



VARIATIONS SPATIALES DE LA RESPIRATION DU SOL DANS LES PLANTATIONS D'EUCALYPTUS DU LITTORAL CONGOLAIS (KOUILOU, CONGO)

*Suspense Averti IFO*¹, *Dominique NGANGA*¹, *Yann NOUVELLON*², *Daniel EPRON*³,
¹*Faculté des sciences, Université Marien Ngouabi, BP 69, Brazzaville, Congo,*
²*UR2PI, BP 1291, Pointe Noire, Congo*
³*Université Henri Poincaré, UMR INRA UHP Ecologie et Ecophysiologie Forestières, 54506 Vandoeuvre les Nancy, France*

RESUME

Des mesures de flux de CO₂ émis par le sol ont été réalisées dans de jeunes plantations d'Eucalyptus du littoral congolais sur quatre parcelles âgées de 2, 5, 8 et 11 ans afin d'étudier leurs variations spatiales. Ces mesures de respiration du sol montrent l'existence d'une très grande variation à différentes échelles. Les flux moyens annuels proches du tronc (à 0.5 m) varient de 5 à 7,55 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹ respectivement dans la parcelle de 5 et 11 ans. A 2,5 m du tronc nous avons un flux moyen annuel variant de 3 à 5,67 μmol CO₂.m⁻².s⁻¹ respectivement dans les parcelles âgées de 5 et 11 ans. L'effet d'une pratique sylvicole (répartition inégale des résidus d'exploitation) mis en évidence dans le peuplement le plus jeune, disparaît dans les peuplements plus âgés. A l'échelle de la parcelle, des différences significatives entre placeaux ont également été mises en évidence. Enfin, il existe également des différences importantes entre parcelle au sein du massif. L'hétérogénéité spatiale de la quantité de litière au sol, de la quantité de chute de litière et de la biomasse racinaire pourrait expliquer la forte variation spatiale de la respiration du sol.

Mots clés : *Respiration du sol ; Flux de CO₂ ; Variation spatiale ; Litière ; Eucalyptus ; Congo.*

ABSTRACT

A study of spatial variations of soil respiration has been undertaken on Eucalyptus plantations of respectively of 2, 5, 8 and 11 year-old. These measurements showed the existence of a high spatial variation at different scales. Close to the trunk (0.5 M) annual average flows range from 5 to 7.55 μmol CO₂ m⁻².y⁻¹ respectively in the stands of 5 and 11 years old. For 2.5 M from the trunk, we obtained an annual average flow ranging from 3 to 5.67 μmol CO₂ μmol CO₂ m⁻².y⁻¹ respectively in the old stands of 5 and 11 years old. The effect of silvicultural practice (unequal distribution of residues) highlighted in the youngest stand disappears in older stands. At the scale of the stand, significant differences between plots have also been highlighted. Finally, there are also significant differences between stands of the Eucalyptus massif. Spatial heterogeneity in the amount of litter, fine root biomass in upper horizon of soil could explain the high spatial variation of soil respiration.

Key-words: *Soil respiration ; CO₂ Efflux ; Spatial Variation ; Litter ; Eucalyptus ; Congo*

INTRODUCTION

La respiration du sol (R_s) dans les écosystèmes forestiers résulte de l'activité des microorganismes et de la faune du sol qui décomposent la matière organique (respiration hétérotrophe), de la respiration des racines des végétaux et des microorganismes associés (respiration autotrophe) et, dans une moindre mesure, de l'oxydation chimique des composés organiques [2].

Elle constitue la principale composante du flux de CO_2 émis par les écosystèmes terrestres et représente de 60 à 80 % de la respiration totale des écosystèmes forestiers [8, 12, 14]. L'émission du CO_2 à la surface du sol est fonction de sa vitesse de production dans le sol, et de variables édaphiques et climatiques qui affectent la diffusion : porosité du sol, et vitesse du vent au dessus du sol [16]. Elle peut être mesurée à l'aide de chambres respiratoires.

Des mesures de respiration du sol ont été réalisées dans de nombreux écosystèmes : plantation de maïs [17], Forêts (4, 9, 10, 16, 19, 20).

Bachelier [1] affirme pour sa part que le CO_2 diffuse mieux dans un sol bien structuré. La plupart de ces études se sont intéressées à la variation temporelle de la R_s , et ont permis de proposer différents modèles pour décrire la réponse de la respiration du sol à des variables environnementales : humidité et température du sol, notamment.

Les études ayant abordé les aspects de variation spatiale de la respiration du sol sont en revanche beaucoup moins nombreuses [12, 19, 20]. Ces travaux ont mis en évidence plusieurs facteurs pouvant expliquer la variation spatiale de la R_s : Des facteurs biotiques tels que l'hétérogénéité spatiale de la biomasse racinaire, des chutes de litières, et de la biomasse microbienne, et des facteurs abiotiques tels que les propriétés physiques ou chimiques ou la quantité de matière organique du sol (8, 9, 10, 13).

Dans les situations où la respiration du sol présente une forte variation spatiale, la mise en évidence des facteurs explicatifs de

cette variation et leur prise en compte sont nécessaires pour intégrer dans l'espace des mesures ponctuelles de R_s , et obtenir ainsi des estimations plus précises des flux moyens de CO_2 émis par les écosystèmes terrestres en général, et forestiers en particulier. Ces résultats devraient ainsi améliorer les calculs de bilan de carbone nécessaires pour certifier ou non la fonction de puits de carbone des écosystèmes forestiers dans le contexte international de changement climatique.

