilité interannuelle de 10 à 15%.

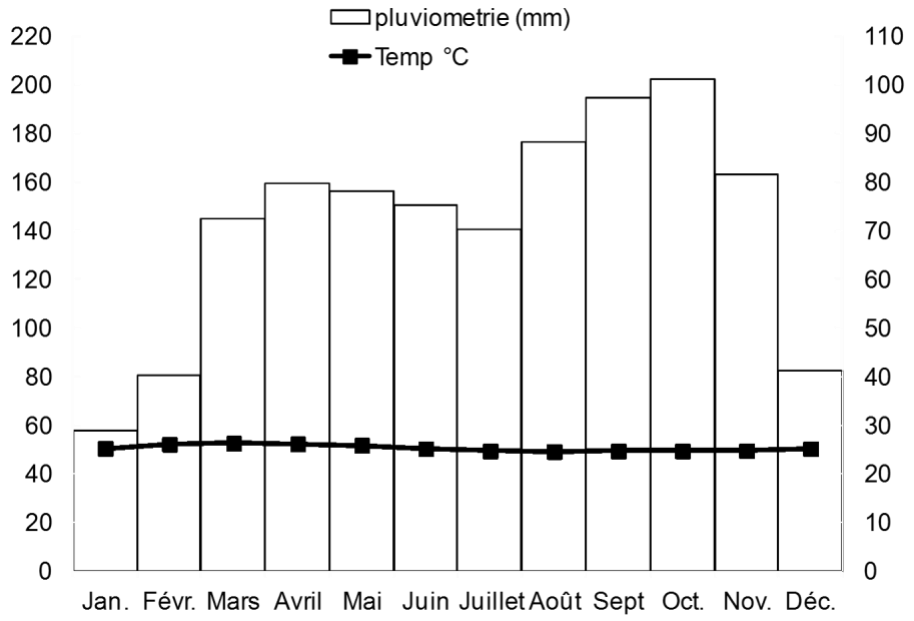

Figure 2 : Diagramme ombrothermique de la Likouala 'moyenne de1932-2015

2.3. Végétation de la zone d'étude

La zone d'étude est essentiellement dominée par une végétation forestière, et celle-ci est dominée par des essences de grande valeur commerciale telles le Sapelli (*Entandrophragma cylindricum*), le Sipo (*Entandrophragma utile*), le Wengué (*Millettia laurentii*), le Padouk (*Pterocarpus soyauxii*), etc. La structure de la végétation forestière ainsi que la biodiversité varient cependant d'une localité à une autre mais aussi suivant le type de forêt (primaire ou secondaire) (Ifo et al., 2016, Koubouana et al., 2018). On note aussi la présence des forêts de terre ferme ainsi que des forêts inondées et saisonnièrement inondées avec des stocks de carbone variant d'une strate à une autre (Bocko et al., 2017).

2.4. Étude de la croissance urbaine des villes étudiées.

La croissance urbaine des villes étudiées dans le présent article a été faite par télédétection en appliquant la méthode détection des changements. Ceci a été rendu possible en utilisant les images Landsat de différentes dates (1986 et 2016) couvrant les différentes localités. Le traitement des images a été faite grâce au logiciel ERDAS en suivant la chaine de traitement des images. L'évaluation de la précision cartographique a suivi le protocole proposé par Pontus et al. (2014). Les détails de la production des différentes cartes d'occupation du sol des différentes localités ont été présentés dans deux publications antérieures (Binsangou et al., 2017, Binsangou et al., 2018).

