

Le site-atelier de HESSE (Jeune hêtraie de plaine gérée)

Annexe : mesures de flux sur le site de Fougères

Rapport Annuel 2008

Coordinateur **André Granier**
UMR INRA-UHP Ecologie et écophysio­logie forestières.
Centre INRA de Nancy, 54280 Champenoux
tel 03 83 39 40 38
agranier@nancy.inra.fr

Participants :

1. Bernard Longdoz, Daniel Epron, Pascale Maillard, Dominique Gérard, Oliver Brendel, Nathalie Bréda, Patrick Gross, Bernard Clerc, Jean-Marie Gioria, Pascal Courtois
2. Doctorants : Marion Zapater, Pauline Gaudin



INRA

Nancy-Université
Université
Henri Poincaré

Décembre 2008

Introduction - Faits marquants

- Cette année 2008 est la 13^{ème} année de mesure sur le site de Hesse-1. Nous avons rédigé un article (Granier et al., 2008) qui fait le point sur la série temporelle 1996-2005, portant notamment sur la variabilité inter-annuelle des flux d'eau, de carbone et de la croissance du peuplement. Cette analyse porte sur les grands déterminants climatiques et de gestion de cette variabilité.
- Parallèlement à ces activités de suivi sur Hesse-1, des opérations de recherche ont vu leur démarrage en 2008 :
 - La thèse de Pauline Gaudin (co-encadrement A Granier et A Tuzet, EGC Paris-Grignon) qui porte sur la modélisation des transferts hydriques dans le système sol-arbres-atmosphère. Ce travail comporte une composante acquisition de données et de paramètres pour le modèle.
 - Le projet ANR « CATS » (coord. D Epron, EEF-Nancy) dont l'objectif est d'améliorer les connaissances sur l'acquisition et le transfert du carbone dans l'arbre et dans le sol. Ce projet repose sur des marquages isotopiques d'arbres *in situ* au moyen de $^{13}\text{CO}_2$. Des expérimentations (une préliminaire a été réalisée en 2008) se dérouleront en parallèle sur pin maritime et chêne (D Loustau, C Damesin et E Dufrêne). Un système de marquage original a été développé pour ce besoin ; par ailleurs le projet mobilise un gros équipement : le système TDLS qui permet de mesurer en continu en phase gazeuse l'abondance respective en ^{12}C et ^{13}C .
- Sur le site de Hesse-2, le système d'exclusion des précipitations monté en 2007 a été maintenu. L'objectif est de quantifier la diversité fonctionnelle pour l'acquisition de l'eau d'espèces feuillues en mélange (hêtre, charme, chêne sessile et bouleau). Marion Zapater termine de rédiger sa thèse et 4 articles sur cette opération.

1. Qualité des mesures de flux net de CO_2

Des mesures de flux de CO_2 à l'interface écosystème-atmosphère sont effectuées avec un système de covariance de turbulences (CT) sur le site atelier de Hesse. Elles permettent d'estimer la productivité nette d'une hêtraie de plaine lorraine typique. Cependant, cette technique de mesure nécessite la définition claire d'une procédure incluant des choix méthodologiques, plusieurs corrections et hypothèses de travail (Finnigan et al., 2003 ; Rebmann et al., 2005). Il en résulte le risque d'estimer des valeurs de flux de qualité dégradée si les hypothèses ne sont pas remplies ou les corrections ne peuvent être réalisées de façon adéquate. Une série de tests ont été combinés (Longdoz et al. ; 2008) afin de sélectionner les données présentant une qualité suffisante pour participer à l'analyse du comportement de la hêtraie de Hesse. Le principal résultat de cette étude réalisée sur une saison de végétation (Longdoz et al. ; 2008) est que 68.9 % des mesures de nuit ne sont pas satisfaisantes. Si ces données sont remplacées par des estimations obtenues à partir de méthodes spécifiquement mises au point pour suppléer les données de CT manquantes (Moffat et al., 2007), la respiration de l'écosystème est augmentée de 24%. L'impact sur la photosynthèse est plus faible mais néanmoins significatifs (+16%). Le travail sur la procédure de calcul et la sélection des données est actuellement en cours d'application sur l'ensemble du jeu de données récolté à Hesse depuis 1996.

