

UNIVERSITE DE KISANGANI



B.P. 2012
Kisangani

**FACULTE DE GESTION DE RESSOURCES NATURELLES ET
RENOUVELABLES**

Département des Eaux et Forêts

« Caractérisation spatiale et temporelle du flux de
dioxyde de carbone du sol dans la réserve forestière
de la Yoko »

Par

Matthieu **LINANGELO BOIKA**

MEMOIRE

Présenté et défendu en vue de l'obtention du grade
d'Ingénieur forestier

Option : Eaux et forêts

Directeur : Pr. Dr. Ir. JP LOKOMBE DIMANDJA

Encadreur : Ass. Albert ANGBONGA BASIA



ANNEE ACADEMIQUE 2012-2013

DEUXIEME SESSION

DEDICACE

A toi LE SEIGNEUR des seigneurs, le Roi des rois, l'auteur de notre vie, le garant de notre existence. Béni soit Dieu le père de miséricorde et le Dieu de toute consolation, qui nous console dans toutes nos afflictions « 2 cor.1 : 3 ». Toi qui es puissant en œuvre et en parole. Qui peut, comme toi, délivrer l'indigent de celui qui le dépasse de force ? Que Tu soi exalté, loué, béni et glorifié à jamais.

Toi qui nous as dotés des facultés mentales, qui as pourvu à tous nos besoins et qui as permis la réalisation de ce travail ;

A toi le feu papa BOIKA Hilaire qui nous as quitté si vite sans pourtant voir à ce jour, le fruit de ton encadrement paternel ;

A vous, nos deux jumeaux qui sont partis au pays de nos ancêtres sitôt que nous n'avons pas pu voir même vos corps, que vos âmes reposent en paix.

Nous dédions ce travail

Ir. Mathieu LINANGELO BOIKA

REMERCIEMENTS

Nous tenons d'abord à remercier sincèrement les autorités de l'université de Kisangani (UNIKIS), en général et les autorités de la faculté des sciences agronomiques (F.S.A) en particulier.

Nous remercions notre directeur le professeur LOKOMBE pour avoir accepté de diriger ce modeste travail en dépit de ses occupations ainsi que l'Ass. Doctorant Albert ANGBONGA encadreur dudit travail que nous prenons à cœur, pour sa disponibilité à chaque instant que nous avons désiré le voir.

Nous serions ingrats si nous omettions de dire « Grand merci » à notre femme Florence MBOTOLO BOTAMA pour sa contribution active dans la réalisation de cette œuvre.

Au grand frère Jean titi, aux petits frères MONGAI MAZOBO, Romain BOLIA, Blaise BOLIA et à tous ceux qui ont de loin ou de près contribué matériellement, spirituellement, financièrement etc., à la réalisation de ce projet, que notre Dieu vous comble d'abondance selon l'immensité d'amour que vous avez manifesté envers nous ;

La famille BOIKA, nos grands frères et aînés LINGONDO Jeannot, Marcel, MAWELO Fidèle, Pasteur MOMBUNZA Félicien à YAKUSU et MWAMBA Franck et tous les petits frères avec qui nous sommes ensemble dans toutes les activités d'études. Les collègues et condisciples d'études, les connaissances, les camarades et les amis. Nos enseignants depuis l'école primaire, secondaire et universitaire,

Recevez à travers ces lignes, l'expression de nos sincères gratitudees.

Ir MATHIEU LINANGELO BOIKA

RESUME

Le flux mesuré à l'interface du sol et l'atmosphère fut la préoccupation majeure de notre étude .

Cette étude des variations saisonnière de la respiration du sol a été effectué dans la réserve forestière de la YOKO en province Orientale de la R.D. Congo.

Le système de mesure de CO₂ avec la chambre fermée statique a été choisi parmi tant d'autres.

Les résultat de cette étude ont montré que la saison de pluie émettaient plus de CO₂ que la saison sèche (5,13 g CO₂ /m²/jr et 4,66 gCO₂/m²/jr en moyenne respectivement)

Les différents regroupements d'arbres avec et sans litière ont révélé que les clusters avec litières émettaient plus de CO₂ (2,16 g CO₂/m²/jr en minimum et 9,77 grCO₂/m²/jr au maximum) que les clusters sans litière .

Et que la teneur en H₂O du sol a plus influencé la respiration du sol (CV = 26,21 ; P-valeur = 0,0001 ; R² = 0,62 ; R = 0,79) que la température.

Mot clés : Biomasses, Clusters et flux

SUMMARY

The flux measured to the interface of soil and the atmosphere was the major preoccupation of our survey.

This study of the variations seasonal worker of the soil breathing has been done in the forest reserve of the YOKO in Oriental province of the R D. Congo.

The system of measure of CO₂ with the static closed room has been chosen among so many others.

The output of this survey showed that the season of rain gave out more CO₂ than the dry season (5,13 g CO₂S / m²/jr and 4,66 gCO₂/m²/jr on average respectively)

The different regroupings of trees with and without litter revealed that the clusters with litters gave out more CO₂ (2,16 g CO₂/m²/jrs in minimum and 9,77 grCO₂/m²/jr to the maximum) that the clusters without litter.

And that the content in H₂O of soil influenced the breathing of soil more (RÉSUMÉ = 26,21; P-Value = 0,0001; R² = 0,62; R = 0,79) that the temperature.

Word keys: Biomasses, Clusterses and fluxes

Liste des abréviations

GIEC : groupe intergouvernemental pour l'évolution du climat.

OMM : Organisation météorologique mondiale.

PNUE : Programme de Nations Unies pour l'environnement.

CCNUCC : Convention Cadre de Nations Unies pour Changement Climatique.

IPCC: Intergovernmental Panel for the Climate Change.

ICCN: Institut Congolais pour la Conservation de la Nature.

IRGA : Infra Red Gase Analyser.

Gtc : Gigatonne de carbone.

C.E.C : Capacité d'Echange Cationique.

MTD Cluster à deux espèces avec *Scorodophloeus zenkeri*.

MTM AL : Cluster monospécifique à *Scorodophloeus zenkeri* avec litière.

MTM SL : Cluster à trois espèces sans *Scorodophloeus zenkeri*.

MTTS : cluster à trois espèces sans *Scorodophloeus zenkeri*.

MTT : cluster à trois espèces avec *Scorodophloeus zenkeri*.

0. INTRODUCTION

0.1. Problématique

La problématique au sujet du réchauffement climatique est devenue aujourd'hui une question préoccupante dans l'évolution du monde. Depuis la signature du protocole de Kyoto, le cycle de carbone et son stockage par les écosystèmes forestiers suscitent de nombreux intérêts et problématiques environnementaux et économiques.

Depuis le début de l'ère industrielle, l'équilibre entre les biomes de la planète terre et l'atmosphère se détériore ; l'accroissement de la teneur atmosphérique en CO₂ s'est considérablement accéléré, engendrant une augmentation des températures supérieures aux variations naturelles déjà observées ; on parle alors de changement climatique (Raich et Schellinguer, 1992 ; Schlesinger et Andrews, 2000 ; in Gaëlle, 2006).

Le monde réunit sous l'organisation des nations unies « ONU » en sigle, la conférence sur la gestion rationnelle de l'environnement en 16 juin 1972 à Stockholm, qui marqua le début d'un dialogue entre les pays industrialisés et les pays à l'économie de transition (en développement) concernant le lien existant entre la croissance économique, la politique mondiale sur l'air, l'eau, les océans et le bien-être de peuple dans le monde entier (Universalis encyclopedia britanica, 2013).

Vingt ans après, pour la même problématique susmentionnée, l'ONU organisa une conférence du 03 au 14 juin 1992 à rio de Janeiro (Brésil), aussi appelé sommet « planète terre », où deux majeurs préoccupations furent au centre de débats :

- La détérioration de l'environnement, donc sa capacité d'entretenir la vie et
- L'interdépendance à long terme et la nécessité d'une protection de l'environnement.

Ce sommet institua un certain nombre de principes interpellant la conscience de deux catégories de pays susmentionnées, au respect de textes, lesquels stipulent les droits et devoirs de chacune (GIEC, 1992).

Arrivé en 1997, l'organisation des nations-unies réunit en conférence à Kyoto a assigné aux pays signataires du traité les missions:

- De réduire leurs émissions de CO₂ comme gaz ;
- De quantifier de manière exhaustive, les stocks et les flux de carbone et

- D'accroître leurs connaissances sur le bilan de carbone global dans tous les écosystèmes.

Le groupe d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat (GIEC), établi conjointement par l'organisation météorologique mondiale (OMM) et le programme des nations unies pour l'environnement (PNUE) en 1988, avait pour mission :

- D'évaluer les informations scientifiques et socio-économiques disponibles concernant le changement climatique et ses corollaires, ainsi que les solutions envisagées pour en atténuer les effets et s'y adapter ;
- De formuler sur demande, les avis scientifiques, techniques ou socio-économiques, à l'intention de parties prenantes à la convention cadre de nations unies sur le changement climatique (CCNUCC) (<http://unfccc.int>, rapport de la conférence des parties sur les travaux de sa septième session, document FCC/CP/2001/13/Add. 1, décision 9/CP.7)

En 2000, l'ONU réunie au sommet mondial à l'Haye (Pays-Bas), a montré l'insuffisance des études actuelles sur la dynamique du carbone dans les écosystèmes cultivés et naturels. En vertu de principe 6 de la déclaration de Rio de Janeiro, qui stipule que les pays non pollueurs doivent se voir accorder des priorités spéciales et du principe 16 qui déclare que c'est le pays pollueur, qui doit, en principe, assumer le coût de pollution, le Congo devait aussi se voir accorder certaines priorités spéciales (rapports de sommet planète-Terre, conférence de l'organisation des Nations Unies sur l'environnement, Rio de Janeiro (Brésil), 1992).

Etant donné que le Congo a une potentialité forestière énorme en matière de séquestration de dioxyde de carbone, quelle est sa part dans la répartition des coûts que paient les Etats pollueurs aux Etats non pollueurs ?

En regard de la problématique soulevée à l'échelle mondiale, la RDC au niveau national n'a pas encore estimé la quantité globale de flux et stock de carbone (capacité de séquestration de carbone) dans ses forêts. Ceci étant, cette étude apporte, une contribution de caractériser spatialement et temporellement les émissions de CO₂, faisant partie de l'estimation globale du bilan de carbone en République Démocratique du Congo (RDC).

Sur ce, l'émission de CO₂ par le sol étant une composante importante du flux de carbone dans les écosystèmes forestiers, une connaissance approfondie de la respiration du sol s'avère nécessaire (Campagna, 1996).

L'estimation du flux de carbone dans la réserve forestière de Yoko au cours d'une certaine période et les facteurs qui expliqueraient les mieux ce flux, seraient au centre des préoccupations de cette étude.

Face aux problèmes soulevés, les questions des recherches suivantes méritent d'être posées :

1. Quelle est la part des émissions de CO₂ du sol de la réserve forestière de Yoko en générale et celle de chacune de deux saisons (humide et sèche) en particulier ?
2. Entre ces deux saisons, le flux de CO₂ serait-il plus influencé par la température du sol ou l'humidité du sol parmi tant d'autres facteurs ?
3. Le flux de CO₂ va-t-il varier entre les différents regroupements d'arbres forestiers ?

0.2. Hypothèses

1. La part de flux de carbone en saison pluvieuse serait importante que la saison sèche de par sa forte activité biologique du sol.
2. L'humidité du sol influencerait plus le flux de carbone du sol que la température du sol.
3. Les flux de carbone varieraient spatialement entre les différents regroupements des essences et celui dégagé par les chambres respirométriques avec litière serait supérieur à celui dégagé par les chambres respirométriques sans litière.

0.3. OBJECTIFS DU TRAVAIL

0.3.1. Objectif général

L'objectif principal de cette étude est d'estimer les variations du flux de carbone dans le temps et dans l'espace des différents regroupements d'arbres de la réserve forestière de la Yoko ;

0.3.2. Objectifs spécifiques

1. Mesurer la respiration du sol en saison pluvieuse et sèche
2. Mesurer l'humidité et la température du sol
3. Déterminer généralement la part des émissions de CO₂ du sol des différents

Regroupements des arbres dans la réserve forestière de la Yoko.

0.4. Intérêt du travail

La présente étude est importante car, elle quantifie les flux de carbone et leurs variations spatiales et temporelles dans la réserve forestière de Yoko et constitue une base de données pour ceux qui voudront à long terme mener une étude dans ce domaine.

0.5. Limites du travail

Cette étude a comme faiblesse de ne pas prendre en compte d'autres facteurs explicatifs du flux de carbone ;

0.6. Subdivision du travail

Ce travail comporte hormis l'introduction, quatre chapitres dont le premier parle des généralités sur la respiration du sol, le deuxième expose les milieux, matériels et méthodes, le troisième présente les résultats et le quatrième discute ces résultats, puis une conclusion et quelques suggestions mettront fin à cette étude.

0.7. But du travail

Contribuer à la connaissance du flux de dioxyde de carbone (CO_2) des forêts congolaises, dans la lutte contre le changement climatique et au maintien des grands équilibres environnementaux, en quantifiant spatialement et temporellement le flux de carbone dans la réserve forestière de la Yoko.

CHAPITRE PREMIER : GENERALITES SUR LE CYCLE DE CARBONE ET LA RESPIRATION DU SOL

1.1. Cycle de carbone dans les écosystèmes terrestres

Le cycle de carbone a 4 compartiments : les océans, l'atmosphère, les écosystèmes terrestres et les composés fossiles (Christine, 2008). Ce phénomène de la respiration du sol résulte d'une part, de la respiration racinaire (composante autotrophe) et d'autre part, de l'activité des organismes décomposeurs de la litière ; composante hétérotrophe (Pargade, 2000).

Le carbone est l'élément de base des molécules desquelles dépend toute forme de vie sur la planète terre. Il est présent dans toutes les sphères de l'environnement et est transféré entre ces sphères selon un cycle, soit le cycle global de carbone. Certaines des caractéristiques de l'environnement des êtres vivants peuvent être modifiées par la variation de concentration en carbone de l'environnement.

La concentration de l'atmosphère en composés de carbone sous-forme gazeuse détermine la capacité de la planète terre à évacuer une partie de l'énergie qu'elle reçoit par le rayonnement solaire.

Depuis des millénaires, la variation de cette concentration résultant de la variation de taux de transfert de carbone, conditionne la variation de la température moyenne globale et ainsi le cycle de glaciation-déglaciation (Falkowski et *al*, 2000 ; in Lionel, 2011).

La grande incertitude est liée aux difficultés de mesurer la répartition globale du carbone ; la quantité du carbone contenue dans la biosphère terrestre serait presque trois fois plus importante que celle estimée dans l'atmosphère (FAO, 1999).

Les écosystèmes forestiers dont la surface de recouvrement est de plus de $3,4.10^2$ hectares, soit 26,6% de terres émergées (proportionnelle à la surface du continent américain), sont les plus grands réservoirs de carbone (FAO, 1985).

Le contenu dans les végétations et les sols forestiers s'élève à 1.146×10^9 tonnes et répartis à la hauteur de 49% ; 14% et 37% respectivement (Dixon et *al*, 1994), les 2/3 du carbone dans cette quantité (e.g. $1,146 \times 10^9$ tonnes) se trouvent dans les sols et les dépôts carbonés associés.

Par ailleurs, les forêts tropicales qui couvrent environ 42% des superficies boisées mondiales, ont une quantité de carbone assez équitablement répartie entre la végétation et le sol (e.g 130t/hectare et 120t/ha, respectivement en Amérique tropical (Dixon et *al*, 1994).

Les activités anthropiques, dont les plus importantes sont la combustion des énergies fossiles et les changements d'utilisation des sols, sont à l'origine d'un réchauffement climatique sans précédent sur l'échelle des temps géologiques (GIEC, 2007).

Les CO₂ atmosphériques, dont les plus importants de ces gaz d'origine anthropique a vu ses émissions annuelles augmenter d'environ 80% entre 1970 et 2004 (rapport de synthèse GIEC, 2007).

Les milieux forestiers naturels ou perturbés participent à l'émission de CO₂, les activités humaines génèrent annuellement environ 2Gt de carbone, du fait de la déforestation, et 5,5Gt notamment de l'utilisation d'énergie fossile (Tans et *al*, 1990 ; Sundquist, 1993) or, les eaux, les océans et le sol stockent annuellement 4Gt de CO₂ ; donc l'atmosphère s'enrichit de 2 à 3 Gt de carbone (Ciais et *al*, 1995 ; in Gaëlle, 2006).

Le développement de l'agriculture constitue un des enjeux les plus importants des années à venir sur les plans économique, environnemental et social.

Dans les écosystèmes agricoles plus particulièrement, l'influence des pratiques culturales et de mode de gestion de résidus de culture est considérable (Pauline et Marc, 2010).

Le carbone du sol a deux origines principales :

- celle provenant de la sénescence de la biomasse végétale de l'atmosphère et assimilé par la voie photosynthétique, et
- le carbone issu de l'activité de micro-organisme du sol et plus rarement le carbone fossile peut provenir d'une roche-mère sédimentaire (Lamade, 1996).

Les sols sont soumis à des pertes de carbone importantes via les phénomènes de décomposition de la matière organique, d'érosion et de lessivage des composés organiques (Rees et *al*, 2005).

Le changement climatique pourrait notamment conduire à une augmentation très significative des émissions de carbone dues au processus de décomposition, auquel est associée la respiration hétérotrophe du sol (Schrumpp et *al*, Op cit.) ; la structure du sol pourrait en être

affectée de manière importante ; cela rendrait les sols plus facilement érodables et plus sensibles à la compaction et au ruissellement (Lal, 2004).

1.1.1 LE CARBONE DANS LA BIOSPHERE

Le carbone est l'un des éléments essentiels de la planète qui se présente à la fois sous forme minérale et organique.

Il existe trois grands réservoirs de carbone : l'atmosphère, les océans et la biosphère continentale (Rapport de GIEC, 1988).

L'atmosphère contient environ 700 GT de CO_2 qui représente 0,04% de son volume (Rapport GIEC, 1988).

Les océans contiennent un pool stable de carbone piégé dans les sédiments de 30.000.000 GT, un pool labile de carbone en solution et dans la matière organique le réservoir des eaux profondes est de 39.000 GT et de 600 GT dans les eaux superficielles.

La biosphère continentale contient du carbone fixé dans les combustibles à l'échelle de 6.000 à 10.000 GT, et les réservoirs du carbone labile contenu dans le sol estimés à 1.100 GT et chez les êtres vivants à 700 GT (Campana, 1996 et Gaëlle, 2006).

Le dioxyde de carbone (CO_2) est un gaz à effet de serre contribuant actuellement au réchauffement climatique de la planète.

Le carbone qui est l'une des composantes de ces gaz est l'objet des échanges entre divers constituants terrestres, atmosphériques et océaniques qui forment le cycle global de carbone (Houghton et al in Campagna, 1996)

La figure 1 ci-dessous montre le cycle global de carbone

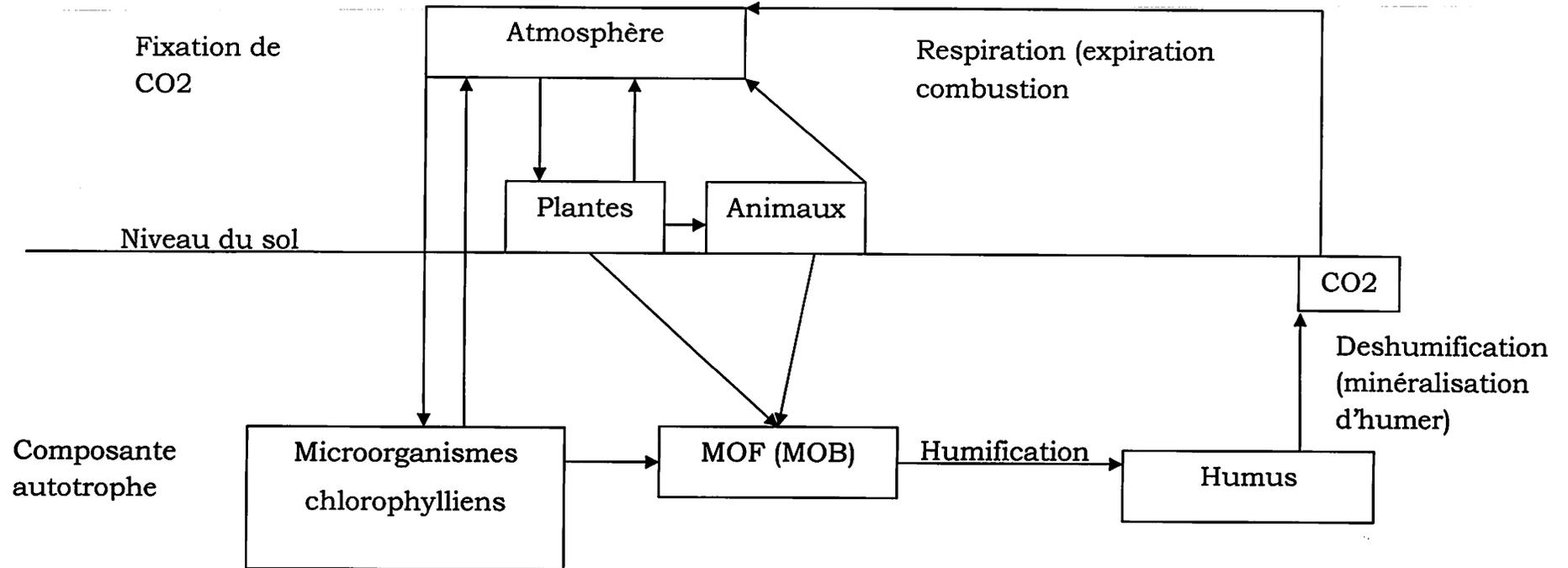


Fig. 1 : Cycle global de carbone

Source :(Kakuni, 2012)

1.1.2. STOCKS DE CARBONE DES ECOSYSTEMES FORESTIERS

Sur le globe, les surfaces les plus importantes sont occupées par les déserts et les savanes. Les déserts renferment une quantité de carbone relativement faible, de 199 GTC (191 GTC dans le sol, et 8 GTC dans la végétation). Les savanes contiennent beaucoup plus de carbone, à la fois dans le sol et la végétation (respectivement 264 GTC et 66 GTC).