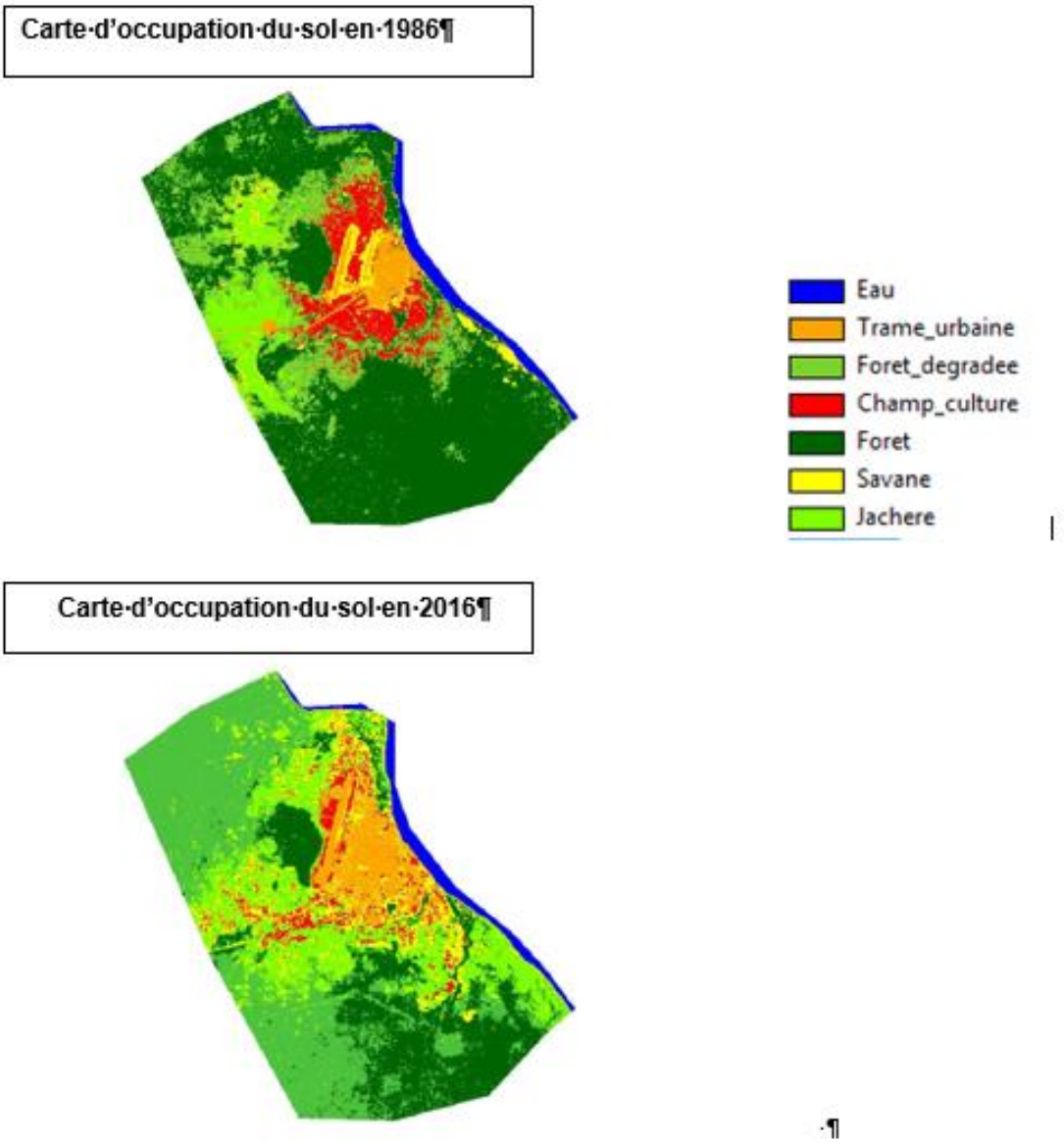

Figure 3 : Occupation du sol dans la localité de Ouesso

2.5. Inventaire forestier

Un total de 99 parcelles unitaires de 25 m x 25 m ont été installé de façon contiguë (forêts secondaires) et les forêts primaires, mais aussi à l'intérieur des différentes localités dans lesquelles l'étude a été menée. Afin d'éviter tout biais dans l'estimation de la biomasse aérienne, quatre points, représentant des parcelles de 25 m x 25 m ont été générés et distribués sur l'étendue des villes (trame urbaine), dans la zone de la classe non forêt, et la classe forêt (Figure 3) grâce au logiciel ArcGIS 10.6. Ces parcelles ont été installées physiquement sur le terrain afin de procéder à la collecte des données nécessaires au calcul de la biomasse aérienne.