2. Variabilité temporelle

La hêtraie de Hesse, d'une quarantaine d'années, constitue en 2008 un puits de carbone puisque selon une première estimation la productivité nette annuelle de l'écosystème (NEE : Net Ecosystem Exchange = bilan net de carbone) serait de -526 gC m^{-2} , ce qui correspond à une forte séquestration de carbone. Cette valeur est supérieure à la séquestration en moyenne obtenue sur les années précédentes (376 gC m^{-2} par an, i.e. $3.76 \text{ tC ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$).

Le site de Hesse présente le double avantage d'avoir non seulement des mesures à long terme de la NEE mais aussi et des suivis d'accroissements en biomasse, grâce aux inventaires régulièrement réalisés. La relation entre la NEE annuelle et l'accroissement en biomasse (BI) n'est pas significative : selon les années, l'absorption de carbone par le peuplement est beaucoup plus forte ou plus faible que l'accroissement du peuplement (Fig. 1).

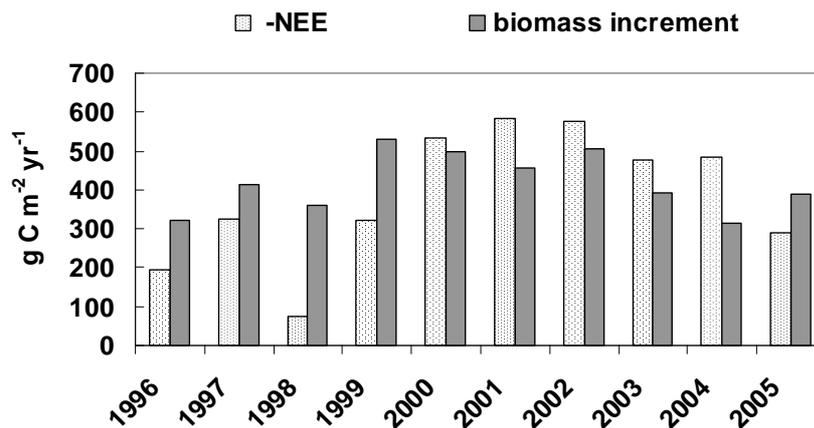


Figure 1. Productivité nette annuelle de l'écosystème (NEE) et accroissement annuel en biomasse pour le site de Hesse

Toutefois, nous avons observé (Granier et al., 2008) une corrélation beaucoup plus élevée et linéaire ($r^2 = 0.93$) sur une base de temps hebdomadaire à mensuelle mais uniquement lorsque l'on prend en compte la période allant du débourrement à la date d'arrêt de croissance radiale. Cela indique un couplage fort entre l'acquisition du carbone et la croissance des arbres, alors que pendant le reste de l'année, la perte de carbone par respiration qui provient en grande partie du sol ce qui découple logiquement cette relation.

Une forte corrélation entre l'accroissement annuel en biomasse des arbres et le déficit hydrique de l'année a été mis en évidence. Ce déficit peut être quantifié par le nombre de jours pendant lequel le contenu en eau du sol est inférieur au seuil de 40% de la quantité d'eau extractible par la végétation, limite en dessous de laquelle les processus d'acquisition du carbone sont perturbés (fermeture des stomates). La relation entre l'accroissement annuel (BI) et ce nombre de jour de stress (WSD) est présentée sur la figure 2, avec une séquestration plus faible pour les années les plus sèches. La prise en compte de l'effet différé (e.g. le stress de l'année 2003) pour expliquer la croissance de l'année suivante améliore cette relation.

