HAL
open science

Flux et bilan du carbone et eau en forêt tropicale humide guyanaise

Damien Bonal, Alexandre Bosc, Claude Brechet, Patrick Gross, Jean-Yves Goret, Jean-Marc Bonnefond, Lilian Blanc, Bernard Longdoz, Valérie Le Dantec, Jérôme Chave, et al.

To cite this version:

Damien Bonal, Alexandre Bosc, Claude Brechet, Patrick Gross, Jean-Yves Goret, et al.. Flux et bilan du carbone et eau en forêt tropicale humide guyanaise. Programme National coordonné ANR " ECCO ", Dec 2005, Toulouse, France. pp.239-245. hal-01032072

HAL Id: hal-01032072

https://hal.science/hal-01032072v1

Submitted on 6 Jun 2020

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

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

FLUX ET BILAN DE CARBONE ET EAU EN FORET TROPICALE HUMIDE GUYANAISE

Damien BONAL[1], Alexandre BOSC[2], Claude BRECHET[3], Patrick GROSS[3], Jean-Yves GORET[1], Jean-Marc BONNEFOND[2], Lilian BLANC[1], Bernard LONGDOZ[3], Valérie Le DANTEC[4], Jérôme CHAVE[5], Stéphane PONTON[1], Sandrine RICHARD[6], Benoît BURBAN[6], Daniel SABATIER[7], Jean-Marc GUEHL[3], Daniel EPRON[3], André GRANIER[3]

[1] UMR Ecofog, INRA-CNRS-ENGREF-CIRAD, BP 709, 97387 Kourou Cedex Guyane Française
[2] Unité de recherche Écologie Fonctionnelle et Physique de l'Environnement, INRA Domaine de la Grande Ferrade, 71 avenue Edouard Bourlaux, BP 81, 33883 Villenave d'Ornon CEDEX
[3] UMR EEF, INRA-Uni. Nancy I, 54280 Champenoux
[4] CESBIO, Uni. P. Sabatier, 18 av E. Belin, BPI 2801, 31401 Toulouse Cedex
[5] Laboratoire Evolution et Diversité Biologique, CNRS, UPS Toulouse III, bâtiment IVR3, 31062 Toulouse
[6] HYDRECO, Barrage de Petit Saut, BP 823, 97388 Kourou Cedex, Guyane Française
[7] IRD, Route de Montabo, 97300 Cayenne

Mots-clés : forêt tropicale humide, carbone, eau, sécheresse, biodiversité

I - INTRODUCTION

Le cycle du carbone, et notamment l'évolution de la concentration atmosphérique en CO_2, ainsi que le climat aux échelles globale et régionale, sont étroitement dépendants des échanges entre la biosphère terrestre et l'atmosphère. Cette interface, dont les propriétés modulent les transferts d'énergie et de masse (eau, carbone), joue un rôle essentiel, mais complexe, à cet égard. En effet, les grands biomes à l'échelle de la planète diffèrent par leur fonctionnement, non seulement parce que les variables de forçage climatiques (rayonnement, température, humidité atmosphérique) diffèrent, mais aussi parce que les paramètres fonctionnels intrinsèques de ces systèmes sont modulés en fonction de ces variables. Parmi les principales formations végétales, la forêt tropicale humide (FTH) occupe une surface d'environ 17 10^6 km^2 dans le monde, dont 7.5 10^6 km^2 pour la seule Amérique latine. La FTH renferme presque la moitié de la biomasse terrestre aérienne, donc du stock de carbone. Les études réalisées à l'échelle du globe sur le cycle et le bilan de carbone suggèrent que globalement le bilan de l'Amazonie soit nul ou même légèrement négatif ("puits de carbone").

Ces estimations effectuées en zone équatoriale (Brésil) intègrent les variations saisonnières du climat dans ces régions (Carswell *et al.* 2002). Cependant, les échanges gazeux entre la forêt et l'atmosphère et leurs variations intra-annuelles dans des régions présentant un contraste climatique plus fortement marqué au cours de l'année (plateau des Guyanes, régions côtières), avec des variations fortes de la disponibilité en eau dans le sol pour les arbres, restent méconnus. En Guyane Française, les espèces d'arbres présentent des sensibilités et des performances de croissance et de fonctionnement (échanges gazeux) différentes en fonction de la disponibilité en eau (Bonal et al. 2000a). Le fonctionnement de l'écosystème forestier résultant de l'intégration du fonctionnement des espèces qui le composent, il est vraisemblable que les variations de fonctionnement des espèces au cours de l'année induisent des modifications importantes du fonctionnement global de l'écosystème et des échanges entre les différents compartiments de l'écosystème. Nous nous sommes attachés dans ce projet à mieux comprendre l'influence des variations saisonnières du climat sur les flux et le bilan de carbone et d'eau et leur couplage en forêt tropicale humide guyanaise, sur le dispositif Guyaflux, et à déterminer la part de chacune des composantes du bilan et leurs variations intra-annuelles. De plus, afin de comprendre le fonctionnement global de cet écosystème, il importe d'évaluer le couplage des flux de CO_2 et H_2O entre l'écosystème et l'atmosphère en prenant en compte le rôle de la diversité du fonctionnement des espèces qui le composent. Nous nous sommes intéressés aux variations saisonnières de l'efficience d'utilisation de l'eau intrinsèque (WUE_i, le rapport entre assimilation de CO_2 et conductance du couvert), sur la base de mesures instantanées des flux ou de mesures de composition isotopique du carbone de l'air ou des feuilles. Les approches isotopiques à l'échelle de l'arbre, permettant des criblages de grands nombres d'individus dans l'écosystème, nous ont permis d'évaluer si les différents types de sol (associés à des différences de composition floristique) rencontrés sur l'empreinte de la tour sont associés à des WUE_i différentes.