L'objectif général de ce travail était d'étudier la variation spatiale de la R_s dans les plantations d'*Eucalyptus* du littoral congolais. Les objectifs spécifiques étaient d'étudier l'effet de la distance au tronc sur les flux de CO_2 du sol et celui de l'effet de pratiques sylvicoles sur la variation spatiale de la R_s .

MATERIELS ET METHODES

Description du site

Les parcelles sélectionnées pour cette étude appartiennent au massif forestier d'*Eucalyptus* situé à proximité de la ville de Pointe-Noire, sur la bordure littorale de la République du Congo. Ce massif forestier de 43000 ha a été mis en place sur des savanes côtières du département du Kouilou, à des fins industrielles. Dans cette zone, le climat est du type tropical humide avec des précipitations moyennes annuelles de 1200 mm entre 1992 et 2001 et des températures moyennes annuelles de 25°C (Données de l'ASECNA). Les précipitations sont inégalement réparties au cours de l'année, avec une saison sèche de 4 à 5 mois entre les mois de mai et septembre, et une saison pluvieuse entre octobre et avril.

La sylviculture pratiquée dans le massif comprend des rotations de 7 à 8 ans. A l'issue d'une rotation, les résidus d'exploitation sont regroupés sur une interligne sur trois, faisant ainsi apparaître 3 types d'interlignes : interlignes 'normaux' (IL N) où sont temporairement entreposés les rondins de bois, interlignes 'vidange' (IL V) utilisés pour le passage des véhicules de débardage, et interlignes 'andain' (IL A), où sont déposés les résidus d'exploitation (figure 1).

Quatre parcelles âgées de 2, 5, 8 et 11 ans ont été choisies pour cette étude. Les

parcelles de 5 et 8 ans sont situées sur les sites de Hinda (H) et Kissoko (Ki) à respectivement 30 km et 20 km au nord-est de la ville de Pointe Noire. Celles âgées de 2 et 11 ans sont localisées sur le site de Kondi situé à 40 km au nord de Pointe Noire. Les principales caractéristiques de ces parcelles et le nombre de placeaux Rs sont présentées dans le tableau I : les parcelles âgées de 5 et 8 ans sont des replantations sur taillis, tandis que la parcelle âgée de 2 ans est une replantation sur futaie, et celle de 11 ans une futaie plantée sur savane. Il n'existe pas de végétation de sous bois dans les parcelles étudiées.

Dispositifs expérimentaux

Un placeau de mesure Rs est une zone constituée de 25 arbres (5 x 5 arbres). L'unité de mesure est une placette (case) délimitée par 4 arbres. Pour chacun des placeaux, 4 cases sont délimitées. Afin de couvrir l'hétérogénéité spatiale due à la plantation, les cases sont groupées par 4 sur une diagonale par rapport aux lignes de plantations. Le nombre de placeaux varie de 2 à 6 suivant les parcelles expérimentales (tableau I). La case de mesure comporte quatre demi-diagonales. Trois mesures sont réalisées le long d'une demi-diagonale, une mesure tous les mètres en commençant à 0,5 m du pied de l'arbre. Les mesures sont faites de façon successive sur les quatre demi-diagonales en fonction des campagnes de mesure Rs (figures 1 et 2). Au total 12 points de mesure sont faits par placeau de mesure Rs à chaque date de mesure. Le nombre de répétitions de points de mesure de la Rs tient compte de la grande variation spatiale de la Rs à l'échelle métrique. Ceci pour ne pas biaiser la moyenne Rs de la parcelle expérimentale étudiée. La moyenne annuelle Rs en un point de mesure est égale à la moyenne des flux moyens journaliers de chaque journée de mesure Rs.

Le nombre de placeaux Rs varie suivant les parcelles expérimentales (Tableau I). Le choix des emplacements des placeaux de mesure de la Rs et le nombre de répétitions de ces dispositifs tiennent compte des différents niveaux de variation spatiale intra parcelle : la topographie, la superficie de la parcelle expérimentale. Dans les parcelles présentant une pente la répartition des placeaux au sein de la parcelle doit être équilibrée (un placeau en haut de pente et un autre en bas de pente). Ceci

afin de réduire au maximum le biais dû au mauvais échantillonnage de la parcelle. Par ailleurs, les placeaux de mesure Rs sont constitués d'arbres ayant les caractéristiques dendrométriques représentatives de l'ensemble de la parcelle expérimentale.

Mesure de la respiration du sol

Les mesures des flux de dioxyde de carbone émis par le sol ont été réalisées à l'aide d'un système dynamique fermé Licor 6200 déjà décrit par Epron *et al.* [6].

C'est un système composé d'un analyseur de gaz couplé à une chambre de respiration Licor 6000-09 (volume de la chambre 1009 cm³).

Cet analyseur fonctionne suivant le principe selon lequel des molécules hétéro atomiques gazeuses telles le CO₂ peuvent être quantifiées par leur absorptance dans l'infrarouge. L'air circule en circuit fermé entre la chambre et l'analyseur de CO₂. La mesure du CO₂ dans l'analyseur de gaz est basée sur la différence d'absorptance dans l'infrarouge entre deux tubes, un tube de référence contenant de l'air sans CO₂ et un tube d'échantillonnage contenant l'air à analyser dont la concentration en CO₂ est inconnue. La différence d'absorptance entre les deux tubes est proportionnelle à la différence de concentration en CO₂ qu'ils contiennent. En suivant l'augmentation de la concentration en CO₂ dans la chambre, il est possible de calculer le flux de CO₂ émis par le sol.