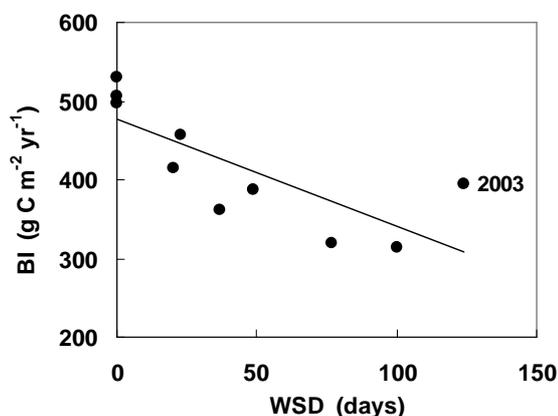


Figure 2. Relation entre l'accroissement annuel en biomasse des arbres (BI) et le nombre de jour de déficit hydrique du sol à Hesse

3. Signature isotopique

Les isotopes stables et plus particulièrement le ¹³C sont utilisés comme traceurs afin de mieux comprendre le trajet du carbone (point de passage, temps de résidence...) à partir de son absorption par les feuilles de la végétation jusqu'à sa séquestration ou son rejet par les processus de respiration. Le rapport ¹³C/¹²C constitue aussi une signature isotopique caractérisant de façon unique chaque composante de l'écosystème. La mesure combinée d'un flux net de CO₂ (contenant les produits de différents processus) et de sa signature isotopique peuvent alors renseigner sur l'importance relative des composantes qui entrent en jeu pour la constitution du flux net. La signature sert d'identifiant. Le sol est une bonne illustration de ce principe puisque les sources de CO₂ respiré sont multiples (racines fines, décomposition de la litière, décomposition de la matière organique du sol). Il est dès lors intéressant de mesurer et comprendre les fluctuations du flux de CO₂ sortant du sol et de sa signature isotopique (F_S et δ¹³C_{F_S}). Elles reflètent l'impact des variations climatiques et des modifications dans la contribution relative des sources de CO₂. Un spectrophotomètre à diode laser ajustable (TDLS) à été installé à

Hesse pour mesurer F_S et $\delta^{13}C_{FS}$ pendant la saison de végétation. Des variations relativement importante de $\delta^{13}C_{FS}$ (jusqu'à 1,5‰) ont été enregistrée à l'échelle saisonnière (Fig. 3) et plus surprenant à l'échelle journalière (Fig. 4) et ce pour l'ensemble des points échantillonnés.

