Afrique SCIENCE *13(3) (2017) 297 - 307*
ISSN 1813-548X, http://www.afriquescience.info

Variabilité spatiale des stocks de carbone organique du sol des savanes dans les réserves de Lésio-Louna et de Léfini, plateaux Tékés, République du Congo

Marcelle Armande BATSA MOUWEMBE[1*], Suspense Averti IFO[1], Stoffenne BINSANGOU MALONGA[1] et Félix KOUBOUANA[2]

[1] Université Marien Ngouabi, ENS, Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie Tropicale Appliquée (LGETA), BP 237 Brazzaville, Congo
[2] Université Marien Ngouabi, ENSAF, Laboratoire de Géomatique et d'Ecologie Tropicale Appliquée (LGETA), BP 69 Brazzaville, Congo

* Correspondance, courriel : *averti.ifosuspens@umng.cg*

Résumé

Une étude sur la variabilité spatiale du stock de carbone organique et de l'azote totale a été faite dans les savanes des plateaux Tékés précisément dans deux sites le plateau de Mbé (réserve de Lésio-Louna) et le plateau de Nsa (réserve de Faune de Léfini). L'objectif général de l'étude était de déterminer les causes de la variabilité spatiale du carbone organique ainsi que de l'azote totale horizons 0 - 5 et 5 - 20 cm. Les teneurs en carbone totale ont été déterminées par oxydation du carbone en un milieu acide; la teneur en azote total par la méthode de Kjeldahl, et la densité apparente par la méthode du cylindre. Les résultats nous indiquent que l'horizon h1 (5 - 20 cm) possède un stock de carbone plus important que l'horizon h0 (0 - 5 cm) dans les deux sites. Dans le site de Lésio-Louna, ce stock a été évalué à 1,16 kg.m^{-2} pour l'horizon h1 contre 0,44 kg.m^{-2} pour l'horizon h0, et dans le site de Léfini, ce stock a été évalué à 1,24 kg.m^{-2} pour l'horizon h1 contre 0,51 kg.m^{-2} pour l'horizon h0. De ces résultats, Il en ressort que la somme des stocks de carbone organique du sol pour l'horizon 0 - 20 cm dans cet écosystème est de 12,80 kg.m^{-2} pour Lésio-Louna et 14,03 kg.m^{-2} pour Léfini. Les résultats de cette étude montrent l'existence d'une très grande variabilité spatiale des stocks de carbone organique du sol à l'échelle de l'hectare. La densité à l'hectare des arbustes dans les parcelles pourrait être le facteur qui influence le plus sur ces stocks de carbone du sol à l'échelle de la parcelle.

Mots-clés : *stock de carbone du sol, plateau Batéké, savane arbuste.*

Abstract

Spatial variability of soil organic carbon stocks of the savannah into the sanctuary of Lesio Louna and of Lefini, plateaux Tékés, Republic of Congo

A study on the spatial variability of the soil organic stock and total nitrogen was done in savanna of the plateau Bateké precisely in two sites the "plateau de Mbé" (sanctuary of Lésio-Louna) and the plateau de Nsa (sanctuary of Fauna of Léfini). The general aim of the study was to determine the causes of this spatial variability of the soil organic carbon and of total nitrogen at the horizons 0 - 5 and 5 - 20 cm. The percentages of carbon total were determined by oxidation of carbon of an acid medium; total nitrogen content by the method of Kjeldahl, and the soil density by the method of the cylinder. The results revealed to us that the

horizon h1 (5 - 20 cm) had a carbon stock more significant than the horizon h0 (0 - 5 cm) in the two sites. In the site of Lésio-Louna, this stock was 1.16 kg.m $^{-2}$ for the horizon h1, 0.44 kg.m $^{-2}$ for the horizon h0. In the site of Léfini, this stock was 1.24 kg.m $^{-2}$ for the horizon h1, 0.51 kg.m $^{-2}$ for the horizon h0. Our results revealed that the total of organic carbon stocks of the ground for the horizon 0-20 cm in this ecosystem was of 12,80 kg.m $^{-2}$ for Lésio-Louna and 14,03 kg.m $^{-2}$ for Léfini. We noted the existence of a very great spatial variability of soil organic stock within a plot. The variation of shrubs density within hectare, and slope could be the main factors which determine the spatial variability of the soil carbon stock.

Keywords : *soil carbon stock, plateau Bateke, savana, shrubs.*

1. Introduction

Les changements climatiques sont un fait avérés et constituent une réalité à travers le monde, et les pays en développement en sont très vulnérables [24]. Il est aujourd'hui admis que ces changements ne feront que s'intensifier si aucune mesure radicale n'est adoptée rapidement [1, 2]. Ces changements représentent à l'heure actuelle, l'une des priorités de la communauté scientifique internationale [5]. C'est ainsi que l'accord sur le climat signé à Paris lors de la COP21 est d'une très grande importance, en ce sens que sa mise en œuvre devrait permettre de réduire les émissions des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Ces changements climatiques sont liés à l'augmentation de la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre (GES) et particulièrement le dioxyde de carbone [3, 25]. Les dernières estimations sur sa concentration atmosphérique révèlent qu'elle est actuellement de 400 ppm [4, 29], et provient de plusieurs sources notamment, les changements d'utilisation des terres (agriculture, déforestation, etc.), les transports, l'industrie, les déchets et l'énergie suite à la minéralisation du carbone organique contenu dans différents réservoirs [1]. Des différents réservoirs de carbone des écosystèmes terrestres, le compartiment sol est celui qui contient les stocks les plus importants avec des valeurs allant de 1500 et 3000 Gt dans la couche superficielle de la lithosphère [9, 10]. La construction des modèles prédictifs de l'impact des changements climatiques dus aux gaz à effet de serre nécessite au préalable une connaissance globale des stocks mais aussi des flux de carbone entre les différents réservoirs de l'écosystème. Le carbone organique du sol est donc d'une grande importance dans le cycle global du carbone [7]. Vu l'importance de leur stock, il pourrait grandement influencer le climat global [32, 33].