Les zones humides, en dépit de leur faible surface, renferment environ 10% du stock de carbone global, essentiellement dans le sol.

Les prairies pour une surface voisine de $1,25 \times 10^9$ ha renferment environ 12% du stock de carbone terrestre, essentiellement dans le sol également, avec 295 GTC.

Les terres cultivées, occupant 10% de la surface ne correspondent qu'à 5% du stock global, et la végétation ne renferme que 3 GTC (IPCC, 2001).

L'ensemble de forêts du globe occupe une surface supérieure à $4,10^9$ ha, équivalent à environ 30% de la surface totale. Le stock de carbone global de ces écosystèmes se situe aux alentours de 1200 GTC (IPCC, 2001 ; Robert et Saugier, 2003).

Les forêts boréales renferment le stock le plus important, avec environ 470 GTC dans le sol qui correspondent à 60% du stock de carbone du sol des écosystèmes forestiers.

Les forêts tropicales renferment quant à elles, une grande quantité de carbone dans la végétation avec 60% du stock de la végétation des systèmes forestiers.

Les forêts tempérées constituent des stocks moindres aux alentours de 160 GTC pour le sol et la végétation, mais représentent néanmoins un réservoir important à prendre en compte pour sa représentativité dans les zones industrialisées (27% de la surface des terres en Europe) et la gestion poussée de cet écosystème par la sylviculture.

De plus, les forêts tempérées constituent le seul écosystème forestier pour lequel la surface est en expansion et donc cette zone climatique est la seule où les changements d'utilisation des sols pourraient contribuer à la séquestration de carbone (FAO, 1994 in Gaëlle, 2006).

Cet aspect se rencontre aussi dans la distribution de l'azote recyclable présent dans les parties biotiques (végétation) et abiotique (le sol) selon qu'il s'agisse d'une forêt tempérée ou une forêt tropicale (Pyame, 2011).

Le tableau ci-dessous illustre la distribution de la biomasse végétale entre les forêts tropicale et tempérée

Tableau 1 : distribution de la biomasse végétale entre les forêts tropicale et tempérée

Type de forêt	Quantité totale en g /m2	% dans la biomasse aérienne	% dans le sol	Masse d'azote dans le sol
Forêt tempérée	821	6	94	772
Forêt tropicale	211	58	42	88

Source :Pyame, 2011.

1.2. LA RESPIRATION DU SOL

1.2.1 DEFINITION

La respiration du sol correspond au flux de CO_2 libéré au niveau de l'interface sol-atmosphère : le gaz est produit dans le sol puis il diffuse dans les pores des sols, pour finalement s'échapper dans l'atmosphère (Gaëlle, 2006 ; Kouilou, 2006), c'est la somme des activités des composantes autotrophe (racines fines) et hétérotrophe (algues, champignons, bactéries, virus, protozoaires, nématodes, etc.).

La respiration du sol constitue un des principaux flux du cycle de carbone global et le deuxième en importance après la productivité primaire brute (Raich et Schlesinger, 1992).

1.2.2. RESPIRATION HETEROTROPHE

Dans les sols, la respiration hétérotrophe est le processus qui permet la décomposition de la litière (résidus de cultures en sol agricole) et de la matière organique du sol, sous l'action de micro-organismes qui y vivent.

Elle constitue avec la respiration autotrophe du sol (racinaire et mycorhize), une des deux sources majeures de CO_2 en provenance du sol (Pauline et Marc, 2010).

1.2.3. RESPIRATION AUTOTROPHE

Dans le sol certains facteurs agissent particulièrement sur la composante autotrophe du phénomène :

C'est le cas notamment de la densité et de la taille des racines .Le type d'essences, la densité des arbres, la distribution diamétrique de la forêt étant les facteurs indirects de la respiration

du sol, constituent les éléments de la composante autotrophe de la respiration du sol (Eric et Alexandre, 2011).

1.2.4. Production de CO_2 du sol

Le carbone, qui est l'une des composantes de gaz à effet de serre, est l'objet de nombreux échanges entre divers constituants terrestres, atmosphériques et océaniques qui forment le cycle global du carbone (Campagna, 1996).

Le CO_2 à diverses origines, le remplacement d'une forêt mature par une jeune forêt fait partie de ces origines de CO_2 , en provoquant une libération de CO_2 vers l'atmosphère à cause de la décomposition et du brûlage des résidus de coupe et de production (Campagna, 1996 Op cit).

Les émissions de CO_2 dues aux activités humaines sont surtout produites lors de la combustion de matières fossiles dans divers secteurs, production d'électricité, transports, transformation industrielles, bâtiments résidentiels et commerciaux, la fabrication de ciment, la production d'hydrogène et d'autres procédés industriels et aussi la combustion de biomasse (GIEC, 2005).

1.3. FACTEURS INFLUENCANT LA RESPIRATION DU SOL

1.3.1. FACTEURS CLIMATIQUES

1.3.1.1 TEMPERATURE

De nombreuses études ont montré qu'un grand nombre de facteurs influent sur la respiration du sol. La température et l'humidité sont les facteurs climatiques les plus considérés dans beaucoup d'études effectuées (Fang, 1996).

La variation de température de l'air peut influencer sur les variations journalières, saisonnières et même interannuelles du milieu, pouvant aussi avoir l'effet sur l'activité photosynthétique d'un couvert végétal (Allen et Ort, 2001). Les organismes telluriques exigent des températures minima, optima et maxima.

1.3.1.2 HUMIDITE

La respiration est affectée par l'humidité des litières et la teneur en eau du sol favorisée par les précipitations.

L'humidité absolue est le nombre de grammes de vapeur d'eau contenue dans un mètre cube (m^3) d'air, tandis que l'humidité relative est le rapport de la pression effective de la vapeur d'eau, à la pression maximale.

Quant à l'eau, elle est responsable de la solubilisation des éléments nutritifs et de leur transport, et celui de produits de synthèse au sein des organismes.

Quant au pH, les organismes telluriques préfèrent des pH proches de la neutralité ($6,6 \leq \text{pH} \leq 7,3$), (Kakuni, 2012), l'effet de pH aux organismes telluriques est indirect du fait qu'il détermine la forme chimique des éléments dans le sol.

L'humidité du sol (Pargade, 2000) et la topographie sont aussi des facteurs importants de la respiration du sol (Etudiant FTH, 2001).

Certains facteurs agissent particulièrement sur la composante autotrophe du phénomène ; c'est le cas de la densité et de la taille des racines (Janssens, 1998).

Plusieurs autres facteurs peuvent déterminer la respiration du sol :

- 1) Facteurs directs et indirects
- 2) Facteurs édaphiques
- 3) Facteurs biologiques

1.3.2. Facteurs directs et indirects

Le tableau 2 ci-après montre les facteurs directs et indirects de la respiration du sol

Tableau 2 : Facteurs influençant la respiration du sol

FACTEURS INDIRECTS	FACTEURS DIRECTS
Pentes	<ul style="list-style-type: none"> - Humidité du sol due à la nappe - Propriété physique du sol
Types	<ul style="list-style-type: none"> - Composition de la pédofaune - Qualité de la litière - Densité des racines
Distribution diamétrique de la forêt	<ul style="list-style-type: none"> - Densité des racines - Type de racine lignifiée, diamètre variable
Flux solaire	- Croissance des arbres (métabolisme)
Densité des arbres	Température du sol
Précipitation	Humidité du sol

Source : Marcon et Bosc, 2002 :

1.3.3 FACTEURS EDAPHIQUES

A un type de sol donné, correspond une flore et faune spécifiques (BOLA, 2013) ; de même, la structure du sol, définie par les agrégats et la porosité, détermine les organismes qui y vivent (Calvet, 2003) une macroporosité du sol, crée les conditions insuffisantes de l'humidité du sol, tandis que la microporosité crée les conditions d'asphyxions du sol (engorgement) (Kakuni, 2012).

Les facteurs édaphiques font entre eux des interactions qui déterminent les modalités des uns par rapport aux autres ; la texture et la structure du sol, déterminent la porosité du sol.

Les composantes autotrophes et hétérotrophes d'un sol donné, déterminent les facteurs édaphiques de ce sol.

1.3.4. FACTEURS BIOLOGIQUES

Les facteurs biologiques ayant une influence sur la respiration du sol sont liés à la fois au couvert végétal, arbres et plantes sous la canopée, et à la faune et flore du sol (Gaëlle, 2006).

Aux racines sont associés des microorganismes dits rhizosphériques, les racines et les microorganismes libérant des composés carbonés dans le sol (whipps, 1990).

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 sur la respiration du sol.

1.4. LES GAZ A EFFET DE SERRE

En effet, plusieurs gaz sont à l'origine de réchauffement climatique : le dioxyde de carbone (CO_2), hémioxyde d'azote (N_2O), le méthane (CH_4) et tant d'autres.

Néanmoins, le dioxyde de carbone est le gaz qui a l'impact le plus important sur l'effet de serre (Amundsen, 2001), il n'a pas le pouvoir réchauffant le plus important, mais il est le gaz à effet de serre le plus produit par les activités anthropiques (Gbelu, 2012).

Ces gaz à effet de serre naturels ont permis l'évolution de la température de la terre en piégeant le rayonnement infrarouge émis par la surface du globe et en renvoyant cette énergie sur terre ; ce phénomène a ainsi rendu la température de la terre propice à la présence d'eau sous forme liquide et donc, à l'installation de la vie (Gaëlle, 2006).

1.5. VARIABILITÉ DE LA RESPIRATION DU SOL

A l'échelle mondiale, la respiration du sol est caractérisée par une forte variabilité à la fois spatiale et temporelle (Liyang et al, 2004), la respiration annuelle varie en moyenne de $60\text{g}/\text{cm}^2/\text{an}$ à presque $700\text{g}/\text{cm}^2/\text{an}$, en fonction de l'écosystème et de la latitude (Reich et schelinguer, 1992).

Le flux total annuel dans des forêts européennes se situe aux alentours de $400\text{g}/\text{cm}^2/\text{an}$ à $1400\text{g}/\text{cm}^2/\text{an}$ (Lankreijer et al, 2003 in Gaëlle; 2006).

1.5.1. Variabilités temporelles

La variabilité de CO_2 par rapport au temps peut- être estimée à différentes échelles de temps, en tenant compte des influences écologiques, tout en les reliant avec les facteurs explicatifs de ces variations.

Considérant les facteurs influençant la respiration du sol, la respiration diurne et nocturne du sol ne sont pas la même au regard de nombreuses études qui ont été menées là-dessus (Scotland et *al*, 2004).

En effet, le flux nocturne prend des valeurs faibles que le flux diurne (Gaëlle, 2006).

1.6. METHODES DE MESURE DE CO_2

De nombreuses méthodes sont utilisées pour mesurer le flux de CO_2 du sol. Le choix d'une méthode appropriée dépend prioritairement de besoins d'échantillonnage spatial et temporel, de ressources et équipements disponibles.

La respiration du sol se mesure selon les différentes méthodes et d'après les objectifs fixés par l'étude certaines recherches estiment que la respiration du sol mesurée à partir d'un échantillon du sol prélevé sur le terrain, puis analysé au laboratoire est fiable (Lundquist et *al*, 1999) or, ce procédé perturbe le sol, son fonctionnement et ne rend pas compte de la biomasse impliquée dans le processus de la respiration.

D'autres recherches mesurent la respiration du sol par le système de mesure sans chambre, système de mesure avec chambre (Bolstand et *al*, 2004), technique par covariance de turbulence, technique par gradient de concentration en CO_2 de l'air ou du sol (Moncrieff et *al*, 1997 ; Jassal et *al*, 2004), technique de mesure par accumulation de turbulence (Moncrieff et *al*, op cit.). Seules, les méthodes sans et avec chambre seront décrites :

1.6.1. Système de mesure sans chambre

Ce système comprend deux méthodes : méthodes micro-météorologiques et méthodes de profil.

1.6.1.1. Méthodes micro-météorologiques

Cette méthode permet d'estimer le flux de dioxyde de carbone dégagé par le sol au-dessous du couvert végétal. Un anémomètre estime la composante verticale de la vitesse du vent et un analyseur de gaz infrarouge (IRGA) mesure la concentration en CO₂ de l'air.

Ce principe nécessite suffisamment des mouvements de l'air en dessous du couvert, et l'absence d'autres sources de puits de CO₂ entre les surfaces du sol et le capteur.

Cette technique permet une bonne estimation de la respiration du sol (Long dz et *al*, 2000) et évite toute perturbation du sol du point de vue de la diffusion du gaz, de la température et de la teneur en eau du sol.

Ce système de mesure est complexe et implique l'existence des conditions turbulentes peu fréquentes sous un couvert végétal fermé.

1.6.1.2. Méthodes de profil

On estime le flux de CO₂ provenant du sol par les estimations du gradient de concentration en CO₂ dans le sol (Gaëlle, 2006).

Cette mesure est effectuée à l'aide d'un IRGA, selon un profil dans le sol et le flux est calculé en fonction du modèle de diffusion de gaz dans le sol (Tang et *al*, 2003 ; Takahashi, 2004).

1.6.2. Système de mesure avec chambre

Plusieurs techniques de mesure de la respiration du sol utilisent les chambres de mesure fonctionnant avec différents principes classés de la manière suivante : système ouvert ou fermé, dynamique ou statistique (Livingston et Hutchinson, 1995).

1.6.2.1. Système ouvert dynamique

Ce système consiste à faire circuler à travers la chambre, un flux d'air de débit constant, et à mesurer en continu, la concentration en CO₂ de part et d'autre de la chambre (Tang et Moncrieff, 1996 ; Reymont et Jarvis, 1997).

Ce système nécessite donc un bon contrôle du débit de l'air et la mesure ne doit commencer que lorsque le flux est revenu à l'équilibre.

Ce système permet des mesures en continu lorsqu'il est automatisé. Il permet également une bonne caractérisation de la variabilité temporelle, mais il est sensible aux différentes dépressions et coûteux.

1.6.2.2. Système fermé dynamique

On utilise également une chambre de mesure, mais avec une circulation d'air à l'intérieur de la chambre à analyseur.

Il s'agit donc de système fermé pendant la mesure, qui peut être mis manuellement ou automatiquement. L'analyseur de ce système est IRGA, connecté à une chambre posée ou insérée dans le sol.

Le gaz carbonique se dégageant du sol s'accumule dans le volume d'air circulant pendant toute la durée de la mesure.

L'analyseur estime la concentration en CO_2 de l'air circulant et le système de calcul ajuste les points de mesure en fonction du temps et selon une équation linéaire.

La pente de cette courbe correspond au flux de carbone, cette méthode présente l'avantage d'utiliser un appareillage portable, de permettre des mesures courtes et donc découvrir à la fois la variabilité spatiale et la variabilité temporelle (Hanson et *al*, 1993 ;Dantec et *al*, 1999).

1.6.2.3. Système fermé statique

Le principe est de piéger chimiquement, à l'aide d'une base, le CO_2 qui se dégage dans la chambre pendant une certaine période, puis d'estimer la quantité de CO_2 produite en tirant l'alcalinité résiduelle, et d'en déduire le flux de CO_2 . On utilise la soude, la potasse ou la chaux sodée qui absorbe le CO_2 durant 24 heures sur le terrain et des analyses sont ensuite effectuées au laboratoire. La méthode utilisant la soude est une méthode la plus ancienne (Lundegardh, 1927).

Ces méthodes permettent donc une bonne caractérisation spatiale et temporelle de la respiration du sol, notamment dans les sites hétérogènes. Cette technique ne permet pas des mesures de flux instantanés, mais elle intègre le flux sur une période relativement longue et permet donc de prendre en compte les flux nocturnes.

La technique de la chambre d'absorption chimique du CO_2 par la chaux sodée semble être l'une des méthodes les plus utilisées pour mesurer la respiration du sol et la méthode la plus

pratique pour les mesures sur le terrain, de par son faible coût, du fait qu'elle ne nécessite pas d'équipements très coûteux, sa remarquable facilité d'utilisation, et plus particulièrement appropriée à répondre à l'incertitude des variabilités spatiale et temporelle dans l'estimation du flux de CO₂ du sol (Edwards, 1982 ; Howard, 1996 ; Keith et *al*, 1997 ; Janssens et Ceulemans, 1998).

C'est la raison pour laquelle les scientifiques du monde entier ont eu recours à elle (Grogan, 1998). La chaux sodée est un mélange d'hydroxyde de sodium (NaOH) et d'hydroxyde de calcium (CaOH₂) sous forme de granulés (Kleber et Stahr, 1995 ; Keith et *al*, 1997 ; Janssens et Ceulemans, 1998).

En revanche, ces techniques présentent des faiblesses du point de vue de la précision :

- Quand le fixateur de CO₂ est saturé (la quantité à utiliser, car de plus petites quantités de chaux sodée entraînent une absorption incomplète du carbone) ;
- Quand la concentration dans la chambre devient inférieure à celle de l'atmosphère par le phénomène de diffusion, le risque de la fuite de CO₂ devient important, et
- Le temps relativement long d'exposition peut être à l'origine d'un réchauffement sous la chambre, affectant la respiration elle-même.
- En ce qui nous concerne, au regard de différents systèmes évoqués ci-dessus, le système fermé statistique utilisant la chaux sodée a été adopté en raison de son faible coût, et sa facilité d'utilisation.

CHAP.II MILIEU, MATERIELS ET METHODES

2.1 MILIEU D'ETUDES

2.1.1. LOCALISATION ET SITUATION GEOGRAPHIQUES

Notre étude sur le terrain a été menée au bloc sud dans les 400 ha du dispositif permanent tracé dans le cadre du projet REAFOR, au sein de la réserve forestière de la Yoko.

La réserve forestière de la Yoko se trouve dans le groupement KISESA, collectivité de Bakumu, territoire d'Ubundu, district de la Tshopo dans la province orientale.

Elle est baignée par la rivière Yoko, qui la divise en deux parties, au nord avec une aire de 3370 ha et au sud avec une aire de 3.605ha, soit une superficie globale de 6.975ha et cette réserve est une propriété privée de l'institut Congolais pour la conservation de la nature (ICCN), conformément à l'ordonnance loi N° 75-023 de juillet 1975, portant création d'une entreprise publique de l'Etat chargée de gérer certaines institutions publiques environnementales telle que modifiée et complétée par l'ordonnance-loi N°78-190 du 5 Mai 1988 (Lomba, 2007).

Elle est limitée au nord par la ville de Kisangani et les forêts perturbés, au sud et à l'est par la rivière Biaro qui forme une boucle en suivant cette direction, à l'ouest par la voie ferrée et la route reliant Kisangani à Ubundu, le long de laquelle s'étend les points kilométriques 21 à 38, elle se situe à 0° 17 latitude N, et 25° 17 longitude Est. L'altitude de la zone oscille autour de 400m.