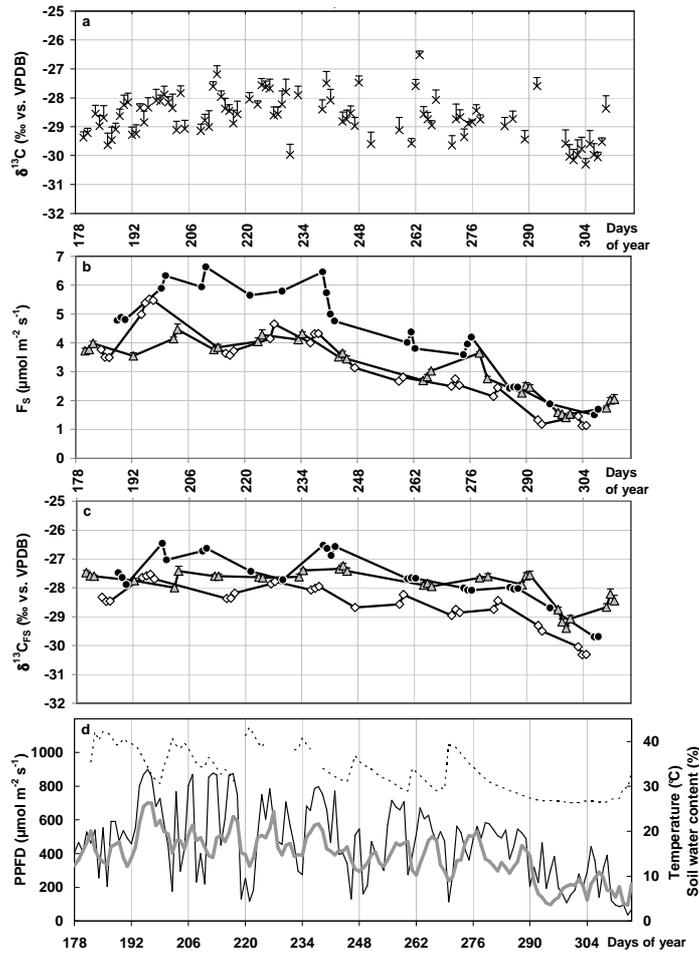


Figure 3. Variations saisonnières du flux de CO_2 sortant du sol (F_S) et de sa signature isotopique ($\delta^{13}C_{FS}$) au cours de la saison de végétation à Hesse

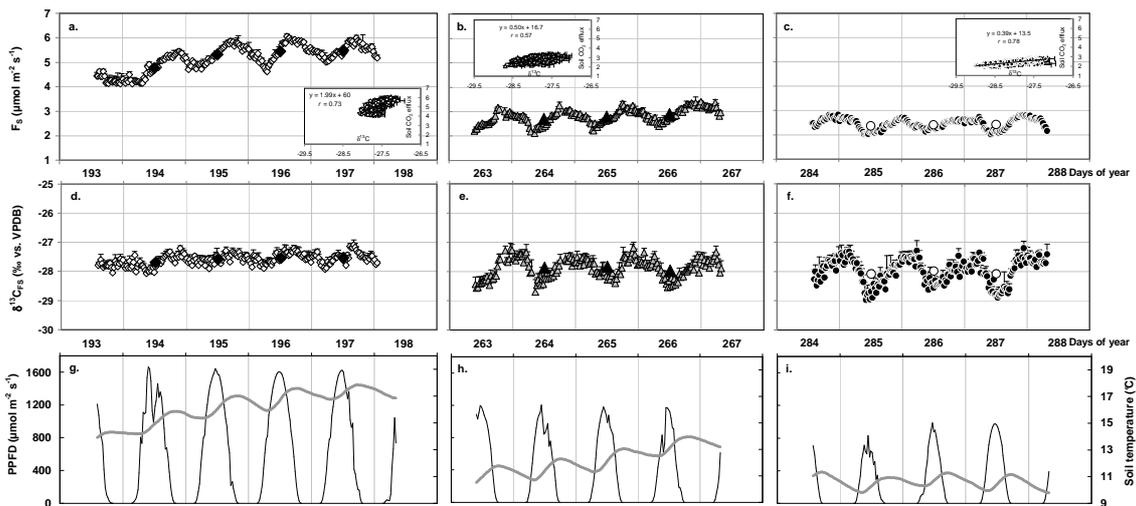


Figure 4. Exemple de variations journalières du flux de CO_2 sortant du sol (F_S) et de sa signature isotopique ($\delta^{13}C_{FS}$) à Hesse

Les valeurs obtenues fluctuent entre les valeurs de signatures qui caractérisent la décomposition de la litière et la respiration des racines qui ont été mesurées lors de séances d'incubation. Ces résultats suggèrent que les variations temporelles de $\delta^{13}C_{FS}$ sont associées avec des changements des contributions relatives des composantes hétérotrophique et autotrophique de la respiration du sol au cours de la journée et de la saison.