Le flux de CO₂ issu de la respiration du sol est calculé à partir des mesures de concentration CO₂ selon l'équation :

$$R_S = \frac{\Delta C}{\Delta t} \times \frac{P \cdot Vt}{R \cdot T \cdot S}$$

Rs = étant la respiration du sol en $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $\Delta C / \Delta t$ = la variation au cours du temps de la concentration en CO₂ dans la chambre ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-3} \text{ s}^{-1}$), P = la pression atmosphérique (atm), Vt = le volume total du système (m³), R = la constante universelle des gaz ($\text{m}^3 \text{ atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$), S = la surface de base de la chambre (m²) et T = la température (K).

La température du sol (Tsol) et l'humidité du sol en surface (0-6 cm, Hsol) ont été également mesurées. Tsol a été mesuré à 10 cm de profondeur à l'aide d'un thermocouple couplé à l'analyseur de gaz. Hsol a été mesuré à l'aide d'une sonde thetaprobe préalablement calibrée pour ce type de sol.

Prélèvements des litières au sol

Les litières au sol ont été collectées dans la parcelle H9807. 72 prélèvements ont été effectués dans les placeaux de mesures de la Rs à l'endroit précis où a été effectuée la mesure de la Rs. Cette collecte s'est faite en utilisant un cadre métallique de 0,5m*0,5 m. Les différents constituants (écorces, branches, et feuilles non décomposées, feuilles en cours de décomposition) sont séparés, puis pesés secs après passage à l'étuve à 65°C.

Cette collecte avait pour but d'étudier la relation entre la quantité de litière au sol et le flux de CO₂ du sol. La demi-diagonale sur laquelle la récolte de la litière a été effectuée n'est plus par la suite utilisée pour des mesures de la Rs.

Nombres de mesure Rs suivant les parcelles expérimentales

Le tableau II présente le nombre de mesures effectuées de la Rs dans les différentes parcelles expérimentales en 2003.

Analyse des données

L'analyse des données Rs a été faite avec Excel 2000 et avec le Logiciel Systat 9.0 pour l'analyse de variance et la comparaison multiple des moyennes. Les analyses de variances sont réalisées suivant le modèle :

$$\sqrt{Rsol} = \alpha + \theta + \beta + \alpha\beta + \alpha\theta + \theta\beta + \alpha\theta\beta$$

Le changement de variable \sqrt{Rsol} a été utilisé parce qu'il permet de normaliser et d'homogénéiser les variances. α = effet de la distance de l'arbre ; θ = effet du placeau ; β = effet du type d'interligne ; $\alpha\beta$ = interaction distance de l'arbre type d'interligne ; $\alpha\theta$ = interaction effet distance de l'arbre - placeau Rs ; $\theta\beta$ = interaction placeau - type d'interligne ; $\alpha\theta\beta$ = interaction type d'interligne - distance de l'arbre ; $\alpha.\theta.\beta$ = interaction distance à l'arbre *type d'interligne* placeau.

Le flux moyen par parcelle est obtenu en calculant la moyenne des flux Rs des 12 points de esur

Tableau II : Caractéristiques des différentes parcelles d'étude.

Parcelles	R0013a	H9807	K9501	R9280
Age (ans)	2	5	8	11
Densité (tiges/ha)	800	700	800	533

Tableau II : Nombre de mesures Rs sur les placeaux normaux en 2003

Parcelle	H9807	K9501	R0013	R9280
Nombre de mesure	14 (9 en sp et 5 en ss)	9 (5 en sp et 4 en ss)	11 (7 en sp et 4 en ss)	11 (7 en sp et 4 en ss)

Sp : saison pluvieuse ; ss : saison sèche

Hauteur moyenne (m)	9,1	19,9	26,4	30,2
Nombre de placeaux	3	6	6	2
Nombre de points de Mesure/placeau	12	12	12	12
Nombre total de points de mesure	36	72	72	24
Biomasse racinaire (g/m ²)	287	748	1523	1664

