

Estimation du flux nocturne, diurne et cumulé du CO₂ dans quelques occupations du sol au sein du jardin zoologique de Kisangani /RDC.

Ndongo Yekola Esther; Angbonga Basya Albert ; Monde Te-kazangba Godefroid;
Meniko Tohulu Pitchou

Chercheurs à l'Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi (IFA/Ybi) ;

Résumé

Les majeures préoccupations soulevées dans cette étude étaient de savoir d'une part, les variations dans l'espace et dans le temps de flux de carbone dégagé par le sol ainsi que les facteurs climatiques (l'humidité et la température du sol) qui expliquent mieux ces variations de CO₂ à travers les trois types d'occupations du sol à l'occurrence, le sol sous forêt, le sol sous jachère jeune et le sol nu. D'autre part, il s'agissait de mesurer les variations des flux nocturnes et diurnes de dioxyde de carbone dégagés par le sol à travers les trois types d'occupations précitées et de dégager leurs variations entre ces occupations du sol.

Après les analyses, il résulte que :

- ❖ Les flux sortant de carbone du sol varient dans l'espace et non dans le temps et sont corrélés positivement avec l'humidité du sol entre les différentes occupations du sol ;*
- ❖ Les flux de carbone du sol dégagés la journée sont restés supérieurs à ceux dégagés la nuit suite à la forte variation de la température et de la teneur en eau du sol ;*
- ❖ Les flux de carbone du sol dégagés par le sol sous forêt sont demeurés bien supérieurs à ceux dégagés par le sol sous jachère jeune et ceux-ci supérieurs à ceux dégagés par le sol nu, suite à une importante biomasse racinaire et de la litière du sol sous les espèces en plantation dans le milieu tropical.*

Le CO₂ dégagé sous forêt bien que supérieur à celui dégagé par le sol sous jachère jeune et sur le sol nu, sera rapidement compensé par le processus de séquestration de carbone réalisé par les arbres en place.

Mots clés : *respiration du sol, forêts mixte, jachère jeune, sol nus, CO₂.*

Summary

The major concerns raised in this study were to know, on the one hand, the variations in space and time of carbon flux released by the soil as well as climatic factors (humidity and soil temperature) which explain better these CO₂ variations across the three types of soil occupations at the occurrence, the under-forested soil, the young fallow soil and the bare

soil. On the other hand, it was necessary to measure the variations of the nocturnal and diurnal fluxes of carbon dioxide released by the soil through the three types of occupations mentioned above and to reveal their variations between these occupations of the soil.

After the analyzes, it follows that:

- ❖ Soil carbon outflows vary in space and not in time and are positively correlated with soil moisture between different land uses;
- ❖ The soil carbon fluxes released during the day remained higher than those released at night due to the large variation in temperature and soil moisture content;
- ❖ Soil carbon fluxes released by forested soil remained well above those released by young fallow soil, and those above those released by bare soil, following a large root biomass and litter soil under the planting species in the tropical environment.

The CO₂ released under forest, although higher than that released by the soil under young fallow and on bare ground, will be quickly offset by the process of carbon sequestration carried out by the existing trees.

Key words: soil respiration, mixed forests, young fallow, bare soil, CO₂

1. Introduction

L'augmentation de la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone (CO₂), gaz qui participe au renforcement de l'effet de serre, a mis en évidence la nécessité de mieux comprendre le cycle de carbone et sa dynamique au sein des écosystèmes terrestres, étant donné que des larges incertitudes sont actuellement associées aux échanges entre les écosystèmes et l'atmosphère (Moureaux et al., 2008).

Lors de la conférence de Kyoto en 1997, les Etats signataires du traité se sont engagés d'une part à réduire leurs émissions de CO₂ et d'autre part à quantifier de manière exhaustive les stocks et les flux de carbone pour accroître leur connaissance sur le bilan de carbone dans tous les écosystèmes.

Plus récemment, le sommet mondial de la Haye a montré l'insuffisance des études actuelles sur la dynamique du carbone dans les écosystèmes cultivés et naturels. Approfondir la connaissance du déterminisme de la respiration du sol et en proposer une modélisation est au cœur des problématiques scientifiques actuelles car, la respiration du sol présente une part prépondérante de la respiration des écosystèmes (Granier et al., 2000 ; Jansens et al., 2001).

De ce fait, il nous est important de quantifier la part encore mal connue de flux de carbone du sol des écosystèmes forestiers et non forestiers d'une part et d'autre part ; les flux diurnes, nocturnes et cumulés de ces écosystèmes tropicaux dans la région de Kisangani /RDC.

Les facteurs liés aux caractéristiques du sol et de la végétation permettent d'expliquer les variations spatiales et temporelles de la respiration du sol à l'échelle de la forêt mixte et ceux liés uniquement aux caractéristiques du sol permettront d'expliquer les variations spatiales et temporelles de la respiration du sol sur le sol non forestier.

L'objectif de cette étude consiste à caractériser spatialement et temporellement la respiration du sol dans chaque occupation du sol étudié (le sol sous forêt, le sol sous jachère jeune, sol nu). Il sera également question de ressortir la part dégagée la journée, celle dégagée la nuit, et la concentration cumulée des CO₂ dans le sol de chaque type d'occupation sous étude.

