

## Suivi d'un site atelier forestier de Hesse en Moselle fortement instrumenté, partenaire de réseaux nationaux et internationaux.

<sup>1</sup>Pascal Courtois, André Granier, Patrick Gross, Bernard Longdoz, Bernard Clerc, François Willm

**Résumé :** *Le site atelier de la forêt de Hesse a deux objectifs, d'une part, de quantifier la capacité de stockage du CO<sub>2</sub> par le massif et d'autre part, de comprendre l'impact du climat, des extrêmes climatiques et de la sylviculture sur le fonctionnement du peuplement et sur sa croissance. Sur deux parcelles, des installations effectuent en continu l'acquisition de données relatives à l'évolution de ce peuplement, à travers certains de ses individus (flux de sève, circonférences), son couvert (flux de CO<sub>2</sub> et vapeur d'eau entre les différents étages et l'atmosphère, rayonnement au travers du couvert), et de données climatiques (températures, humidités, rayonnements, composantes du vent, pluie). Ces installations et ces données font l'objet d'un suivi hebdomadaire pour pallier d'éventuelles anomalies, détériorations, pannes ou dérives.*

**Mots Clés :** Bioclimatologie, Carbone, Flux, Forêt, Ecosystème, Site atelier, Tour à flux, Sécheresse

### Introduction

Le site atelier de la forêt de Hesse, en Lorraine, a été mis en place par l'Inra de Nancy en 1996, d'une part, pour quantifier la capacité de stockage du CO<sub>2</sub> par le massif forestier et, d'autre part, pour comprendre l'impact du climat, des extrêmes climatiques et de la sylviculture sur le fonctionnement du peuplement et de sa croissance.

Il répond à des standards méthodologiques définis par les réseaux nationaux et internationaux dans lesquels il s'inscrit. Devenu un site référence, où interviennent depuis longtemps des équipes de l'Inra Nancy et, où d'autres laboratoires nationaux et internationaux viennent également y installer leurs propres dispositifs Il remplit ses objectifs de caractérisation par la réalisation de mesures automatiques acquises en continu, en relation avec des campagnes de mesures ponctuelles et/ou régulières réalisées par différents opérateurs. Plus précisément, les données climatiques recueillies en continu, sont de plusieurs natures : rayonnements dans les différents étages du couvert forestier, précipitations, température de l'air et du sol, humidité atmosphérique et humidité du sol, vent (force et direction y compris dans sa composante verticale).



**Photo 1 :** Tour à flux, Hesse

<sup>1</sup>, UMR Inra HUP Ecologie & Ecophysiologie Forestière, Equipe Bioclimatologie - 54280 Champenoux  
☎ 03 83 39 73 00 - [courtois@nancy.inra.fr](mailto:courtois@nancy.inra.fr)

Ces variables permettent d'interpréter les mesures écophysiologicals, traduisant la réaction de l'écosystème forestier ou d'un échantillon d'arbres le composant : accroissement en circonférence des arbres, mais aussi flux de sève dans les troncs, flux de chaleur, de carbone et d'eau entre les compartiments de l'écosystème et l'atmosphère.

Chaque semaine, nous effectuons des vérifications de maintenance sur site et nous transférons les données acquises vers un PC de sauvegarde au centre Inra de Nancy pour une phase de contrôle de leur format et de leur contenu avant archivage. Elles seront ensuite analysées et/ou comparées à d'autres données produites par des opérateurs de terrain.

Avec la volonté de connaître précisément et de façon exhaustive sur le long terme, le comportement écophysiological d'une hêtraie de plaine en climat tempéré, le site atelier de Hesse a déjà informé les chercheurs impliqués sur l'impact des aléas climatiques et sur les opérations sylvicoles. La canicule et l'ensoleillement de l'année 2003 a apporté des informations sur les réactions de l'écosystème et a permis de quantifier une activité photosynthétique accrue qui n'a pas été profitable autant que l'on aurait pu l'espérer ; en effet, à cause de la sécheresse qui s'en est suivie la forêt de Hesse a rejeté plus de CO<sub>2</sub> qu'elle n'en a capté.

### 1. Matériel et Méthode

Le site de Hesse 1, opérationnel en 1996, est une hêtraie de plaine de 35 ans de moyenne d'âge. Le site de Hesse 2, opérationnel depuis 2002 est une régénération naturelle de peuplement mélangé (Hêtre majoritaire) d'une quinzaine d'années.

La gestion sylvicole du massif sous la responsabilité de l'agence ONF<sup>2</sup> de Sarrebourg se fait en concertation avec les chercheurs de l'Inra de Nancy dans les parcelles environnantes des deux sites. Sur ces deux sites clôturés, la gestion sylvicole est assurée par les équipes de l'Inra. Des chercheurs de l'Inra ou de laboratoires extérieurs sont intéressés par les projets de recherche rattachés au site et participent à leurs décisions de gestion. Les données obtenues sont partagées dans une plus large communauté scientifique via des réseaux internationaux comme CarboEurope à l'échelle de l'Union européenne, et Fluxnet au niveau international.