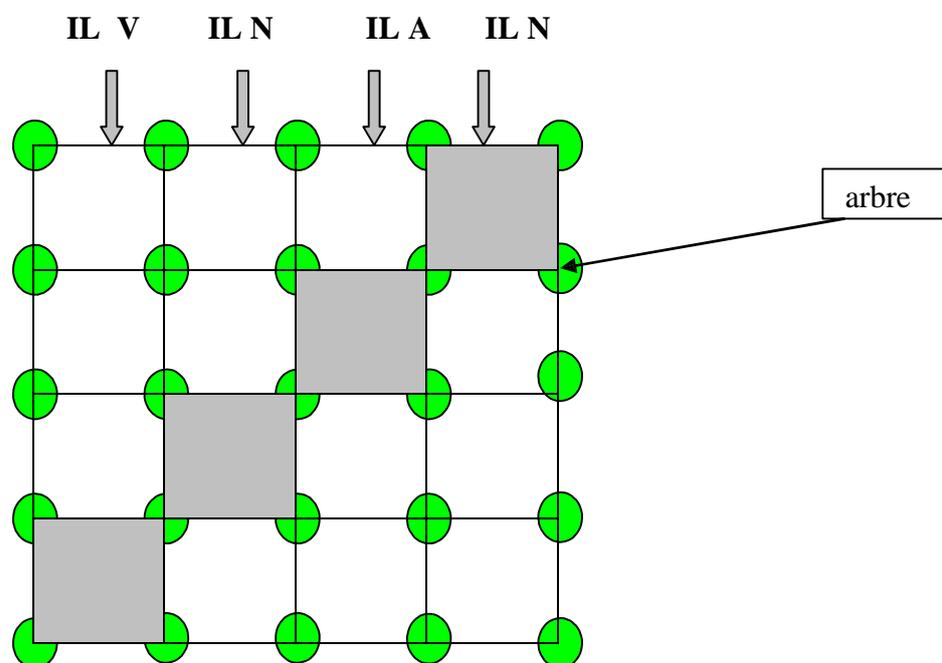


Figure 1 : Placeau normal de mesure Rs

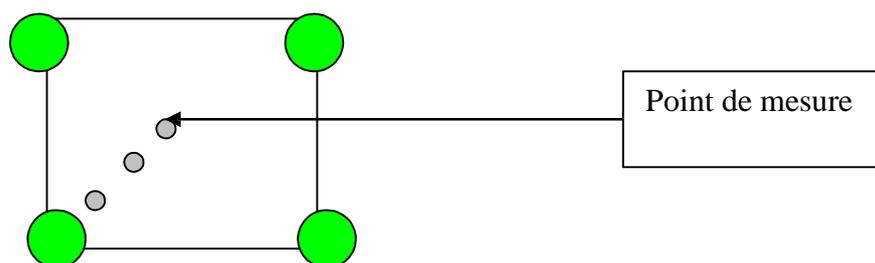


Figure 2 : Placette de mesure Rs

RESULTATS

Les résultats présentés ci dessous sont ceux obtenus sur les quatre parcelles expérimentales. Les analyses de variances ($p = 0,05$) sur $\sqrt{Rs_{sol}}$ révèlent l'existence d'un effet placeau, d'un effet distance à l'arbre, et d'un effet type d'interligne. Cette analyse de variance ne montre pas l'existence d'autres effets principaux et d'interactions de deuxième ordre (exemple : distance à l'arbre*placeau, placeau*interligne) et troisième ordre (exemple : Distance à l'arbre*interligne*placeau Rs). Le tableau II résume l'ensemble des résultats obtenus.

Variations spatiales à l'échelle de la case de mesure (effet distance au tronc)

Les résultats obtenus révèlent sur l'ensemble des parcelles l'existence d'une variation spatiale de la Rs à l'échelle de la case de mesure Rs. Dans toutes les parcelles, Le flux moyen de Rs à 0,5 m est significativement plus important qu'à m_1 et m_2 , test de Bonferroni, (tableau II).

Les flux moyens de Rs aux points m_1 et m_2 sont comparables. On note ainsi une décroissance des flux moyen de CO_2 du tronc vers l'intérieur de la placette de mesure Rs sur la diagonale. Dans les quatre parcelles, le flux moyen à 2,5 m est le plus faible (figure 3). Une mesure des quantités de litières au sol (QL) réalisée dans la parcelle H9807 en juillet 2003 montre que QL est plus importante en m_0 que sur les deux autres points m_1 et m_2 avec respectivement 1217 g MS.m^{-2} , 1129 g MS.m^{-2} et 1117 g MS.m^{-2} de litière totale.

Variation spatiale à l'échelle du placeau (effet type d'interligne)

L'analyse de variance ne révèle pas de différences significatives de la Rs entre les interlignes dans toutes les parcelles excepté la

parcelle R0013a où cet effet est observé (tableau III). Cependant des trois types d'interlignes, celui qui présente les flux de CO_2 du sol les plus faibles est l'interligne vidange, et celui qui a les flux de CO_2 du sol les plus élevés est l'interligne andain (figure 4). L'effet significatif observé dans la parcelle R0013a (Tableau III) pourrait être lié à la quantité de litière au sol contenue dans les différents types d'interlignes. L'effet du type d'interligne n'a pas été étudié dans la parcelle R9280 car elle est une futaie. Malheureusement la récolte de la litière au sol n'a pas été effectuée en 2003 dans la parcelle R0013a. Cependant, celle effectuée en février 2002 dans cette parcelle donne pour les interlignes normales, andains et vidanges respectivement 3800 g MS.m^{-2} , 3501 g MS.m^{-2} et 2376 g MS.m^{-2} .

Variation spatiale à l'échelle de la parcelle (effet placeau).

L'analyse de variance montre l'existence d'une variation spatiale entre les

placeaux de mesure de la Rs ($p = 0,05$) dans les parcelles H9807 et K9501 (tableau III). Dans la parcelle H9807 (5ans), le placeau 3 est statistiquement différent des autres placeaux de mesure Rs. Dans la parcelle K9501, le placeau 2 est celui qui présente les flux moyens de CO₂ les plus élevés. Ce placeau est comparable aux placeaux 1, 3, et 5, mais diffère des placeaux 6 et 4 ($p = 0,05$). Les parcelles (R9280) et R0013a) ne présentent pas de variation entre les placeaux de mesure Rs. Les flux élevés de CO₂ du sol dans les placeaux 3 et 1 de la parcelle H9807 correspondent à une plus grande quantité de litière au sol avec

respectivement 1342 g MS.m⁻² et 1198 g MS.m⁻² alors que le placeau 4 de cette parcelle a 1016 g MS.m⁻².

Ces résultats montrent l'existence d'une grande variation spatiale à l'intérieur des différentes parcelles de mesure de la Rs.

Tableau III : Moyennes et résultats des analyses de variances sur \sqrt{Rsol} .