A l'intérieur de chaque parcelle de 25mx25m, tous les arbres de diamètre ≥ 10cm ont été inventoriés. Pour chaque arbre, les données suivantes ont été collectées :

- Diamètre (dbh) de l'arbre mésurés à 1,30 mètre du sol, avec un ruban mètre ;
- Nom de l'essence avec l'aide d'un guide local à travers les noms vernaculaires ;
- Hauteur des arbres à l'aide d'un vertex (Laser) dans le département de la Sangha, le département de la Likouala. Dans les parcelles où les valeurs de la hauteur n'ont pas été mesurées avec le laser, une équation allométrique (équation 1) avait été appliquée, celle de Chave et al., (2014).

$$H = 45{,}1 - 42{,}8 * \exp(-0{,}025 * D) \qquad \text{équation 1}$$

Avec H : hauteur de l'arbre et D : le diamètre de l'arbre en cm mésuré à 1,30 m du sol.

2.6. Estimation de la biomasse aérienne

La biomasse aérienne des arbres des différentes zones d'étude a été estimée en appliquant l'équation allométrique de Chave et al. (2014) (équation 2). Cette équation prend en compte le diamètre, la densité spécifique du bois et la hauteur totale de l'arbre. Cette équation permet une meilleure estimation de la biomasse aérienne des arbres en comparaison aux équations de Feldpausch et al. (2012), et donne des précisions allant jusqu'à 90% dans les estimations de la biomasse dans les parcelles e 0,25 ha dansa les forêts tropicales humides. La hauteur totale des arbres a été estimée à partir de l'équation 2. Les densités spécifiques du bois de chaque arbre inventorié ont été extraites d'une base de données globale (Zanne et al., 2009). Le stock de carbone aérien de chaque arbre est obtenu en appliquant la fraction de carbone 0,49 tonne.MS^{-1} appliquée pour des bois et arbres de DBH supérieur ou égal à 10 cm de diamètre (Hughes et al., 2000).

Les stocks de carbone aérien ont été calculé pour les différents types de forêt de la zone d'étude mais aussi les différents regroupements forestiers.

$$AGB = 0{,}0673 * (di * (Dbhi)^2) * Htotale\,, \qquad \text{équation 2}$$

Où : Dbh_i : diamètre de l'arbre en centimètre (cm) mesuré à 1,30 m ; d_i : la densité spécifique du bois ; H_i^{total} : Hauteur totale de l'arbre.

3. RESULTATS

3.1. Stocks de carbone aérien entre les types d'écosystèmes

Les résultats montrent des différences énormes de carbone aérien entre le milieu urbain et les forêts (dégradées et primaires). A l'intérieur des villes et localités étudiées, les stocks de carbone aérien varient de 0,1 $tC.ha^{-1}$ à 5,75 $tC.ha^{-1}$. Dans les zones de transition entre milieux urbains et forêts primaires, le stock moyen de carbone est de 74,7 $tC.ha^{-1}$ alors que celui est plus important dans les forêts primaires et atteint des valeurs de 162 $tC.ha^{-1}$à 198,9 $tC.ha^{-1}$. (Figure 4).

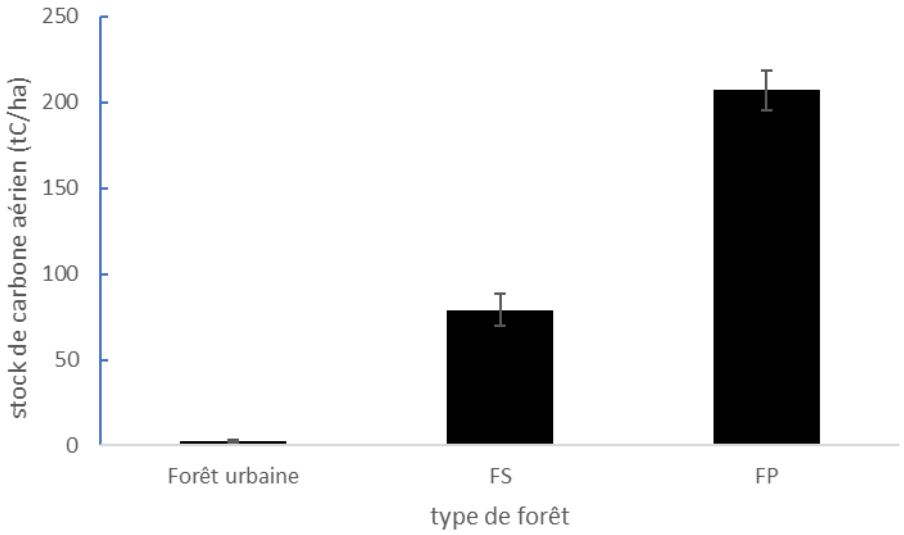

Figure 4 : Stock de carbone entre milieu urbain et les milieux forestiers

3.2. Stock de carbone moyen des groupements forestiers

Le stock de carbone par groupement forestier varie de manière très significative d'un type à un autre. Dans les forêts primaires, les stocks les plus élevés ont été observés dans les forêts primaires à *Guibourtia demeusei,* avec un stock total en carbone de 465 $tC.ha^{-1}$alors que ce stock est de 340 $tC.ha^{-1}$dans les forêts primaires à *Lophira alata.*