**Photos 2 et 3 :** Acquisition des données in situ (vue de nuit)



**Photo 4 :** Anémomètre à coupelles (en bas), et anémomètre sonique au sommet de la tour

---

<sup>2</sup> Office National des Forêts

### **1.1 Instrumentation**

Sur chaque site, nous avons mis sur pied une structure métallique dominant le couvert forestier (22 m de hauteur pour Hesse 1 et 12,5 m pour Hesse 2) pour accueillir en permanence un anémomètre sonique. Cet appareil a la particularité de mesurer à très haute fréquence (20Hz, soit 20 fois par seconde) la vitesse du vent dans ses composantes de direction Nord-Sud, Est-Ouest, mais également dans sa composante verticale. Couplé à des mesures de concentrations en CO<sub>2</sub> et vapeur d'eau dans l'air, on calcule les flux de ces deux gaz échangés entre l'écosystème et l'atmosphère, selon le principe dit des corrélations turbulentes, ainsi que le flux de chaleur.

L'accroissement en circonférence est mesuré en continu sur 13 arbres grâce à des micro-dendromètres ; des capteurs de flux de sève sont installés sur 10 arbres de Hesse 1 et sur 22 arbres de Hesse 2.

En parallèle, les données dites « micro-météorologiques » sont générées au sommet de la tour par un pluviomètre, par un thermo-hygromètre et par des capteurs de rayonnement (incidents et réfléchis) dans les gammes de longueurs d'ondes infrarouges, de rayonnement solaire et de rayonnement photosynthétiquement actif, ainsi que le rayonnement global et le rayonnement net (absorbé, non réfléchi). D'autres capteurs sont positionnés pour constituer un profil vertical de rayonnement global à travers le couvert forestier, de température sous l'écorce d'un arbre, de température du sol, et d'humidité volumique du sol (plusieurs guides d'ondes multiplexés sur une centrale type TDR<sup>3</sup>). Des plaquettes de thermocouples viennent compléter le dispositif en mesurant le flux de chaleur dans le sol.

### **1.2 Mise à disposition des données**

Toutes ces données, générées automatiquement sont enregistrées soit par des centrales d'acquisition soit par un ordinateur ; ces matériels ainsi que les analyseurs de concentration (en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O dans l'air) sont regroupés dans une cabane maintenue hors gel grâce à un programme spécifique à chaque catégorie de données. Une fois par semaine, nous vérifions que chaque analyseur de gaz (à absorption infrarouge) indique une valeur comprise dans une fourchette centrée sur zéro lorsqu'on lui injecte de l'azote pur. Cette vérification concerne le dispositif d'analyse, c'est-à-dire aussi bien une dérive de l'appareil que son alimentation électrique, une défaillance de la pompe qui lui est associée, la propreté des tuyaux, l'encrassement des filtres à poussières, un mauvais branchement, une fuite, comme la saturation des pièges chimiques à CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O...

Nous collectons ensuite les données en nous assurant avant notre départ du site que leur acquisition s'opère correctement. Ces données alimentent alors une structure de répertoires de sauvegarde, ainsi que plusieurs fichiers comparatifs et récapitulatifs sur un PC de l'Inra de Nancy, accessible en lecture depuis le réseau local via un code utilisateur. Elles sont vérifiées hebdomadairement, après conversion des signaux (en tension électrique) en grandeurs physiques, par l'observation de l'évolution des valeurs et leur adéquation avec les conditions saisonnières. Avec cette vérification on détecte, voire on diagnostique d'éventuels dysfonctionnements sur un capteur.

Enfin, on rapporte les valeurs obtenues à celles mesurées à de moindres fréquences mais sur de plus grands échantillonnages par des opérateurs de terrain qui, aujourd'hui, transmettent directement ces résultats obtenus aux chercheurs. Mais ils pourraient bientôt rejoindre l'architecture de fichiers récapitulatifs et d'archives de données brutes (automatiques). Cette