Certaines études ont montré que dans les forêts tropicales et subtropicales, les sols contribuaient pour près de 30 % à la matière organique totale globale [34].Ce n'est pas un carbone stable et, suite à la déforestation, ces sols ont perdu leur capacité de stockage de carbone organique, et libèrerait annuellement environ 212 GtC.an^{-1} [35, 36]. Au Congo Brazzaville, les stocks moyens de carbone pour les deux premiers mètres ont été estimés à 160,5 t.Ha^{-1} [39].Ces stocks de carbone varient suivant les types de sol. Dans les sols à podzols des plateaux *Tékés* le stock de carbone du sol trouvé est de 1250 t.Ha^{-1} [37]. Au sujet de la variabilité spatiale des stocks de carbone, plusieurs facteurs pourraient l'expliquer : le climat local, les conditions spécifiques du site, l'histoire de la roche mère, la végétation sur le site, etc. [37]. Dans les Plateaux Tékés de la République du Congo, plusieurs activités économiques à caractère agricole sont pratiquées par les habitants de la région pour alimenter la ville de Brazzaville (culture du manioc, de l'ananas, pomme de terre, etc), elles sont en cours d'implémentation depuis plusieurs décennies, et sont à l'origine de la conversion d'importantes superficies de terre [30]. Il est ainsi important d'avoir des données in situ sur les stocks de carbone organique ainsi que l'azote organique en vue d'affiner les émissions des GES issus du travail de la terre dans cette zone écologique. Dans cette zone des Plateaux Tékés, quelques estimations ont été faites sur les stocks de carbone organique du sol [11, 12]. Cependant, il s'est posé un problème d'échantillonnage en rapport avec la variabilité des écosystèmes terrestres et de l'entendue de la zone des Plateaux Tékés. Or la connaissance de

cette variabilité est une étape importante pour produire des estimations fiables du bilan de carbone [5, 13]. L'objectif général de cette étude était de : (i) Evaluer les stocks de carbone organique dans les horizons 0-5 cm, 5 - 20 cm des deux sites d'études dans les différentes parcelles expérimentales ; (ii) Déterminer les causes de la variabilité spatiale du stock de C.

2. Méthodologie

2-1. Localisation de la zone d'étude et nature des sols

Cette étude a été réalisée dans les Plateaux. Les plateaux Tékés sont limités au Nord par la parallèle 2° latitude Sud, au Sud par la parallèle 4° latitude Sud, à l'Est par le fleuve Congo et à l'Ouest par le 14°5 longitude Est [14]. Ils couvrent une superficie de 13 000 km² et se subdivisent en quatre grands ensembles [14] à savoir le plateau Koukouya, le plateau Djambala, le plateau de Nsa et de Mbé. Sur le plateau de Mbé et de Nsa se trouvent respectivement les réserves de la Lésio-Louna et de la Léfini dans lesquelles ont été sélectionnées deux sites, comme présentés dans la ***Figure 1***. Le premier site est situé dans la réserve de Lésio-Louna, sur le plateau de Mbé, près du camp Iboubikro de la réserve et le second site est situé dans la réserve de faune de Léfini, sur le plateau de Nsa, au Nord de la réserve près du gite de Mpoh.

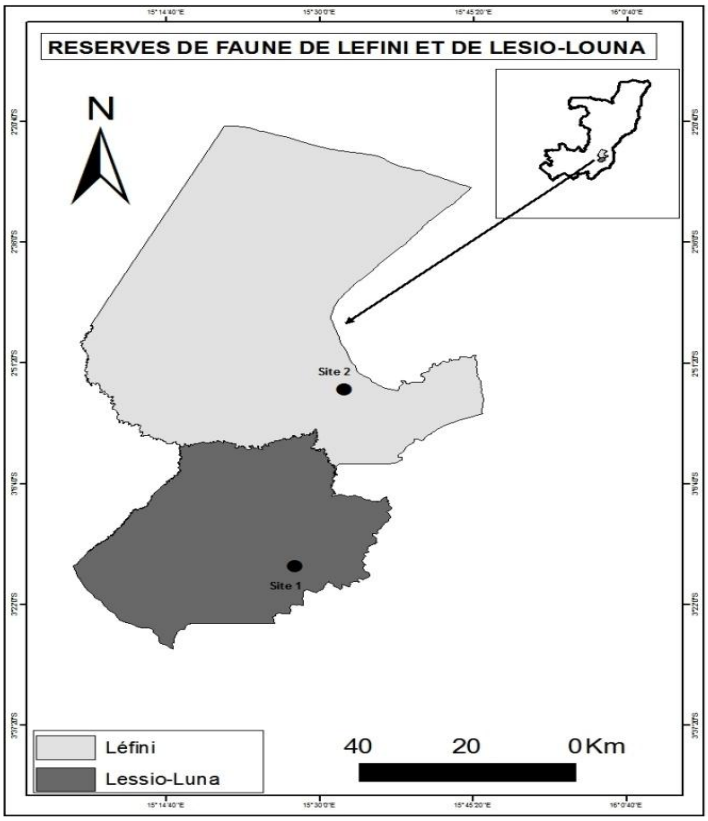

Figure 1 : *Carte de la zone d'étude*

Dans cette zone, le climat est de type sub - équatorial, caractérisé par des précipitations moyennes annuelles de 1300 mm / an, une saison sèche de 1 à 3 mois, une température moyenne d'environ 25 ° C avec une amplitude thermique annuelle de l'ordre de 2 ° C ***(Figure 2)***. Les sols de la zone d'étude sont des sols ferralitiques fortement désaturés appauvris et de couleur jaune [15].