La figure 3 donne la localisation du dispositif et la délimitation du bloc sud

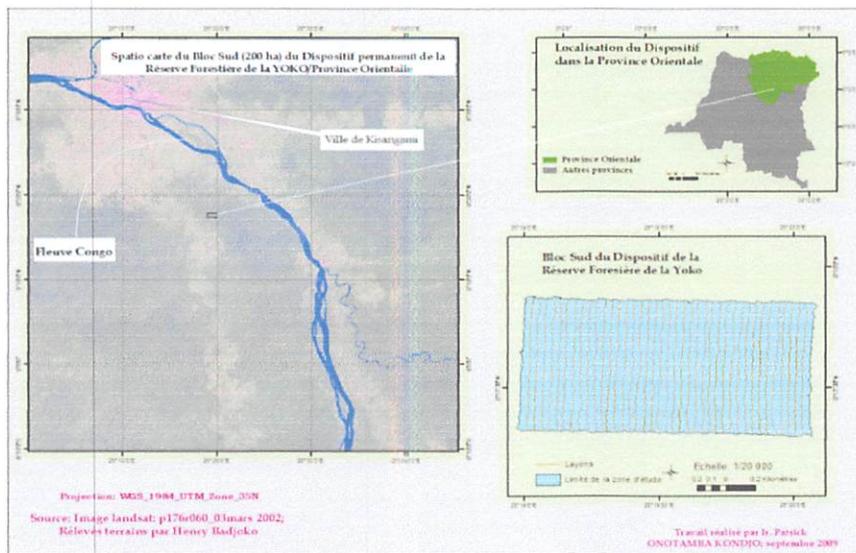


Figure 3: Localisation du dispositif et la délimitation du bloc sud

2.1.2 CLIMAT

Etant située près de la ville de Kisangani, nous attribuons à notre site les caractéristiques de cette dernière. La périphérie de Kisangani (entre 25- 41km vers la route Ubundu) jouit globalement du climat équatorial de la ville de Kisangani de type Af, de la classification de Koppen (Bultot, 1977 ; Ifuta 1993). Il y pleut pratiquement tous les mois de l'année.

Selon Nshimba (2008), la moyenne de précipitations est élevée toute l'année, mais leur répartition n'est nullement uniforme : 1728,4mm (minimum : 1417,5mm et maximum : 1915,4mm).

La moyenne des précipitations du mois le plus sec oscille autour de 60mm ; l'humidité relative moyenne annuelle est aussi élevée, soit 82%.

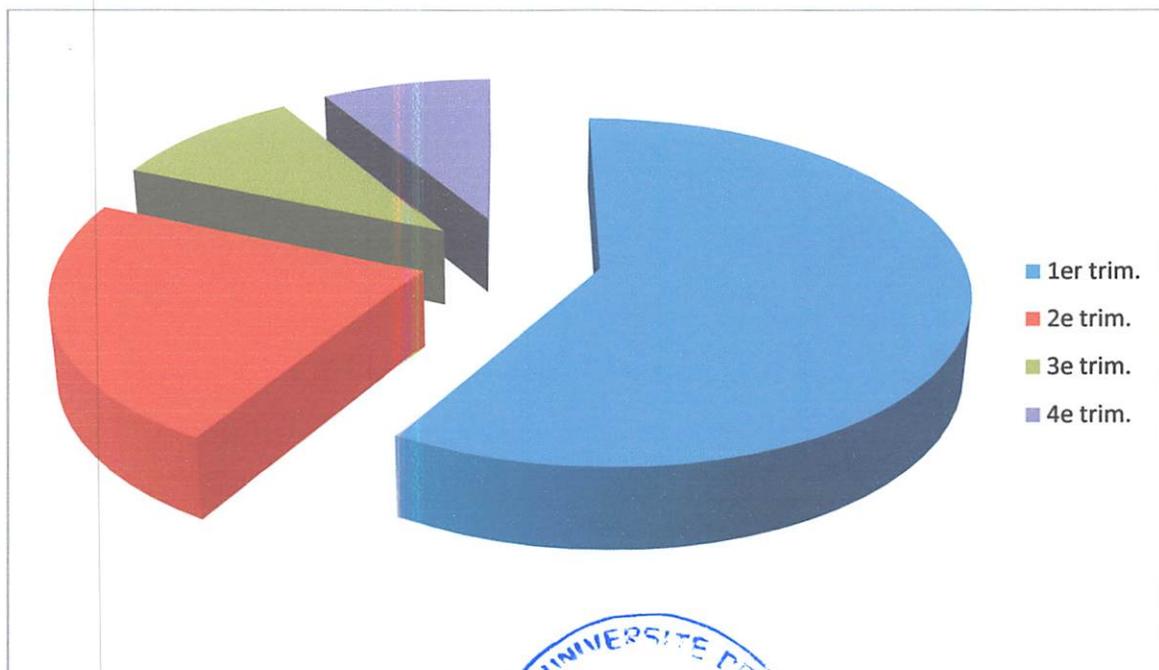
Du point de vue thermique, les températures moyennes oscillent entre 23,5°C et 25,3° C, soit une amplitude thermique annuelle faible de 1,8°C (Upoki, 2001) et la moyenne des températures du mois le plus froid est supérieure à 18°C. Les variations de températures de l'air oscillent entre 27°C et 31°C.

Les mois les plus chauds s'observent en Janvier, Février et Mars 2005 et janvier et février 2006 ; tandis que les mois les moins chauds s'observent en Juin, Juillet 2004 et Juillet, Août et Septembre 2008 (station météorologique de Bangboka.

Les variations des précipitations oscillent entre 4,8 à 266,2mm. Les précipitations les plus abondantes s'observent en novembre 2007 : tandis que les mois les moins pluvieux en Janvier 2006 et 2007.

Ainsi, nous pouvons établir ce qui suit :

- Septembre à Novembre : période saisonnière pluvieuse ;
- Décembre à Février : période saisonnière relativement sèche ;
- Mars à Mai : période saisonnière relativement humide ;
- Juin à Août : période saisonnière relativement sèche.



2.1.3. LE SOL

Le sol de la Yoko est formé sur les dépôts de recouvrement sableux ou limono-argilo-sableux notamment les mêmes recouvrements du type Yangambi. Du point de vue texture, les sols sur recouvrement du type Yangambi sont fort semblables à ceux du type Salonga, il s'agit d'un sable plus ou moins argileux à teneur en argile généralement de 10% (surface) et 25-30% (profondeur) (Baert et al, 2009).

Du point de vue minéralogique de la fraction argileuse, il est constitué de kaolinite associé à la goéthite, pas de gibbsite. Ce sol fait partie de la classe hydro- ferrasol de profil sys26 (Baert et al, 2009).

La végétation révèle également un certain nombre de caractéristiques du sol. Les relations de la végétation avec le sol apparaissent clairement sous la végétation de savane, cette relation plus difficile à mettre en évidence en milieu tropical forestier.

Peu d'études systématiques sont consacrées à la mise en évidence de ces relations (Lescure et al, 1985 quelques exemples montrent que les relations peuvent être établies (Letouzey, 1985 ; Lucas, 1989).

Les sols de la réserve forestière de la Yoko sont de types ferralitiques rouge-ocre (Kombele, 2004 ; Boyemba, 2007) ou encore appelés ferrasols (classification de FAO) soit oxisols(classification de l'USDA), et sont caractérisés par leur épaisseur considérable et une coloration rouge à jaune.

Les ferrasols sont constitués des matériaux ferralsolitiques avec horizon B2C.

C'est un matériau fort altéré, contenant la Kaolinite et sesquioxydes comme fractions argileuse ou fraction fine du sol, avec :

- Le pH sont de 4 à 7 et les sols sont acides
- Les C.E.C de 3 à 15 méq/100 g, avec le taux de saturation inférieur ou égal à 10 %, ce sont des sols désaturés.
- Rapport C/N de 8 à 12.

2.1.4. TOPOGRAPHIE

Le bloc sud du dispositif permanent de la Yoko présente un relief très accidenté dominé par des collines (pentes ascendante et descendante).Le niveau le plus élevé atteint aux environs 470m d'altitude et le point le plus bas aux alentours de 436m d'altitude.

La figure 2 ci-dessous montre la Topographie du bloc Sud du dispositif

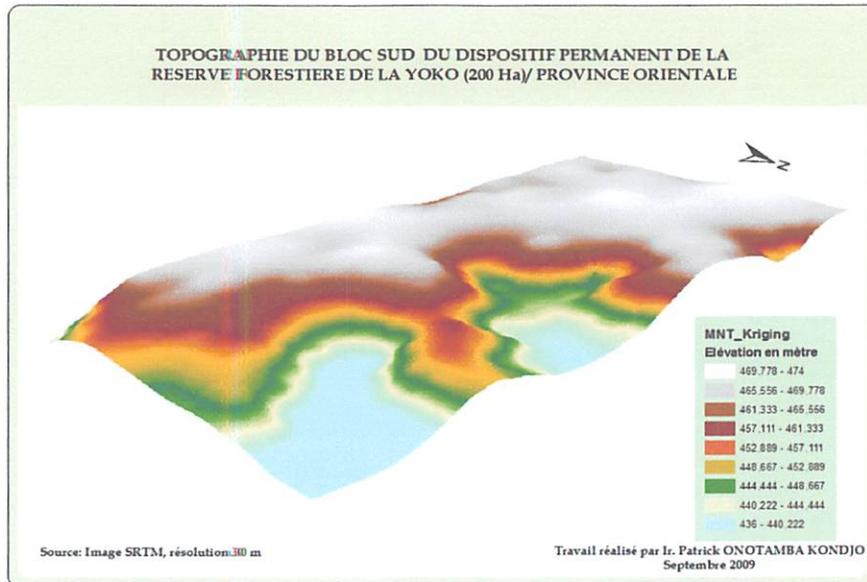


Figure 1: Topographie du bloc Sud du dispositif par image SRTM, résolution 90 m

2.1.5. VEGETATION

Le cadre phyto-sociologique de cette réserve est défini comme forêts mésophiles semi-caducifoliés appartenant à l'alliance oxystigmo-scorodophloeion, à l'ordre de piptadenio-celtidétalia et à la classe des strombosio-parinarietea (Lebrun, 1954). La partie sud de la réserve où nous avons mené notre étude, appartient aussi au type des forêts, mésophiles semi caducifoliées à *Scorodophloeus zenkeri*.

Ces types de forêts semi-décidues existent en îlots épars dans les massifs de la forêt du bassin du Congo, mais occupent la majorité de la cuvette centrale, soit 32% de la surface du pays (vancutcem et al,2008).

2.1.6. HYDROGRAPHIE

L'ensemble du domaine forestier de la Yoko est entouré de la rivière Lenda au nord et Biaro au sud. Ces cours d'eau sont des affluents du fleuve Congo.

Toutes ces rivières sont caractérisées par un régime torrentiel. Leurs débits sont moins importants et varient selon les périodes. Des crues sont enregistrées en période pluvieuse et les étiages très prononcés en période sèche ; ces rivières ne présentent pas un grand intérêt économique. Le bloc est traversé par plusieurs ruisseaux.

2.1.7. FORET MIXTE

C'est une forêt où on trouve plusieurs espèces et non pas une espèce d'arbre nettement dominante. Elle peut être soit sempervirente soit encore semi-caducifoliée (Ekadia, 2009).

D'après White et Edward (2002), la forêt mixte est divisée en sous-bois ouvert et sous-bois fermé.

- ❖ Forêt mixte à sous-bois ouvert ; ce qu'on appelle forêt dense avec de nombreux grands arbres, une canopée continue et une végétation ou sol épais contenant principalement de buisson ;
- ❖ Forêt mixte à sous-bois fermé : similaire à une vieille végétation dense (au sol, le sous-bois peut être dominé soit par des lianes, soit par de marantacées ou encore une autre végétation).

Une grande partie de la cuvette du Congo (centrale) est occupée par une forêt mixte, dominée par *Scorodophloeus zenkeri*, une fabacée, mais comprend aussi des arbres comme *julbernardia seretii*, *greenwaysdendron suaveolens*, *Péricopsis elata*, *Entandrophragma utile*, etc.

Dans le stade moyen, on trouve *cola griseiflora* et dans le sous-bois abondant la sterculiacée *scaphopetalum thonneri* et l'euphorbiacée, *Alcorenea floribunda* (Ekadia, 2009).

Le choix de la réserve de biosphère de la Yoko de la partie Sud comme site pour la réalisation de notre recherche a été motivé pour deux raisons suivantes :

- la disponibilité du dispositif expérimental permanent et
- la facilité
- accessibilité.

2.2. MATERIELS

2.2.1. MATERIELS BIOLOGIQUES

Les matériels biologiques sur lesquels s'est basé notre échantillonnage concerne les triplets (trois) des arbres constitutifs de regroupements (clusters).

2.2.2. MATERIELS NON BIOLOGIQUES

Les matériels utilisés lors de l'exécution des travaux de recherche sur le terrain et au laboratoire étaient constitués des équipements ci-après :

- machette, pour ouvrir les layons et couper les piquets ;
- GPS, pour le positionnement des arbres ;
- Chaux sodée, pour la capture de flux de CO₂ du sol ;
- Etuve, pour sécher les échantillons ;
- Dessiccateur, pour refroidir les échantillons ;
- Un ordinateur, pour la saisie et traitement de données ;
- Un thermocouple (marque digital), pour la mesure de la température du sol ;
- Une balance de précision, pour la pesée des échantillons ;
- Un pulvérisateur fin, mouiller la chaux sodée avant son exposition dans la chambre respirométrique ;
- Un galon métrique pour mesurer le diamètre des arbres et les distance entre les arbres ;
- Un carnet et un stylo pour la prise de diverses notes ;
- Une lame de scie pour découper les seaux ;
- Le para film pour sceller hermétiquement les boîtes de pétri,
- Une moto pour le transport terrestre ;
- Une pirogue motorisée pour la traversée du fleuve ;
- Le niveau de maçon pour vérifier l'horizontalité des seaux ;
- La peinture et le pinceau pour marquer les arbres.

2.3. LA METHODOLOGIE

2.3.1. Stratégie générale de l'échantillonnage

La stratégie générale s'est appuyée sur le principe d'individualisation et regroupements d'arbres forestiers disposés en triangle caractéristiques de chaque regroupement. Ces triples sont identifiés à partir d'une ACP (Analyse en Composantes Principales) conduite sur le pourcentage en surface terrière de vingt-deux espèces les plus abondantes, recensées dans les blocs nord et sud du dispositif permanent de la réserve de Yoko.

Le choix de groupements en triplets s'est fait suivant l'importance relative des groupements, la composition spécifique au sein des triplets et la diversité des milieux.

La sélection et l'identification de triplets d'arbres ont abouti à la liste ou tableau des groupements (clusters) représenté au point 2,3... ci-dessous.

2.3.1.1. Echantillonnage

2.3.1.1.1. Choix et dispositif des triplets et clusters

Il convient de rappeler que l'objectif poursuivi dans ce choix et disposition était d'individualiser ou grouper les arbres forestiers au sein de la communauté végétale en vue de quantifier leur contribution dans le dégagement des flux de carbone du sol via la respiration du sol.

La figure 3 ci-après représente la disposition des arbres et des chambres respirométriques pour les mesures de la respiration du sol.

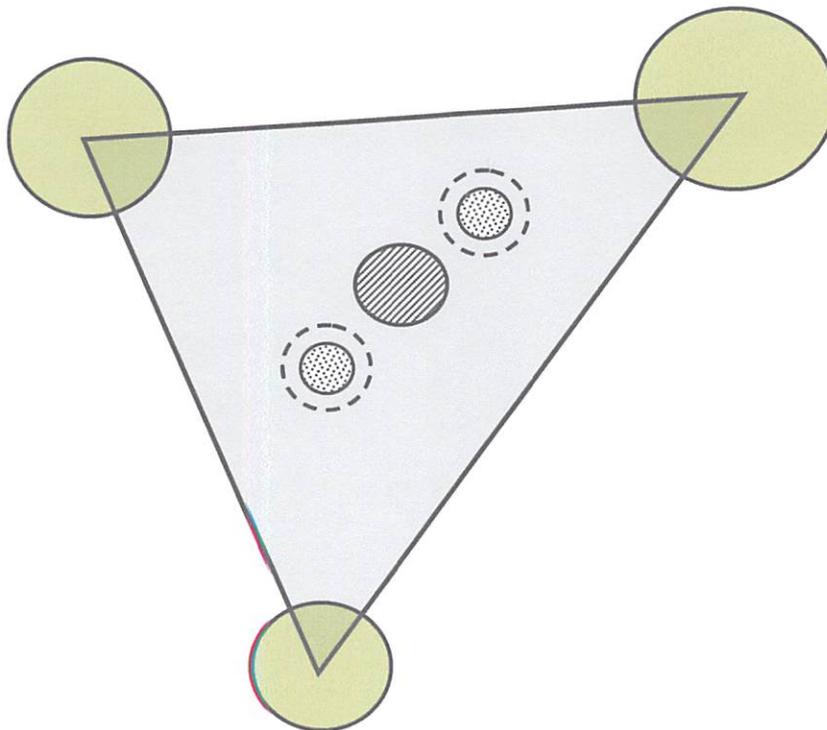


Fig 3 : Disposition des regroupements des arbres et des chambres respirométriques pour les mesures de la respiration du sol.

LEGENDE

-  Tronc (1, 2 ou 3 espèces selon le type de cluster)
-  Collecteur de litière
-  Zone dédiée aux prélèvements mensuels (température et teneur en eau du sol)
-  Chambre respirométrique (1 ou 2, selon le type de cluster)

2.3.2. Installation de chambres respirométriques

Les chambres respirométriques sont constituées de seaux opaques de 18 litres, d'une hauteur interne de 26, 2 cm et externe de 26, 5 cm. Les diamètres minimum et maximum sont respectivement de 30 cm et 31 cm.

Avant l'installation, nous avons découpé l'extrémité basale des seaux afin de permettre leur insertion dans le sol. En vue de permettre une bonne étanchéité et un bon ancrage, les chambres respirométriques ont été insérées dans le sol à une profondeur de 2 à 3 cm du sol, sur une surface relativement plane à côté du collecteur de litières aériennes et l'horizontalité de chaque chambre était vérifiée par un niveau de maçon.

La figure 4 ci-dessous montre l'installation de la chambre respirométrique.



Fig 4: installation des chambres respirométriques.

Afin d'éviter les effets de perturbations de la structure du sol et des perturbations mécaniques qui peuvent affecter le coefficient de diffusion du sol et, éventuellement stimuler l'activité microbienne (Edward 1989, Hanson et al 1993; Sellers et al. 1997; Striegl et Wickland 1998

in Hashimoto et al 2003), ces chambres ont été insérées dans le sol deux semaines avant les mesures de la respiration du sol.

Deux chambres ont été installées dans les clusters monospécifiques, l'un avec litières et l'autre sans litières de part et d'autre du collecteur de retombées aériennes ; tandis qu'une chambre a été installée lorsqu'il s'agit des clusters à deux ou trois espèces ; avec ou sans *Scorodophloeus zenkeri*, dont l'illustration est faite dans les figures 5 et 6 ci-dessous.



Fig 5 : chambres respirométriques pour les clusters monospécifiques.



Fig 6 : chambres respirométriques pour les clusters à deux ou trois espèces

Toute la végétation se trouvant à l'intérieur des chambres a été également coupée au niveau du sol pour empêcher l'absorption du CO_2 et la respiration des plantes hors sol. Pour les mesures de la respiration du sol sans litière, cette dernière a été minutieusement enlevée sans coupé les racines fines des arbres se trouvant à l'intérieur de la chambre.

2.3.2.1 . Préparation de la Chaux Sodée.

La première étape a consisté à marquer les boîtes de pétri et à les sécher pour obtenir leur poids sec. Les figures 8 et 9 ci-après présentent la pesée de boîtes de pétri et la chaux sodée.

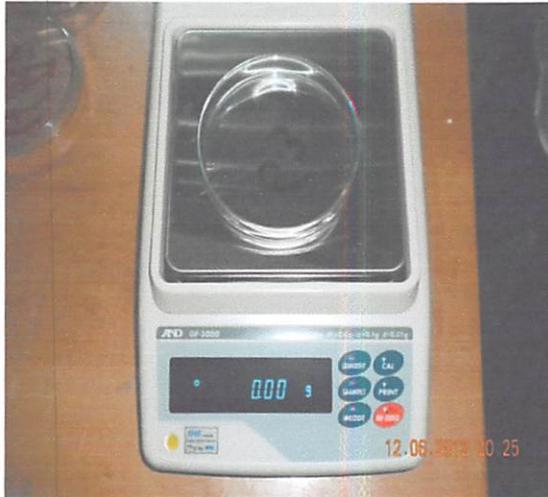


Fig. 8 : pesée du poids sec de boîtes de pétri

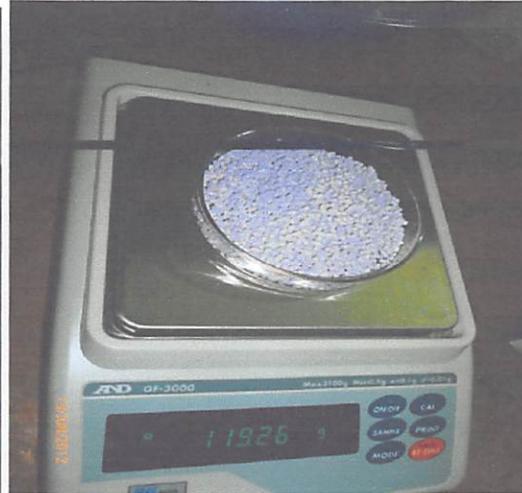


Fig. 9 : pesée du poids sec chaux + boîtes de pétri

Soixante grammes de la chaux sodée ont été utilisés pour une chambre respirométrique de $706,5 \text{ cm}^2$ de surface, nous avons pesé la chaux sodée humide dans les boîtes de pétri et sécher ces boîtes avec la chaux sodée dans l'étuve à $105 \text{ }^\circ\text{C}$ (pendant 24 heures) jusqu'au poids constant.