2. Méthodes

Notre recherche a été réalisée dans l'assiette du Jardin Zoologique de Kisangani, situé dans la partie Nord de la ville de Kisangani à environ 4Km du centre-ville, au sein de la province de la Tshopo. Le Jardin Zoologique de Kisangani, d'une superficie totale de 84 ha, est sous l'égide de l'Institut des Jardins Zoologique et Botanique du Congo (I.J.Z.B.C.) depuis 1978 (I.J.Z.B.C., 2014). La méthode utilisée était celle de piégeage dans des chambres fermées statique par la chaux sodée. L'emplacement des chambres respirométriques dans les espaces arborés est fonction de la couverture végétale sans tenir compte des espèces occupant l'endroit. Cinq chambres respirométriques ont été installées sous forêt (en abrégé SFO1, SFO2, SFO3, SFO4, SFO5), trois sous Jachère (en abrégé JJO1, JJO2, JJO3) et trois autres sur sol nu (en abrégé SNO1, SNO2, SNO3). En plus de ces 11 chambres respirométriques, deux autres chambres à blanc (témoins) ont été posées dont, une sous la forêt et une autre sous la jachère pour tenir compte de la quantité du CO₂ absorbé par la chaux sodée lors de la procédure expérimentale.



Fig. 1 : Insertion de chambres respirométriques dans le sol du site d'étude.

Les formats des chambres respirométriques sont des seaux opaques dont l'intérieure et l'extérieure ont été peintes en couleur blanche. La capacité de ces seaux était de 18 litre, d'une hauteur interne de 26,2 Cm et externe de 26,5 Cm. Les diamètres minimum et maximum étaient respectivement 30 et 31 Cm.

Les seaux découpés de leurs extrémités basales afin de permettre leur insertion dans le sol, ont été insérés à une profondeur de 2 à 3 cm sur une surface relativement plane. Cette insertion a été faite de manière à ne pas endommager les racines des arbres en place. L'horizontalité de chaque chambre était vérifiée par un niveau de maçon. Pour chacune d'occupations du sol, ces chambres respirométriques dépourvues des feuilles vertes étaient séparées les unes des autres d'une distance de ± 25 mètres.

Afin que la structure du sol se stabilise et que l'activité microbienne se régularise après les perturbations causées au cours de l'insertion de chambres respirométriques (Edward 1989 ; Hanson et al., 1993 ; Sellers et al., 1997 ; Striege et Wickland 1998 ; Hashimoto et al., 2003),

deux semaines se sont écoulées avant la prise des mesures de flux de dioxyde de carbone du sol.

2.1. Mesure de la respiration du sol

Avant les mesures sur terrain, 60g de la chaux sodée étaient déposés dans chaque boîte de pétrie dont le poids sec et constant était mesurés après passage à l'étuve à une température de 105°C durant 24h. La boîte directement couverte était scellée avec le parafilm.

Les mesures des flux de carbone ont été faites en deux étapes : La première étape regroupe les trois mesures des flux de carbone du sol sur une durée de 24 heures cumulant à la fois les flux diurnes et nocturnes, en dates de 21/04/2014 ; 03/05/2014 et 24/05/2014. La deuxième étape regroupe les trois mesures de flux de carbone du sol sur une durée de 24 heures séparant les flux diurnes mesuré sur une durée de 12 heures, allant de 6 h⁰⁰ à 18h⁰⁰ et les flux nocturnes sur une durée également de 12 heures, allant de 18 h⁰⁰ à 6h⁰⁰, en dates de 04/06/2014 ; 11/07/2014 et 17/07/2014.

Sur le terrain, chaque boîte de pétrie était ouverte et avant son exposition dans la chambre respirométriques, 8 ml d'eau étaient aspergés sur la chaux sodée à l'aide d'une pincette pour faciliter la réaction d'hydrolyse avec le CO₂ sortant du sol. Déposée sur une tablette, la chambre est hermétiquement fermée tout en plaçant un objet dessus dans le souci d'éviter les fuites des flux de carbone et de maintenir la stabilité dans la chambre respirométrique. Le numéro de la boîte de pétrie, la date et l'heure du dépôt de la chaux sodée dans la chambre respirométrique étaient notés sur la fiche de terrain. Les boîtes de pétrie étaient retirées des chambres respirométriques 24 heures ou 12 heures après leur exposition selon le cas, puis couvertes et scellées à nouveau avec le parafilm.

Du retour au laboratoire, les boîtes contenant la chaux sodée étaient ouvertes et soumises au séchage dans l'étuve à 105°C jusqu'au poids constant. Après refroidissement à travers le dessiccateur, le poids sec boîte + chaux sodée après incubation était noté dans une fiche du laboratoire. La différence poids sec après incubation et poids sec avant incubation nous donne les flux de CO₂ du sol. Les mesures de la température et de l'humidité du sol ont été aussi effectuées. Le même jour que la mesure de la respiration du sol pour la température et un autre jour pour l'humidité du sol.

3. Résultats

3.1. Flux diurnes de carbone du sol sous différents types d'occupations

3.1.1. Variation spatiale et temporaire des flux diurnes de carbone dans les sites étudiés

Les figures 2 et 3 ci-dessous montrent la variation spatiale et temporaire du flux diurne de carbone du sol entre les chambres respirométriques de différentes occupations.