ANNEXE

Mesure des échanges de CO₂ et H₂O à Fougères

Début juillet 2008, l'UMR EEF a mis en place, avec la collaboration de l'UMR SAS de l'INRA de Rennes, un système de covariance de turbulence (CT) au sommet d'une tour au milieu de la parcelle de jeunes hêtres FOU-2 (± 40 ans) à Fougères (Bretagne, 35). Ce système permet de mesurer les échanges de CO₂ et de vapeur d'eau entre cette hêtraie et l'atmosphère. La quantité de carbone stockée dans cet écosystème depuis le début des mesures est de l'ordre de 225 gC m⁻². On peut remarquer sur la figure 1 que le taux d'accumulation de carbone dans l'écosystème est relativement régulier pendant la saison de végétation et se ralentit progressivement durant le mois de septembre pour arriver à une stabilisation (plus de séquestration) en fin de mois lorsque les capacités photosynthétiques sont fortement réduites.

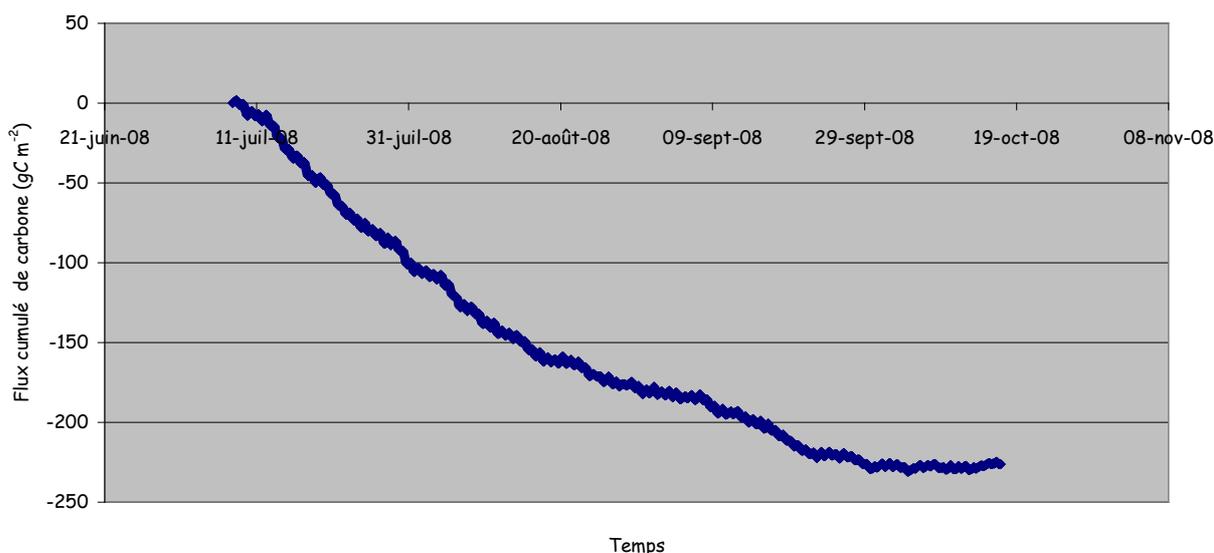


Figure 1 : Flux cumulé de carbone séquestré par la parcelle de hêtre à Fougères

L'espèce et l'âge de la parcelle étudiée étant identiques à ceux du site atelier de Hesse nous avons comparé les mesures lors d'un épisode climatique présentant des conditions relativement semblables sur les deux sites (du 7 au 13 juillet 2008). Les données (figure 2) montrent un comportement comparable durant la nuit avec par conséquent des taux de respiration proches. Par contre, en journée, la parcelle de Hesse absorbe plus de CO₂ ce qui tend à démontrer une capacité photosynthétique plus importante. Les analyses sont en cours afin de confirmer ces résultats préliminaires et connaître les causes des différences constatées entre les deux sites.