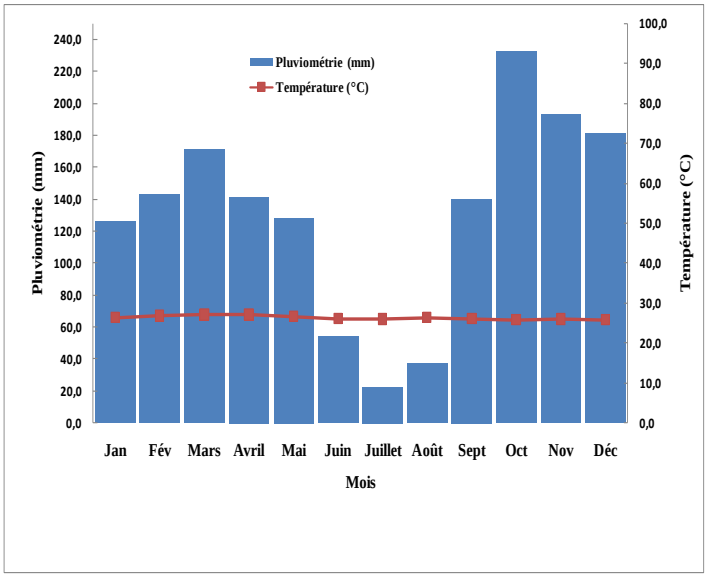

Figure 2 : *Diagramme ombrothermique de la zone d'étude de 2005 - 2015 (Station de Gamboma, ANAC Congo)*

2-2. Dispositifs expérimentaux, échantillonnage et analyses au laboratoire

A l'intérieur de chaque site sélectionné, une parcelle de 25 Ha (500 m x 500 m) a été délimitée. Cette parcelle est subdivisée en 25 sous parcelles carrées de 100 m de côté. Au point d'intersection de quatre sous parcelles, une placette circulaire de 4 m de rayon a été mise en place dans laquelle la collecte des échantillons de sol a été faite. Le prélèvement des échantillons de sol a été fait uniquement à l'aide d'une tarière racinaire, dans les placettes situées le long des transects 2 et 4 où les prélèvements ont été systématiquement réalisés pour les horizons 0 - 5 cm et 5 - 20 cm à 2 points de collecte. Ce qui aboutit à quatre (4) échantillons par placette, donc 32 échantillons sur l'ensemble de la parcelle. Au laboratoire, après séchage pendant 4 jours et tamisage à 2 mm des échantillons de sol, nous avons déterminé, la teneur en carbone organique par oxydation du carbone en un milieu acide [21, 26] ; la teneur en azote total par la méthode de Kjeldahl [31] et la densité apparente par la méthode du cylindre [22]. ***(Figure 3)***.

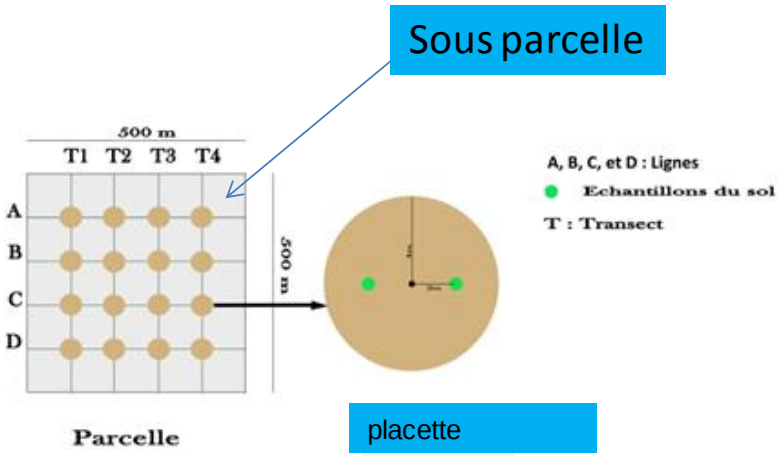

Figure 3 : *Présentation du dispositif et des points de prélèvement des échantillons de sol*

2-3. Calcul du stock de carbone dans le sol

Le stock de carbone du sol a été déterminé à partir de trois paramètres notamment la densité apparente, la teneur en carbone et l'épaisseur de la couche [11, 31] ***(Équation 1)***.

$$Q_i = C_i \times Da \times e_i \times 10 \quad (1)$$

Q_i, le stock de carbone organique d'une couche i, en kg.m^{-2} ; C_i, la teneur en carbone organique de la couche, en % ; Da, la densité apparente de la couche, en g.cm^{-3} ; e_i, épaisseur de la couche, en m.