Après leur retrait à l'étuve et refroidissement dans le dessiccateur pendant 10 à 15 minutes, elles ont été directement pesées au centigramme près (0,01) et leurs poids secs enregistrés, couvertes, scellées avec le paraffine et amener sur le terrain pour les mesures.

2.3.3.2. Mesure de la Respiration du Sol

Etant donné que la réaction entre l'hydrolyse et le CO_2 exige la présence de l'eau, 8 ml d'eau ont été aspergés sur la chaux sodée à l'aide d'une pincette de manière à mouiller uniformément la chaux sodée dans la boîte de pétri, car une source d'humidité est nécessaire à la chaux sodée exposée.

Les figures 10 et 11 ci-dessous montrent les chambres avec litière et sans litières



Fig 10 : chambre respirométrique sans litières



Fig. 11: Chambre respirométrique avec litières

Les boîtes de Pétri ont été déposées ouvertes au-dessus de la surface de la litière sur une tablette, afin d'éviter d'obstruer le flux de CO_2 de la surface du sol dans les chambres et les couvercles, des seaux étaient fermés directement, tout en plaçant un poids au-dessus de ces dernières pour éviter les fuites et maintenir leur stabilité. En fin, la date et l'heure du dépôt étaient notées.



Fig. 11 : Dépôt de la chaux sodée dans la chambre



Fig 12 : Retrait de la chaux sodée et scotchage de boîte de pétri

Les mesures à vide (témoins) étaient également effectuées pour tenir compte de CO_2 absorbé par la chaux sodée lors de la procédure expérimentale. Ces boîtes de pétri avec plus au moins 60g de la chaux sodée ont subi le même processus du séchage, de la pesée et laissées pendant 24 heures dans les champs pour simuler les conditions de chambre d'incubation.

La figure 12 ci-dessous montre la mesure de flux de carbone de témoins.



Fig. 13 : Mesures à vide (témoins) du flux de CO_2 .

Après 24 heures, toutes les boîtes de Pétri ont été retirées de leurs chambres, couvertes, scellées à nouveau avec le parafilm, l'heure du retrait notée et transportées vers le laboratoire. Au laboratoire, les boîtes de pétri ont été séchées à l'étuve à 105°C jusqu'au poids constant. Après refroidissement à travers le dessiccateur pendant plus au moins 15 minutes, elles étaient pesées et leurs poids secs notés.

2.3.3.3. Mesure de la température du sol

On prélevait la température du sol de part et d'autre de la chambre respirométrique à l'aide d'un thermocouple, le même jour de la mesure de la respiration du sol, à une profondeur de 10 cm où l'activité biologique est prépondérante (Hanson et al 1993).

Les figures 13 et 14 qui suivent montrent et mesurent la température de l'exposition et le retrait de la chaux sodée dans la chambre respirométrique.

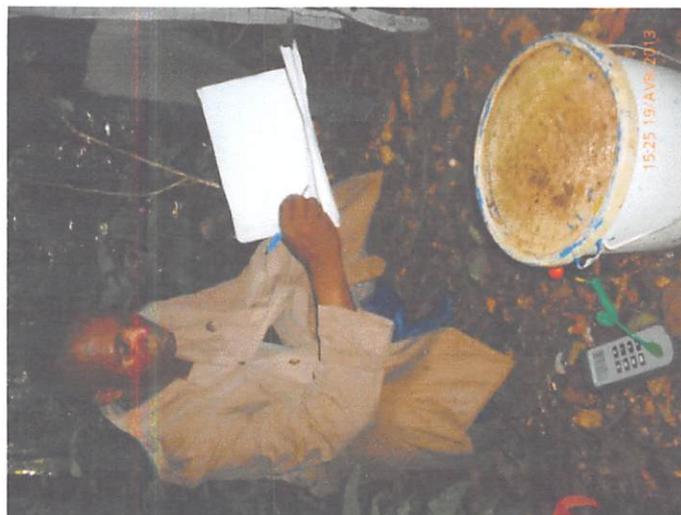


Fig 14 : Mesure de la température du sol

2.3.3.4. Mesure de la teneur en eau du sol

Avant d'aller sur le terrain, on a marqué les numéros de collecteurs sur chacun des sachets et les peser en plaçant un conteneur sur la balance, après sa tare, on insère le sachet et inscrit finalement leurs poids sur la fiche du labo préparée à cette fin.

Sur le terrain, une fois que la couche holorganique est dégagée sur deux points opposés par rapport au seau, donc la couche hémi-organique mise à nu, on enfonce le cylindre de Kopecky à l'aide d'un marteau jusqu'à ce qu'il soit complètement enfoncé dans le sol ; on dégage ensuite une partie de la terre autour du cylindre pour nous aider finalement à le retirer facilement du sol.

On place le capuchon du cylindre de Kopecky sur sa face supérieure et le surplus de terre est retiré à l'aide d'un couteau sur la face inférieure du cylindre pour ne garder que le volume de terre représenté par le Kopecky. Finalement, les deux échantillons formant une composite est mise dans un sachet qu'on l'a fermé hermétiquement, mis dans un deuxième sachet et lié avec le scotch.

Au retour du terrain, une fois au laboratoire, on sèche les pots en aluminium et on note leur poids sec et le plus rapidement possible, on pèse l'échantillon entier après avoir enlevé le scotch et on inscrit sa masse fraîche totale (échantillon + sachets). Ensuite, on met un pot sur la balance et après sa tare, on prélève un sous-échantillon que l'on met dans le pot, et l'on note le poids frais du sous-échantillon.

En fin, on place le pot dans l'étuve à 105°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant que l'on pèse après avoir mis au dessiccateur pendant 15 minutes et l'on note le poids sec (échantillon + pot).

2.4. Analyse des données

2.4.1. Calcul de flux de CO₂

Cette méthode est basée sur l'absorption de CO₂ par la chaux sodée qui est mesurée par un gain de poids. Les réactions d'absorption suivantes se produisent :

$2\text{NaOH} + \text{CO}_2 \Rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ et $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \Rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ pour chaque mole de CO₂ qui réagit chimiquement avec la chaux sodée, une mole d'eau est formée et qui est ensuite évaporée pendant le séchage. Ainsi, l'augmentation de la masse sèche après l'exposition sous-estime le CO₂ absorbé par un facteur de $18/44 = 40.9\%$. Cela s'explique à partir de l'équation ci-dessus par le fait que pour chaque mole de CO₂ (44mg) absorbé par la chaux sodée, il perd une mole d'eau (18ml) $44 - 18 = 1,69$.

Le facteur de correction de 1,69 tel que reconnu par Grogan (1998) au lieu de 1,41 comme initialement préconisé par Edouard (1982) sera intégré dans le calcul pour tenir compte de l'eau formée au cours de l'absorption chimique de CO₂ par la chaux sodée et, libéré pendant le séchage.

On a enregistré le poids des boîtes de pétri, boîtes de pétri plus chaux sodée humide, boîtes de pétri plus la chaux sodée séchée, boîtes de pétri plus chaux sodée séchée après 24 heures d'exposition.

Enfin, nous avons calculé, la teneur en eau en pourcentage de la chaux sodée, le gain de poids de la chaux sodée (g) après l'exposition et les flux de CO₂ du sol (g/m²/jr).

- Poids sec initial (avant l'exposition) de la chaux sodée (g) = Pi
- Poids sec final (après l'exposition) de la chaux sodée (g) = Pf
- Poids final (échantillon à blanc) de la chaux sodée (g) = Pb

- Poids final (après correction) de la chaux sodée (g) = $P_c = P_f - P_b$
- Le gain de poids de la chaux sodée (g) = $P_g = P_c - P_i$
- La respiration du sol (g de $CO_2/m^2/jr$) = CO_2 absorbé/superficie /jour.

2.4.2. Analyses statistiques

Les analyses statistiques utilisées dans ce travail ont été essentiellement axées sur l'analyse de variance, la corrélation et le test d'ajustement et de signification, le test de comparaison de deux moyennes (test t de student) et de comparaison de deux moyennes (l'ANOVA).

Les logiciels statistiques qui nous ont permis de réaliser ces tests statistiques sont le tableur Excel, et Past.

CHAPITRE 3 : PRESENTATION DES RESULTATS

3.1. VARIABILITE TEMPORELLE DU FLUX DE CARBONE

3.1.1. Flux de carbone du mois de Septembre 2012

Les résultats consignés dans les figures 15, 16, 17, 18 et 19 ci-dessous concernent les Clusters à deux espèces avec *Scorodophloeus zenkeri*(MTD), Clusters monospécifiques à *Scorodophloeus zenkeri* avec litière (MTM AL) et sans litière (MTM SL), Clusters à trois espèces sans *Scorodophloeus zenkeri*(MTTS) et les Clusters à trois espèces avec *Scorodophloeus zenkeri* (MTT).

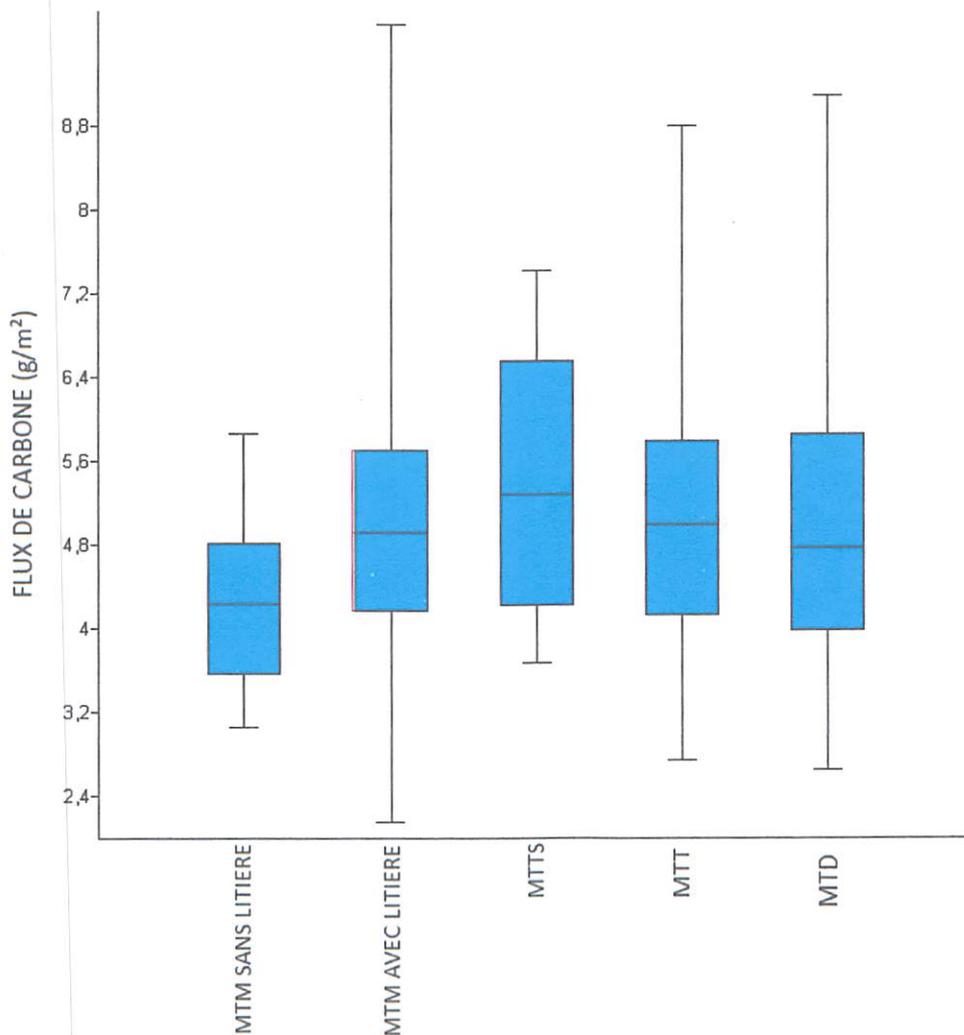


Fig 15:

Flux de carbone du mois de Septembre 2012 des différents clusters

Au regard du graphique 15 ci-dessus, il apparaît que les regroupements à trois espèces sans *Scorodophloeus zenkeri* (MTM) émet beaucoup de CO₂ au mois de septembre et le flux le moins élevé du même mois est observé chez les regroupements monospécifiques à *Divida* sans litière (MTMSL).

3.1.2. Flux de carbone du mois d'Octobre 2012

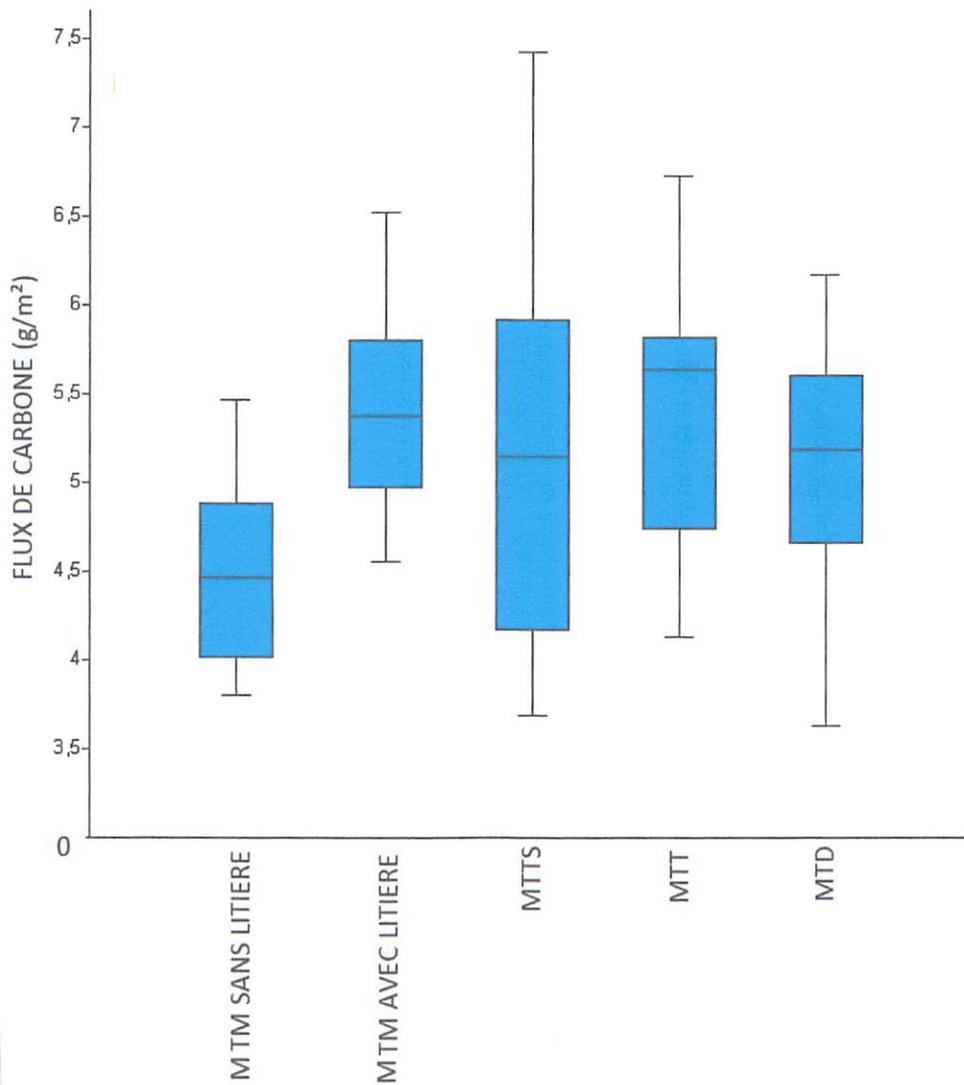


Fig16: Flux de carbone du mois de d'Octobre2012 des différents clusters

En observant le graphique 16 ci-dessus, il se dégage que les regroupements à trois espèces sans *Divida* (MTTs) émettent plus de CO₂ et les regroupements monospécifiques à *Scorodophloeus zenkeri* sans litière (MTMSL) par contre émettent moins de carbone que les autres regroupements au mois d'Octobre.

3.1.3. Flux de carbone du mois de Novembre 2012

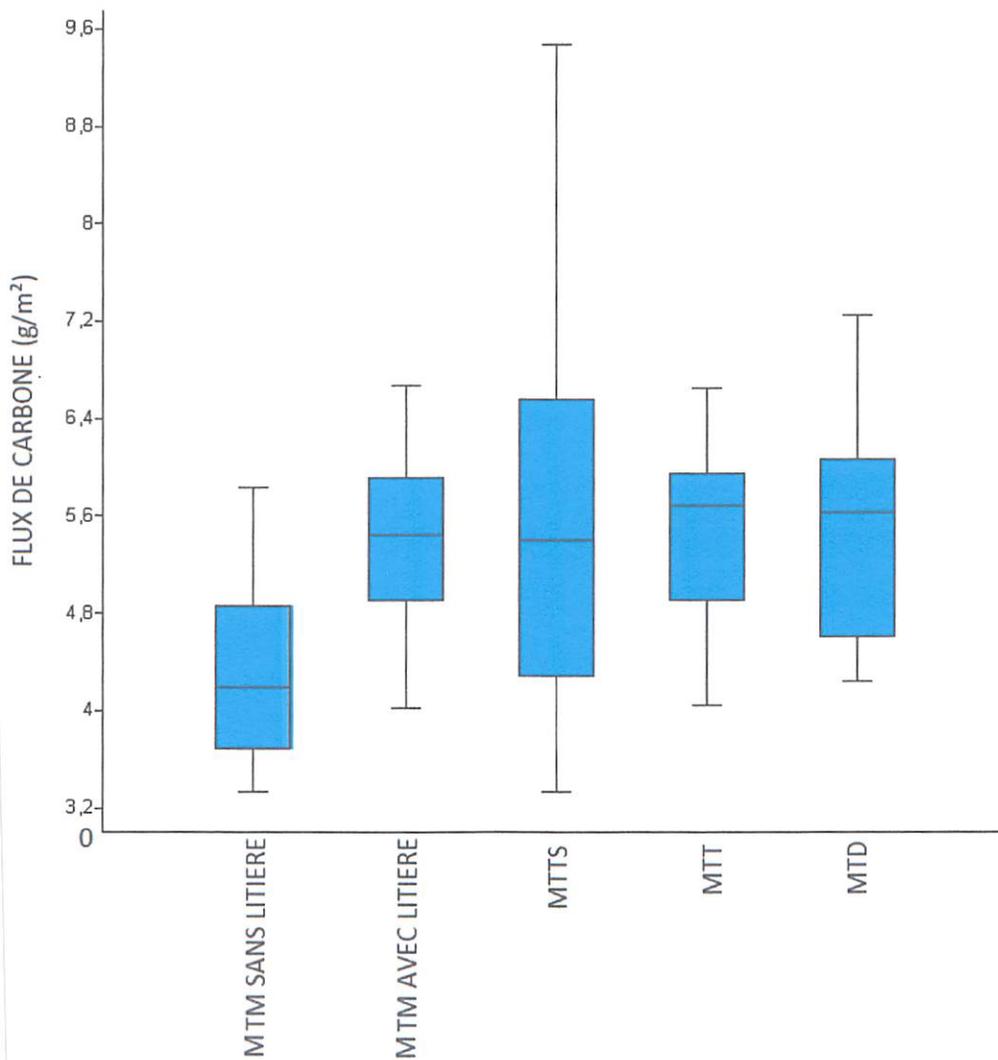


Fig 17: Flux de carbone du mois de Novembre 2012 des différents clusters

Au regard du graphique 17 ci-dessus, les regroupements à trois avec trois espèces sans déca (MTTS) émettent plus de CO₂ au mois de novembre comme au mois de Septembre et Octobre que les autres regroupements et les regroupements monospécifiques à *Scorodophloeus zenkeri* sans litière (MTMSL) émettent le moins de CO₂ au mois de novembre comme précédemment.