II - MATERIELS ET METHODES

Cette étude a été réalisée sur l'installation expérimentale Guyaflux de l'INRA, sur le dispositif expérimental de Paracou (CIRAD-Forêt), en Guyane Française. Cette installation représente environ 100 ha de forêt mature non perturbée, dans laquelle une tour de 55 m de haut (20 m au-dessus de la canopée) a été installée en 2003. 10 parcelles (0.49 ha chacune) ont été mises en place, de façon à couvrir la variabilité spatiale des types forestiers mis en évidence dans la zone à l'aide d'une approche géo-pédo-morphologique (Freycon 2003). Les types de sol décrits sur l'empreinte présentent des caractéristiques de disponibilité en eau distinctes en saison sèche qui influencent la composition floristique de l'écosystème. Dans ces parcelles, 2800 arbres (dbh > 10 cm) ont été numérotés et cartographiés et 338 taxons différents ont été identifiés (il reste à identifier 200 échantillons mis en herbier). Le nombre de taxons diffère fortement entre les parcelles (73 à 109), et la proportion relative en surface terrière des espèces ou des familles varie fortement entre les types forestiers. Certaines familles (ex. *Caesalpiniaceae*) très présentes sur les collines sont peu représentées sur sable. De même, certaines familles (ex. *Clusiaceae*) très présentes dans le bas-fond sont peu représentées dans les autres types forestiers. La circonférence de ces arbres a été mesurée en 2003 et 2004, afin d'évaluer l'accroissement et la mortalité de la biomasse aérienne, et la production. Une parcelle de 6.25 ha (P15) est incluse également dans l'empreinte de la tour et le suivi de l'accroissement en circonférence est réalisé depuis 1991 par le CIRAD-Forêt. La mise en place des 10 parcelles n'ayant été réalisée qu'en 2003, nous présentons ici les résultats des variations inter-annuelles de biomasse (estimée à partir de la circonférence, Chave *et al.* 2001) uniquement sur les données de la parcelle 15. Le suivi bimensuel de la production de la litière sur l'empreinte a été initié fin 2003, avec l'installation de 40 collecteurs de litière (4 par parcelle) relevés deux fois par mois. Le contenu des collecteurs a été trié afin de séparer les feuilles, branches, et fruits/graines, puis séché et pesé.

Le suivi bimensuel de la disponibilité en eau dans le sol sur l'ensemble de l'empreinte a été initié en juillet 2003. 25 tubes de 2.6 m de profondeur ont été mis en place selon un transect (1 km) sur l'empreinte ou dans les parcelles du dispositif. Les mesures sont effectuées à l'aide d'une sonde TDR Trime FM3. Un capteur TDR Campbell CS615 à proximité de la tour connecté au datalogger CR10X enregistre la teneur en eau du sol à 10 cm de profondeur toutes les 30 min. Ces données nous permettent de calculer un indice de teneur en eau dans le sol (SWC) global pour l'empreinte de la tour, prenant en compte les types de sol et leur représentativité spatiale.