3. Résultats et discussion

3-1. Variation des stocks de carbone organique dans les différentes sous parcelles des deux sites en fonction des horizons

Les stocks de carbone des horizons h0 et h1 dans les différentes placettes des deux sites sont présentés sur les ***Figures 4 et 5***. Ces stocks varient d'une placette à une autre. Les moyennes de la couche h0 (0 - 5 cm) varient de 0,34 à 0,59 kg.m^{-2} dans le site de Lésio-Louna et de 0,41 à 0,67 kg.m^{-2} dans le site de Léfini ***(Figure 4)***. Tandis que les moyennes de la couche h1 (5 - 20 cm) varient de 1,00 à 1,57 kg.m^{-2} dans le site de la Lésio-Louna contre 1,06 à 1,37 kg.m^{-2} dans le site de la Léfini ***(Figure 5)***. De ce fait, ces résultats nous indiquent une variation des stocks de carbone du sol à l'échelle de l'hectare, étant donné que ces stocks varient d'une placette à une autre et que ces placette sont séparées d'un hectare les une des autres. Cela confirme donc les travaux de [16] qui citent la matière organique comme l'un des caractères des sols les plus variables au sein de la surface de l'ordre d'un hectare, étant donné que ces placette sont séparées de 1 ha les unes des autres.

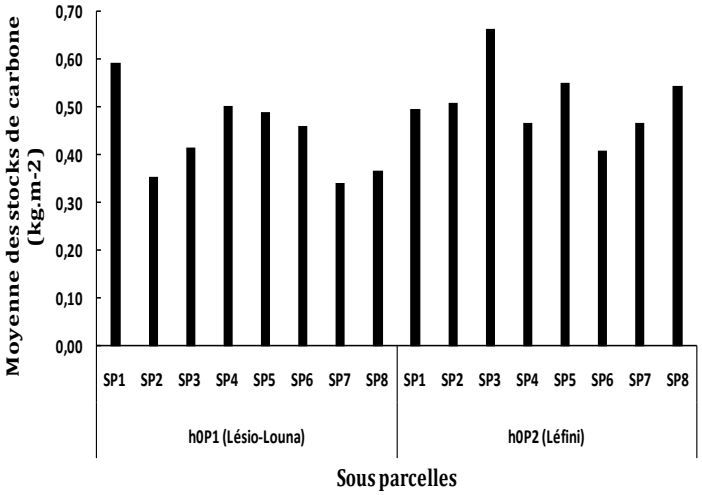

Figure 4 : *Moyenne des stocks de carbone de l'horizon h0 des placettes des sites de Lésio-Louna et Léfini*

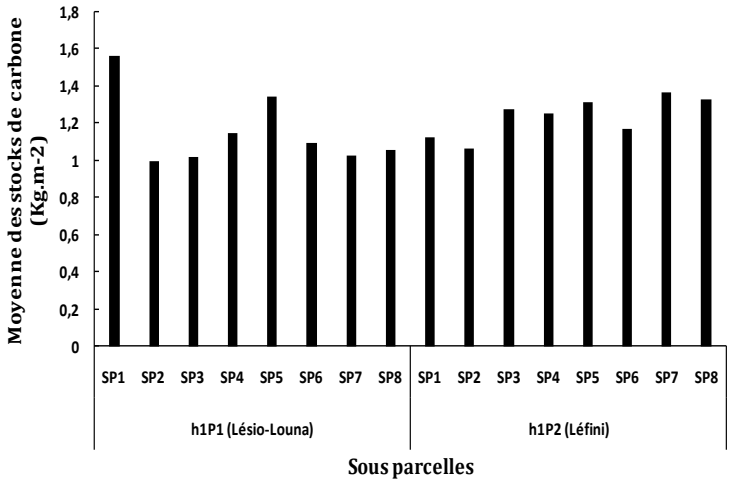

Figure 5 : *Moyennes des stocks de carbone de l'horizon h1 des placettes des sites de Lésio-Louna et Léfini*

3-2. Variation des stocks de carbone organique des horizons h0 et h1 des sites de Lésio-Louna et de Léfini

Les moyennes des stocks de carbone des horizons h0 et h1 des deux sites sont représentées sur la ***Figure 6***. Dans le site de la Lésio-Louna, ces stocks ont été évalués à 0,44 kg.m^{-2} pour l'horizon h0 contre 1,16 kg.m^{-2} au niveau de l'horizon h1 ***(Figure 6)***. De même dans le site de Léfini, la moyenne des stocks a été évaluée à 0,51 kg.m^{-2} au niveau de l'horizon h0 contre 1,24 kg.m^{-2} au niveau de h1 ***(Figure 6)***. Tout comme la moyenne des stocks de carbone des différentes placettes, ces stocks varient également d'un horizon à un autre. Les stocks de carbone des horizons h1 sont supérieurs à ceux des horizons h0 dans les deux sites. Cette inégalité pourrait s'expliquer par la densité apparente qui diffère pour les deux horizons. En effet, la densité apparente est un paramètre du sol lié à la nature et à l'organisation des constituants du sol [17]. Elle peut différer dans deux échantillons de même masse, car les particules ne pourront pas être agencées de la même façon dans ces deux échantillons [27]. Or, elle constitue un paramètre important pour le calcul des stocks de carbone du sol et affecterait les valeurs des stocks de carbone obtenus. Dans ces deux sites, les densités apparentes des deux horizons sont pratiquement les mêmes ; d'où les horizons h1 ont des stocks de carbone plus importants que des horizons h0.