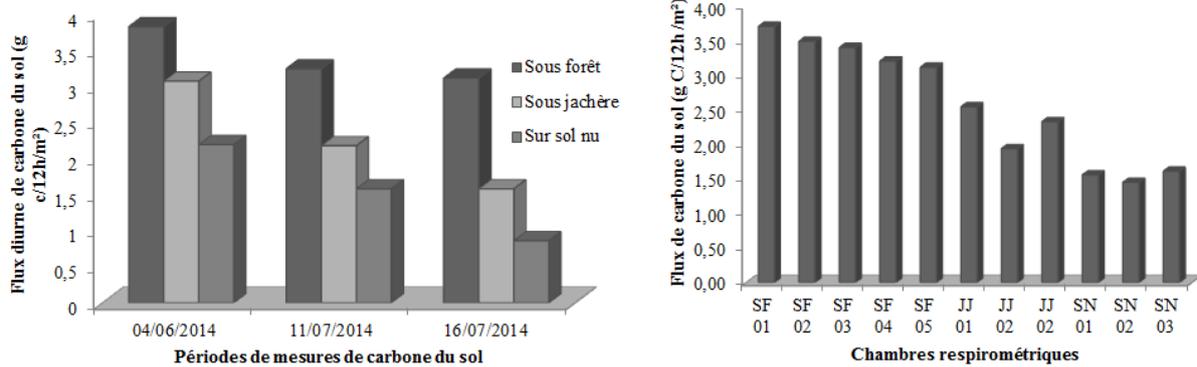


Fig. 2 et 3 : Variation spatiale et temporelle de flux diurne de carbone du sol de différentes occupations. SF : Sol forestier (01 ; 02 ; 03 ; 04 ; 05) ; JJ : Sol sous jachère jeune (01 ; 02 ; 03) ; SN : Sol nu (01 ; 02 ; 03).

De ces figures 2 et 3, les flux de carbone du sol dégagé la journée au cours des périodes de mesures varient faiblement d’une chambre respirométrique à une autre au sein de chaque type d’occupations du sol. Des flux importants ont été enregistrés dans la chambre respirométrique sous-forêt (SF 01), avec une moyenne de $3,71 \pm 0,12 \text{ g C/m}^2/12 \text{ h}$ et des faibles flux dans la chambre respirométrique sur sol nu (SN 02), avec une moyenne de $1,45 \pm 0,54 \text{ g C/m}^2$. Les flux de carbone du sol décrivent progressivement de l’occupation sous-forêt à l’occupation sol nu en passant par le sol sous jachère jeune. Sur le plan temporelle, les flux de carbone dégagés la journée en date du 04/06/2014 sont supérieures à ceux dégagés la journée du 11/07/2014 et supérieures à ceux du 16/07/2014, pour toutes les occupations du sol avec leurs moyennes respectives indiquées dans le graphique.

3.2. Flux nocturne de carbone du sol sous différentes occupations

3.2.1. Variation spatiale et temporelle du flux nocturne de carbone du sol

La variation spatiale et temporelle des flux nocturnes de carbone du sol sous différents types d’occupations est présentée dans les figures 4 et 5 ci-dessous.

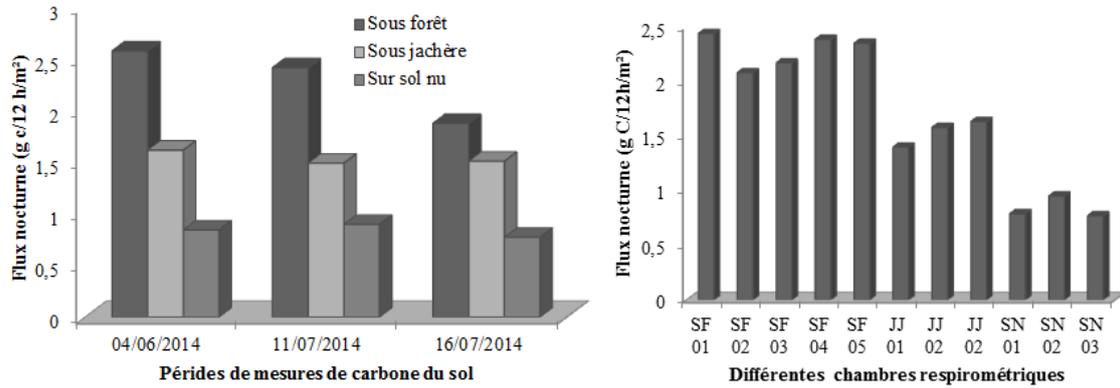


Fig. 4 et 5 : Variation dans l'espace et dans le temps de flux nocturne de carbone du sol sous différentes occupations du sol.

L'analyse des figures ci-dessus montre que spatialement, le flux de carbone du sol dégagé la nuit au cours de trois périodes de mesures suit la même allure observée pour le flux dégagé la journée. Il varie faiblement d'une chambre respirométrique à une autre au sein de chacune des types d'occupations du sol. Ces flux de carbone du sol dégagés la nuit décroissent progressivement du sol sous-forêt au sol nu, en passant par le sol sous jachère jeune. Temporairement, il se dégage que le flux de carbone dégagé la journée en date du 04/06/2014 est plus élevé dans les trois types d'occupations du sol ; suivi de la période du 11/07/2014, et enfin, celui dégagé en date du 16/07/2014.

3.3. Flux cumulé de carbone du sol sous différentes occupations

3.3.1. Variation spatiale et temporaire des flux cumulés de carbone du sol

Les figures 6 et 7 ci-dessous montrent respectivement la variation des flux de CO₂ du sol dégagés dans l'espace et dans le temps entre les différents types d'occupations du sol sur une durée de 24 heures.