Le système de mesure des covariances turbulentes, le profil vertical de CO_2 dans le couvert et les équipements micro-météorologiques ont été mis en place fin 2003 au sommet de la tour. Nous disposons ainsi de données semi-horaires des flux de chaleur sensible (H), de CO_2 (NEE, Net Ecosystème Exchange) et H_2O (E, Evapotranspiration), des variations de stockage de CO_2 dans l'écosystème, et des paramètres micro-météorologiques en continu depuis janvier 2004. L'enregistrement des données micro-météorologiques n'a souffert que de quelques courts arrêts. Les données manquantes ont été complétées par extrapolation des valeurs proches ou en utilisant des modèles linéaires reliant les données sur la tour avec celles d'une station automatique installée à 10 km de la tour Guyaflux. Les données de flux nécessitent un épurement plus important lié (1) aux épisodes pluvieux, (2) aux phases de calibrage des appareils, (3) aux épisodes de nuits calmes. Après épurement des données pour l'année 2004, nous disposions alors de 58.7 % de données "propres". Les données manquantes ont été complétées suivant les protocoles décrits dans Falge et al. 2001. Parmi les nombreuses vérifications de la qualité des données, il importe de vérifier si lors de nuits peu venteuses, les mesures fournies par le système des covariances turbulentes correspondent aux flux nets de CO_2 échangés entre l'écosystème forestier et l'atmosphère. Nous avons effectué des mesures de vent horizontal à haute fréquence sous le couvert (à 2 et 4 m de hauteur, anémomètre 2D Gill). Il est apparu qu'au cours de la nuit, le vent dans le couvert souffle systématiquement vers le sud et est découplé du vent au sommet de la tour qui possède une large plage d'origine (Nord Nord-Est à Sud-Ouest). Ces mesures confirment donc l'existence d'advection (probablement dû à des gradients thermiques horizontaux) qui pourrait emporter du CO_2 en dehors de l'écosystème et qui ne sera pas mesuré par le système des covariances turbulentes. Afin de ne pas sous estimer la respiration nocturne de l'écosystème, nous avons donc épuré les données de flux pour lesquelles la turbulence était insuffisante (vitesse de friction $u^* < 0.15$ m s^{-1}).

Des campagnes de prélèvement nocturne d'air à différentes hauteurs dans la canopée ont été réalisées en saison des pluies (juillet 2004 et mai 2005) et en grande et petite saison sèche (octobre 2004 et mars 2005) afin de déduire la discrimination isotopique du carbone de l'écosystème (Δ_E) (approche Keeling plot). Des prélèvements de feuilles de lumière au fusil ont été réalisés dans l'ensemble des parcelles en octobre 2004 (saison sèche) et avril 2005 (saison des pluies), et en octobre 2003 en plus pour les parcelles 4 et 8, afin

d'estimer la composition isotopique du carbone foliaire ($\delta^{13}C$) des arbres et la discrimination isotopique du carbone de la canopée ($\Delta^{13}C_{canopée}$) (Bonal et al. 2000b). Les données 2005 sont en attente d'analyse au spectromètre de masse.

Un dispositif d'étude de la variabilité temporelle et spatiale de la respiration du sol et de la décomposition de la litière ou des racines a été mis en place en mars 2003. Ce dispositif consiste en des embases en PVC enfoncées de quelques cm dans le sol, au niveau desquelles des mesures de respiration du sol à l'aide d'une chambre portable connectée à un IRGA (PPSystem CIRAS 1) sont effectuées bimensuellement. Ce dispositif a été complété en mai 2005 par un système automatique de mesure de la respiration du sol (rhizosphérique et non-rhizosphérique), composé de 8 chambres automatiques fixes (de type F*luxnet Canada*) qui mesurent la respiration du sol au pas de temps semi-horaire.

Le suivi des exports de matière organique (Carbone Organique Total) via le réseau hydrologique par minéralisation à chaud au persulfate a été effectué en 2004 et 2005, à raison de 2-3 prélèvements par mois. Des mesures complémentaires de qualité d'eau ainsi qu'un relevé régulier de la hauteur d'eau de la crique ont été également réalisées. Le point de mesure de carbone organique drainé est situé dans la crique Verlot, au niveau de la sortie de bassin versant qui correspond à l'empreinte de la tour.

III - RESULTATS ET DISCUSSIONS

1- Variations saisonnières du climat

L'année 2004 a été caractérisée par un climat au niveau des normales saisonnières depuis 30 ans (données Météo France), avec une saison des pluies (mai à juin) importante et une saison sèche (septembre à décembre) caractérisée par une pluviométrie mensuelle de l'ordre 50-100 mm. La température de l'air et du sol est très stable au cours de l'année, et le déficit de saturation de l'air maximum au cours de la journée beaucoup plus fort en saison sèche qu'en saison des pluies. Le rayonnement solaire est nettement plus important en saison sèche. La teneur en eau dans le sol en saison sèche 2004 présente une diminution de 30 % par rapport au maximum de teneur en eau en saison des pluies, mais n'a pas atteint le niveau le plus bas observé par exemple lors de la fin de la saison sèche 2003 où le climat avait subi l'influence du phénomène El Nino. L'année 2004 constituera une année de référence avec un climat représentatif des moyennes saisonnières sur 30 ans. Comme pour l'ensemble du bassin Amazonien, la saison sèche 2005, qui a débuté en septembre, s'annonce beaucoup plus marquée qu'en 2004.

2- Variations saisonnières des flux de carbone et d'eau et de leur couplage.