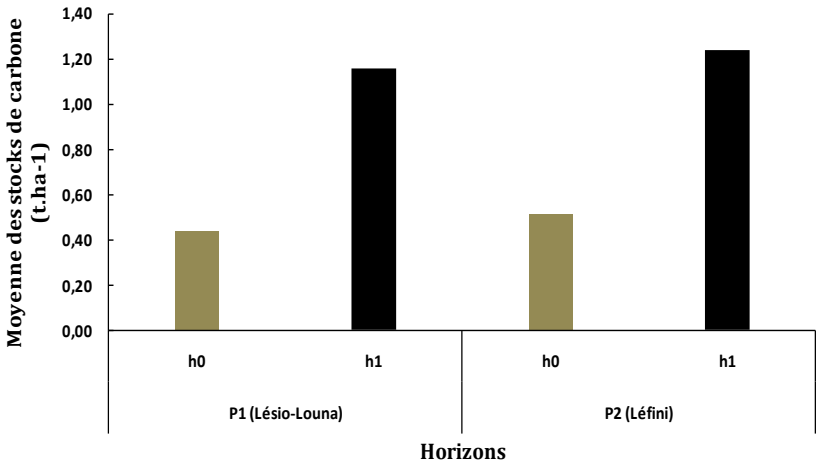

Figure 6 : *Moyennes des stocks de carbone des horizons h0 et h1 des sites de Lésio-Louna et Léfini*

3-3. Stocks de carbone organique de 0 à 20 cm dans les deux sites

La moyenne des stocks de carbone total (de 0 à 20 cm) est présentée sur la ***Figure 7***. Ces stocks ont été évalués à 0,88 kg.m^{-2} dans la parcelle de la Léfini contre 0,80 kg.m^{-2} dans la parcelle de la Lésio-Louna. C'est le site de la Léfini qui contient le stock de carbone le plus élevé. En effet, les inventaires réalisés dans les deux savanes montrent que l'on a une densité moyenne à l'hectare de près de 59 pieds dans la parcelle de Léfini contre 38 pieds à l'hectare dans la parcelle de Lésio-Louna [18]. La biomasse aérienne et la densité moyenne du nombre de pieds à l'hectare pourraient expliquer la répartition de ces stocks [17]. En effet, les arbres apportent au sol le carbone à travers le turnover des racines fines. C'est pourquoi dans le site de Léfini, les stocks en carbone sont plus importants que ceux de Lésio-Louna à cause de leur densité moyenne à l'hectare plus élevée ***(Figure7)***.

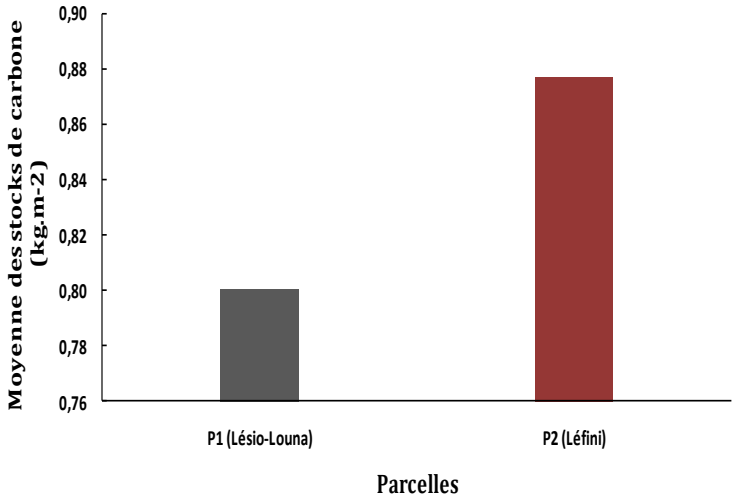

Figure 7 : *Moyennes de stock de carbone total de 0 à 20 cm des sites 1 et 2*

La variabilité spatiale des stocks de carbone entre ces deux sites peut s'expliquer également par le processus de décomposition de la matière organique. En effet, la minéralisation s'effectue normalement lorsque le rapport C / N varie de 9 à 12, elle devient rapide lorsque le rapport C / N est supérieur ou égal à 12 [23]. Dans notre étude, le rapport C / N de la parcelle de Léfini (12,52) révèle qu'il est dans la fourchette des sols à décomposition lente de la matière organique, cela traduit une accumulation importante de la matière organique tandis que celui de la parcelle de Lésio-Louna se situe dans l'intervalle des sols à décomposition normale de la matière organique avec un rapport correspondant à 11,76 ***(Tableau 1)***, cela traduit une minéralisation normale de la matière organique. D'où les stocks de Léfini supérieurs à ceux de Lésio-Louna.

Tableau 1 : *Moyenne des rapports C / N des différents sites*

Parcelle	Horizon	C (%)	N (%)	Rapport C / N	Total C / N
P1	h0	0,62	0,05	11,70	11,76
	h1	0,53	0,05	11,83	
P2	h0	0,71	0,06	12,47	12,52
	h1	0,55	0,04	12,56	

Les stocks obtenus dans nos sites comparés à ceux d'autres auteurs, paraissent plus faibles. [19] par exemple, dans son étude sur les estimations des stocks de carbone du Bénin avait obtenu sur une profondeur de 0-20 cm, dans une savane soudano-guinéenne du Bénin, des stocks de carbone organique du sol plus élevés, d'environ 2,2 kg.m^{-2}. Le type de végétation pourrait expliquer ces différences. Aussi dans cette même étude, le calcul volumique a été fait en prenant une densité apparente moyenne de 1,3 kg.cm^{-3}, ceci surestime la valeur des stocks obtenus. De même, [20] dans son étude sur la chênaie verte dans la région de l'atlas marocain avait obtenue sur une profondeur de 0-30 cm des stocks de l'ordre de 6,1 kg.m^{-2} et 4,7 kg.m^{-2} respectivement pour les régions de Tafachna et Reggada. Ces stocks paraissent donc supérieurs à ceux trouvés dans notre étude, le type de végétation pourrait expliquer les différences notées, étant donné que la région d'Atlas Marocain est constituée du chêne vert et celle des plateaux Tékés est une région dominée par *l'Hymenocardia acida,* ce sont donc deux espèces qui ont des biologies différentes, on peut supposer que les turnover des racines fines des deux espèces soient différentes. D'une manière générale ses stocks sont légèrement inférieurs à ceux obtenus par certains auteurs [8, 28].