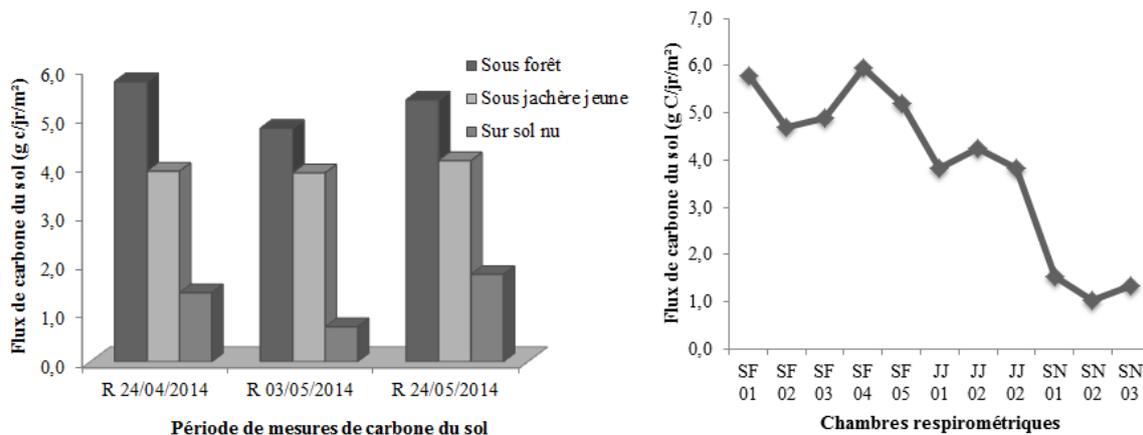


Fig. 6 et 7 : Variation spatiale et temporaire de flux de carbone du sol de différentes occupations du sol.

Les flux de carbone du sol dégagé durant 24 heures au cours des périodes de mesures varient faiblement d'une chambre respirométrique à une autre au sein de chaque occupation du sol, avec un flux important enregistré dans la chambre respirométrique sous-forêt, et un faible flux de carbone observé dans la chambre respirométrique numéro sur sol nu. Les flux de carbone dégagés décroissent respectivement de sol sous-forêt au sol nu. Dans l'espace, le flux de carbone dégagé en date du 21/04/2014 est plus élevé dans les trois types d'occupations du sol ; suivi de la période du 24/05/2014, et enfin, celui dégagé en date du 03/05/2014.

3.4. Relation entre le flux de carbone et quelques facteurs explicatifs

3.4.1. Relation entre le flux de carbone du sol avec la teneur en eau du sol et la température du sol

Les figures 8 et 9 ci-dessous représentent la corrélation entre le flux de carbone du sol l'humidité et la température du sol

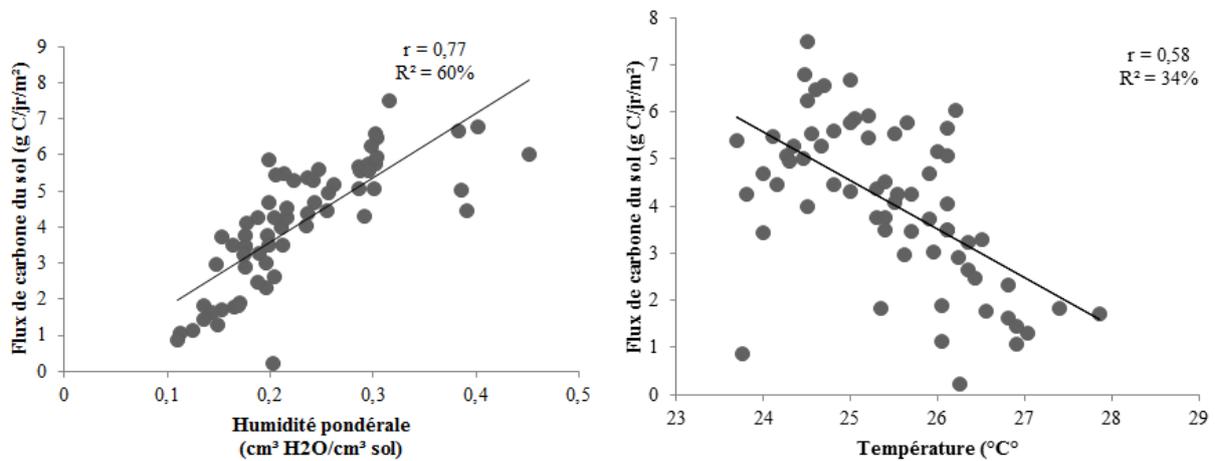


Fig. 8 et 9 : relation entre le flux de carbone du sol avec l'humidité et la température du sol

Les analyses nous montrent que, la relation entre le flux de CO₂ dégagé et la teneur en eau du sol est forte, avec un coefficient de corrélation (r) de 0,77. Cela revient à dire que cette relation est évidente et que le flux de carbone du sol dégagé varie nécessairement avec l'augmentation de la teneur en eau du sol. La teneur en eau du sol explique à 60% (r^2) le dégagement de carbone du sol et les 40 autres pourcents seraient expliqués par d'autres facteurs non mesurés dans le cadre de cette étude. Par contre, il s'observe que la relation entre le flux de carbone dégagé et la température du sol est décroissante, soit un coefficient de corrélation de 0,58.

4. Discussion

4.1. Comparaison entre les différents résultats de notre étude

Tableau 1: Comparaison multiple des moyennes de flux de carbone des chambres respirométriques pour lesquelles les différences de flux de carbone sont importantes.