	Parcelle H9807	Parcelle K9501	Parcelle R0013a	Parcelle R9280
Distance à l'arbre				
D arbre (distance à l'arbre)	ddl= 2; p = 0,001	ddl ¹ = 2; p = 0,001	ddl = 2; p = 0,012	ddl = 2; p = 0,002
m0 = 0,5 m	2,42 ^a	2,70 ^a	2,74 ^a	2,97 ^a
m1 = 1,5 m	2,17 ^b	2,40 ^b	2,50 ^b	2,50 ^b
m2 = 2,5 m	2,27 ^b	2,24 ^b	2,44 ^b	2,64 ^b
Comparaison des moyennes \sqrt{Rsol} entre type d'interligne				
Interlignes	ddl=2	ddl=2	ddl = 2; p = 0,003	
andain	2,24 ^a	2,48 ^a	2,69 ^a	-
normale	2,30 ^a	2,47 ^a	2,63 ^a	-
vidange	2,33 ^a	2,40 ^a	2,38 ^b	-
Comparaison des moyennes \sqrt{Rsol} entre placeaux Rs pour les quatre parcelles				
placeaux	ddl =5; p = 0,001	ddl = 5; p = 0,001	ddl = 2; p = 0,083	ddl=1
1	2,39 ^{a b}	2,61 ^{a b}	2,64 ^a	2,70 ^a
2	2,31 ^{a b c}	2,70 ^a	2,64 ^a	2,79 ^a
3	2,54 ^a	2,37 ^{a b}	2,60 ^a	-
4	2,10 ^c	2,33 ^b	-	-
5	2,22 ^{b c}	2,40 ^{a b}	-	-
6	2,15 ^{b c}	2,31 ^b	-	-

Les lettres ^{a b c} indiquent les différences significatives ($p = 0,05$) selon le test de Bonferroni. Les moyennes Rs sont exprimées en $\mu\text{mol CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

¹ ddl = degrés de liberté

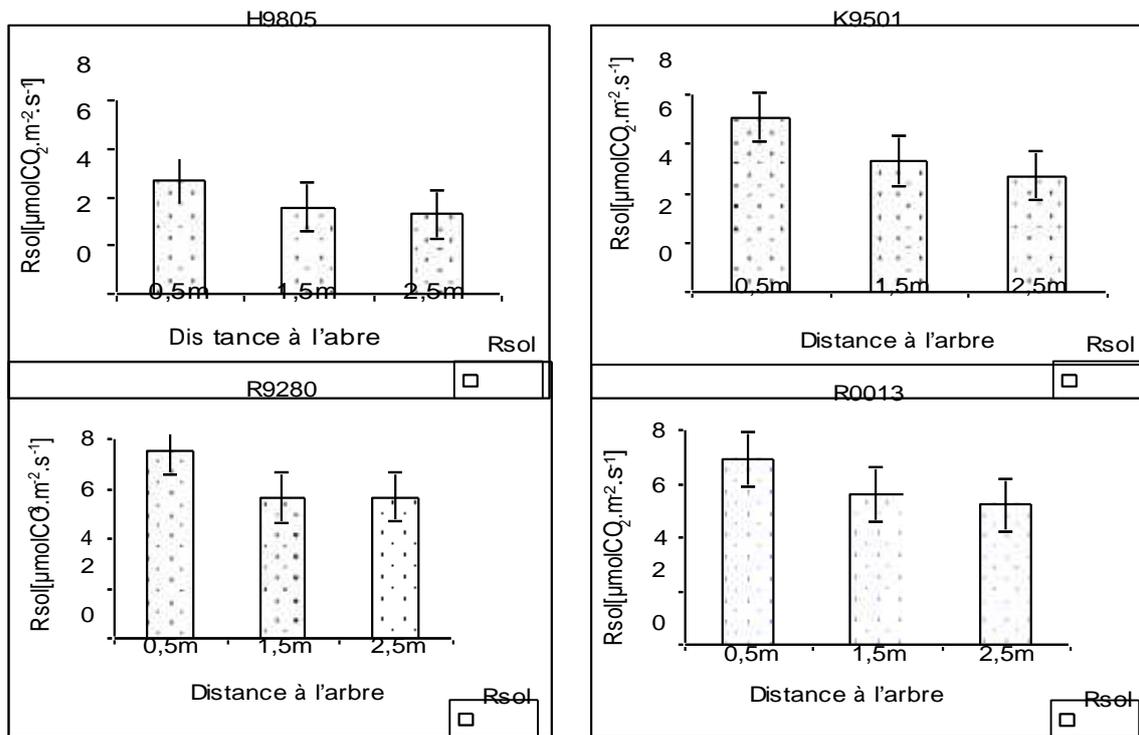


Figure 3 : Effet de la distance à un arbre d'Eucalyptus sur la Rs dans les quatre parcelles.