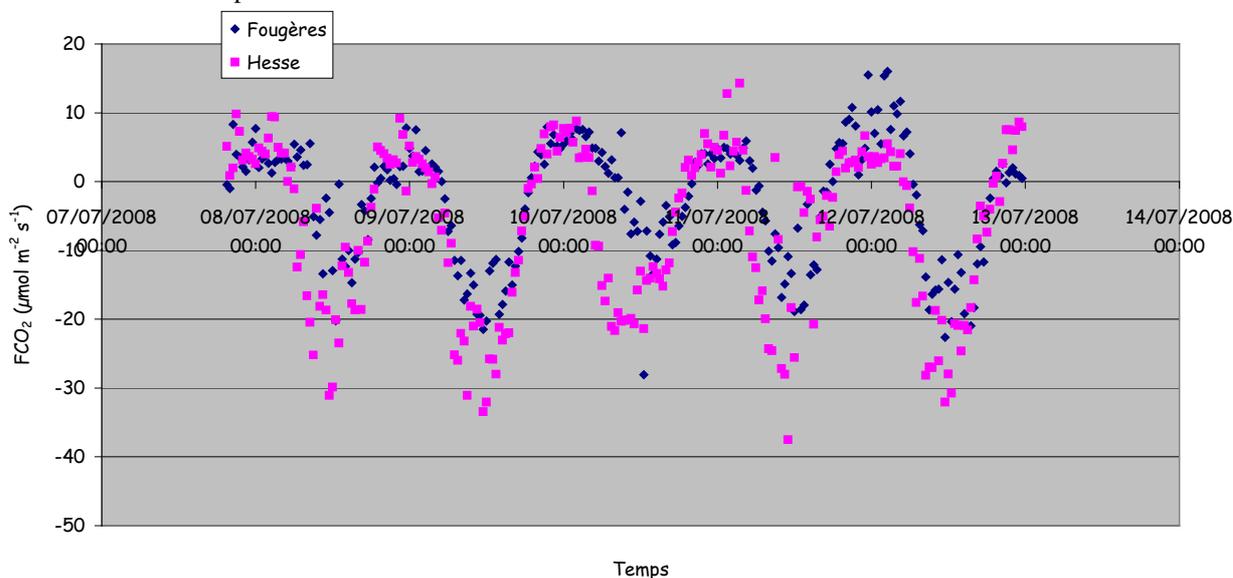


Figure 2 : Flux de CO₂ échangé avec l'atmosphère par les parcelles de hêtres à Fougères et Hesse

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Revue à comité de lecture

- Granier, A., Bréda, N., Longdoz, B., Gross, P., Ngao, J.: Ten years of fluxes and stand growth in a young beech forest at Hesse, North-eastern France, *Ann. For. Sci.*, 64, 704-716, 2008.
- Longdoz, B., Gross, P., Granier, A.: Multiple quality tests for analysing CO₂ fluxes in a beech temperate forest, *Biogeosciences*, 5, 719–729, 2008.
- Moffat, A. M., Papale, D., Reichstein, M., Hollinger, D. Y., Richardson, A. D., Barr, A. G., Beckstein, C., Braswell, B. H., Churkina, G., Desai, A. R., Falge, E., Gove, J. H., Heimann, M., Hui, D., Jarvis, A. J., Kattge J., Noormets, A., and Stauch, V. J.: Comprehensive comparison of gap-filling techniques for eddy covariance net carbon fluxes, *Agric. For. Meteorol.*, 147 (3–4), 209–232, 2007
- Rebmann, C., Gockede, M., Foken, T., Aubinet, M., Aurela, M., Berbigier, P., Bernhofer, C., Buchmann, N., Carrara, A., Cescatti, A., Ceulemans, R., Clement, R., Elbers, J. A., Granier, A., Grunwald, T., Guyon, D., Havrankova, K., Heinesch, B., Knohl, A., Laurila, T., Longdoz, B., Marcolla, B., Markkanen, T., Miglietta, F., Moncrieff, J., Montagnani, L., Moors, E., Nardino, M., Ourcival, J. M., Rambal, S., Rannik, U., Rotenberg, E., Sedlak, P., Unterhuber, G., Vesala, T., and Yakir, D.: Quality analysis applied on eddy covariance measurements at complex forest sites using footprint modelling, *Theor. Appl. Climatol.*, 80, 121–141, 2005