3.1.4. Flux de carbone du mois de Décembre 2012

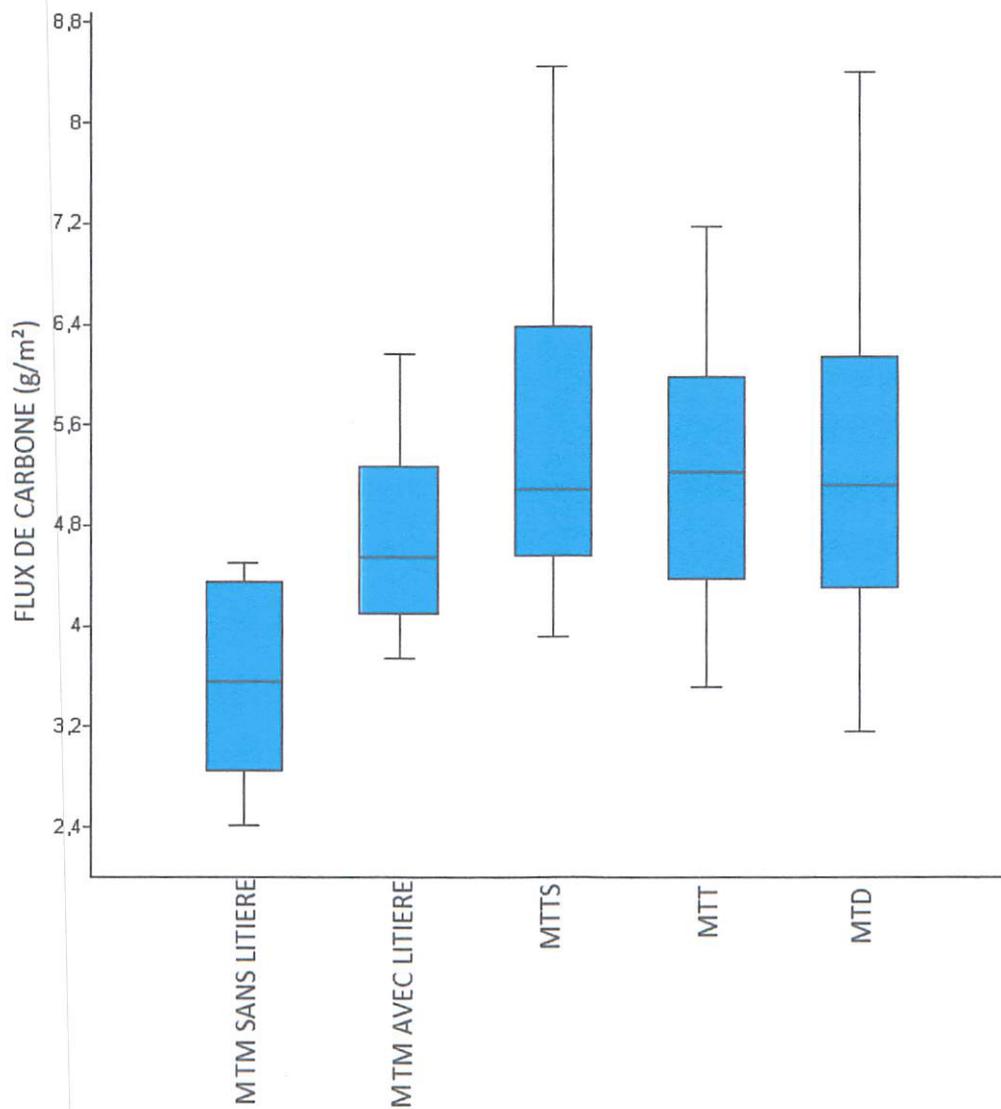


Fig 18 : Flux de carbone du mois de Décembre 2012 des différents clusters

L'examen du graphique ci-dessus, montre que les regroupements à deux espèces avec *divida* (MTD), émettent plus de CO₂ que d'autres regroupements au mois de décembre et les regroupements monospécifiques à *Scorodophloeus zenkeri* sans litière (MTMSL) émettent le moins possible de CO₂ comme observer dans les mois passés.

3.1.5. Flux de carbone du mois de Janvier 2013.

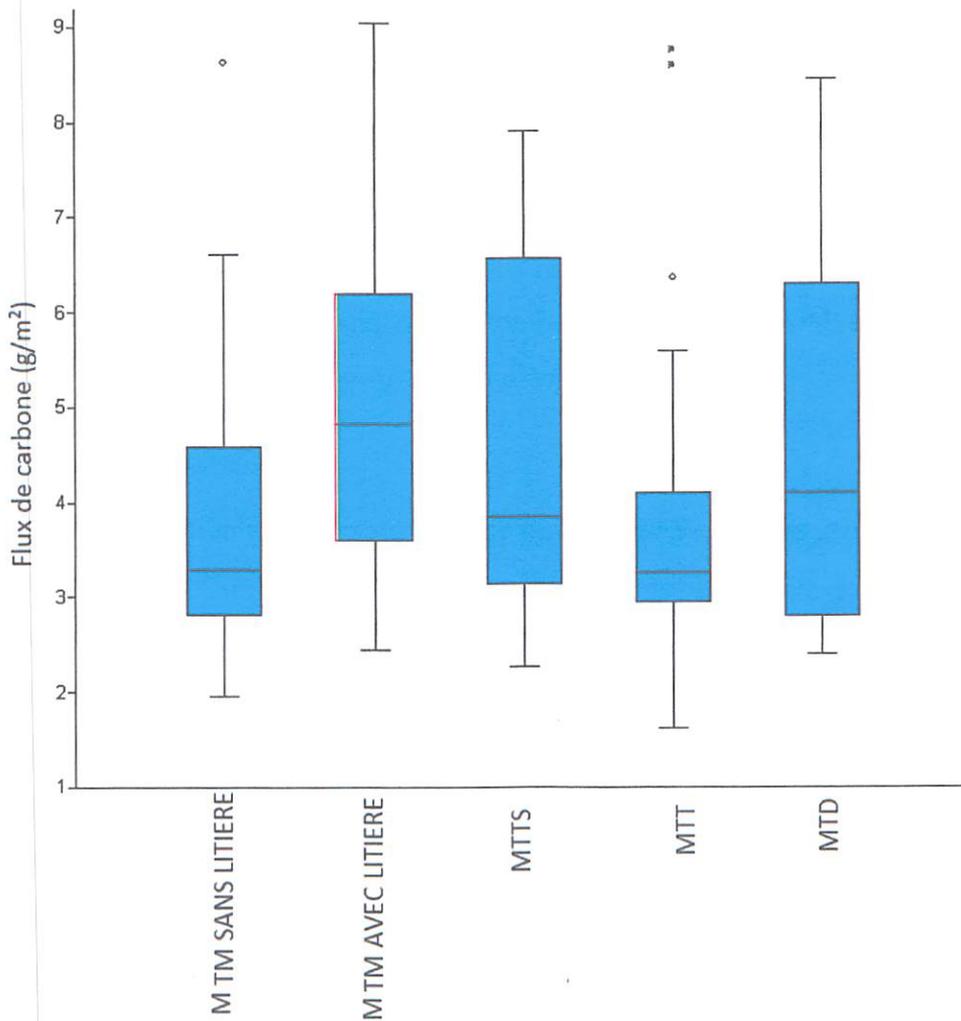


Fig 19 : Flux de carbone du mois de Janvier 2013 des différents clusters

L'observation du graphique 19 ci-haut représenté renseigne que les regroupements à trois sans divida (MTM) émettent plus de CO₂ mais concurrencé cette fois-ci par les regroupements à deux espèces avec divida (MTD) et les regroupements monospécifiques à Divida (MTMAL). Le flux le moins élevé cette fois-ci est observé entre les regroupements à trois espèces avec divida (MTT)

3.2. VARIABILITE SPATIALE DU FLUX DE CARBONE

Les figures 20, 21, 22, 23 et 24 ci-dessous montrent la variabilité des flux de CO₂ du sol dégagé respectivement aux mois de Septembre, Octobre, Novembre Décembre et Janvier entre les différents types de regroupements d'espèces.

3.2.1. Variabilité spatiale du flux de carbone du mois de Septembre 2012.

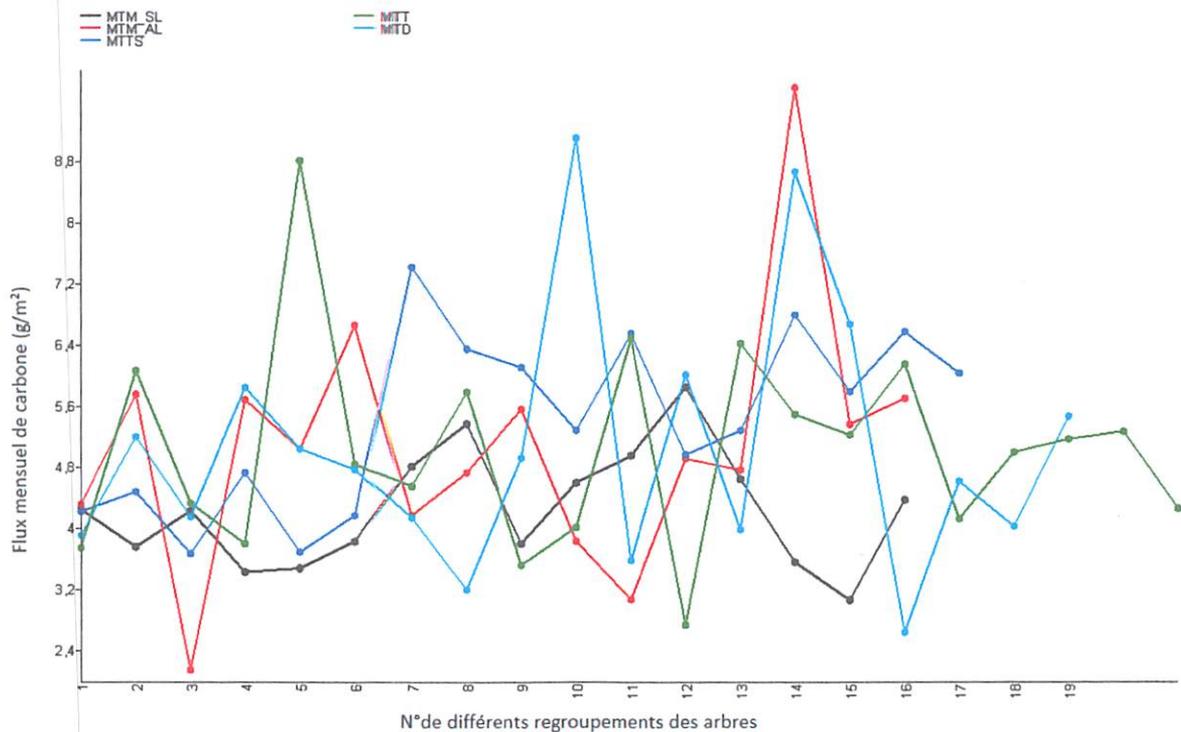


Fig.20 : Variabilité spatiale du flux de carbone du mois de Septembre 2012

Au vu de la figure 20ci-haut représenté, il apparaît que le flux de CO₂ respiré dans chaque chambre respirométrique varie spatialement d'un regroupement des arbres à l'autre et au sein d'un même type de regroupement d'espèces, avec une fluctuation très marquée enregistré dans la chambre respirométrique n°14 du regroupement monospécifique à Divida avec litière(MTM AL), soit 9,2 g/m²/jr) et le flux le moins élevé est enregistré par le même cluster à la chambre respirométrique N° 3 (MTM AL), soit 1,5 g/m²/jr).

3.2.2. Variabilité spatiale du flux de carbone du mois d'Octobre 2013.

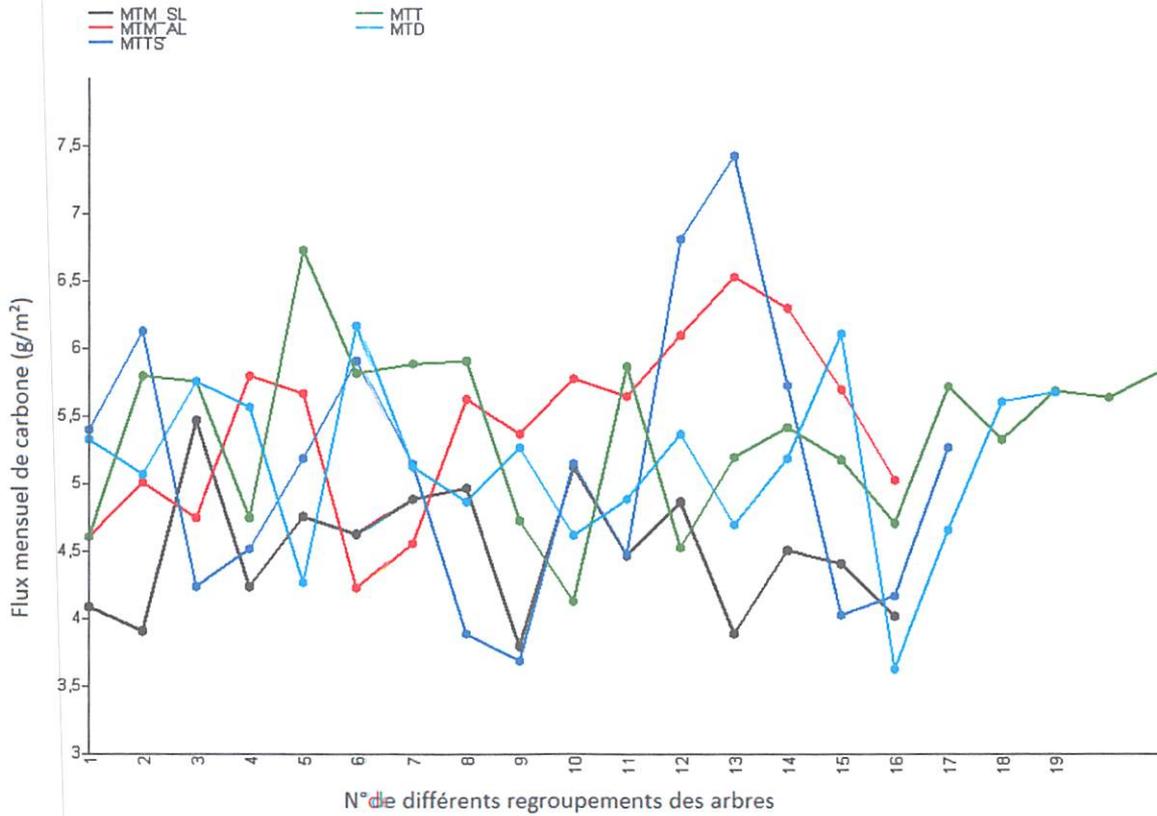


Fig. 21 : Variabilité spatiale du flux de carbone du mois d'Octobre 2012.

A la lumière de la figure 21 représentée ci-dessus, il apparaît que le flux de CO_2 respiré dans chaque chambre respirométrique varie spatialement d'un regroupement d'arbres à l'autre et au sein d'un même type de regroupement d'espèces, avec une fluctuation très marquée enregistrée à travers la chambre respirométrique n°13 du regroupement à trois espèces sans *Scorodophloeus zenkeri*(MTT'S) et la chambre respirométrique n° 16 du regroupement à deux espèce avec *divida*(MTD)émet moins de $\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{Jour}$ au mois d'Octobre 2012.

3.2.3. Variabilité spatiale du flux de carbone du mois de Novembre 2012.

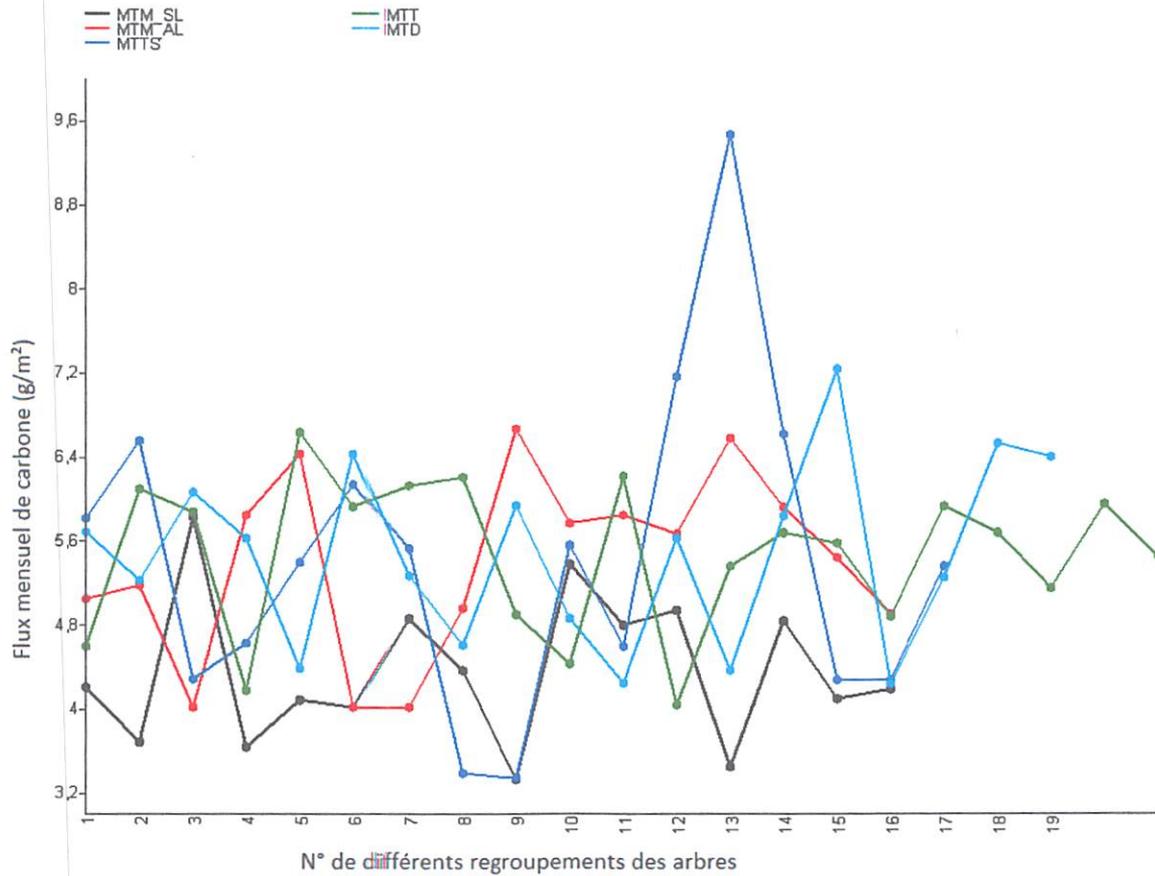


Fig.22 : Variabilité spatiale du flux de carbone du mois de Novembre 2012.

L'allure du graphique 22 ci-dessus, illustre une forte variabilité spatiale de flux de CO₂ dégagé par le sol forestier pour chaque type de regroupements d'espèces, la variabilité de ces flux de CO₂ s'observe avec des écarts considérables entre et au sein de divers regroupements d'espèces dont MTT'S de la chambre N°13 émet plus de CO₂ et MTT'S de la chambre N°9 par contre émet moins de CO₂.

3.2.4. Variabilité spatiale du flux de carbone du mois de Décembre 2012.

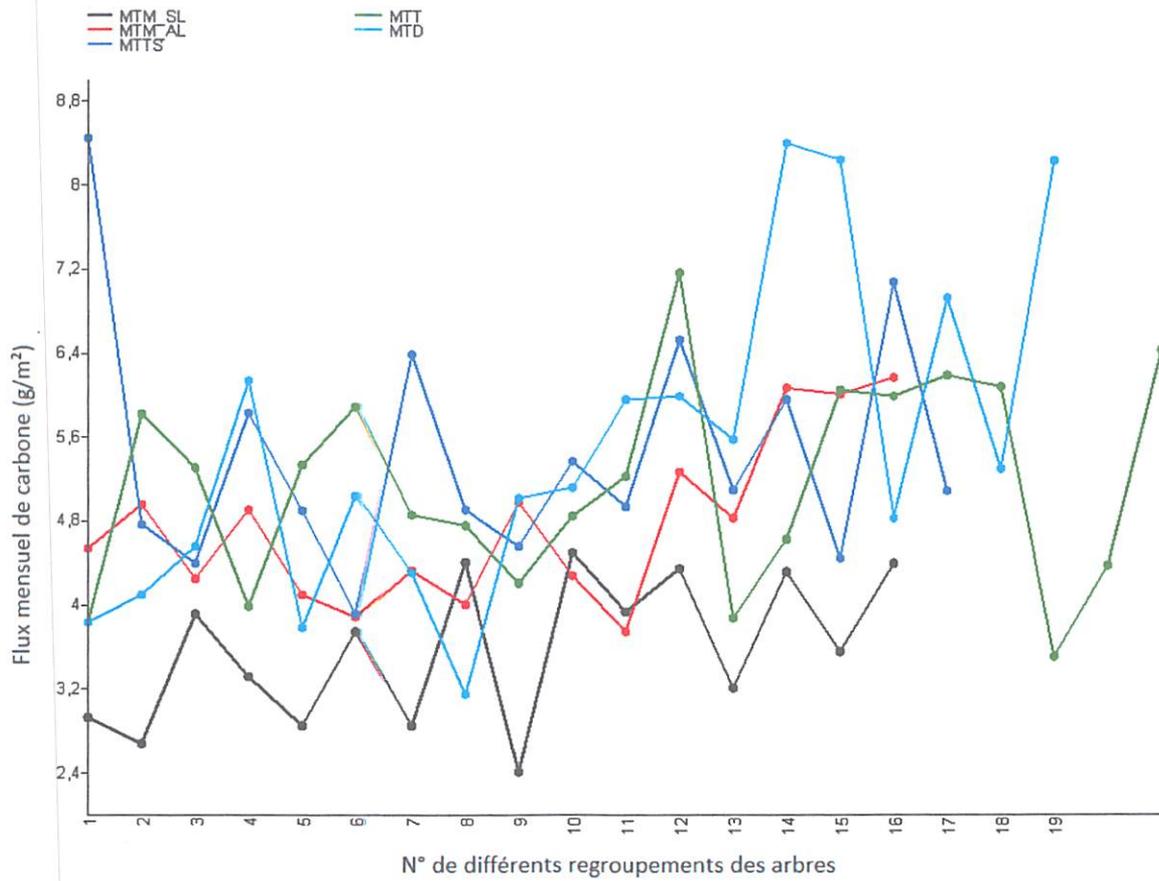


Fig.23 : Variabilité spatiale du flux de carbone du mois de Décembre 2012.