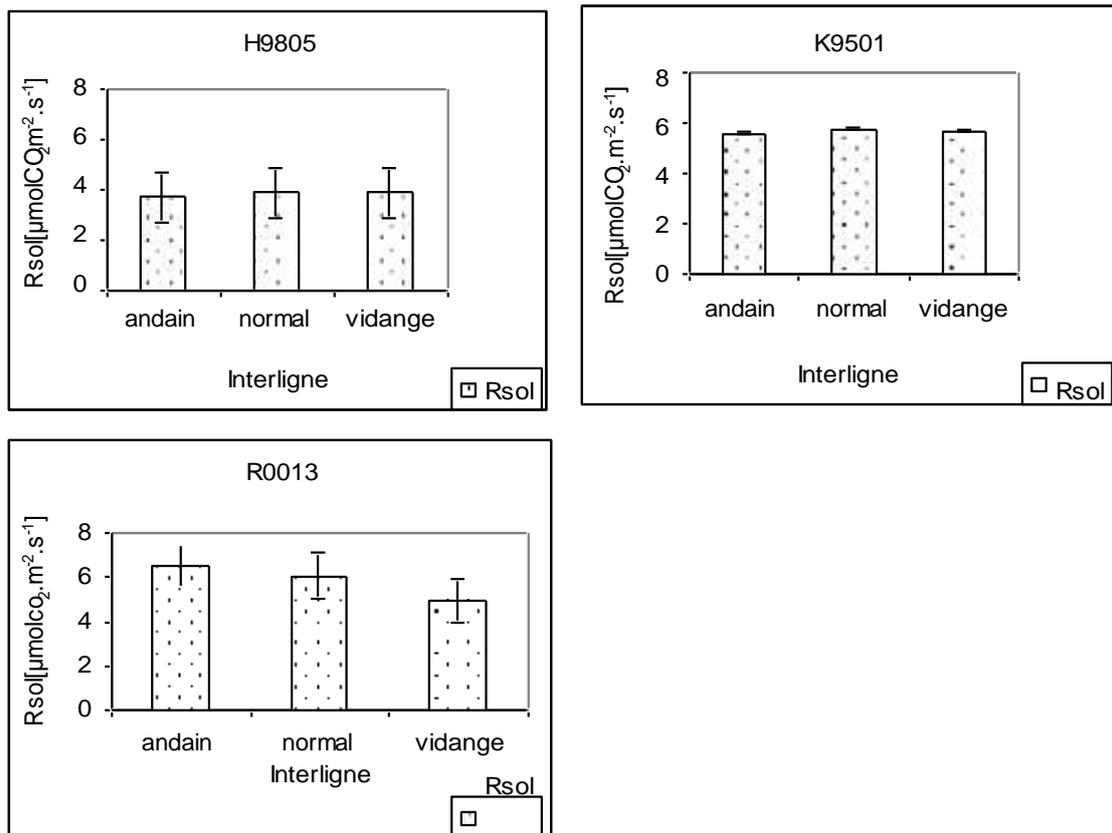


Figure 4 : Effet du type d'interligne sur la Rs dans trois parcelles.

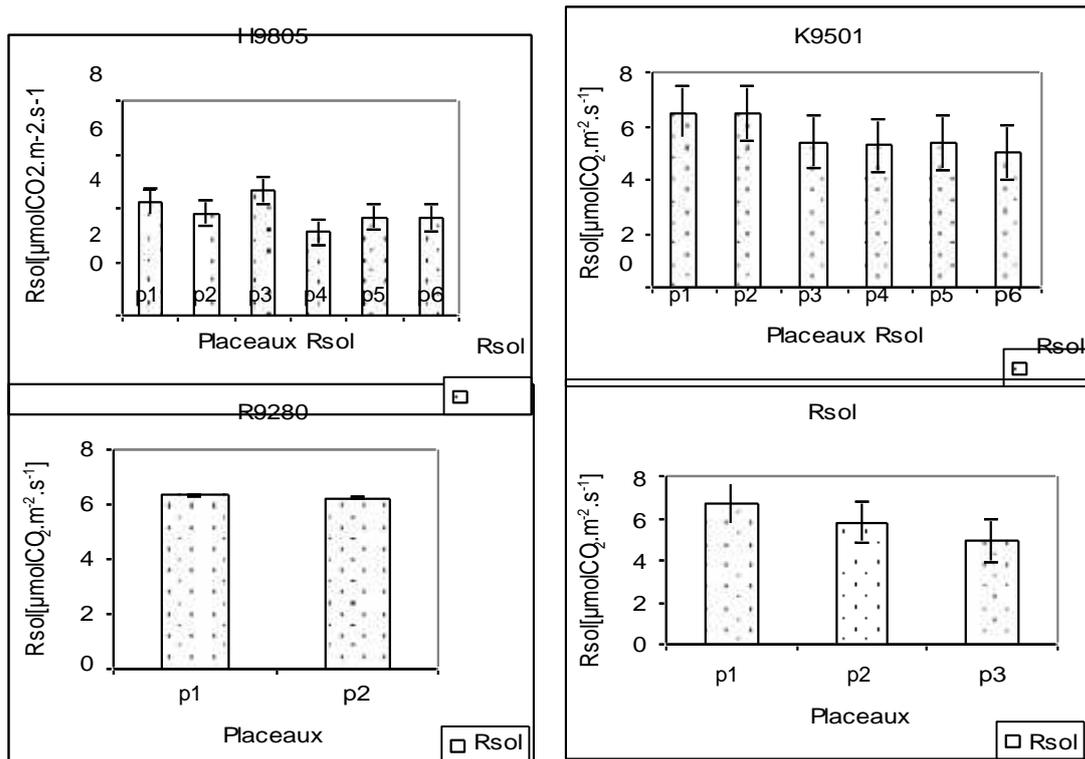


Figure 5 : Effet type de placeaux et Rs dans les quatre parcelles d'étude.

DISCUSSION

Les mesures de la Rs effectuées lors de cette étude ont révélé l'existence d'une variation spatiale à différentes échelles. L'inégale répartition de la quantité de litière au sol et de la distribution horizontale de la biomasse racinaire expliquerait cette variation spatiale.

Les importants flux de CO₂ du sol notés proches du pied de l'arbre pourraient être partiellement dus d'une part à l'importante quantité de litière au sol à 0,5 m du tronc, et d'autre part à la variation spatiale horizontale de la biomasse racinaire. En effet Laclau *et al.* [11] et Bouillet *et al.* [3] montrent que sur un rayon de 0,5 à 1 m, la densité racinaire est significativement plus élevée que vers le milieu de l'interligne. Cette biomasse racinaire élevée tout autour du tronc augmenterait la quantité des exsudats racinaires dans cette rhizosphère et favoriserait ainsi une intense activité microbienne.