Les stocks de carbone varient de 20 à 36 $tC.ha^{-1}$ dans les forêts à *Musanga cecropioides* qui se sont développées autour des villes de Dongou et Impfondo, alors que dans les forêts à Macaranga, les stocks de carbone totaux varient de 35 $tC.ha^{-1}$à 74 $tC.ha^{-1}$entre les entre les villes de Dongou, Impfondo et Ouesso. La figure 5 présente les stocks de carbone par groupement forestier autour des villes de Dongou et Impfondo au nord de la république du Congo.

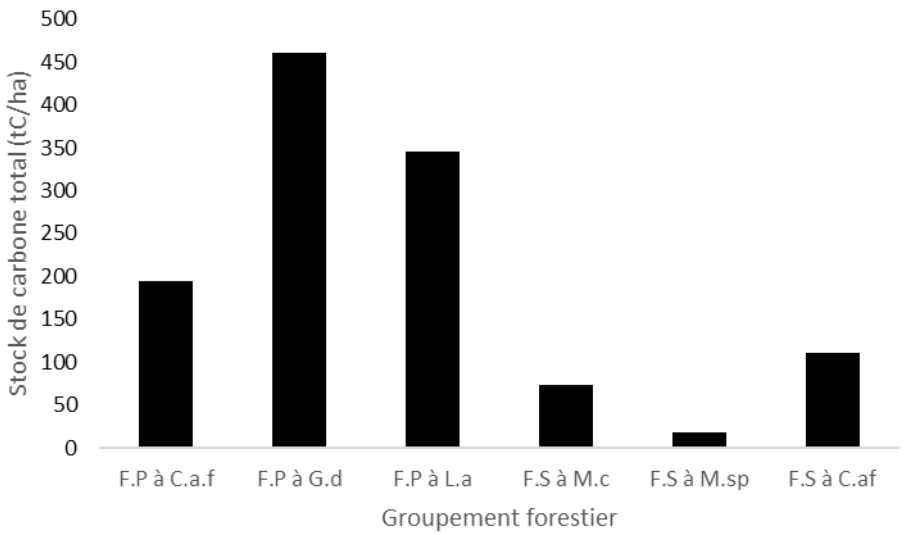

Figure 5 : Stock total de carbone par groupement forestier

3.3. Stock de carbone autour de la localité de Pokola et de NGombé

Les stocks de carbone de la biomasse aérienne varient de 19,1 tC.ha^{-1} dans les forêts secondaires à 440 tC.ha^{-1} dans les forêts primaires de NGombé. Dans les forêts récemment exploitées, le stock moyen de carbone est estimé à 45,5 tC.ha^{-1} alors que dans les forêts anciennement exploitées, et dans les forêts primaires, le stock moyen de carbone est de 118,7 tC.ha^{-1}. L'estimation du stock de carbone dans les forêts primaires de Ngombé était de 284 tC.ha^{-1} La Figure 6 présente la variation du stock de carbone dans les différentes parcelles d'inventaires autour de ces deux localités.