Flux de carbone du sol (g C/jr/m ²)											
	SF_01	SF_02	SF_03	SF_04	SF_05	JJ_01	JJ_02	JJ_03	SN_01	SN_02	SN_03
SF_01		0,737	0,865	1	0,942	0,0012	0,0011	0,0023	0,0002	0,00017	0,00017
SF_02	2,637		1	0,931	1	0,1978	0,1839	0,3012	0,0002	0,00017	0,00017
SF_03	2,297	0,34		0,98	1	0,1176	0,1083	0,19	0,0002	0,00017	0,00017
SF_04	0,595	2,042	1,702		0,996	0,0043	0,0038	0,0084	0,0002	0,00017	0,00017
SF_05	1,985	0,652	0,312	1,39		0,0694	0,0634	0,1177	0,0002	0,00017	0,00017
JJ_01	6,552	3,915	4,256	5,957	4,567		1	1	0,0028	0,00064	0,00159
JJ_02	6,603	3,966	4,306	6,008	4,618	0,0506		1	0,0031	0,00071	0,00178
JJ_03	6,24	3,603	3,943	5,645	4,255	0,3124	0,363		0,0014	0,00039	0,00084
SN_01	12,71	10,07	10,41	12,11	10,72	6,155	6,105	6,468		1	1
SN_02	13,42	10,78	11,12	12,82	11,43	6,864	6,813	7,176	0,7086		1
SN_03	12,96	10,33	10,67	12,37	10,98	6,41	6,36	6,723	0,255	0,4536	

Les flux de carbone dégagés dans toutes les chambres respirométriques sous forêt sont significativement différents des flux de carbone du sol dégagés dans toutes les chambres respirométriques sur le sol nu. Seuls les flux de carbone dégagés dans les chambres respirométriques SF 01 et SF 04 sous forêt sont significativement différents de ceux dégagés dans toutes les chambres respirométriques sous jachère jeune. Par contre, les flux de carbone dans les chambres respirométriques sous forêt ne sont pas significativement différents entre elles. Enfin, les flux de carbone dégagés dans les chambres respirométriques sous jachère jeune sont différents de ceux dégagés dans les chambres respirométriques sur sol nu.

Les différences observées s'expliqueraient par le fait que la variabilité spatiale de la respiration du sol peut ou ne pas être mise en évidence à différentes échelles. La différence de flux peut s'observer entre des points de mesure distant de quelques centimètres, selon la présence ou non d'un couvert herbacé sous la canopée (Law et al., 2001), entre différents peuplements d'un même massif (Janssens et Ceulemans, 1998), jusqu'à des variations à l'échelle du paysage.

Des variations de la respiration du sol en zone semi-aride, caractérisée par une grande hétérogénéité du couvert végétal, ont mis en évidence une forte variabilité spatiale entre les types de couverture du sol au sein d'une steppe Espagnole (Maestre et Cortina, 2003). Ces résultats montrent l'importance de la prise en compte de la variabilité sur des courtes distances pour estimer le flux global d'une zone d'étude. Un phénomène de variabilité spatiale fréquemment observé réside en un gradient de respiration décroissante en fonction de la distance de tronc d'arbres (Epron et al., 2004).

Des mesures effectuées le long de transect entre deux arbres, ont montré que des variabilités entre les points de mesure au sein d'un transect étaient plus forte que celle entre transect (Scottie Denton et al., 2003). La respiration du sol sur ce site était bien corrélée à l'épaisseur de la matière organique et à la biomasse microbienne, mais aussi à l'humidité de litières, à la teneur en carbone du sol et en ammonium dans l'humus. En revanche dans la forêt amazonienne, la variation spatiale de la respiration du sol n'est pas liée aux variations de la surface terrière (Sotta et al., 2004). Les hypothèses avancées pour expliquer ceci consistent à séparer la surface terrière et la production de racines, de litières et à minimiser la contribution de la décomposition de litières à la respiration du sol dans le cas des forêts tropicales.

4.2. Comparaison des flux de carbone du sol entre les chambres respirométriques des différentes occupations du sol en fonction du temps.

La figure 10 ci-dessous compare le carbone du sol au cours de différentes périodes de mesures