Les échanges nets de carbone entre l'écosystème et l'atmosphère (NEE) montrent des variations intra-annuelles très fortes, très importantes au pas de temps correspondant à 10 jours (Fig. 1). NEE est le plus négatif (photosynthèse nette) au cours du petit été de février - mars, et en fin de saison sèche, et présente les valeurs les moins négatives, voire des valeurs positives (respiration nette), en saison des pluies. Ces variations confirment les observations faites précédemment sur d'autres sites Amazoniens (Brésil) où le contraste climatique intra-annuel est présent mais moins marqué qu'en Guyane Française. Ni la température de l'air ou du sol, ni le VPD, ni la phénologie foliaire ne permettent d'expliquer ces variations. Leur origine semble liée aux variations conjointes de teneur en eau dans le sol (en particulier les épisodes pluvieux en saison sèche) et du rayonnement solaire (PAR) au cours de l'année. Il est à noter également que les valeurs très négatives de NEE au cours du petit été de mars correspondent à une période de l'année où, du fait de la position très au sud de l'Amazone de la zone de convergence inter-tropicale, les vents étaient principalement orientés au Nord-Est et plus forts en moyenne qu'en grande saison sèche où les vents sont principalement d'Est Sud-Est. Ce comportement a été observé dans une moindre mesure en début d'année 2005. Une étude détaillée de l'influence du footprint sur les flux entre écosystème et atmosphère sera menée prochainement.

NEE correspond à la différence entre la production primaire brute (GPP) et la respiration totale de l'écosystème (R_{eco}). GPP a présenté des valeurs sensiblement plus fortes en conditions de faible teneur en eau du sol (Fig. 2), suggérant l'absence de régulation stomatique de la photosynthèse dans ces conditions. Les variations de R_{eco} semblent associées aux conditions hydriques dans le sol. R_{eco} a augmenté fortement au début de la saison des pluies (Jour 90, 2004), puis est resté stable pendant cette période, avant d'augmenter de nouveau en début de saison sèche et diminuer légèrement en fin de saison sèche. Le rapport de ces deux composantes de NEE est compris entre 0.83 (saison des pluies) et 1.14 (saison sèche), avec une moyenne de

1.00. Le comportement observé en Guyane Française diffère donc de celui observé à Manaus, en forêt équatoriale, où les valeurs restaient stables et proches de 1.25 tout au long de l'année.

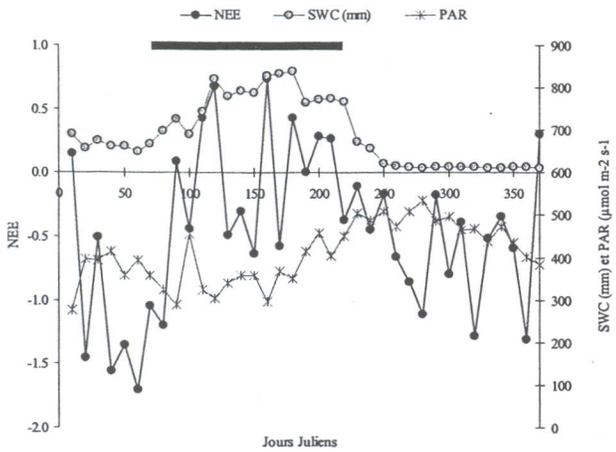


Fig. 1. Evolution saisonnière des échanges nets de CO_2 (NEE), de l'indice de sécheresse du sol (SWC) et du rayonnement solaire (PAR). Exemple de 2004.

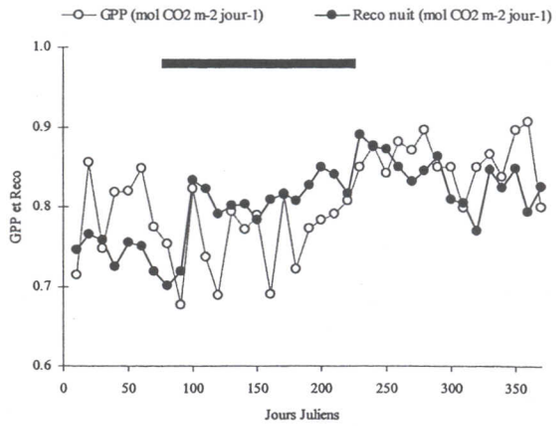
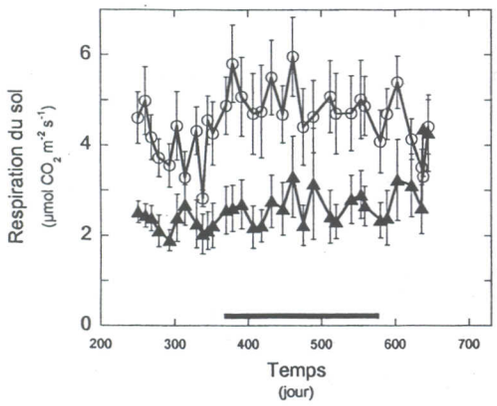


Fig. 2 Evolution saisonnière de la production primaire brute (GPP) et de la respiration de l'écosystème (R_{eco}). Exemple de 2004.