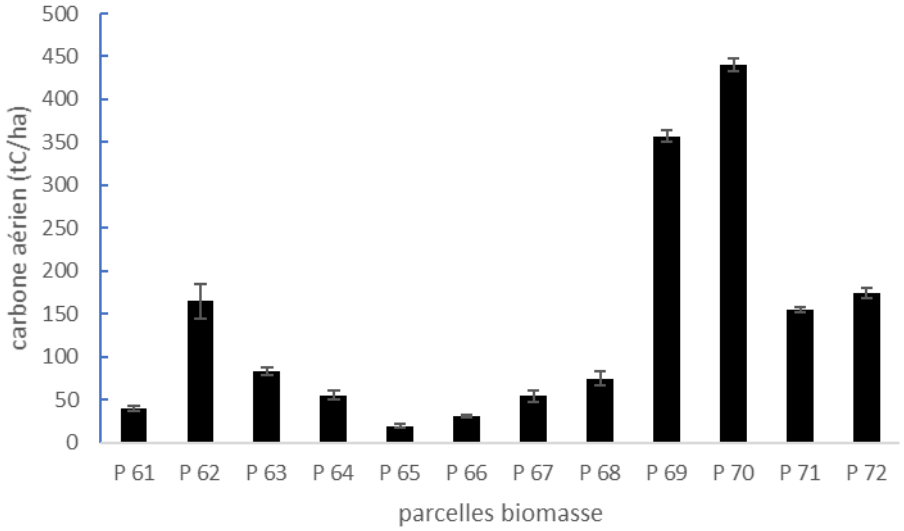

Figure 6 : Stock de carbone dans les différentes parcelles d'inventaires

4. DISCUSSION

Les stocks de carbone obtenus dans cette étude montrent une grande variabilité spatiale entre les types de forêts dans les zones où il y a plusieurs types de forêt : forêt primaire, forêt dégradée et mais aussi des forêts secondaires. Cette variation spatiale de la biomasse aérienne a été également observée par Mugnier et al. (2009), Lewis et al. (2013), Fayolle et al. (2013), Ifo et al. (2018). Ces auteurs ont affirmé que les stocks moyens de carbone aérien varient selon les types forestiers (forêt de terre ferme, saisonnièrement inondée, de basse altitude, mono ou plurispécifique), le microclimat, l'âge de la forêt, mais aussi la structure forestière.

Cette grande variation spatiale peut aussi s'expliquer par plusieurs facteurs comme la biodiversité des essences forestières, le climat local, le substrat géologique et pédologique, mais aussi l'action des facteurs anthropiques comme la déforestation et la dégradation forestière, le relief, la structure forestière, la strate forestière (Chave et al., 2005 ; Molto, 2012 ; Ifo et al., 2015 ; Ifo et al., 2018). Il a été également démontré que la méthodologie d'échantillonnage, et le type d'équation allométrique utilisé pourrait expliquer la variabilité du stock de carbone (Chave et al., 2004 ; Molto, 2012).

Dans cette étude, nous avons opté pour des parcelles rectangulaires couplées à un échantillonnage aléatoire dans les différentes strates forestières. Ce couplage a pour but de réduire le biais dû à l'échantillonnage orienté et permet d'obtenir des résultats plus représentatifs de la variabilité spatiale de du stock de carbone aérien. (Ifo et al, 2015 ; Bocko et al., 2017).

Par ailleurs, cette étude révèle l'action essentielle des activités anthropiques sur les stocks de carbones des forêts naturelles autour des localités de Pokola, Dongou, Impfondo, Gombe et Ouesso. En suivant un gradient croissant de la ville vers les zones forestières stables, le stock de carbone dans toutes les localités est plus faible dans les à l'intérieur des établissements ou des villes, moyen dans la zone intermédiaire forêt stable. Par ailleurs, la différence de la structure forestière entre les forêts primaires et les forêts secondaires sont s'expliquent par le fait que la zone non forêt est vitale pour l'économie locale des populations habitants les villes. Ces forêts sont régulièrement coupées à des fin activités agricoles et pastorales (plantation de cacao, le prélèvement du bois en vue des activités sciage artisanale, l'agriculture artisanale, la fabrication des pirogues, la collecte du bois en vue de la cueillette des chenilles et du miel autour des localités de Dongou, Impfondo en particulier), mais aussi pour satisfaire la demande en bois énergie locale, le bois d'œuvre.

Les facteurs évoqués ci-dessus ne sont pas les mêmes que ceux identifiés dans les localités de Gombé et Pokola (la CIB et la société IFO), où l'exploitation forestière est la principale cause de l'implantation et du développement de ces villes. A cela, s'ajoute les activités agricoles pour la survie des populations (Binsangou et al., 2017, Binsangou et al., 2018) et entraîne une diminution importante du stock de carbone.