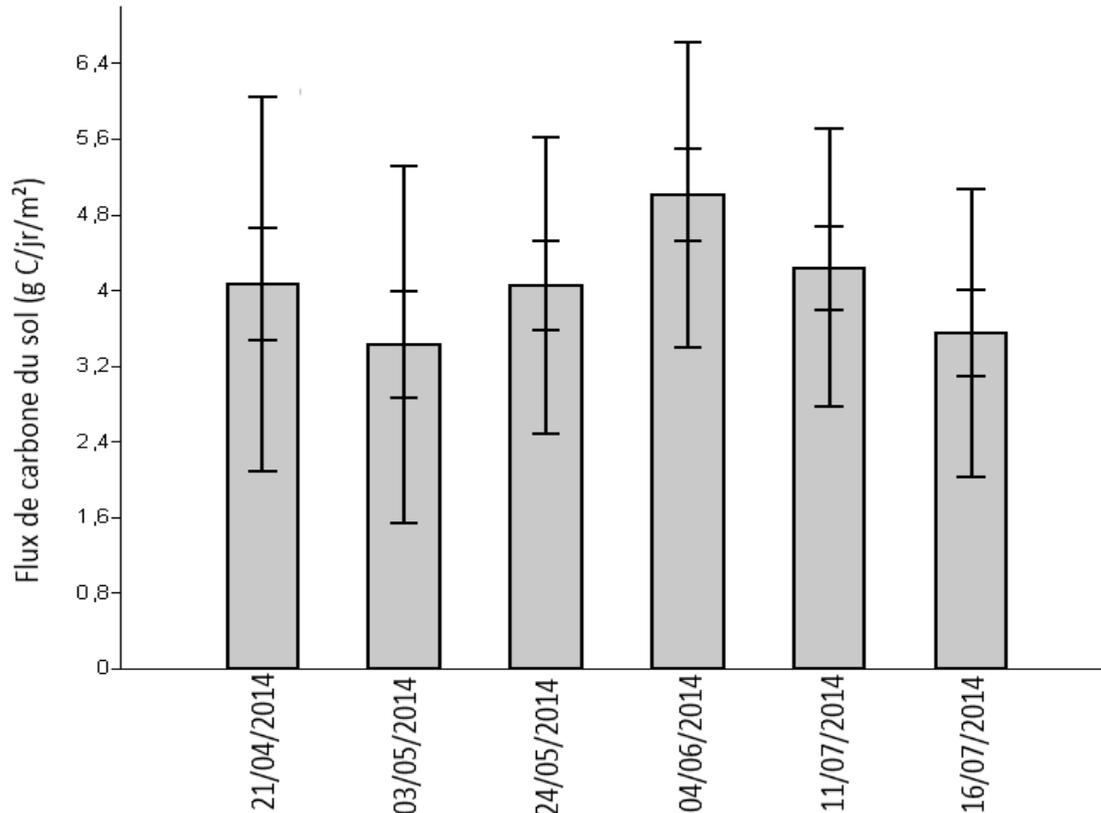


Fig. 10 : Comparaison de flux de carbone du sol au cours de différentes périodes de mesures

Le résultat de l'analyse de la variance (l'ANOVA à un seul facteur) montre que pour toutes les occupations du sol, les flux de carbone dégagés au cours de différentes périodes de mesures ne se différencient pas d'une période à une autre, (P-valeur de 0,3029) Cela s'expliquerait par le fait que les différentes mesures ont été prises durant une même saison de l'année comme le confirme une étude menée par Boika (2013) qui montre que la variation est élevée entre les saisons de l'année et trop faible ou quasi absente sur une même saison de l'année.

4.3. Comparaison des flux diurne et nocturne de carbone du sol entre les chambres respirométriques dans les différents types d'occupations du sol

La figure 11 ci-contre compare les flux diurne et nocturne de carbone du sol dégagés dans les différentes occupations du sol.

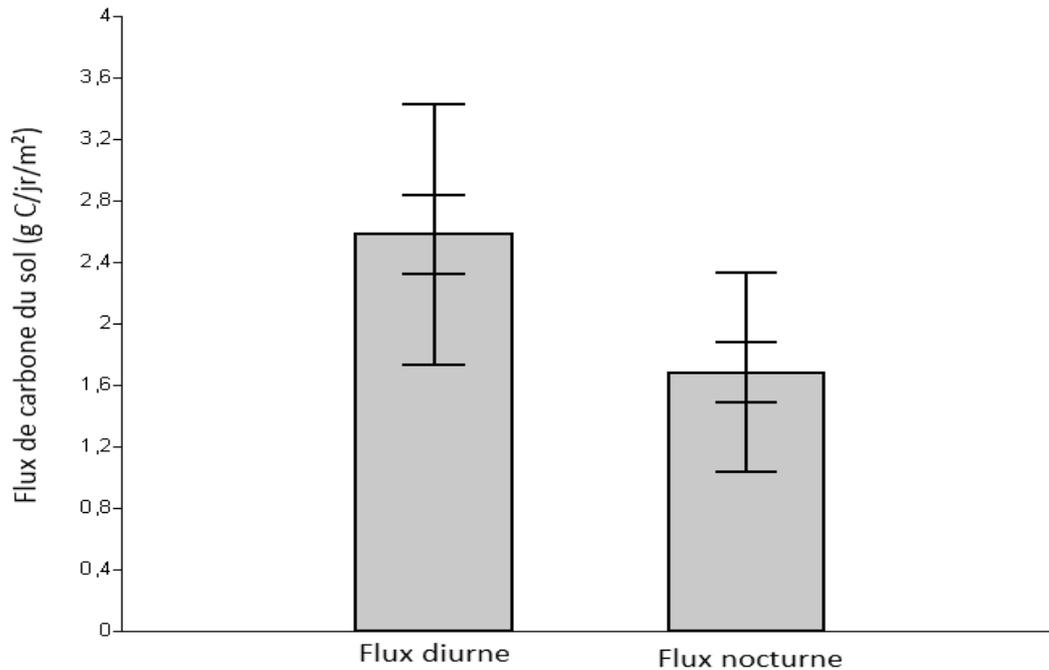


Fig. 11 : Flux diurne et nocturne de carbone du sol dégagés dans les différentes occupantes du sol

Il ressort de l'analyse statistique de la comparaison de deux moyennes que le flux de carbone du sol dégagé la journée est significativement différent de celui dégagé la nuit (p -valeur de 0,00000454). Ceci confirme notre deuxième hypothèse qui stipulait que les flux de carbone dégagés la journée seraient supérieurs à ceux dégagés la nuit. Cette différence s'expliquerait par les variations de la température du sol (Xu et Qi, 2001) pendant la journée. Sotta et *al.*, (2004) montrent dans leur étude des différences entre le flux nocturne et le flux diurne et confirment que le flux nocturne prend des valeurs plus faibles que le flux diurne, et présente moins des variations ponctuelles. Pendant la nuit, l'évolution de la respiration du sol peut être considérée comme une diminution linéaire. En revanche, pendant la journée, le flux augmente pendant la première partie de la journée, puis diminue.

En revanche, d'autres études menées par Buchmann, (2000) ; Lee et Jose, (2003) montrent une variabilité journalière nulle et négligeable. Cette absence de variabilité peut soit se traduire par l'inertie du système sol face aux variations de température. L'absence des réponses aux précipitations peut aussi témoigner d'une teneur en eau du sol limitant l'activité biologique, soit excessive, proche de la capacité au champ (Jeansen et *al.*, 1996), soit déficitaire (Law et *al.*, 2001).