3-4. Relation entre stocks de carbone, topographie et densité des arbres à l'hectare

Dans le site de la Lésio-Louna, suivant qu'on part des zones de pente vers les baffons, on constate, au niveau des deux horizons (h0 et h1), une diminution progressive des stocks de carbone organique puis une légère augmentation vers les baffons ***(Figure 8)***. Par exemple, pour l'horizon h0, ces stocks diminuent, ils passent de 0,54 à 0,38 kg.m^{-2} puis augmente légèrement à 0 ,44 kg.m^{-2}. De même, au niveau de l'horizon h1, ces stocks diminuent de 1,46 kg.m^{-2} à 1,02 kg.m^{-2} puis augmentent légèrement dans les baffons jusqu'à 1,10 kg.m^{-2}.

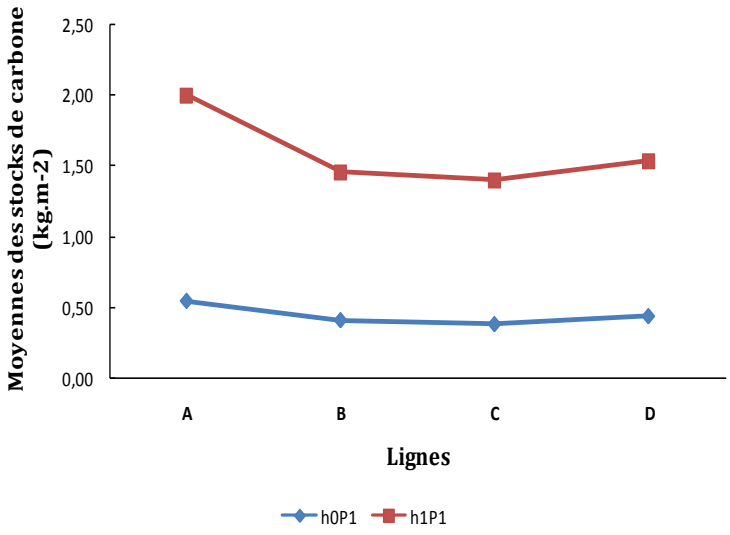

Figure 8 : *Variabilité spatiale des stocks de carbone organique du site 1 Lésio-Louna en fonction des horizons et de la topographie*

Les stocks de carbone de la parcelle de la Léfini (site 2) varient également en fonction de la topographie pour les deux horizons. Pour l'horizon h0, ils diminuent selon quand part de la pente, en passant de 0,52 à 0,46 kg.m^{-2} puis augmente à 0,57 kg.m^{-2} et enfin subit une légère diminution pour passer à 0,51 kg.m^{-2} dans les baffons. De même pour l'horizon h1, ces stocks diminuent également quand on part de la pente, en passant de 1,22 à 1,12 kg.m^{-2} puis augmente jusqu'à atteindre 1,32 kg.m^{-2} et enfin diminuent légèrement dans les baffons, pour passer à 1,30 kg.m^{-2} ***(Figure 9)***.

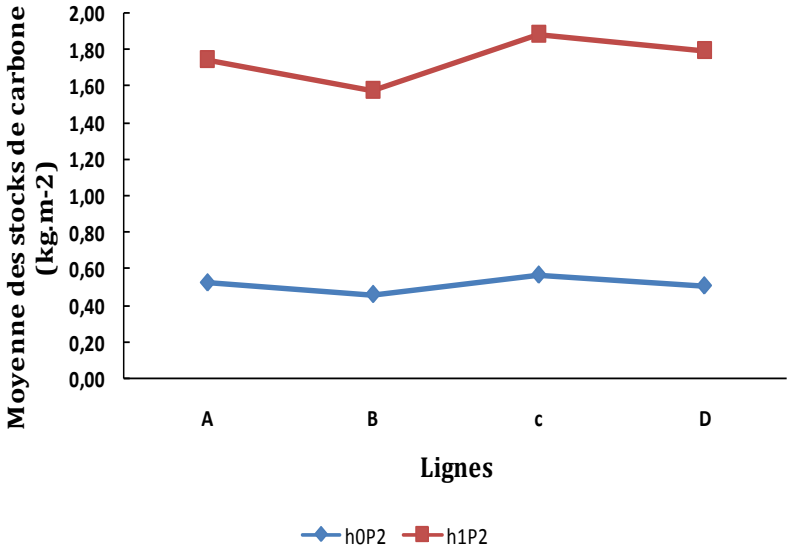

Figure 9 : *Variabilité spatiale des stocks de carbone organique du site 2 en fonction des horizons et de la topographie*