Pramova et al., 2012 ont montré dans leur étude que cette régression de la superficie forestière du fait de la croissance urbaine, a des impacts très importants non seulement sur les forêts autour des villes ciblées, mais aussi sur l'environnement. La perte de ces forêts contribue ainsi au changement climatique à l'échelle globale (Ojima et al., 2005 ; Lambin et Geist, 2006), car elle contribue aux émissions d'importantes quantités de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

5. CONCLUSION

La présente étude a permis de mettre en évidence l'existence d'une très grande variabilité spatiale du stock de carbone aérien entre les trois types d'occupation du sol suivant : zone urbaine, la zone non forêt ainsi que la zone forêt. Le développement de l'habitat dans la zone urbaine ainsi et les activités anthropiques expliquent tout autour expliquent les faibles stocks de carbone dans ces deux zones. Les stocks de carbone sont plus importants dans les forêts moins perturbées que dans les forêts dégradées et les zones de jachères. Dans le contexte mondial de la lutte contre les changements climatiques et de la préservation des forêts au Congo et dans le monde, cette étude indique la nécessité d'une meilleure gestion de la croissance des villes en vue d'une gestion durable des forêts. La variabilité importante de la biomasse aérienne autour des villes, doit être prise en compte par toutes les parties prenantes à la gestion des forêts afin de limiter d'importantes émissions de gaz à effet de serre.

Références

Aguejdad R., 2009. Etalement urbain et évaluation de son impact sur la biodiversité de la reconstitution des trajectoires à la modélisation prospective. Application a une agglomération de taille moyenne : rennes métropole. Thèse pour obtenir le titre de docteur de l'université européenne de Bretagne. Ecole doctorale sciences humaines et sociales. Université renne 2 haute Bretagne *sous le sceau de l'université européenne de Bretagne*, 378p.

Binsangou S, Ifo S. A, Koubouana F, Louvouandou L. F, Nzingoula S, Mansisse L., 2017. Suivi par télédétection de la déforestation due à la croissance urbaine de la ville de Ouesso dans la période de 2000–2016, République du Congo. International journal of Innovation and scientific Research, 30 (2): 186-197.

Binsangou S, Ifo S. A, Ibocko L, Louvouandou L, Tchindjang M, Félix Koubouana F., 2018. Urban Growth and Deforestation by Remote Sensing in the Humid Tropical Forest of Congo Bassin: Case of Impfondo in Republic of Congo. American Journal of Environment and Sustainable Development, 3 (3) : 46-54.

Bocko Y.E, Ifo S.A, Loumeto J.J., 2017. Quantification Des Stocks De Carbone De Trois Pools Clés De Carbone En Afrique Centrale : Cas De La Forêt Marécageuse De La Likouala (Nord Congo). European Scientific Journal, 13 (5) : 438-456.

Bouetou-Kadilamio L, Ifo S. A, Binsangou S., 2017. Changement de couverture forestière dans le département de la Likouala (République Du Congo) Durant La Période De 1986 À 2015. European science journal, 13: 322-343.

Chave J, Condit R, Aguilar S, Hernandez A, Lao S, Perez R., 2004. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. The royal society, 12p.

Chave J, Andalo, C, Brown S, Cairns M. A, Chambers J. Q, Eamus D, Folster H, Fromard F, Higuchi N, Kira T, Lescure J.P, Nelson B.W., Ogawa H, Puig H, Riéra B, Yamakura T., 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forest, Oecologia, 145: 87-99.

Chave J, Réjou-Méchain M, Búrquez A, Chidumayo E, Colgan M.S, Delitti W.B.C, Duque A, Eid T, Fearnside P.M, Goodman R.C, Henry M, Martínez-Yrízar A, MugashaW.A, Muller-Landau H.C, Mencuccini M, Nelson B.W, Ngomanda A, Nogueira E.M, Ortiz-Malavassi E, Pélissier R, Ploton P, Ryan C.M, Saldarriaga J.G, Vieilledent G., 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. Global Change Biology, 20: 3177–3190.

Ekoungoulou R, Liu X, Ifo S.A, Loumeto J.J, Folega F., 2014. Carbon stock estimation in secondary forest and gallery forest of Congo using allometric equations. International journal of scientific & technology research, 3(3): 465-474.