4.4. Comparaison multiple des moyennes de flux de carbone pour les différentes occupations du sol.

Le tableau 2 ci-dessous nous fait la comparaison multiple des moyennes de flux de carbone des différentes occupations du sol.

	Sous forêt	Sous Jachère Jeune	Sur sol nu
Sous forêt		0,0003074	0,0002007
Sous Jachère Jeune	11,06		0,000207
Sur sol nu	25,7	14,64	

Il ressort après analyse du tableau 2 ci-haut que les flux de carbone dégagés sous forêt sont significativement différents des flux de carbone du sol dégagés sous jachère jeune et sur le sol nu. Ceci montre que les flux de carbone du sol dégagés sous forêt restent supérieurs à ceux dégagés sous jachère jeune et en fin, ceux dégagés par cette dernière demeurent supérieurs aux flux dégagés sur sol nu. Les différences observées pourraient se justifier au fait que la quantité et la nature de litière influencent la respiration du sol (Scott-Denton et al, 2003) ; donc le type de peuplement a un rôle important sur la respiration du sol. A un type de sol donné, correspond une flore et faune spécifiques ; de même, la structure du sol, définie par les agrégats et la porosité, détermine les organismes qui y vivent et par conséquent, libère différemment le carbone du sol (Calvet, 2003).

Conclusion

Les majeures questions qui se sont posées dans cette étude étaient celles d'estimer dans le temps et dans l'espace les flux nocturne, diurne et cumulés des dioxydes de carbone dégagés par le sol à travers les trois types d'occupation du sol (sol sous forêt, le sol sous jachère jeune et le sol nu) et de déterminer quelques facteurs explicatifs de ces flux de CO₂. Il s'agit de la teneur en eau du sol et de la température du sol. La méthode utilisée était celle de système fermé statique qui consiste à piéger chimiquement à l'aide de la chaux sodée, les flux de CO₂ du sol qui se dégagent dans la chambre respirométrique et par la suite absorbés par ce chaux sodée.

Ces flux de CO₂ diurnes et nocturnes ont été mesurés en trois dates différentes soient le premier jour 04/06/2014 pour les CO₂ diurnes et pour les CO₂ nocturnes; le deuxième jour 11/07/2014 pour les CO₂ nocturnes et diurnes et enfin le troisième jour 16/07/2014 pour les CO₂ diurnes et nocturnes. Les flux de CO₂ cumulés ont été mesurés le 21/04/2014 ; le 03/05/2014 et le 24/05/2014.

Les résultats après analyse ont montré que le flux de CO₂ nocturne ou diurne respiré dans chaque chambre respirométrique varie spatialement et non temporellement d'une occupation du sol à une autre voire au sein d'une même occupation du sol à différents moments du jour (journée et nuit).

Les flux moyens de carbone du sol dégagés la journée et la nuit sur une durée de 12 heures entre les chambres respirométriques sont respectivement de 2,5829 ± 0,84g de carbone/m²/12h et 1,6869 ± 0,64g de carbone/m²/12h.

Les flux moyens de carbone du sol dégagés sur une durée de 24 heures sont de 5,5829 ± 0,3618g de carbone/m²/24h sous forêt ; 3,9218 ± 0,0622g de carbone /m²/24h sous jachère jeune et 1,8455 ± 0,1136g de carbone /m²/24h sur le sol nu.

La relation entre d'une part le flux de carbone du sol et l'humidité du sol et d'autre part entre le flux de carbone et la température, présente respectivement un coefficient de corrélation de 0,77 soit un coefficient de détermination de 60% et 0,58 soit un coefficient de détermination de 34%. Le sol sous forêt dégage beaucoup plus de CO₂ que le sol sous jachère jeune et le sol nu, mais qui sera rapidement compensé par le processus de séquestration de carbone réalisé par les arbres en place.

Références bibliographiques

- Boika, M. (2013). *Etude de flux de carbone du sol dégagé en saison sèche et pluvieuse en peuplement mixte dans la Réserve forestière de Yoko à Kisangani en RD Congo. Mémoires inédit FSA*, 63p.
- Buchmann, N. (2000). *Biotic and Abiotic factors controlling soil respiration in Picea abies stands, soil and biochemistry*.
- Butnor, J.R., Jonhsen, K.H., Maier, C.A. (2005). *Soil properties differently influence estimates of soil CO₂ efflux from three chamber-based measurement systems. Biogeochemis 73, pp 283-301.*
- Calvet, R. (2003). *Sol, propriétés et fonctions*.
- Edwards, N. (1982). *The use of sedan line for measuring respiration rates in terrestrial ecosystems pedologian 23-319-325.*
- Epron, D., Farque, L., Luco, E. and Badot, P. (1999). *Soil CO₂ flux in a beech forest; the contribution of root respiration.*
- Garcia, R.L., Demetriades-shah, T.G., Walles, J.G., Dermist, D.K. and Norman, J.M. (2010). *Measurements of soil CO₂ Flux. Measurements of soil CO₂ flux. Disponible à [www.licor.com/env/2010 \(pdf\) photosynthesis/Meas-of-soil-CO₂-flux.pdf](http://www.licor.com/env/2010%20photosynthesis/Meas-of-soil-CO2-flux.pdf).*
- Gbelu, K. (2012). *Caractérisation spatiale et temporelle de la respiration du sol en forêt mixte dans la réserve forestière de YOKO/P.O. en R.D Congo. Mémoire inédit IFA Ybi, 44p.*
- Grogan, P., and chapin, F. (1998). *Arctic soil respiration effectifs of climate and vegetation depend on season Ecosystem.*
- Hanson, P., Wullschheger, S., Bohlman, S. et Tood, D. (1993). *Seasonal and topographic patterns of forest floor CO₂ efflux from an upland oak forest. Tree physiology pp. 13-15*
- Howard, P. (1966). *A method for the estimation of carbon dioxide evolved from surface of soil in the field oikos 17: 226-271.*
- IPCC (international panel on climate change), (2007). *Synthesis Report-contribution of working Groups, I, II and III to the Fourth assessment Report of the intergovernmental panel on climate. IPCC, Genève, Suisse, 104p.*
- Jassal, R., Black, A., Novak-Morgenstern, K., Nestic, Z. and Gaumont-Guay, D. (2005). *Relationship between soil CO₂ concentration and forest-floor CO₂ effluxes. Agric. For. Met. 130, 176-192.*