La respiration totale de l'écosystème (R_{eco}) peut être décomposée en la respiration de la biomasse aérienne et du sol (R_{sol}). Sur le site Guyaflux, R_{sol} représente environ 50-55 % de R_{eco} en saison des pluies, et environ 35-40 % en fin de saison sèche. Ces différences sont associées en partie aux variations saisonnières de R_{sol} (ex. parcelle 10 zone témoin, Fig. 3), et leur origine pourrait venir également du comportement différent en saison sèche par rapport à la saison des pluies d'autres composantes de la respiration totale de l'écosystème (ex. décomposition des débris, respiration des arbres, ...) non-étudiées dans le cadre de ce programme.



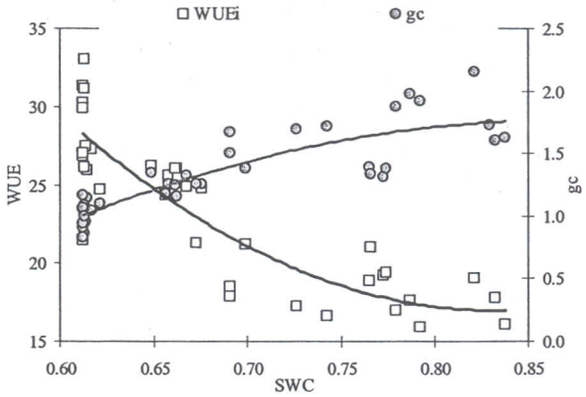


Fig. 3, Gauche : Evolution de la respiration du sol dans les zones d'exclusion racinaire (▲, composante hétérotrophe) et les zones témoins (○) de la parcelle 10. Les barres d'erreur représentent les erreurs standard de la moyenne (n=4). La barre verticale symbolise la période correspondant à la grande saison des pluies en 2005.
Fig. 4, Droite : Relation entre la conductance du couvert pour la vapeur d'eau (g_c) ou l'efficience d'utilisation de l'eau intrinsèque du couvert (WUE_i = NEE / g_c) et la teneur en eau dans le sol à l'échelle de l'empreinte (SWC).

En accroissant la résolution temporelle des mesures de R_{sol}, le système automatique de mesure de R_{sol} installé en mai 2005 sur une des placettes a permis de mettre en évidence l'effet de la température du sol et des évènements pluvieux sur les efflux de CO_2 au niveau du sol. Par ailleurs, la respiration du sol est en moyenne 50% plus faible dans les zones d'exclusion racinaire que dans les zones témoins, indiquant que la composante rhizosphérique de la respiration du sol est plus importante que la composante hétérotrophe (Fig. 3). Cependant, ces résultats, notamment ceux obtenus en saison sèche, doivent être corrigés en tenant compte de la différence d'humidité du sol existant entre les placeaux d'exclusion racinaire et les placeaux de contrôle. La modélisation de l'effet de l'humidité du sol sur la respiration du sol sera effectuée à partir des données continues du système de mesure automatique de la respiration du sol. La modélisation de la composante hétérotrophe de la respiration du sol est un point crucial de cette partie du projet car elle permettra ensuite un changement d'échelle, notre objectif étant de prédire les flux de CO_2 issus du sol à une échelle compatible avec les mesures de flux total issu de l'écosystème. L'ensemble des données nécessaires

pour paramétrer le modèle CENTURY n'a pu être totalement acquises dans le temps de ce projet et ce travail est en cours.

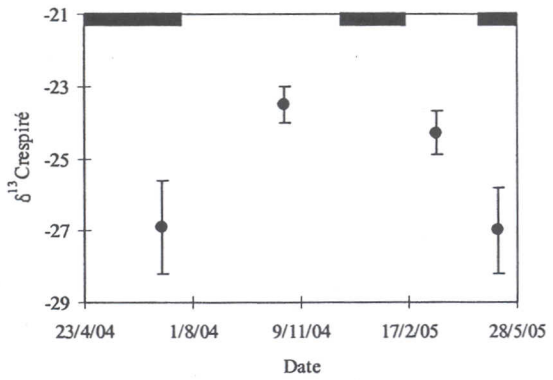
Les flux de chaleur sensible ou d'eau entre l'écosystème et l'atmosphère (données non présentées) présentent également des variations saisonnières importantes. Le flux de chaleur sensible est nettement plus élevé en saison sèche qu'en saison des pluies, en relation avec les variations saisonnières de rayonnement solaire global incident. L'évapotranspiration est plus faible en saison des pluies qu'en début de saison sèche, et diminue fortement en fin de saison sèche.