Feldpausch T.R, Lloyd J, Lewis S.L, Brienen R.J.W, Gloor M, Monteagudo Mendoza A, Lopez-Gonzalez G, Banin L, Abu Salim K, Affum-Baffoe K, Alexiades M, Almeida S, Amaral I, Andrade A, Aragão L.E.O.C, Araujo Murakami A, Arets E.J.M.M, L. Arroyo, G. A. Aymard C,T. R. Baker, O. S. Bánki, Berry N.J. Cardozo N, Chave J. , Comiskey J.A. , Alvarez E., de Oliveira A., Di Fiore A. , Djagbletey G, Domingues T.F, Erwin T.L, P. M. Fearnside, M. B. França, M. A. Freitas, N. Higuchi, E. Honorio C, Y. Iida, E. Jiménez, A. R. Kassim,T. J. Killeen, W. F. Laurance, J. C. Lovett, Y. Malhi, B. S. Marimon, B. H. Marimon-Junior, E. Lenza,A. R. Marshall, Mendoza C, Metcalfe D.J., E. T. A. Mitchard, D. A. Neill, B. W. Nelson, R. Nilus, Nogueira E. M, Parada A, Peh K.S.H, A. Pena Cruz, Peñuela M.C. , Pitman N.C.A., Prieto A., C. A. Quesada, F. Ramírez,H. Ramírez-Angulo, J. M. Reitsma, Rudas A, Saiz G., Salomão R. P., Schwarz M., Silva N., Silva-Espejo J.E.,M. Silveira, B. Sonké, J. Stropp, H. E. Taedoumg, S. Tan, H. ter Steege, J. Terborgh, M. Torello-Raventos, van der Heijden G.M.F, R. Vásquez, Vilanova E , Vos V.A, White L, Willcock S, Woell H, O.L. Phillips, 2012. Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. Biogeosciences, 9 (8): 3381-3403.

FAO, 2017. Carbone organique du sol : une richesse invisible. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie. 72p.

Fayolle A, Doucet J.L, Gillet J.F, Bourland N, Lejeune P., 2013. Tree allometry in Central Africa Testing the validity of pantropical multi-species allometric equations for estimating biomass and carbon stocks. Forest Ecology and Management, 305: 29-37.

Koubouana F, Ifo A.S, Nzai S, Binsangou S, Mondzali-Lenguiya R, 2017. Étude comparative d'une forêt primaire et d'une forêt dégradée au Nord de la République du Congo par référence à la structure des forêts tropicales humides, Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo, pp11-25

Geist H.J, Lambin E.F, 2001. III Land-Use and Land-Cover Change (LUCC) Project IV. International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change (IHDP) V. International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP), LUCC Report Series.

GIEC, 2003. Recommandations en matière de bonnes pratiques pour le secteur de l'utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie. Publié par l'Institut for Global Environmental strategies (IGES), pp : 22-222.

GIEC, 2007. Changements climatiques 2007. Rapport de synthèse. Quatrième rapport d'évaluation du GIEC. Genève, Suisse.

GIEC, 2014 : Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p.

Ifo A.S, Koubouana F, Jourdain C, Nganga D., 2015. Stock and flow of carbon in plant woody debris in two different types of natural forests in bateke Plateau, Central Africa. Open Journal of Forestry. 5: 38-47.

Ifo S.A, Moutsamboté J.M, Koubouana F, Yoka J, Ndzai S, Bouetou-Kadilamio L N, Mampouya H, Jourdain C, Bocko Y, Mantota A.B, Mbemba M, Mouanga S.D, Odende R, Mondzali R, Yeto E, Mampouya W, Ouissika B.C, Loumeto J.J., 2016. Tree species diversity, richness, and similarity in intact and degraded forest in the tropical rainforest of the Congo Basin: Case of the forest of Likouala in the republic of Congo. Hindawi Publishing Corporation. 12p.

Ifo S.A, Binsangou S, Ibocko Ngala L, Madingou M, Sanchez A.C, 2018. Seasonally flooded, and *terra firme* in northern Congo: Insights on their structure, diversity and biomass. African Journal of Ecology. Pp: 1-12. DOI: 10.1111/aje.12555.

Koubouana F, **Ifo A.S**, Nzai S, Binsangou S, Mondzali-Lenguiya R., 2018. *Étude comparative d'une forêt primaire et d'une forêt dégradée au Nord de la République du Congo par référence à la structure des forêts tropicales humides*. Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo 10/2018; 11:11-25., DOI:10.5281/zenodo.1436597.