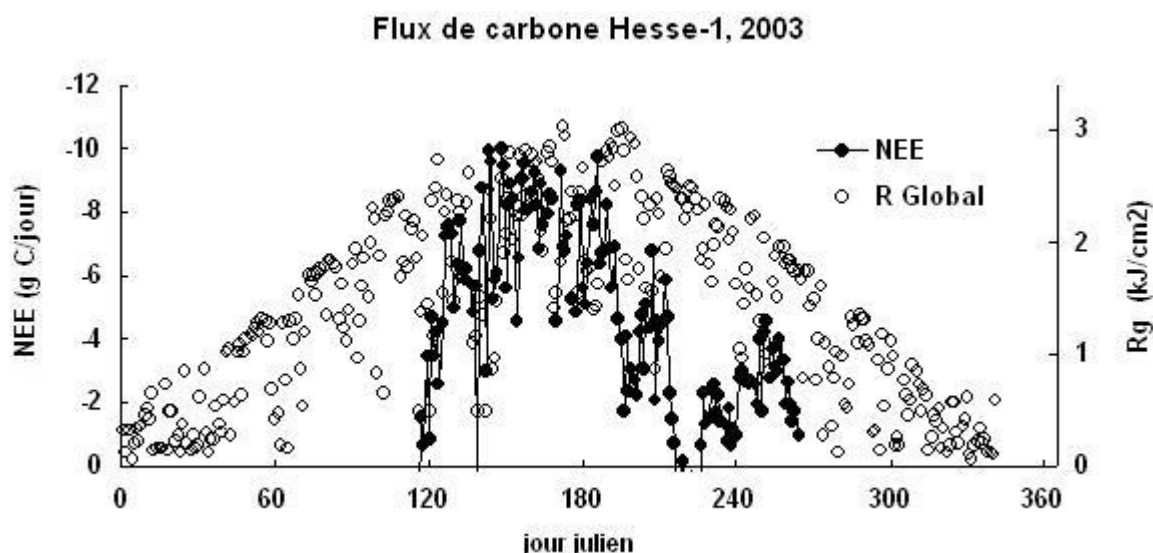
---

<sup>3</sup> TDR : Time Domain Reflectometry

architecture est appelée à évoluer vers une base de données proprement dite avec la possibilité d'accéder (par tris automatiques) à des résultats donnés via des requêtes par critères.

## 2. Résultats et applications

La sécheresse comme la canicule qu'a connues l'Europe de l'Ouest en 2003, ont pu être précisément caractérisées ainsi que la réponse de l'écosystème. Les chercheurs impliqués à Hesse ont pu développer une critique des connaissances antérieures liées aux impacts de la sécheresse en forêt et les confronter aux travaux des autres membres des réseaux dans lesquels s'inscrit le site atelier de Hesse. La chute prématurée d'un grand nombre de feuilles des hêtres avant la fin de l'été 2003, laissait naturellement présager un achèvement précoce de la saison photosynthétique et donc une séquestration du carbone amoindrie au regard du rayonnement et de la température dont le peuplement forestier a bénéficié. Les installations du site ont permis aux chercheurs d'estimer le nombre de tonnes à l'hectare de CO<sub>2</sub> piégé par la forêt de Hesse et l'ampleur du décalage entre le résultat de 2003 et les autres années à savoir 4 tonnes par hectare de carbone séquestré à Hesse en 2003 contre 6,5 tonnes à l'hectare habituellement.



**Figure 1 :** Variation du flux net de carbone journalier à Hesse (NEE) et du rayonnement global (Rg) au cours de l'année 2003. Le flux net décroît à partir du jour 180 (29 juin) pour s'annuler durant plusieurs jours à la mi-août !

Le flux net de carbone (Net Exchange Ecosystem) négatif observé sur la **figure 1**, représente le CO<sub>2</sub> effectivement piégé par l'écosystème au détriment de l'atmosphère. Il résulte du bilan de carbone qui oppose la respiration de l'écosystème à l'activité photosynthétique du peuplement. Lorsque cette dernière est supérieure à la respiration (productrice de CO<sub>2</sub>), le flux est négatif.

Une caractéristique originale du site de Hesse, tient à la jeunesse du peuplement étudié, impliquant des éclaircies rapprochées dans le temps (environ tous les 5 ans). Cette situation nous permet d'observer la réaction de l'écosystème aux choix sylvicoles appliqués.

## Conclusions et Perspectives

Le site atelier de Hesse est devenu un site de référence dans les forêts tempérées. Ceci est dû à son antériorité, à l'exhaustivité et à la fiabilité de ses données obtenues par des moyens importants et par un suivi rigoureux relevant d'une véritable démarche qualité. En effet, le choix des équipements du site atelier de Hesse et leur exploitation ont servi de modèle à d'autres sites ateliers parfois consacrés à d'autres essences forestières dans d'autres conditions sylvicoles (gestion forestière), pédologiques (type de sols) et climatiques.

Ce site est en constante évolution car il connaît des conditions climatiques à forte variabilité interannuelle. On y effectue des opérations sylvicoles fréquentes et des observations scientifiques régulièrement affinées. Ce site génère des données et des résultats toujours plus étoffés gagnant en intérêt à chaque cycle annuel.

## Bibliographie

- Granier A, Ceschia E, Damesin C, Dufrêne E, Epron D, Gross P, Lebaube S, Le Dantec V, Le Goff N, Lemoine D, Lucot E, Ottorini JM, Pontailler JY, Saugier B (2000) The carbon balance of a young beech forest. *Functional ecology*, 14, 312-325.
- Granier A, Biron P, Lemoine D (2000) Water balance, transpiration and canopy conductance in two beech stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 100, 291-308.
- Epron D, Ngao J, Granier A (2004) Interannual variation of soil respiration in a beech forest over a six-year study. *Ann. For. Sci.*, 61, 499-505.
- Ngao J, Epron D, Bréchet C, Granier A (2005) Estimating the contribution of leaf litter decomposition to soil CO<sub>2</sub> efflux in a beech forest using <sup>13</sup>C-depleted litter. *Global Change Biology*, 11, 1768-1776.