L'efficience d'utilisation de l'eau intrinsèque ($WUE_i = NEE / g_c$) traduit le compromis entre le flux de carbone et d'eau à l'échelle de l'écosystème. g_c et WUE_i sont fortement corrélés aux variations de déficit de saturation de l'air au cours de la journée (données non présentées) et à SWC au cours de la saison (Fig. 4), la diminution de SWC en saison sèche entraînant une diminution de g_c et une augmentation de WUE_i. Ces résultats, et ceux sur l'évolution saisonnière de GPP, suggèrent que les variations de WUE_i au cours de l'année 2004 sont associées non pas à des modifications majeures de l'activité photosynthétique des arbres, mais de la transpiration du couvert, et donc de la régulation stomatique au niveau foliaire. Ces résultats sont corroborées par les variations observées de la discrimination isotopique du carbone de l'écosystème (augmentation de δ_R en saison sèche qui se traduit par une diminution de Δ_E) (Fig. 5). En revanche, la discrimination isotopique du carbone de la canopée ($\Delta^{13}C_{canopée}$), calculé à partir des mesures de $\delta^{13}C$ foliaire des différentes espèces, ne présente pas de variations saisonnières (Tab. 1). Des différences de période d'intégration des échanges gazeux sont probablement à l'origine de ce résultat. En effet, les valeurs de $\delta^{13}C$ foliaire sont intégrées sur la période de vie de la feuille, qui peut aller en forêt tropicale humide de 9-10 mois à 18-24 mois, couvrant ainsi l'alternance des saisons.

3- Influence de la diversité du fonctionnement des espèces sur le fonctionnement de l'écosystème

A l'aide d'une analyse statistique spatiale, nous avons mis en évidence qu'à l'intérieur d'une parcelle, les valeurs de $\delta^{13}C$ des arbres de la canopée sont réparties de façon aléatoire (absence de composante structurée), suggérant l'absence de complémentarité de niche écologique pour ce trait. Les valeurs de $\delta^{13}C$ des espèces sont très stables d'une année sur l'autre ($\delta^{13}C_{2004} = 0.99 * \delta^{13}C_{2003} + 0.05$; $R^2 = 0.75$; n = 38 pour les parcelles sur sol de transition colline - sable). De même, aucune espèce ou famille botanique ne présente des différences significatives de $\delta^{13}C$ entre les types forestiers au seuil de 5 % (tests non paramétriques).

Type Forestier	$\Delta^{13}C_{canopée}$ Oct 2003	$\Delta^{13}C_{canopée}$ Oct 2004
Colline		22.25
Transition S-C	22.45	22.50
Sable		22.43
Bas-fonds		21.88



Tab. 1, Gauche : Discrimination isotopique du carbone de la canopée ($\Delta^{13}C_{canopée}$) calculé à partir des valeurs de $\delta^{13}C$ foliaires des espèces, en octobre 2003 et 2004, pour les différents types forestiers présents sur l'empreinte de la tour.
Fig. 5, Droite : Composition isotopique du carbone du CO_2 respiré ($\delta^{13}C_{respiré}$) à différentes périodes de l'année obtenue par la méthode des *Keeling plots*. Les barres horizontales symbolisent les périodes correspondant à la saison des pluies.

Nous avions émis l'hypothèse que du fait des différences de composition floristique dans les différents types forestiers et de la forte variabilité interspécifique de $\delta^{13}C$ foliaire des espèces présentes (Bonal et al. 2000b), la discrimination isotopique du carbone de la canopée ($\Delta^{13}C_{canopée}$) présenterait des différences significatives entre les types forestiers rencontrés sur l'empreinte. Nos résultats à Paracou contredisent cette hypothèse (Tab. 1). Nous suggérons que les valeurs de $\Delta^{13}C_{canopée}$ dépendent principalement des variables de forçage climatique local sur le long terme, et non de la composition floristique ou du type de sol (substrat, drainage). La valeur moyenne de $\Delta^{13}C_{canopée}$ sur l'empreinte est inférieure aux valeurs de WUE_i (24.8 ‰) obtenue à l'aide des mesures de covariance turbulente. Cette différence peut être expliquée par le fait que l'approche $\Delta^{13}C_{canopée}$ ne prend en compte que les feuilles de

lumière et sous-estime donc la valeur réelle de WUE de l'écosystème (les feuilles d'ombre ont des valeurs de WUE plus faibles). Ces résultats obtenus à l'aide de 2 approches indépendantes et conceptuellement distinctes, confirment la faible efficience d'utilisation de l'eau de la forêt tropicale humide à Paracou.