Au regard de la figure 23 ci-dessus, il ressort une forte variabilité du flux de CO₂ au mois de Décembre. Le flux le plus remarquable est observé dans la chambre respirométrique n°1 du regroupement MTT_S, n°14 et 20 des regroupements MTD.

3.2.5. Variabilité spatiale du flux de carbone du mois de Janvier 2013.

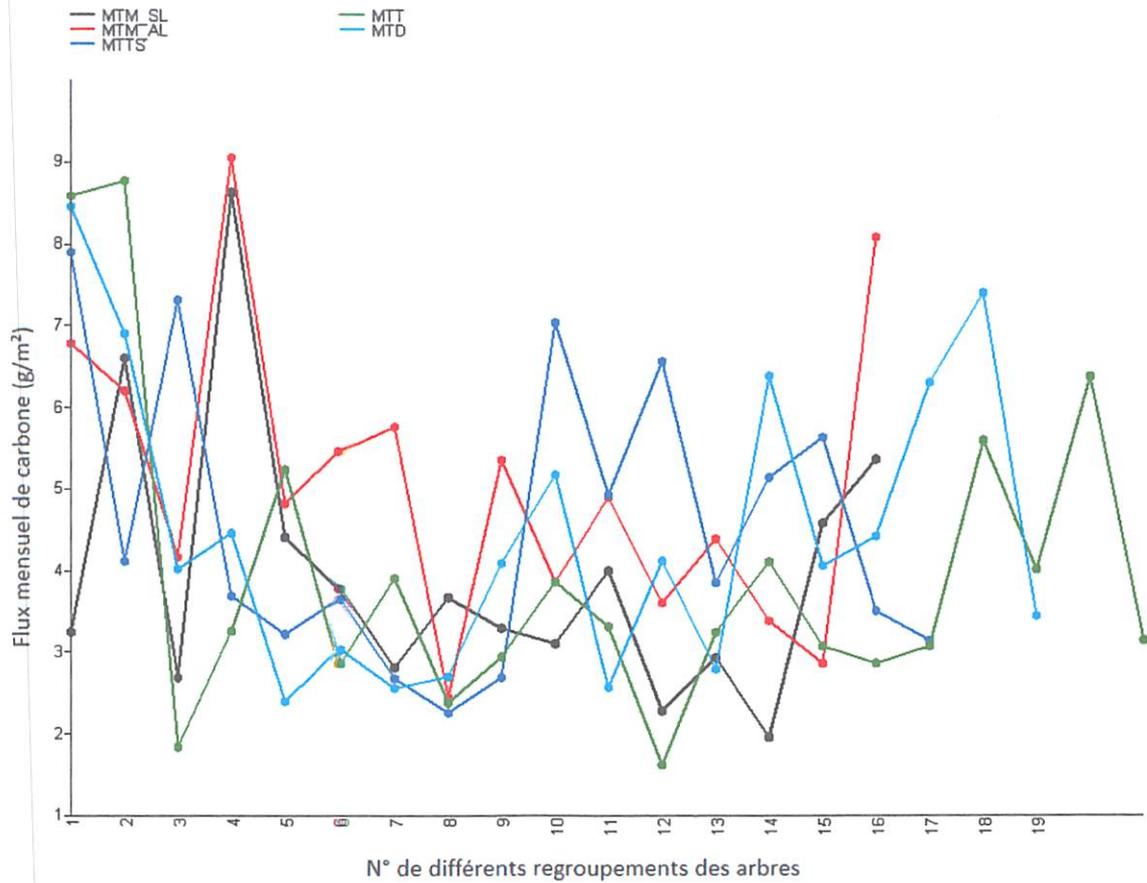


Fig. 24 : Variabilité spatiale du flux de carbone du mois de Janvier 2013.

La figure 24 relevant de la situation évolutive du flux de CO₂ émis durant le mois de janvier, dénote une forte variabilité spatiale de flux CO₂ des différents regroupements d'arbres dont la chambre respirométrique n°4 du regroupement MTMAL occupe la première place et la chambre respirométrique n°12 du regroupement MTT occupe la dernière place.

3.3. Relations entre le flux de carbone et quelques facteurs climatiques

Les figures 25, 26, 27 et 28 représentent les relations entre d'une part le flux de carbone en fonction de la teneur en eau et la température du sol en saison pluvieuse et d'autre part, le flux de carbone en fonction de la teneur en eau et la température du sol en saison sèche des mois de Septembre, Octobre, Novembre Décembre et Janvier des différents types de regroupements d'arbres.

3.3.1. Relation entre le flux moyen de carbone et la teneur en eau du sol moyenne en saison pluvieuse 2012.

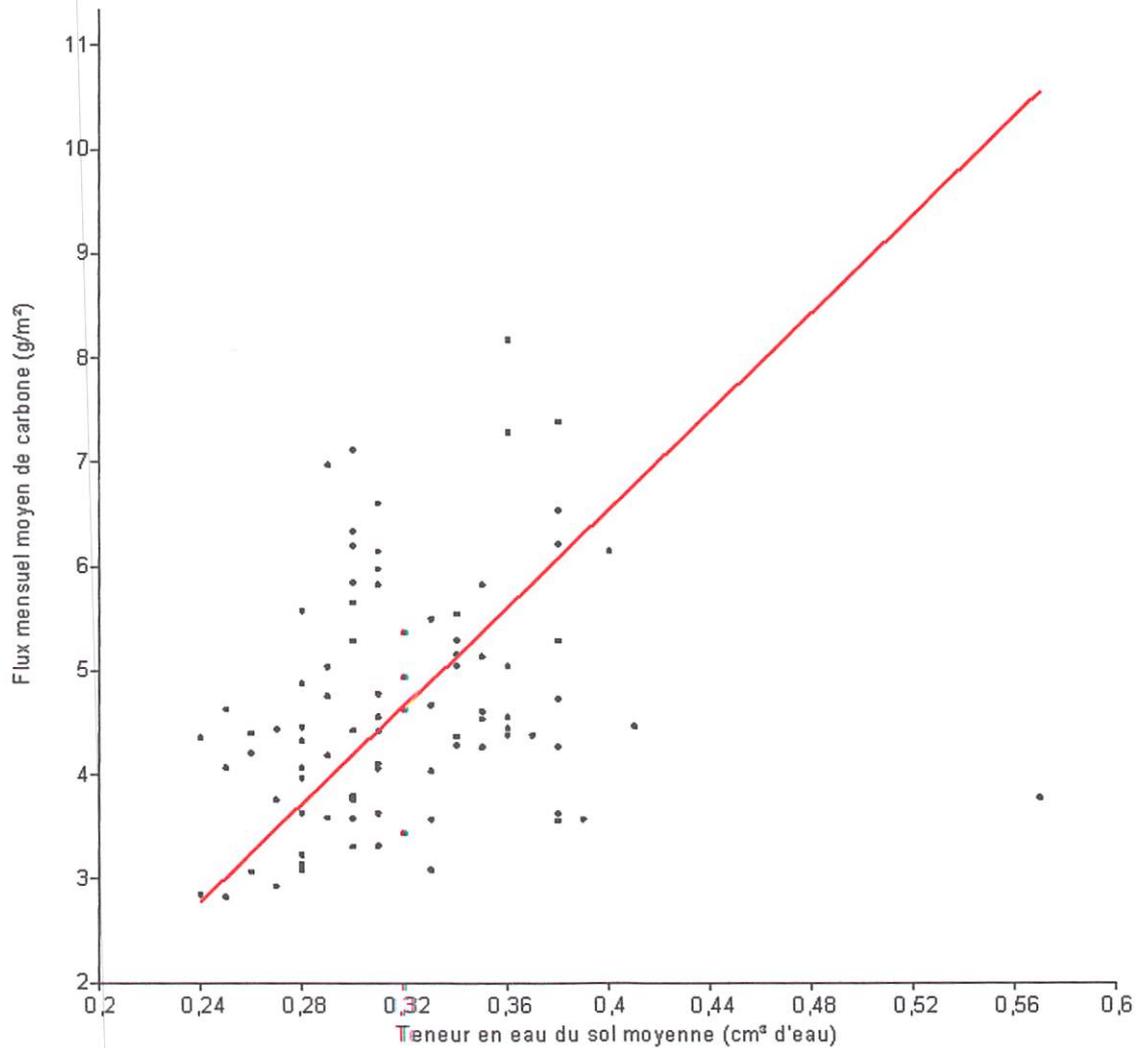


Fig. 25 : Relation entre le flux moyen de carbone et la teneur en eau du sol de 2012.

Il ressort de ce graphique que la relation entre le flux de CO_2 dégagé par le sol et la teneur en eau du sol en saison pluvieuse à travers les différents regroupements est faible, avec un coefficient de corrélation (r) de 0,22 c'est-à-dire que cette relation n'est pas évidente et le flux de CO_2 du sol ne varie pas nécessairement avec l'augmentation de la teneur en eau du sol.

3.3.2. Relation entre le flux mensuel moyen de dioxyde de carbone et la teneur en eau du sol moyenne en saison sèche 2012.

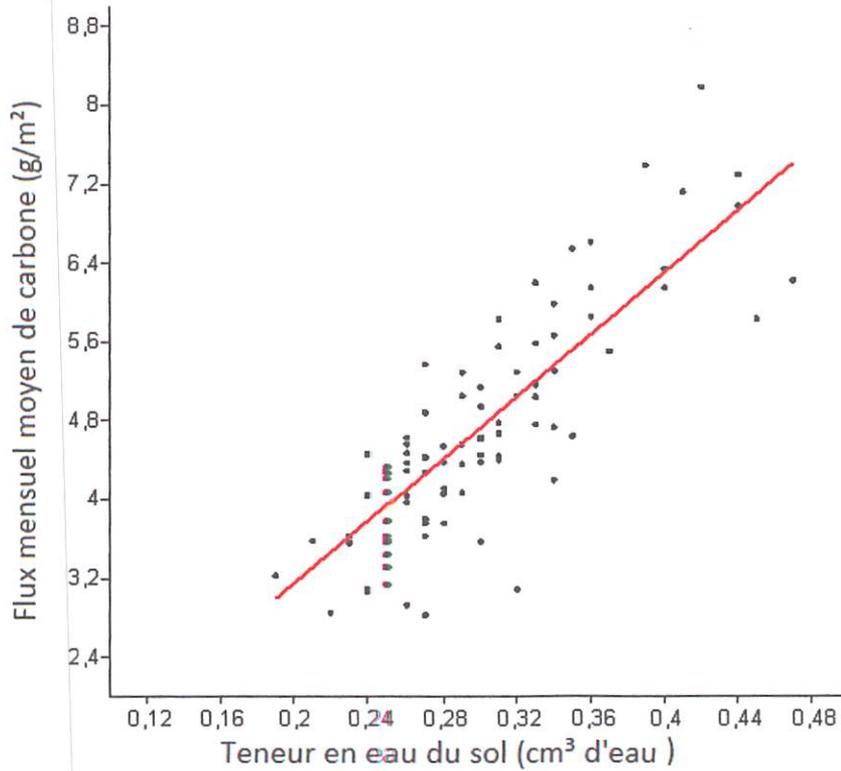


Fig. 26 : Relation entre le flux mensuel moyen de carbone et la teneur en eau du sol en saison sèche de 2012.

De ce graphique, il s'observe que la relation entre le flux de CO_2 dégagé et la teneur en eau du sol en saison sèche est forte avec un coefficient de corrélation (r) de 0,83 c'est-à-dire que cette relation est évidente et que le flux de CO_2 du sol varie nécessairement avec l'augmentation de la teneur en eau du sol.

3.3.3. Relation entre le flux mensuel moyen de carbone et la température moyenne en saison pluvieuse 2012.

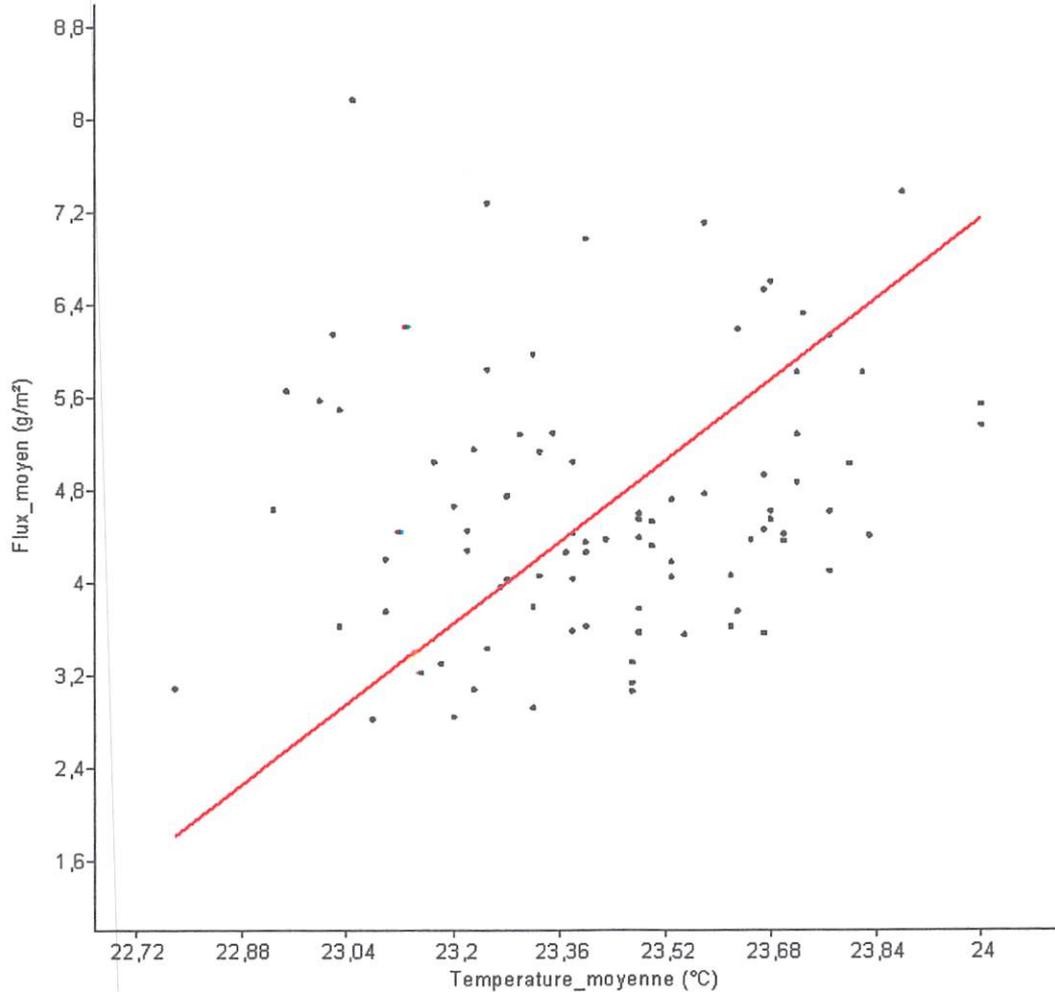


Fig. 27 : Relation entre le flux mensuel moyen de carbone et la température moyenne en saison pluvieuse de 2012.

A la lumière de ce graphique, il s'observe que la relation entre le flux de CO₂ dégagé en saison pluvieuse et la température du sol est faible, soit un coefficient de corrélation (r) de 0,19. C'est-à-dire que cette relation n'est pas évidente et que le flux de CO₂ du sol ne varie nécessairement pas beaucoup avec l'augmentation de la température du sol.

3.3.4. Relation entre le flux mensuel moyen de carbone et la température moyenne en saison sèche 2012.

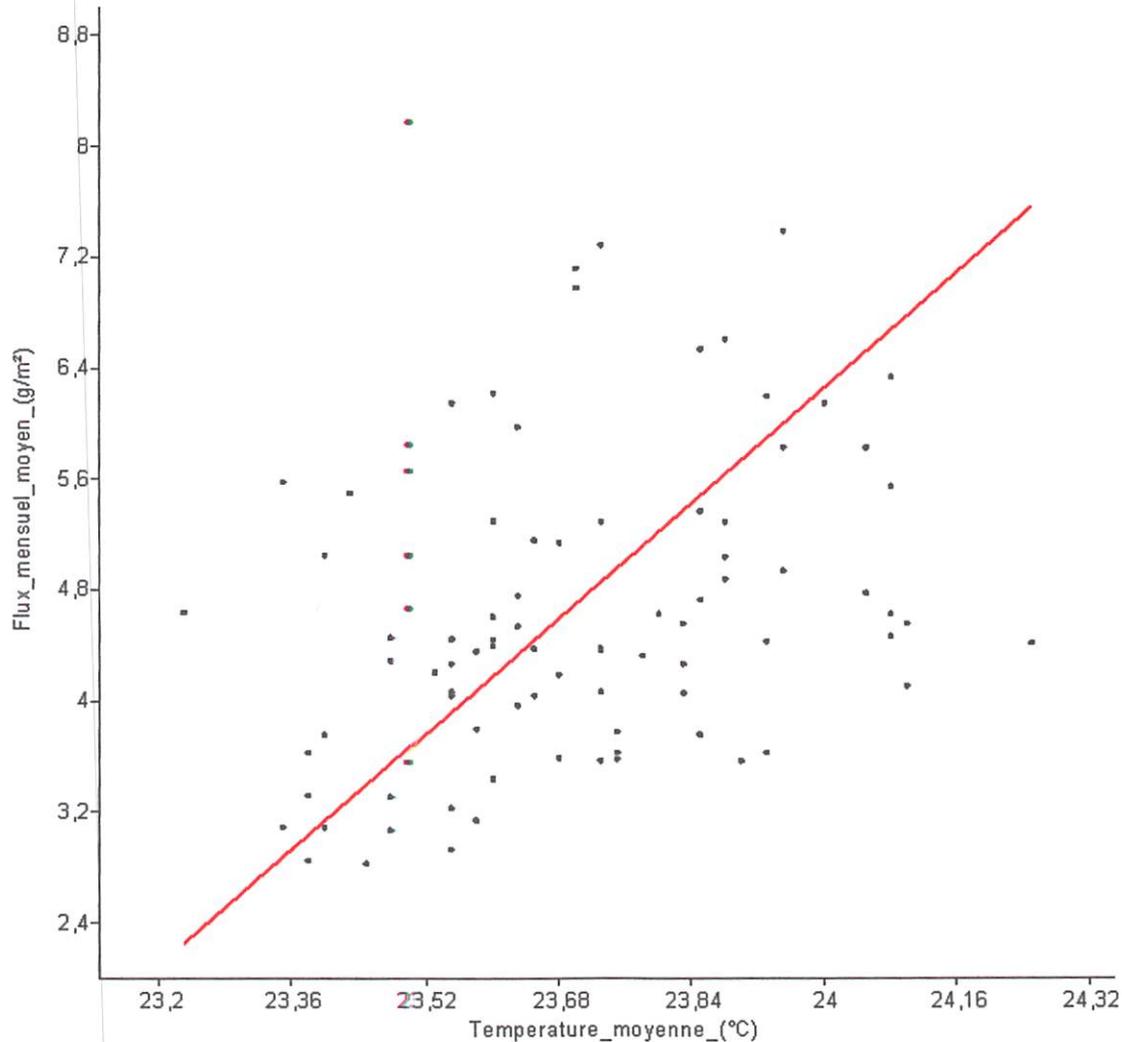


Fig. 28 : Relation entre le flux mensuel moyen de carbone et la température moyenne en saison sèche de 2012.