A l'échelle du placeau de mesure Rs, l'effet du type d'interligne n'est pas observé dans toutes les parcelles de la séquence. Cet effet n'a été observé que dans la jeune plantation R0013a. Cependant dans toutes ces parcelles, on constate que les interlignes 'andains' et 'normales' ont des flux de CO₂ du sol faiblement plus élevés que ceux de l'interligne 'vidange'. L'effet du tassement dû au passage des gros véhicules lors du débardage pourrait expliquer les faibles flux notés dans interligne 'vidange'. Rochette *et al.* [17] dans une culture de maïs montrent que la Rs entre les rangs était plus faible sur le sol tassé par les roues du tracteur que pour le sol intact. Epron *et al.* [9] dans une plantation d'*Eucalyptus* ont aussi observé l'effet du type d'interligne sur les flux de CO₂ du sol. Les flux de CO₂ du sol les plus élevés sont enregistrés dans les deux autres interlignes : andains et normales. Des tentatives d'explications ont été avancées pour justifier le faible flux de CO₂ dans l'interligne vidange. Ainsi, Rochette *et al.* [17] pensent que le tassement du sol lors du passage des tracteurs et

autres véhicules a pour conséquence la faible diffusion du CO₂ à la surface du sol.

L'existence de cet effet dans la parcelle R0013a peut s'expliquer par le fait qu'il y a une différence significative de la quantité de la litière au sol entre les différents types d'interlignes. La récolte de litière au sol faite en février 2002 montre que les interlignes 'normales' et 'andains' ont respectivement 3800 g MS.m⁻², et 3501 g MS.m⁻² contre 2376 g MS.m⁻² pour l'interligne 'vidange'. Par ailleurs, la dernière exploitation dans cette parcelle datait de 2 ans avant le début des mesures Rs en janvier 2003, au contraire des autres parcelles H9807 et K9501 où les dernières exploitations remontent à plus de 5 ans. Deleporte *et al.* [5] montrent que les différences dues à la répartition des rémanents issus de l'exploitation dans les différentes interlignes disparaissent au bout de 3 ans. Cette homogénéisation des masses de litières au sol peut être due aux chutes de litières mieux réparties ou à une décomposition de la litière au sol plus rapide dans les interlignes 'andains'.

Epron *et al.* [9] obtiennent une bonne corrélation ($r^2 = 0,87$) entre les moyennes de quantités de litière au sol par plateau Rs et les flux moyens de CO₂ du sol par plateaux de mesure Rs. Dans notre étude, une corrélation de $r^2 = 0,38$ est obtenue. Les causes réelles de cette différence n'ont pu être identifiées. La corrélation entre la répartition spatiale de la biomasse racinaire et les flux moyens de CO₂ du sol par plateau n'a pas été déterminée lors de cette étude. Cependant, notons qu'Epron *et al.* [9] ont obtenu une corrélation faible avec la biomasse racinaire dans la parcelle H9807.

La variation spatiale à l'intérieur des parcelles expérimentales peut être étudiée à partir du coefficient de variation. En effet, l'absence de dispositif expérimental standard à installer pour étudier la variation spatiale entre les différents écosystèmes a conduit à l'utilisation de cet outil statistique [10]. Il est aussi utilisé pour étudier le degré de variation spatiale entre les parcelles ayant un nombre différent de points de mesures. Cette comparaison est efficace lorsque les chambres de mesures de la Rs sont de mêmes dimensions.

Les résultats obtenus au cours de cette étude révèlent l'existence d'une grande variation de la Rs dans les différentes parcelles

expérimentales (tableau IV) car les coefficients de variation sont importants. Cependant puisque le calcul du coefficient de variation intègre toutes les données obtenues lors de la période d'étude, les grandes variations observées pourraient s'expliquer aussi par la grande variation saisonnière au cours de la période d'étude.

Cette étude peut par ailleurs souligner une grande variation temporelle du coefficient de variation au cours de l'année d'étude. Dans la parcelle R9280 les coefficients de variation les plus élevés sont obtenus en saison sèche (40 %) et les coefficients de variation les plus faibles en saison de pluie (20 %). Cette tendance est observée dans toutes les parcelles d'étude.

Cette observation diffère de celle d'autres auteurs. En effet Buchmann [4] dans une forêt de *Picea abies* en Allemagne note l'existence d'un fort coefficient de variation pendant la saison végétative lorsque les flux de CO₂ sont très importants. Les données actuelles ne permettent pas d'expliquer la grande variation spatiale de la Rs pendant la saison sèche.

CONCLUSION

Les mesures de Rs effectuées dans les plantations d'*Eucalyptus* du littoral congolais ont montré l'existence d'une très grande variation spatiale à différentes échelles. On observe une diminution de la Rs par rapport à la distance de l'arbre. Nous avons aussi observé une variation spatiale à l'intérieur des parcelles d'étude mais aussi entre les parcelles d'étude. Les pratiques sylvicoles n'expliquent pas seules ces variations spatiales de la Rs. L'hétérogénéité spatiale de la distribution horizontale de la biomasse racinaire et de la quantité de litière au sol expliquerait ces variations spatiales. Le coefficient variation à l'intérieur des parcelles varie de 51 % à 57 %.

Cette grande variation spatiale de la Rs suggère que l'estimation du flux moyen de la Rs requiert un grand nombre de mesure pour ne pas biaiser le calcul du bilan de carbone de cet écosystème. La stratification de l'échantillonnage, par type d'interligne et en fonction de la distance à l'arbre, permettra également de mieux couvrir toute la gamme de variation de la Rs. Par ailleurs, davantage

d'études sur les causes de la variation spatiale sont souhaitables. Il pourrait être pertinent de rechercher des corrélations entre la distribution spatiales de la Rs et la biomasse racinaire, la biomasse microbienne.