Comme nous l'avons dit plus haut, dans la parcelle de la Léfini, les stocks de carbone de 0 - 20 cm sont importants dans les placettes qui se trouvent au niveau des baffons. Le lessivage pourrait expliquer cette répartition. En effet à la suite des pluies, le ruissèlement s'effectue du haut vers le bas, entrainant la matière organique du haut de la pente vers le bas. Ce pourrait expliquer l'enrichissement en matière organique des sols en bas de pente. Une autre cause qui pourrait expliquer la variabilité du stock de carbone organique est la variabilité de la densité des arbustes à l'hectare dans les placettes. Les placettes situées au niveau de la ligne C ont en moyenne 12 pieds [18], elles sont plus denses que les placettes situées en haut des pentes. Par contre, dans la parcelle de la Lésio-Louna, les stocks de carbone du sol sont moins importants dans les baffons. La densité des arbustes à l'hectare explique cette répartition. Cela prouve que le lessivage n'est pas le seul facteur responsable de la répartition des stocks de carbone du sol à l'échelle de la topo séquence. Les arbres aussi apportent le carbone au sol à travers les racines fines et la litière [6].

4. Conclusion

Cette étude menée dans les réserves de la Lésio-Louna et de la Léfini a permis de faire un bilan sur les stocks du carbone organique du sol et de suivre la variabilité des stocks de carbone en fonction de la topographie et de la densité des arbres à l'hectare. Dans ces deux sites, le stock de carbone le plus important est noté dans la réserve de la faune de la Léfini (sur le plateau de Nsa). Les résultats de cette étude révèlent que topographie et la densité des arbres à l'hectare influencent bien la variabilité spatiale du stock de carbone organique dans les deux sites. Il est important d'attirer l'attention des gestionnaires des terres locales sur l'importance de préserver les stocks de carbone organiques dans ces terres afin de limiter les émissions vers l'atmosphère des GES.

Références

[1] - GIEC, Communiqué de presse du GIEC. GIEC, (2014) 4 p.

[2] - T. TIETENBERG et L. LEWIS, Economie de l'environnement et développement durable. Naccache P., Gallo J. et Mauléon F. (Eds), 6ème édition, Nouveaux Horizon, (2013) 390 p.

[3] - J. GERMON, le rôle régulateur du sol dans le changement climatique. Courrier de l'environnement de l'INRA, N° 35 (1998) 43 - 50

[4] - Scripps Institue of Oceanography, (2014), htpp://www.google.com/search?q=global+carbon+project&biw=1366&bih=657&source=lnms&tbm=isch&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwiMj421rJzSAhUBrRQKHUYGCasQ_AUIBygC#tbm=isch&q=CO2+atmosph%C3%A9rique+en+ppm&imgdii=cwhbGY5pAZem7M:&imgrc=zLVEurKklKavDM

[5] - D. ARROUAYS, C. FELLER, C. JOLIVET, N. SABY, F. ANDREUX, M. BERNOUX et C. CERRI, Estimation de stocks de carbone organique des sols à différentes échelles d'espaces et de temps. *Etudes et Gestion des sols*, 10 (4) (2003a) 347 - 355

[6] - S. IFO, Apports de carbone au sol et stocks dans deux types forestiers (forêt galerie et forêt secondaire) des plateaux Téké. *Thèse de doctorat*, Université Marien Ngouabi, (2010) 194 p.

[7] - N. BATJES, Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *Eur. J. Soil Sci.,* 47 (1996) 151 - 164

[8] - M. BERNOUX, C. C. CERRI, B. VOLKOFF, S. CARVALHO, C. FELLER, C. P. CERRI, V. ESCHENBRENNER, C. PICCOLO et B. FEIGL, Gaz à effet de serre et stockage du carbone par les sols : inventaire au niveau du Brésil. *Cahiers Agricultures,* 14 (1) (2005) 96 - 100

[9] - C. GRINAND, Développement d'une méthode de spatialisation des stocks de carbone dans le sol à l'échelle régionale. *Application à un projet REDD* à Madagascar, (2010) 47 p.

[10] - K. FUJISAKI, Devenir des stocks de carbone organique des sols après déforestation et mise en culture : une analyse diachronique en contexte amazonien. *Thèse de doctorat, Centre International d'Etudes Supérieures en Sciences Agronomiques* (Montpellier SupAgro), (2014) 237 p.

[11] - M. NAMRI, Les stocks de carbone des sols du Congo. Bilan spatial et recherche des facteurs de répartition. *Mémoire de Maitrise*, *Université Louis Pasteur*, (1996) 120 p.

[12] - M. NAMRI et D. SCHWARTZ, les stocks de carbone des sols du Congo. *Eur. J. Soil Sci.*, (1998) 157 - 161 p.

[13] - M. BERNOUX, D. ARROUAYS, C. CERRI, P. M. DE ALENCASTRO GRAÇA, B. VOLKOFF et J. TRICHET, Estimation des stocks de carbone des sols du Rondônia (Amazonie brésilienne). *Etude et Gestion des Sols*, 5 (1) (1998) 1 - 13

[14] - E. APANI, Contribution à l'étude phytosiocologique de la savane à *Loudetia demeusei* et *Hymenocardia acida* des contreforts des Plateaux Téké (République populaire du Congo). *Thèse de doctorat*. Université de Rennes I, (1990) 141 + annexes

[15] - J. OTONGO, Caractérisation morphologique des sols du Plateau de Mbé. Mémoire de Master, Faculté des sciences et techniques, Brazzaville, (2013) 50 p.