Au regard de ce graphique, il se remarque que la relation entre le flux de CO₂ dégagé en saison sèche et la température du sol est faible, soit un coefficient de corrélation (r) de 0,27 c'est-à-dire que cette relation n'est pas évidente et que le flux de CO₂ du sol ne varie pas nécessairement avec l'augmentation de la température du sol.

CHAP IV : DISCUSSION DES RESULTATS

4.1. Discussion entre les résultats des différents paramètres de notre étude et à ceux d'autres chercheurs.

4.1.1. Comparaison entre les flux moyens de dioxyde de carbone dégagés par les différents regroupements de tous les mois considérés

Le tableau 3 ci-dessous présente les flux de carbone moyens de différents regroupements des arbres

Tableau 3 : Analyse univariée de la comparaison des flux de dioxyde de carbone moyens entre les différents types de regroupements des arbres

0	MTM_SL	MTM_AL	MTTS	MTT	MTD
N	16	16	17	21	20
Minimum	3,329	3,870	4,079	3,998	3,709
Maximum	4,654	6,288	6,407	6,554	6,897
Somme	66,136	82,021	88,357	110,338	97,376
Moyenne	4,134	5,126	5,197	5,015	5,125
Erreur-type	0,097	0,175	0,177	0,140	0,203
Variance	0,151	0,488	0,534	0,434	0,782
Déviatión standard	0,389	0,699	0,731	0,659	0,884
Anova (P-valeur)	0,00011				

L'analyse de la variance (l'ANOVA à un seul facteur) montre dans l'ensemble que les flux de carbone diffèrent significativement entre les différents regroupements d'arbres pour une p-valeur de 0,00011, loin inférieur à 0,05.). La respiration annuelle d'après Reich et schelinguer, 1992 varie en moyenne de $60 \text{ g cm}^2 \text{ an}^{-1}$ à presque $700 \text{ g cm}^2 \text{ an}^{-1}$, en fonction de l'écosystème et de la latitude.

Il convient cependant de déterminer les regroupements pour lesquels les différences des flux de carbone sont importants et ceux qui ne les sont pas.

Le tableau 4 ci-dessous détermine les regroupements pour lesquels les différences des flux de carbone dégagés sont importantes

Tableau 4: Détermination des regroupements pour lesquels les différences des flux de carbone dégagés sont importantes

	MTM_SL	MTM_AL	MTTS	MTT	MTD
MTM_SL		0,0006394	0,0002777	0,002859	0,0006493
MTM_AL	5,997		0,9981	0,9896	1
MTTS	6,427	0,43		0,9364	0,998
MTT	5,327	0,67	1,1		0,99
MTD	5,99	0,007445	0,4375	0,6626	

La comparaison des flux de carbone entre les différents regroupements consignés dans le tableau 4 ci-dessus atteste que le flux de carbone moyen dégagé par le regroupement monospécifique à *Scorodophloeus zenkeri* sans litières est franchement différente de celui dégagé par tous les autres types de regroupements et le flux moyen dégagé par le regroupement à deux espèces avec *Scorodophloeus zenkeri* est significativement différente de celui dégagé par le regroupement monospécifique à *Scorodophloeus zenkeri* avec litières, étant donné que leurs probabilités d'égalité sont très faibles, soit inférieur à 0,05. Alors que les flux moyens dégagés par le reste des regroupements ne sont pas très différents entre eux car, leurs probabilités d'égalité sont élevées, soit supérieur à 0,05.

Cette différence significative observée entre le regroupement monospécifique à *Scorodophloeus zenkeri* sans litières et les autres regroupements se justifie au fait que les flux de carbone dégagés par les autres regroupements sont la somme des flux respirés par les organismes autotrophes et hétérotrophes du sol et ceux libérés par les chambres respirométriques sans litières constituent en grande partie la part respirée par les organismes autotrophes seulement. La non différence significative observée pourrait se justifier par la nature et la quantité de leurs litières, leurs densités racinaire, etc.

Cette situation, rencontre les résultats trouvés par Laëtitia en 2009 qui a trouvé qu'il existe en forêt une variabilité spatiale de CO₂, importante à l'échelle du plateau, pour un même type de sol ; cette variabilité peut correspondre à des changements ponctuels de conditions pédoclimatiques (c'est-à-dire, présence d'éléments grossiers), de l'espèce ligneuse (quantité et qualité de litières aérienne et souterraine) ou les deux conjugués.

A l'échelle mondiale, la respiration du sol est caractérisée par une forte variabilité à la fois spatiale et temporelle (Liang *et al.*, 2004),

4.1.2. Comparaison entre les flux de carbone dégagés par les regroupements monospécifiques à *Scorodophloeus zenkeri* sans litières et avec litières.

Le tableau 5 ci-après compare les flux de carbone respirés entre les regroupements monospécifiques à *Scorodophloeus zenkeri* sans litières et avec litières.

Tableau 5 : Comparaison entre les regroupements monospécifiques à *Scorodophloeus zenkeri* sans litières et avec litières de la période d'étude.

	MTMSL	MTM(AL)
N	80	80
Minimum	1,96	2,16
Maximum	8,63	9,77
Somme	330,67	412,08
Ecart type	0,11	0314
Variance	1,00	1,55
Moyenne	4,13	5,16
Déviat ion standard	1,00	1,25
Médian	4,09	5,04
p-valeur	0,000003	

Il ressort de ces résultats que les chambres respirométriques avec litière de différents regroupements monospécifiques à *Scorodophloeus zenkeri* ont émis plus de CO₂ durant la période de notre étude que les chambres respirométriques sans litière de différents regroupements monospécifiques à *Scorodophloeus zenkeri*.

Ceci est dû à la conjugaison des activités de la respiration des microorganismes du sol notamment les organismes autotrophes spécialement les racines fines et les organismes hétérotrophes ; algues, bactéries ; champignons, protozoaires, etc.) qui occupent les couches superficielles du sol. Le flux le moins élevé observé dans les différents regroupements monospécifiques à *Scorodophloeus zenkeri*, montre plus la contribution des organismes autotrophes du sol.

4.1.2. Comparaison de flux de carbone entre la saison pluvieuse et la saison sèche de la période d'étude

Le résultat consigné dans le tableau 6 ci-dessous compare les flux de carbone dégagés en saison sèche et pluvieuse

Tableau 6 : Comparaison de flux de carbone entre la saison pluvieuse et la saison sèche de 2012.

	Saison pluvieuse	Saison sèche
N	266	178
X	5,13	4,66
95% seuil de confiance	4,99-5,26	4,43-4,89
Variance	1,20	2,51
Test t (p-valeur)	0,0003	

La situation de ce tableau montre que le flux de carbone est important en saison de pluie qu'en saison sèche, ceci confirme l'hypothèse selon laquelle, l'humidité du sol serait le facteur prépondérant de la respiration du sol sous les tropiques étant donné que l'activité biologique favorisant la décomposition de la litière par les organismes hétérotrophes du sol est plus intense en saison humide. Le potentiel hydrique contrôle l'activité biologique des micro-organismes telluriques (Orchard et Cook, 1983).

Nos résultats sont aussi confirmés par une étude menée au Congo Brazza ville à Pointe noire par Kouilou en 2006 qui a démontré que le flux de carbone était important en saison pluvieuse et qu'elle était faible en saison sèche, en précisant que les valeurs minimales de la saison sèche étaient de l'ordre de $2\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ (Mai-Septembre), alors que la valeur maximale en saison de pluie était de l'ordre de $10\mu\text{mol de CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ (Octobre-Avril).

4.1.3. Relation entre le flux de CO₂ dégagé du sol et quelques facteurs explicatifs de la respiration du sol durant la période d'étude

4.1.3.1. Relation entre la teneur en eau du sol et la respiration du sol.

Le tableau 7 qui suit discute la relation entre la teneur en eau du sol et le CO₂ respiré par le sol

Tableau 7 : Relation entre la teneur en eau du sol et la respiration du sol de 2012.

	Teneur en eau	Respiration du sol
N	786	786
CV	26,21	36,995
R ² (%)	63	
P-valeur	0,0001	

L'examen de cette relation montre que 63 % du flux de carbone dégagé par le sol sont influencés par la teneur en eau du sol et 37 % restants sont dus à d'autres facteurs explicatifs non pris en compte dans cette étude. La p-valeur de 0,0001 dénote que la relation entre la teneur en eau du sol et le flux de carbone est évidente. Ceci confirme les résultats des études menées par (Pargade, 2000 et étudiant FTH, 2001) où ils concluent que l'humidité du sol et la topographie sont aussi des facteurs importants qui expliquent la respiration du sol ; aussi par Lamade en 1996 où il trouve que le flux de CO₂ est dépendant de la température, de l'humidité, du contenu des matières organiques du sol et de la densité racinaire et en fin, Gaëlle en 2006 où il a ressorti de son étude que les variations saisonnières de CO₂ sont expliquées par la température et la teneur en eau du sol, et que les variations spatiales pouvaient être corrélées à des facteurs liés aux sols et à la végétation (surface terrière, activité microbienne, densité apparente) à l'échelle de la station forestière.

4.1.3.2. Relation entre la respiration du sol et la température du sol.

Le tableau 8 qui suit discute la relation entre la température du sol et le CO₂ respiré par le sol

Tableau 8 : Relation entre la respiration du sol et la température du sol de 2012.

	Température du sol	Respiration du sol
N	786	786
CV	0,35	
R2(%)	18	
P-Valeur	2,52	

L'analyse de la relation entre la respiration et la température du sol montre que 18% seulement de flux de carbone sont influencés par la température et 82% restants sont expliqués par d'autres facteurs explicatifs. La p-valeur de 2,5 étant largement supérieur à 5 %, dénote que la température du sol dans notre étude a peu influencé le flux de carbone dégagé par le sol. Ce résultat confirme ceux trouvés par Fang, 1998 et Etudiants FTH, 2001 qui expliquent qu'en milieu tempéré, la température est le premier facteur de variabilité de l'émission de CO₂ par le sol; en zones tropicales, où les variations de température sont nettement plus tamponnées au niveau du sol, ce facteur influe peu.

une autre étude menée par Xuf Qi en 2001a montré que la respiration du sol variait significativement le long d'un gradient topographique, en relation avec les caractéristiques pédologiques changeantes sur Guyaflux, résultant de processus biologiques (c'est-à-dire maintenance et croissance des tissus des racines des végétaux et des activités de décomposition et modification de communauté microbienne) et physique (c'est-à-dire, diffusivité et altération de roches) dans le sol, et que chaque modification d'un paramètre de ces différents processus est potentiellement responsable de variations de flux carboné mesurés à la surface.

CONCLUSION ET SUGGESTIONS.

Les questions de recherches qui se sont posées dans cette étude étaient celles de savoir la quantité des flux de carbone dégagés par le sol en forêt mixte à travers les différents types de regroupements d'arbres dans l'espace et dans le temps et l'influence de quelques facteurs explicatifs sur ces flux de carbone notamment la teneur en eau et la température du sol.

Il ressort de cette étude que :

- Les flux de carbone du sol dégagés en saison pluvieuse sont plus importants que ceux dégagés en saison sèche suite à une forte activité microbienne due à l'humidité ; ce qui dénote une variabilité temporelle du flux de CO₂ du sol et affirme notre première hypothèse.
- La teneur en eau du sol a eu une influence significative sur la respiration du sol que la température du sol. Ce qui confirme notre deuxième hypothèse selon laquelle, la teneur en eau du sol influencerait plus la respiration du sol que la température.
- Les flux moyens de carbone dégagés par les différents types des regroupements des arbres ont montré une forte variabilité spatiale pour tous les mois considérés.
- Les chambres respirométriques avec litières de regroupements monospécifiques à *Scorodophloeus zenkeri*, ont émis plus de CO₂ que les chambres respirométriques sans litières et affirme notre troisième hypothèse.

SUGGESTIONS

- Qu'une étude similaire soit menée dans le même site tout en corrélant les flux de carbone dégagés par d'autres facteurs explicatifs comme la surface terrière et la densité des racines fines ;
- Etendre cette étude sur une période d'une année ou plus ;
- Diversifier les types de formations forestières (Forêt secondaire, primaire,...) et les sites de recherche en vue de ressortir la diversité spatiale dans une échelle plus grande.

BIBLIOGRAPHIE

1. Angbonga A., 2013: com.Pers.
2. Calvet R., 2003: le sol, propriétés et fonctions.
3. Christine M., 2008 : mesure de flux de CO₂ et du bilan carboné de grandes cultures.
4. Dixon et al: carbon pools and flux of global forest ecosystem (2632 P186-190).
5. Edwards N., 1982: the use of soda lime for measuring respiration rates in terrestrial ecosystems. *Pedobiologia*. pp 225-330.
6. ERIC Marcon et Alexandre Bosc, 2002: recherche de facteurs explicatifs de la respiration du sol dans la forêt de Paracou.
7. Fang C., MONCRIEF J.B. ; GHOLZ. L.; CLARK K.L., 1998: soil CO₂ efflux and its spatial variation in a Florida shah pine plantation. *Plant and soil*.
8. Fang, C. and Moncrieff, J. (1998):« open-top chamber for measuring soil respiration and the influence of pressure difference on CO₂ efflux measurement.” *Functional Ecology* 12:319-325.
9. FAO, 1995 : évaluation de ressources forestières 1990- synthèse global « Etude FAO, forêts N°124 ROME.
10. FAO, ISRIC et Ass (1999) : base de références mondiales pour les ressources en sols du monde 84p.
11. Gaëlle V., 2006 : étude de variabilité spatiale et temporelle de la respiration du sol forestier hydro morphe à ennoyage temporaire.
12. GIEC, 2007 : résumé à l'intention de décideur : contribution au 4^e rapport d'évaluation de GIEC : bilan des changements climatiques rapport de synthèse PP 37.
13. Granier A. et al, 2000: the carbon balance of a young beech forest functional ecology (145-150).
14. Hanson P. et al, 1993: seasonal and topographic patterns of forest floor CO₂ efflux from an upland oak forest “tree physiology 4-13p.
15. Howard P., 1966: “a method for the estimation of a carbon dioxide evolved from the surface soil in the field.” *Oikos* 105-117p.
16. <http://www.cf.copies.com/v2/leg/leg/droi.php>
17. http://www.culture.gouv.fr./culture/infos_pratiques/droits/protection.htm(2009).
18. IPCC.W., 2001: climate change 2001 synthesis report

19. Janssen's I. et al, 1998: soil CO₂ efflux in different tropical vegetation types in French Guinea. Ann. For. Sciences.
20. Janssen's. I, et Ceulemans, R.(1998) : « spatial variability in forest soil CO₂ efflux assessed with a calibrated soda line technique « Ecology letters 1 : 95-98.
21. Jassal R. et al, 2004: a model of the production and transport of CO₂ in soil:

35. Pargade J., 2000 : Analyses des variations spatio-temporelles du flux de CO₂ du sol forestier mesuré par la méthode dynamique. DEA de biologie forestière, université H. Poincaré, Nancy, INRA Bordeaux, 30 p.
36. Pauline B., et Marc, 2010 : respiration hétérotrophe dans le sol agricoles : description des facteurs importants et comparaison de modèles semi mécanistes existants.
37. Raich J. et Schlesinger W., 1992: the global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate.
38. Schlesinger W.H and Andrew J.A., 2000: soil respiration and the global change cycle. 48: 18-28.
39. Smith, V.R. (2005). "moisture, carbon and inorganic nutrient controls of soil respiration at a sub-Antarctic island" soil biology and biochemistry 87 (1): 81-91.
40. Sundquist, E. (1993). "The global carbon budget". Science 259: 934-941.
41. Takahashi et al, 2004: analytical estimation of the vertical contribution of CO₂ production within Soil; application to Japanese temperate forest agricultural and forest meteorology (126 P).
42. Thèses sciences@scd.uhp-nancy.fr
43. Valentini R. et al 2000: respiration as the main determinant of carbon balance in European forests nature 404 (67800) P 864-972).
44. Thèses sciences@scd.uhp-nancy.fr
45. http://www.culture.gouv.fr/culture/infos_pratiques/droits/protection.htm(2009)
46. <http://www.cf.copies.com/v2/leg/leg/droi.php>

TABLE DES MATIERES

Dédicace	i
Remerciements.....	ii
0. INTRODUCTION	1
0.1. Problématique	1
0.2. Hypothèses	3
0.3. OBJECTIFS DU TRAVAIL.....	3
0.3.1. Objectif général.....	3
0.3.2. Objectifs spécifiques	3
0.4. Intérêt du travail.....	4
0.5. Limites du travail.....	4
0.6. Subdivision du travail	4
0.7. But du travail	4
CHAPITRE PREMIER : GENERALITES SUR LE CYCLE DE CARBONE ET LA RESPIRATION DU SOL.....	5
1.1. Cycle de carbone dans les écosystèmes terrestres.....	5
1.1.1 LE CARBONE DANS LA BIOSPHERE	7
1.1.2 STOCKS DE CARBONE DES ECOSYSTEMES FORESTIERS.....	9
1.2. LA RESPIRATION DU SOL.....	10
1.2.1 DEFINITION	10
1.2.2. RESPIRATION HETEROTROPHE	10
1.2.3. RESPIRATION AUTOTROPHE.....	10
1.2.4. Production de CO_2 du sol.....	11
1.3. FACTEURS INFLUENCANT LA RESPIRATION DU SOL.....	11
1.3.1. FACTEURS CLIMATIQUES.....	11
1.3.1.1 TEMPERATURE.....	11
1.3.1.2 HUMIDITE	12
1.3.2. Facteurs directs et indirects	13
1.3.3 FACTEURS EDAPHIQUES	13
1.3.4. FACTEURS BIOLOGIQUES.....	14
1.4. LES GAZ A EFFET DE SERRE	14
1.5. VARIABILITÉ DE LA RESPIRATION DU SOL.....	14
1.5.1. Variabilités temporelles	15
1.6. METHODES DE MESURE DE CO_2	15

1.6.1. Système de mesure sans chambre	15
1.6.1.1. Méthodes micro-météorologiques	16
1.6.1.2. Méthodes de profil.....	16
1.6.2. Système de mesure avec chambre.....	16
1.6.2.1. Système ouvert dynamique.....	16
1.6.2.2. Système ferme dynamique.....	17
1.6.2.3. Système ferme statique.....	17
CHAP.II MILIEU, MATERIELS ET METHODES	19
2.1 MILIEU D'ETUDES.....	19
2.1.1. LOCALISATION ET SITUATION GEOGRAPHIQUES.....	19
2.1.2. CLIMAT.....	20
2.1.3. LE SOL	21
2.1.4. TOPOGRAPHIE	22
2.1.5. VEGETATION	23
2.1.6. HYDROGRAPHIE.....	23
2.1.7. FORET MIXTE	24
2.2. MATERIELS.....	24
2.2.1. MATERIELS BIOLOGIQUES	24
2.2.2. MATERIELS NON BIOLOGIQUES.....	25
2.3. LA METHODOLOGIE	25
2.3.1. Stratégie générale de l'échantillonnage.....	25
2.3.1.1. Echantillonnage	26
2.3.1.1.1. Choix et dispositif des triplets et clusters.....	26
2.3.2. Installation de chambres respirométriques	27
2.3.2.1 . Préparation de la Chaux Sodée.....	29
2.3.3.2. Mesure de la Respiration du Sol.....	29
2.3.3.3. Mesure de la température du sol.....	32
2.3.3.4. Mesure de la teneur en eau du sol.....	32
2.4. Analyse des données	33
2.4.1. Calcul de flux de CO ₂	33
2.4.2. Analyses statistiques.....	34
CHAPITRE 3 : PRESENTATION DES RESULTATS	35
3.1. VARIABILITE TEMPORELLE DU FLUX DE CARBONE	35
3.1.1. Flux de carbone du mois de Septembre 2012.....	35

Les résultats consignés dans les figures 15, 16, 17, 18 et 19 ci-dessous concernent les Clusters à deux espèces avec *Scorodophloeus zenkeri* (MTD), Clusters monospécifiques à *Scorodophloeus zenkeri* avec litière (MTM AL) et sans litière (MTM SL), Clusters à trois espèces sans *Scorodophloeus zenkeri* (MTTS) et les Clusters à trois espèces avec *Scorodophloeus zenkeri* (MTT). 35