- Jassal, R.S., Black, A., Drexitt, G.B., Novak, M.D., Gaumont-Guay, D. and Nestic, Z. (2004). *A model of the production and transport of CO₂ in soil: predicting soil CO₂ concentrations and CO₂ efflux from a forest floor*. *Agric. For.* 124, 219-236.
- Jean-Lionel, P.P. (2011). *Flux de CO₂ d'une chronoséquence d'écosystèmes d'épinette noire de la forêt Boréale de l'Est de l'Amérique du Nord*.
- Jeanssens, I. Barigah, S. and ceulemens, R. (1998). *Soil efflux rates in different vegetation types in frenchguina* *Annales de sciences forestières* 55 : 1-10.
- Jeanssens, I. and Ceulmans, R. (1998). *Spatial variability in forest soil CO₂ efflux assessed with a calibrated soda lina technique*. *Ecology letter*, 95-98.
- Jeanssens; I.A., Kowalaski, A.S., Longdoz, B. and Ceulemans; R. (2000). *Assessing forest soil CO₂ efflux: an in situ comparison of four techniques*. *Treephysiol* 20, 23-32.
- Law, B., Kellither, F., Baldoechi, D. Anthoni, P., Irvine, J., Moore, D. and Van Tuyl, S. (2001). *Spatial and temporal variation in respiration in a yang ponderosa pine forest during a summer drought*.
- Lee, K. and Jose, S. (2003). *Soil respiration, fine root production, and microbial biomass in cottonwood and loblloy pine plantations along a nitrogen*.
- Levy, G. and Lefère, Y. (2001). *La forêt et sa culture sur le sol) nappe temporaire*. Nancy, EGREF LI-COR, 1997.6400-09 CO₂ efflux chamber instruction manual inc., Nebraski. 15p.
- Longdoz, B., Yernaux, M. and Aubinet M. (2000). *Soil CO₂ efflux measurements in a mixed forest: impact of chamber disturbances, spatial variability and seasonal evolution*. *Global change Bio.* 6 (8), 907-917.
- Lundergardh, H. (1927). *Carbon dioxide evolution of soil and crop growth*. *Soilsci.* 23, 417-453.
- Luo, Y., Li, Z., Zang, T. and Liang, Y. (2004). *CO₂ emissions from subtropical arable soils of china*. *Soil biology and Biochemistry* 36 (11): 1835-1842.
- Luo, y. and Zhou, y. (2006). *Soil respiration and the environment*. Academic, London, Royaume-Uni, 316p.
- Maestre, F. and Cortina, J. (2003). *Small scale spacial variation in soil CO₂ efflux in a mediterranean semiarid stepp*.
- Maureaux, C., Bodson, B. and Aubinet, M. (2008). *Mesure des flux de CO₂ et bilan carboné de grandes cultures* *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 12(3), 303-315.
- Mbumba, M. (2012). *Etude de la respiration du sol en forêt mono dominante à Gilbertiodendron dewevrei dans la réserve forestière de YOKO/P.O. en R.D Congo*. *Mémoire inédit IFA Ybi*, 44p.
- Mikha, M.M., Rice, C.W. and Milliken, G.A. (2005). *Carbone and nitrogen mineralization effected by drying and wetting cycles*. *Soil Biochimisty* 37 (2): 339-347

- Raymont, M. and Jarvis, P.G. (1997). An improved open chamber system measuring soil CO₂ efflux in the field, Journal of Geophysical Research 102 (D24) 28779-28784.*
- Schlesinger, W. H., and Andrews, (2000). Soil respiration and the global change cycle Biogeochemis. 48:18-28.*
- Scott-Denton, L.E., Sparks, K.L. and Monson, R.K. (2003). Spacial and temporal control of soil respiration rate in high-elevation subalpine forest.*
- Sotta, E.D., Meir, P., Malhi, Y. and Nobre, A.D. (2004). Soil CO₂ and efflux in a tropical forest in the central Amazon.*
- Takahishi, A., Hiyama, T., Y., and Fukushima . (2004). Analytical estimation of the vertical contribution of CO₂ production within soil; application sapanese temperate forest agricultural and forest meteology. 126p.*
- Tang yan, L. and Campbell, C.D. (2003). Microbial biomass and metabolic quotient of soils under different land use in the three Gorges Reservoir area Geadeama 115(1-2)*
- Kombele, M., (2004) : Diagnostic de la fertilité des sols dans la cuvette central congolais cas des séries de Yangambi et de Yakonde, thèse inédit ; faculté universitaire des sciences agronomique de Gembloux.*