4- Bilan de carbone

La biomasse aérienne en parcelle 15 a augmenté de 2.12 t_{MS} ha^{-1} an^{-1} de 1991 à 2004, équivalent à environ 1.06 $t_{carbone}$ ha^{-1} an^{-1}. Si l'on considère que les variations de stockage de carbone dans le sol des forêts tropicales humides (biomasse végétale, matière organique du sol) sont équivalentes à celles dans la biomasse aérienne (*in* Malhi et al. 1999), le stockage de carbone total dans l'écosystème représenterait donc environ 2 $t_{carbone}$ ha^{-1} an^{-1}. Il est à noter que la parcelle 15 montre les valeurs les plus fortes de stockage de biomasse aérienne sur le dispositif de Paracou (moyenne sur 6 parcelles non perturbées de 6.25 ha = 1.22 t_{MS} ha^{-1} an^{-1} de 1991 à 2004, Blanc, comm. perso.). Ces résultats sont cohérents avec le bilan de carbone effectué sur l'année 2004 à l'aide des mesures de covariances turbulentes. Le cumul des valeurs de NEE (Net Ecosystem Exchange) sur l'année montre un stockage de carbone de 1.8 $t_{carbone}$ ha^{-1} an^{-1}. Ces 2 méthodes indépendantes tendent à confirmer le rôle de puits de carbone de la forêt de Paracou pour l'année 2004, et depuis au moins 10 ans, et sont cohérents avec d'autres travaux récemment publiés pour la forêt tropicale humide amazonienne (ex. Miller *et al.* 2004). Lors de journées très pluvieuses et couvertes en saison des pluies, l'écosystème forestier se comporte comme une source de carbone pour l'atmosphère, alors qu'il joue le rôle de puits de carbone pour l'atmosphère pour la majorité du reste de l'année, à des degrés divers en fonction du rayonnement et de la disponibilité en eau dans le sol.

La production de litière est en moyenne de 8.5 t_{MS} ha^{-1} an^{-1}, avec des différences entre parcelles (6.3 à 11.1 t_{MS} ha^{-1} an^{-1}) associées en particulier à des événements exceptionnels tels que des chablis. La production moyenne de litière varie fortement au cours de l'année (6.3 à 13.0 t_{MS} ha^{-1} an^{-1}), avec un pic en fin de saison des pluies / début de saison sèche (juillet à septembre). Les feuilles représentent en moyenne 68 % de cette production, les tiges 25 %, les fleurs 2 % et fruits 5 %, avec des variations intra-annuelles importantes en particulier pour la floraison et la fructification. L'exportation de carbone au niveau de la crique Verlot pour l'année 2004 correspond à environ 10 kg de carbone organique. Les données de 2005 confirment cette estimation (données recueillies jusqu'en septembre), avec des valeurs toutefois plus faibles en relation avec le déficit pluviométrique en 2005 par rapport à 2004. Ces valeurs sont très faibles en regard du stockage de carbone total dans l'écosystème et des pertes de carbone annoncées dans les fleuves tels que l'Amazone (Grace et Malhi 2002). Le dosage des composés azotés (ammonium, nitrites, nitrates) a été initié depuis quelques mois et permettra d'évaluer également le flux d'azote dans la Crique.

IV - CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le projet initial présenté à l'appel d'offre ACI-PNBC 2003 avait pour objectif d'initier et permettre la réalisation d'un ensemble de travaux dans le cadre du programme de recherche Guyaflux, en forêt tropicale humide guyanaise. Les résultats présentés ici illustrent le succès de ces travaux, même si plusieurs objectifs n'ont pu être atteints dans le temps imparti pour ce projet. Il s'agit en particulier des objectifs de changements d'échelle spatiale (approche télédétection), qui ont fait l'objet d'une réorientation en cours de projet pour rester réalistes, et de modélisation pour laquelle le temps nécessaire à sa réalisation avait été sous-estimé. Nos travaux ont permis de confirmer pour l'année 2004 (tendance identique pour les 8 premiers mois de 2005), et pour la période 1991-2004 en ce qui concerne la biomasse aérienne, le rôle de stockage de carbone de la forêt tropicale humide non perturbée de Paracou. Le rôle de cet écosystème dans le puits de carbone biosphérique devra être confirmé dans les années à venir, en particulier au cours d'années présentant des contrastes climatiques plus marqués qu'en 2004, afin de couvrir en particulier la variabilité inter-annuelle du climat et des flux. Il s'agira également d'envisager un changement d'échelle (bassin versant à massif forestier / région) en développant des méthodologies associant télédétection et fonctionnement de l'écosystème, ou en appliquant d'autres approches utilisant par exemple des vols aériens pour mesurer le bilan de carbone à l'échelle régionale.