Les auteurs remercient le laboratoire d'Ecophysiologie forestière de l'U.R.2P.I pour l'appui logistique et technique.

Tableau IV : Comparaisons des coefficients de variation Rs avec ceux d'autres auteurs

Auteurs	Types d'écosystèmes	CV	Appareils utilisés (volume chambre)
Xu (2001)	<i>Pinus ponderosa</i> (8ans)	30 %	Licor 6400
Rochette et al. (1991)	Culture de maïs et blé	25 – 69 %	Licor 6200 (750 cm ³)
Buchmann (2000)	Forêt de <i>Picea abies</i>	40 %	Licor 6400
Fang et al. (1998)	<i>Pinus elliotti</i>	55 %	Licor 6252
La présente étude	Taillis <i>Eucalyptus platiphyllo</i> (5ans)	57 %	Licor 6200 (1009 cm ³)
La présente étude	Taillis <i>Eucalyptus platiphyllo</i> (8ans)	51 %	
La présente étude	Futaie <i>Eucalyptus platiphyllo</i> (11ans)	52 %	
La présente étude	<i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	50 %	

BIBLIOGRAPHIE

- Bachelier G., 1968. Contribution à l'étude de la minéralisation du carbone des sols. Bondy : Cahiers ORSTOM, vol. 145
- Burton D., Beauchamps E., 1994. Profile nitrous oxide and carbon dioxide concentrations in a soil subject to freezing. *Soil Sci. Soc. Am. J.*; 58: 115–122.
- Bouillet J.P., Laclau J.P., Arnaud M., Thongo-M'bou A., Saint-André L., Jourdan C., 2002. Changes with age in the spatial distribution of roots of *Eucalyptus* clone in Congo Impact on water and nutrient uptake. *Forest Ecology and Management*; 171: 43-57.
- Buchmann N., 2000. Biotic and abiotic factors controlling soil respiration rates in *Picea abies* stands. *Soil Biology and chemistry*; 32: 1625-1635
- Casals P., R J., Cortina J., Bottner P., Couteaux M. M., Vallejo V R., 2000. CO₂ efflux from a Mediterranean semi-arid forest soil. Seasonality and effects of stoniness. *Biogeochemistry*; 48: 261-281
- Deleporte P., Laclau J.P., Kinana A., 2002b. The study of macro variability in litter inputs. Effect of macro variability of litter fall and litter quality on soil chemical and biological condition in the Congolese eucalypt plantations. CIFOR-IRD-UR2PI Scientific report. 45 p.
- Epron D., Farque L., Lucot, Badot P.M., 1999a. Soil CO₂ in a beech forest: the contribution of root respiration, *Ann. For. Sci.*; 56 : 289-295.
- Epron D., Farque L., Lucot, Badot P.M., 1999b. Soil CO₂ efflux in a beech forest: dependence on soil temperature and soil water content. *Ann. For. Sci.*; 56: 221 - 226.

9. Epron D., Le Dantec V., Dufrene E., Granier A., 2001. Seasonal dynamics of soil carbon dioxide efflux and simulated rhizosphere respiration in a beech forest. *Tree Physiology*; 21: 145-15.
10. Epron D., Nouvellon Y., Rouspard O., Mouvondy W., Mabilia A., Saint-André L., Joffre R., Jourdan C., Bonnefond J. M., Hamel O., 2004. Spatial and temporal variation of soil respiration in Eucalyptus Plantation. *Forest Ecology and Management*; 202: 149-160.
11. Fang C., Moncrieff J.B., Gholz H.L., Clark L. K., 1998. Soil CO₂ efflux and its Spatial Variation in Florida slash pine plantation. *Plant and Soil*; 205: 135-146.
12. Laclau J.P., Arnaud M., Bouillet J.P., Ranger J., 2001b. Spatial distribution of Eucalyptus roots in a deep sandy soil in the Congo: relationships with the ability of the sand to take up water and nutrients. *Tree physiology*; 21 : 129-136.
13. Law B.E., M. G. R., Peter M. A., 1999. Seasonal and annual respiration of ponderosa pine ecosystem. *Global Change Biology*; 5: 169-182.
14. La Scala J. N., Marques J. J., Pereira G.T., Cora J. E., 2000. Carbon dioxide emission related to chemical properties of a tropical bare soil. *Soil Biology and Chemistry*; 32 : 1469-1473
15. Nouvellon Y., 2002. ATP carbone. Rapport intermédiaire. Pointe Noire: UR2PI Cirad - Forêt.
16. Orchard A.V., Cook F.J., 1983. Relation ship between Soil Respiration and Soil Moisture. *Soil Biology and Biochemistry*; 15: 447- 453.
17. Perrin D., Laitat E., Aubinet M., 2004. Modélisation de la réponse des flux de respiration d'un sol forestier selon les principales variables climatiques. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*; 8 (1): 15-25.
18. Rochette P., Desjardins R. L., Petty E., 1991. Spatial and temporal variability of soil respiration in agricultural fields. *Canadian Journal Forest Res.*; 71: 189-196.
19. Thierron V., Laudelout H., 1996. Contribution of root respiration to total CO₂ efflux from the soil of a deciduous forest. *Canadian Journal Forest. Res.* ; 26 : 1142-1148.
20. Xu Ming., Qi Ye., 2001. Soil-surface CO₂ efflux and its spatial and temporal variations in a young ponderosa pine plantation in northern California. *Global Change Biology*; 7: 667-677.
21. Widen B., 2002. Seasonal Variation in forest-floor CO₂ exchange in a Swedish coniferous forest. *Agriculture and Forest Meteorology*; 3028: 1-15.