[16] - L. WILDING et L. DREES, Spatial variability and pedology. In : Pedogenesis and soil taxonomy. I. concepts and interactions. L.P. Wilding N.E. Smeck et G.F. Hall (eds.). Elsevier New-York, (1983) 83 - 116

[17] - G. YORO et G. GODO, Les méthodes de mesure de la densité apparente. Analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 25 (4) (1990) 423 - 429

[18] - P. NIETO, fire dynamics in the bateke plateau. fieldwork may-june 2015 report, brazzaville, (2015) 20 p.

[19] - B. VOLKOFF, P. FAURE, D. DUBROEUCQ et M. VIENNOT, Estimation des stocks de carbone des sols du Bénin. *IRD (ex ORSTOM), Etude et Gestion des sols*, 6 (2) (1999) 115 - 130

[20] - M. BOULMANE, M. MAKHLOUFI, J. P. BOUILLET, L. SAINT- ANDRE, B. SATRANI, M. HALIM et S. ELANTRY-TAZI, Estimation du stock de carbone organique dans la chênaie verte du Moyen Atlas marocain. *Acta Botanica Gallica*, 157 (3) (2010) 451 - 467

[21] - A. WALKLEY et J. A. BLACK, An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic titration method. *Soil Sci.,* 37 (1934) 29 - 38

[22] - D. BAIZE, Guide des analyses en pédologie : choix - expression - présentation - interprétation. *INRA,* France, (2000) 257 p.

[23] - LCA, (2008). http ://www.languedocrousillon.chambagri.fr

[24] - GIEC, Bilan 2007 des changements climatiques : impacts, adaptation et vulnérabilité. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Parry M. L., Canziani O. F., Palutikof J. P., Van Der Linden P. J., Hanson C. E. (éd.). *Cambridge University Press*, Royaume-Uni, (2007) 976 p.

[25] - A. PAPAUD et A. POISSON, Le cycle du carbone et sa perturbation par les activités humaines : un aperçu du problème. *Oceanol. Acta*, 8 (2) (1985) 133 - 145

[26] - CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUEBEC et MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DES PECHERIES ET DE L'ALIMENTATION DU QUEBEC, Détermination de la matière organique par dosage du carbone dans les sols agricoles : méthode Walkley-Black modifiée, MA. 1010 - WB 1.0, *Ministère de l'environnement du Québec*, (2003) 10 p.

[27] - R. CALVET, C. CHENU et S. HOUOT, Les matières organiques des sols. Rôles agronomiques et environnementaux. 2ème édition, *France Agricole*, Paris, (2015) 338 p. + index

[28] - E. HIEN, F. GANRY, V. HIEN et R. OLIVER, Dynamique du carbone dans un sol de savane du sud-ouest Burkina sous l'effet de la mise en culture et des pratiques culturales. In : Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, Garoua, Cameroun Jean-Yves Jamin, Lamine Seiny Boukar, Christian Floret (eds). *Cirad-Prasac*, (2003) 11 p.

[29] - C. LE QUERE et al., Global carbon budget 2013, *Earth Syst. Sci. Data*, 6 (2014) 253 - 263

[30] - CERAPE-SOFRECO, Monographie départementale des Plateaux, étude du secteur agricole, République du Congo, (2011) 86 p.

[31] - H. WANG, W. WANG et S. X. CHANG, Sampling method and tree-age affect soil organic C and N contents in larch plantations, Forest, 8 (28) (2017) 1 - 15

[32] - IPCC, The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. In : Land Use, Land- Use Change and Forestry : A Special Report of the International Panel on Climate Change edsWatson RT, Noble IR, Bolin B, Ravindranath NH, Verardo D, Dokken D), *Cambridge University Press*, Cambridge, (2000)

[33] - C. A. PALM, J. C. ALEGRE, L. AREVALO, P. K. MUTUO, A. R. MOSIER et R. COE, Nitrous oxide and methane fluxes in six different land use systems in the Peruvian Amazon. *Global Biogeochem. Cycles*, 16 (4) (2002) 1073 - 1082

[34] - R. C. DALAL et J. O. CARTER, Soil organic matter dynamics, carbon sequestration in Australian tropical soils. In: Lal, R., Kimble, J.M., Stewart, B.A. (Eds.), Global Climate Change and Tropical Ecosystems. *CRC Press, Boca Raton, FL,* (2000) 283 - 314

[35] - P. M. FEARNSIDE, Global warming and tropical land-use change : Greenhouse gas emissions 41 from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation 42 and secondary vegetation. *Climatic Change*, 46 (2000) 115 - 158

[36] - P. MAYAUX, P. HOLMGREN, F. ACHARD, H. EVA, H. J. STIBIG et A. BRANTHOMME, Tropical forest 2 cover change in the 1990's and options for future monitoring. *Philosophical Transactions 3 of The Royal Society B: Biological Sciences (Phil. Trans. B),* 360 (2005) 373 - 384

[37] - D. SCHWARTZ, Some podzols on Bateke sands and their origins, People's Republic of Congo. *Geoderma,* 43 (1988) 229 - 247

[38] - D. S. YU, X. Z. SHI, H. J. WANG, W. X. SUN, J. M. CHEN, Q. H. LIU et Y. C. ZHAO, Regional patterns of soil organic carbon stocks in China. *Journal of Environmental Management,* 85 (2007) 680 - 689

[39] - D. SCHWARTZ et M. NAMRI, Mapping the total organic Carbon in the soils of the Congo. *Global and Planatery Change*, 33 (2002) 77 - 93