3.1.2. Flux de carbone du mois d'Octobre 2012.....	36
3.1.3. Flux de carbone du mois de Novembre 2012	37
3.1.4. Flux de carbone du mois de Décembre 2012	38
L'examen du graphique 18 ci-dessus, montre que les regroupements à deux espèces avec <i>Scorodophloeus zenkeri</i> (MTD), émettent plus de CO ₂ que d'autres regroupements au mois de décembre et les regroupements monospécifiques à <i>Scorodophloeus zenkeri</i> sans litière (MTMSL) émettent le moins possible de CO ₂ comme observer dans les mois passés.....	38
3.1.5. Flux de carbone du mois de Janvier 2013.	39
3.2. VARIABILITE SPATIALE DU FLUX DE CARBONE	40
3.2.2. Variabilité spatiale du flux de carbone du mois d'Octobre 2013.....	41
3.2.3. Variabilité spatiale du flux de carbone du mois de Novembre 2012.	42
3.2.4. Variabilité spatiale du flux de carbone du mois de Décembre 2012.....	43
3.2.5. Variabilité spatiale du flux de carbone du mois de Janvier 2013.....	44
3.3. Relations entre le flux de carbone et quelques facteurs climatiques.....	44
3.3.1. Relation entre le flux moyen de carbone et la teneur en eau du sol moyenne en saison pluvieuse 2012.....	45
3.3.2. Relation entre le flux mensuel moyen de carbone et la teneur en eau du sol moyenne en saison sèche 2012.....	46
3.3.3. Relation entre le flux mensuel moyen de carbone et la température moyenne en saison pluvieuse 2012.....	47
3.3.4. Relation entre le flux mensuel moyen de carbone et la température moyenne en saison sèche 2012.....	48
CHAP IV : DISCUSSION DES RESULTATS	49
4-1. Discussion entre les résultats des différents paramètres de notre étude et à ceux d'autres chercheurs.....	49
4-1-1. Comparaison entre les flux moyens de carbone dégagés par les différents regroupements de tous les mois considérés.....	49
4-1-2. Comparaison entre les flux de carbone dégagés par les regroupements monospécifiques à <i>Scorodophloeus zenkeri</i> sans litières et avec litières.....	51
4.1.2. Comparaison de flux de carbone entre la saison pluvieuse et la saison sèche de la période d'étude	52
4.1.3. Relation entre le flux de CO ₂ dégagé du sol et quelques facteurs explicatifs de la respiration du sol durant la période d'étude.....	53
4.1.3.1. Relation entre la teneur en eau du sol et la respiration du sol.....	53

4.1.3.2. Relation entre la respiration du sol et la température du sol 54

CONCLUSION ET SUGGESTIONS. 55

SUGGESTIONS..... 55

BIBLIOGRAPHIE..... 56

TABLE DES MATIERES 59

Annexe

Annexe 1 : Différents regroupements des arbres

Tableau 1 : Clusters monospécifiques à *Scorodophloeus zenkeri* (MTM)

Nom Scientifique	CHP (cm) 1	CHP (cm) 2	CHP (cm) 3	N° Clusters
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	220	210	170	MTM 01
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	132	149	155	MTM 02
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	140	145	136	MTM 03
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	132	122	191	MTM 04
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	211	108	160	MTM 05
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	121	69	94	MTM 06
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	217	193	134	MTM 07
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	137	146	157	MTM 08
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	181	129	273	MTM 09
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	176	219	212	MTM 10
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	152	109	120	MTM 11
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	220	180	160	MTM 12
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	280	220	210	MTM 13
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	222	231	250	MTM 14
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	143	165	83	MTM 15
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	132	138	197	MTM 16

Tableau 2 : Clusters à deux espèces avec *Scorodophloeus zenkeri* (MTD);

Espèce 1	Espèce 2	Espèce 3	CHP (cm) 1	CHP (cm) 2	CHP (cm) 3	N° Clusters
<i>s.zenkeri</i>	<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	<i>Prioria oxyphylla</i>	172	150	216	MTD 01
<i>S.zenkeri</i>	<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	<i>Julbernadia seretii</i>	145	172	116	MTD 02
<i>S.zenkeri</i>	<i>Cynometra crassiflora</i>	<i>Cynometra Hankel</i>	231	190	230	MTD 03
<i>S.zenkeri</i>	<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	<i>Cynometra spp</i>	210	207	229	MTD 04
<i>S.zenkeri</i>	<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	<i>Milicia excelsa</i>	194	263	285	MTD 05
<i>S.zenkeri</i>	<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	<i>Julbernadia seretii</i>	207	118	180	MTD 06
<i>S.zenkeri</i>	<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	<i>Celtis spp</i>	161	154	256	MTD 07
<i>S.zenkeri</i>	<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	<i>Milicia excelsa</i>	241	152	210	MTD 08
<i>S.zenkeri</i>	<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	<i>Julbernadia seretii</i>	94	203	91	MTD 09
<i>S.zenkeri</i>	<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	<i>Celtis spp</i>	111	138	255	MTD 10
<i>S.zenkeri</i>	<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	<i>Anthonotha spp</i>	195	156	240	MTD 11
<i>S.zenkeri</i>	<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	<i>Prioria balsamiferum</i>	149	88	212	MTD 12
<i>S.zenkeri</i>	<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	<i>Dialium spp</i>	148	163	253	MTD 13
<i>S.zenkeri</i>	<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	<i>Cynometra spp</i>	124	131	261	MTD 14
<i>S.zenkeri</i>	<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	<i>Cynometra spp</i>	153	208	220	MTD 15
<i>S.zenkeri</i>	<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	<i>Parinari spp</i>	193	180	360	MTD 16
<i>S.zenkeri</i>	<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	<i>Celtis spp</i>	121	215	354	MTD 17
<i>S.zenkeri</i>	<i>Julbernadia seretii</i>	<i>Julbernadia seretii</i>	231	159	114	MTD 18
<i>S.zenkeri</i>	<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	<i>Trichilia spp</i>	161	182	208	MTD 19
<i>S.zenkeri</i>	<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	<i>T. madagascariensis</i>				MTD 20

Tableau 3 : Clusters à trois espèces sans *Scorodophloeus zenkeri* (MTTS).

Espèce 1	Espèce 2	Espèce 3	CHP (cm)1	CHP (cm)2	CHP (cm) 3	N° Clusters
<i>Cynometra sessiliflora</i>	<i>Guarea cedrata</i>	<i>Chrysophyllum spp</i>	225	314	260	MTTS 01
<i>Celtis spp</i>	<i>Prioria oxyphylla</i>	<i>Maeso botrya</i>	315	241	195	MTTS 02
<i>Julbernadia seretii</i>	<i>Celtis spp</i>	<i>Ongokea gore</i>	170	315	217	MTTS 03
<i>Blighia welwitchii</i>	<i>Canarium schweinfunthii</i>	<i>Diogoia zenkeri</i>	117	285	190	MTTS 04
<i>Tesmania africana</i>	<i>Polyantha suaveolens</i>	<i>Staudtia stipitata</i>	122	245	118	MTTS 05
<i>Cleistanthus spp</i>	<i>Prioria oxyphylla</i>	<i>Alstonia bonei</i>	104	314	194	MTTS 06
<i>Prioria oxyphylla</i>	<i>Parinari spp</i>	<i>Cleistanthus spp</i>	210	198	192	MTTS 07
<i>Chrysophyllum spp</i>	<i>Prioria balsamiferum</i>	<i>Dialium spp</i>	235	190	216	MTTS 08
<i>Alstonia bonei</i>	<i>Polyarthia suaveolens</i>	<i>Prioria oxyphylla</i>	185	138	365	MTTS 09
<i>Anthonotha sp</i>	<i>Staudtia spitata</i>	<i>Prioria balsamiferum</i>	180	150	310	MTTS 10
<i>Drypetes spp</i>	<i>Julbernadia seretii</i>	<i>Pentaclethra macrophylla</i>	133	120	169	MTTS 11
<i>Julbernadia seretii</i>	<i>Ongokea gore</i>	<i>Polyarthia suaveolens</i>	150	150	330	MTTS 12
<i>Prioria balsamiferum</i>	<i>Polyarthia suaveolens</i>	<i>Cynometra spp</i>	21	108	185	MTTS 13
<i>Guarea cedrata</i>	<i>Julbernadia seretii</i>	<i>Prioria oxyphylla</i>	320	101	234	MTTS 14
<i>Guarea thompsonii</i>	<i>Petersianthus macrocarpus</i>	<i>Monopetalanthus microphyllum</i>	255	219	110	MTTS 15

Tableau 4 : Clusters à deux espèces sans *Scorodophloeus zenkeri* (MTDS)

Espèce 1	Espèce 2	Espèce 3	CHP (cm) 1	CHP (cm) 2	CHP (cm) 3	N° Clusters
<i>Cleistanthus spp</i>	<i>Polyarthia suaveolens</i>	<i>Polyarthia suaveolens</i>	127	103	108	MTDS 01
<i>Cynometra spp</i>	<i>Cynometra spp</i>	<i>Guarea cedrata</i>	156	207	361	MTDS 02
<i>Péricopsis elata</i>	<i>Péricopsis elata</i>	<i>Staudtia stipitata</i>	210	280	130	MTDS 03

Tableau 5 : Clusters à trois espèces avec *Scorodophloeus zenkeri* (MTT)

Espèce 1	Espèce 2	Espèce 3	CHP (cm) 1	CHP (cm) 2	CHP (cm) 3	N° Clusters
<i>S. zenkeri</i>	<i>Prioria oxyphylla</i>	<i>Julbernadia seretii</i>	139	290	131	MTT 01
<i>S. zenkeri</i>	<i>Cynometra sessiliflora</i>	<i>Prioria balsamiferum</i>	210	237	269	MTT 02
<i>S. zenkeri</i>	<i>Prioria balsamiferum</i>	<i>Julbernadia seretii</i>	263	183	120	MTT03
<i>S. zenkeri</i>	<i>Polyarthia</i>	<i>Péricopsis elata</i>				MTT04
<i>S. zenkeri</i>	<i>Milicia excelsa</i>	<i>Prioria oxyphylla</i>	217	268	236	MTT05
<i>S. zenkeri</i>	<i>Milicia excelsa</i>	<i>Cynometra spp</i>	217	268	325	MTT06
<i>S. zenkeri</i>	<i>Cleistanthus spp</i>	<i>Celtis spp</i>	183	206	195	MTT07
<i>S. zenkeri</i>	<i>Cynometra spp</i>	<i>Péricopsis elata</i>	126	257	272	MTT08
<i>S. zenkeri</i>	<i>Heisteria parvifolia</i>	<i>Anthonotha spp</i>	176	116	174	MTT09
<i>S. zenkeri</i>	<i>Julbernadia seretii</i>	<i>Péricopsis elata</i>	168	312	260	MTT10
<i>S. zenkeri</i>	<i>Prioria balsamiferum</i>	<i>Canarium schweinfunthei</i>	218	93	363	MTT 11
<i>S. zenkeri</i>	<i>Cleistanthus spp</i>	<i>Péricopsis elata</i>	224	236	228	MTT 12
<i>S. zenkeri</i>	<i>Canarium schweinfurthii</i>	<i>Alstonia bonei</i>	180	347	236	MTT 13
<i>S. zenkeri</i>	<i>Cynometra spp</i>	<i>Dialium spp</i>	166	261	253	MTT 14
<i>S. zenkeri</i>	<i>Cynometra spp</i>	<i>Pynanthus angolensis</i>	145	229	215	MTT 15
<i>S. zenkeri</i>	<i>Prioria balsamiferum</i>	<i>Prioria oxyphylla</i>	145	296	311	MTT16
<i>S. zenkeri</i>	<i>Cynometra spp</i>	<i>Dialium spp</i>	150	220	189	MTT 17
<i>S. zenkeri</i>	<i>Entandrophragma utile</i>	<i>Prioria oxyphylla</i>	188	420	170	MTT 18
<i>S. zenkeri</i>	<i>Prioria oxyphylla</i>	<i>Pterocarpus spp</i>	129	249	200	MTT 19
<i>S. zenkeri</i>	<i>Austranella congolensis</i>	<i>Prioria balsamiferum</i>	164	330	230	MTT 20
<i>S. zenkeri</i>	<i>Cynometra spp</i>	<i>Trichilliaspp</i>	182	259	208	MTT 21
<i>S. zenkeri</i>	<i>Guarea thompsonii</i>	<i>Prioria balsamiferum</i>	315	330	210	MTT 22

Annexe 2.

Listes des figures, tableaux, cartes et abréviations.

I. LISTE DE FIGURES

0. Figure 1: le cycle de carbone.
1. Figure 2 : Représentant la disposition des arbres et des chambres respirométriques pour les mesures de la respiration du sol.
2. Figure 3 : montrant l'installation de chambre respirométrique.
3. Figure 4 : chambres respirométriques pour les clusters mono spécifiques.
4. Figure 5 : marquant la chambre respirométrique pour les clusters à deux ou trois espèces.
5. Figure 6 et 7 : montrant les pesées de poids secs de boîtes de pétri.
6. Figure 8 et 9: montrant les chambres avec et sans litière.
7. Figure 10 : montre le dépôt de la chaux sodée dans la chambre.
8. Figure 11: montre le retrait de la boîte de pétri (chaux sodée) et le scottage de boîte de pétri.
9. Figure 12 : montre les mesures à vide (témoins) du flux de CO₂.
10. Figure 13 : montre la mesure de la température.
11. Figure 14 : montre le flux de CO₂ du mois de Septembre.
12. Figure 15 : montre le flux de CO₂ du mois d'Octobre.
13. Figure 16 : montre le flux de CO₂ du mois de Novembre.
14. Figure 17 : montre le flux de CO₂ du mois de Décembre.
15. Figure 18 : montre le flux de CO₂ du mois de Janvier.
16. Figure 19 : montre la variabilité spatiale du mois de Septembre.
17. Figure 20 : montre la variabilité spatiale du mois d'Octobre.
18. Figure 21 : montre la variabilité spatiale du mois de Novembre.
19. Figure 22 : montre la variabilité spatiale du mois de Décembre.
20. Figure 23 : montre la variabilité spatiale du mois de Janvier.
21. Figure 24 : montre la relation entre le flux moyen de carbone et la teneur en eau du sol en saison pluvieuse.
22. Figure 25: montre la relation entre le flux moyen de carbone et la teneur en eau du sol en saison sèche
23. Figure 26 : montre la relation entre le flux moyen de carbone et la température en saison de pluie.

24. Figure 27 : montre la relation de flux moyen de carbone et la température en saison sèche.

II. LISTE DES TABLEAUX

0. Tableau N°1 présentant le pourcentage de répartition des biomasses aérienne et souterraine en zone tempérée et tropicale.
1. Tableau 2 montrant les facteurs indirects et directs influençant la respiration du sol.
2. Tableau 3 montrant la variabilité spatiale du flux moyen de CO₂.
3. Tableau 4 Déterminant les regroupements pour lesquels les différences des flux de carbone dégagés sont importantes
4. Tableau 5 Comparant les regroupements monospécifiques à *Scorodophloeus zenkeri* sans litières et avec litières
5. Tableau 6 montrant la variabilité saisonnière du flux de CO₂ (saisons sèche et de pluie).
6. Tableau 7 montrant l'influence de la teneur en eau du sol sur le flux de carbone.
7. Tableau 8 montrant l'influence de la température sur le flux de carbone.

III. LISTE DES CARTES

1. Carte montrant la localisation de dispositif et délimitation du bloc sud.
2. Carte montrant la topographie du bloc sud du dispositif par image SRTM, résolution
3. 30m.*

Annexes N°3

N° Collecteurs	MTM SL	MTM AL	MTDS	MTD	MTTS	MTT
1	10764,3	11960,4	15548,5	10764,3	15070,1	16026,9
2	16026,9	14113,2	15548,5	8850,7	11960,4	19375,8
3	14830,9	15070,1	16026,9	16026,9	17940,6	12917,2
4	13156,4	15070,1		16983,7	16026,9	11242,7
5	13156,4	15309,3		15070,1	14830,9	23681,5
6	15070,1	16983,7		14113,2	16266,1	15309,3
7	12199,6	11721,2		11482,0	12678,0	14352,4
8	15309,3	12199,6		9568,3	16744,5	17222,9
9	10764,3	18897,4		16026,9	15548,5	12438,8
10	11242,7	12917,2		12199,6	15070,1	10285,9
11	14830,9	16505,3		22485,5	16983,7	18419,0
12	15070,1	14352,4		20332,6	19375,8	16266,1
13	11242,7	13634,8		22007,1	11482,0	13395,6
14	10525,1	16744,5		17940,6	26552,0	18897,4
15	16026,9	12438,8		24399,2	12438,8	16026,9
16	12917,2	11482,0		16983,7	18179,8	20571,8
17				21767,9	10046,7	16266,1
18				21767,9		21289,5
19				18179,8		19136,6
20				11721,2		15787,7
21						17701,3

Tableau... de comparaison de flux de CO2 du sol entre le mois de Septembre et Octobre

	Flux de CO2 de Septembre		Flux de CO2 d'Octobre	
1	12917,20	16505,31	10764,3	18419,0
2	12677,99	13395,61	8850,7	16266,1
3	14352,44	12917,20	16026,9	13395,6
4	18179,76	24159,94	16983,7	18897,4
5	13395,61	18658,17	15070,1	16026,9
6	13874,03	19375,80	14113,2	20571,8
7	14830,86	12917,20	11482,0	16266,1
8	15787,69	20093,42	9568,3	21289,5
9	17462,14	13634,82	16026,9	19136,6
10	20093,42	21050,25	12199,6	15787,7
11	14352,44	24638,36	22485,5	17701,3
12	18418,97	16026,89	20332,6	15548,5
13	18978,45	22963,91	22007,1	15548,5
14	16744,52	16026,89	17940,6	16026,9
15	33249,82	13395,61	24399,2	11960,4
16	24638,36	12677,99	16983,7	14113,2
17	14591,65	13156,40	21767,9	15070,1
18	15548,48	16266,10	21767,9	15070,1
19	16983,72	17701,34	18179,8	15309,3
20	20571,83	11721,16	11721,2	16983,7
21	14830,86	9568,29	15070,1	11721,2
22	15070,06	7176,22	11960,4	12199,6
23	14830,86	13634,82	17940,6	18897,4
24	12917,20	13156,40	16026,9	12917,2
25	18658,17	17940,55	14830,9	16505,3
26	16505,31	18179,76	16266,1	14352,4
27	13874,03	15787,69	12678,0	13634,8
28	20093,42	14591,65	16744,5	16744,5
29	14352,44	22007,08	15548,5	12438,8
30	14830,86	12438,78	15070,1	11482,0
31	26552,02	7176,22	16983,7	10764,3
32	19136,59	11960,37	19375,8	16026,9
33	11481,95	15070,06	11482,0	14830,9
34	24877,57	11960,37	26552,0	13156,4
35	13395,61	7893,84	12438,8	13156,4
36	19375,80	14113,23	18179,8	15070,1
37	19854,21	11242,75	10046,7	12199,6
38	15070,06	11960,37	16026,9	15309,3
39	18658,17	9329,09	19375,8	10764,3
40	20332,63	13874,03	12917,2	11242,7
41	11721,16	12438,78	11242,7	14830,9
42	18179,76	15309,27	23681,5	15070,1
43	17701,34	15070,06	15309,3	11242,7
44	21767,87	12438,78	14352,4	10525,1
45	22007,08	14830,86	17222,9	16026,9
46	18418,97	11481,95	12438,8	12917,2
47	11481,95		10285,9	

N° Collecteurs	MTM SL	N° Collecteurs	MTM AL
1	10764,3	1	11960,4
2	16026,9	2	14113,2
3	14830,9	3	15070,1
4	13156,4	4	15070,1
5	13156,4	5	15309,3
6	15070,1	6	16983,7
7	12199,6	7	11721,2
8	15309,3	8	12199,6
9	10764,3	9	18897,4
10	11242,7	10	12917,2
11	14830,9	11	16505,3
12	15070,1	12	14352,4
13	11242,7	13	13634,8
14	10525,1	14	16744,5
15	16026,9	15	12438,8
16	12917,2	16	11482,0

N° Collecteurs	MTM SL	MTM AL	MTDS	MTD	MTTS	MTT
1	7176,2	13395,6	16026,9	12917,2	14830,9	15070,1
2	11960,4	12678,0	22963,9	12678,0	15070,1	18658,2
3	15070,1	13156,4	16026,9	14352,4	14830,9	20332,6
4	11960,4	16266,1		18179,8	12917,2	11721,2
5	7893,8	17701,3		13395,6	18658,2	18179,8
6	14113,2	11721,2		13874,0	16505,3	17701,3
7	11242,7	9568,3		14830,9	13874,0	21767,9
8	11960,4	7176,2		15787,7	20093,4	22007,1
9	9329,1	13634,8		17462,1	14352,4	18419,0
10	13874,0	13156,4		20093,4	14830,9	11482,0
11	12438,8	17940,6		14352,4	26552,0	16505,3
12	15309,3	18179,8		18419,0	19136,6	13395,6
13	15070,1	15787,7		18978,5	11482,0	12917,2
14	12438,8	14591,6		16744,5	24877,6	24159,9
15	14830,9	22007,1		33249,8	13395,6	18658,2
16	11482,0	12438,8		24638,4	19375,8	19375,8
17				14591,6	19854,2	12917,2
18				15548,5		20093,4
19				16983,7		13634,8
20				20571,8		21050,2
21						24638,4