Lambin E. F. and Geist H.J., 2006. Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes and Global Impacts, Springer, Heidelberg, 222p.

Lewis S.L., Sonke B., Sunderland T., Begne S.K., Lopez-Gonzalez G., van der Heijden G.M.F., Phillips O.L., Affum-Baffoe K., Baker T.R., Banin L., Bastin J.F.B., Beeckman H., Boeckx P., Bogaert J., De Cannière C., Chezeaux E., Clark C.J., Collins M., Djagbletey G., Djuikouo M.N.K., Droissart V., Doucet J.L., Ewango C.E.N, Fauset S., Feldpausch T.R., Foli E.G., Gillet J.F., Hamilton A.C., Harris D.J., Hart T.B., Haulleville T., Hladik A., Hufkens K., Huygens D., Jeanmart P., Jeffery K.J., Kearsley E., Leal M.E., Lloyd J., Lovett J.C., Makana J.R., Malhi Y., Marshall A.R., Ojo L., Peh K.S.-H., Pickavance G., Poulsen J.R., Reitsma J.M., Sheil D., Simo M., Steppe K., Taedoum H.E., Talbot J., Taplin J.R.D., Taylor D., Thomas S.C., Toirambe B., Verbeeck H., Vleminckx J., White L.J.T., Willcock S., Woell H. and Zemagho L., 2013. Above-ground biomass and structure of 260 African tropical forests.*Phil. Trans. R.Soc. B.* 368: 20120295.

Molto Q., 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 Physiologie et biologie des organismes, populations interactions, Université des Antilles et de la Guyane, 184 p.

Mugnier A, Cassagne B, Bayos N, Lafon C., 2009. Estimation des stocks de carbone des forêts du bassin du Congo pour la REDD : Etude comparative conduite sur 22 types forestiers, 4 pays et un dispositif d'aménagement 4,8 millions d'ha. Buenos Aires, Argentina.12 p.

Ojima D, Moran E, Connel W, Stafford Smith M, Laumann G, Morais J, Young B., 2005. Global Land Project – Science Plan and Implementation Strategy". Stockholm, IGBH-IHDP, 64p.

Pearson T, Harris N, Shoch D, Brown S, 2005. A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation. *Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics*, 25p.

Olofsson P, Foody G.M, Herold M, Stehman S.V, Woodcock C.E, Wulder M.A., 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. Remote Sensing of Environment 148, 42-57

Pramova E, Locatelli B, Djoudi H, Somorin O. 2012. Le rôle des forêts et des arbres dans l'adaptation sociale à la variabilité et au changement climatique. Brief n°14, Décembre 2012/cicofor.org. 16p.

Samba Kimbata M.J., 1991. Précipitations et bilans de l'eau dans le bassin forestier du Congo et ses marges. Thèse, Université de Bourgogne, Tome 1, 242p.

Seto K. C., BurakGüneralp B., et Hutyra L. R., 2012. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. PNAS, vol. 109, n° 40, 16083 – 16088, 6p.

Tchatchou B, Sonwa D. J, Ifo S.A, Tiana A.M., 2015. Déforestation et dégradation des forêts dans le Bassin du Congo : Etat des lieux, causes actuelles et perspectives. Papier occasionnel 120, Bogor, Indonésie, CIFOR.

UICN-PC, 2014a. Les Facteurs de Déforestation et de Dégradation des Forêts : Résultats d'une analyse participative dans les Paysages TNS et TRIDOM (Cameroun, Congo, Gabon et RCA). Yaoundé, Cameroun. 81 pages + Annexes.

Van der werf G. R. et al.,, 2009. CO_2 emissions from forest loss. Nat. Geosci, 2 (11) : 737-738.Vroh B.T.A., Tiebre M.S. et N'guessan K.E. (2014), Diversité végétale urbaine etestimation du stock de carbone : cas de la commune du plateau Abidjan, Cote d'Ivoire.Afrique SCIENCE 10(3) (2014) 329-340. ISSN 1813-548X, http://www.afriquescience.info.

Zanne A.E, Lopez-Gonzalez G, Coomes D.A, Ilic J., Jansen S, Lewis S.L, Miller R.B, Swenson N.G, Wiemann M.C. &Chave J, 2009. Global wood density database. Dryad digital repository [www document]. URL http://hdl.handle.net/10255/dryad.235