Nous avons mis en évidence que le fonctionnement de cet écosystème à l'échelle locale ne semble pas dépendre de la composition floristique ou du type de sol (drainage) observés dans les différents types forestiers, suggérant un contrôle majeur du climat sur l'efficience d'utilisation de l'eau du couvert. Cependant, d'autres travaux menés actuellement par nos équipes sur d'autres sites en Guyane, en particulier des sites ayant été soumis à des perturbations (exploitation forestière), suggèrent que le fonctionnement de

l'écosystème à l'échelle de la parcelle (1 ha) dépend de la répartition relative en surface terrière des espèces dans différents groupes fonctionnels d'espèces (Bonal et al., comm. perso.). Nous nous attacherons prochainement à regrouper les espèces présentes dans les différentes parcelles du site Guyaflux (par ex. sur la base du compromis survie / croissance) afin de tester cette hypothèse pour les différents types forestiers rencontrés.

Comme pour la plupart des sites de mesure des flux, les valeurs du bilan de carbone (stockage ou de-stockage annuel) de cet écosystème sont très faibles en comparaison des flux (GPP et R_{eco}) instantanés, et des variations mineures, y compris celles dont l'origine pourraient être les imprécisions dans les mesures, pourraient influencer le sens de ce bilan. Nous avons pu mettre en évidence que les variations saisonnières du climat en Guyane Française induisent la modification de divers processus qui influencent le fonctionnement des compartiments de l'écosystème (régulation stomatique, respiration du sol). Ces observations nous permettront de proposer prochainement des modèles de fonctionnement de l'écosystème prenant en compte ces facteurs, afin de prévoir l'influence des changements climatiques globaux (qui devraient se traduire en zone tropicale humide sud-américaine par des modifications de la répartition de la pluviométrie au cours de l'année) sur le rôle joué par cet écosystème dans le puits de carbone biosphérique.

Enfin, comme annoncé dans le projet initial, il aurait été pertinent d'étudier le couplage carbone/azote/eau en forêt tropicale humide, tant au niveau du sol qui reste une boîte noire importante, qu'au niveau des échanges couvert/atmosphère. L'état réduit des connaissances actuelles sur ces aspects et le manque de disponibilité à court terme des équipes de recherche compétentes susceptibles de mener à bien de tels objectifs, n'avait pas permis d'envisager une réponse structurée à cet appel d'offre intégrant ces aspects. Nous restons cependant particulièrement intéressés par ces aspects et plusieurs partenaires du présent projet ont participé en 2004 à l'élaboration du programme *Diprotroflux* financé par l'ACI-FNS "ECCO" dont l'un des objectifs est d'étudier ce couplage en plantations monospécifiques en Guyane Française, avant de s'intéresser à la forêt naturelle plus complexe.

V - REFERENCES

BONAL D., T.S. BARIGAH, A. GRANIER et J.M. GUEHL, 2000a. Late stage canopy tree species with extremely low $\delta^{13}C$ and high stomatal sensitivity to seasonal soil drought in the tropical rainforest of French Guiana. *Plant, Cell Environ.* 23 : 445-459.

BONAL., D. SABATIER, P. MONTPIED, D. TREMEAUX, et J.M. GUEHL, 2000b. Interspecific variability of $\delta^{13}C$ among canopy trees in rainforests of French Guiana: Functional groups and canopy integration. *Oecologia* 124 : 454-468.

CARSWELL, F.E., A.L. COSTA, M. PALHETA, Y. MALHI, P. Meir, J.d.P.R COSTA, M.L. RUIVO, L.S.M. LEAL, J.M.N. COSTA, R.J. CLEMENT et J. GRACE, 2002. Seasonality in CO_2 and H_2O flux at an eastern Amazonian rain forest. *J. of Geophysic. Res.* 107, D20, 8076, doi:10.1029/2000JD000284.

CHAVE J., B. RIERA et M.A. DUBOIS, 2001. Estimation of biomass in a neotropical forest of French Guiana: spatial and temporal variability. *J. Trop Ecol* 17 : 79-96.

FALGE E., et co-auteurs, 2001. Gap filling strategies for long term energy flux data sets. *Agri. For. Meteo.* 107 : 71-77.

GRACE, J. et Y. MALHI, 2002. Carbon dioxide goes with the flow. *Nature,* 416 : 594-595.

MALHI Y., D.D. BALDOCCHI, et P.G. JARVIS, 1999. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant, Cell Envir.* 22 : 715-740.

MILLER S. D., M.L. GOULDEN, M.C. MENTON, H.R. DA ROCHA, H.C. DE FREITAS, A.M.E. SILVA FIGUEIRA et C.A.D. DE SOUSA, 2004. Biometric and micrometeorological measurements of tropical forest carbon balance. *Ecol. Applic.* 14(4) : 114-126.