

# Le site-atelier de Fontainebleau - Barbeau (77)

Barbeau : taillis de charme sous futaie mature de chêne  
Fontainebleau : réseau de parcelles (hêtre, chêne, pin sylvestre)

## Rapport Annuel 2008

Coordinateur : Eric Dufrêne  
UMR Ecologie Systématique et Evolution (ESE)  
Laboratoire d'Ecophysiologie Végétale  
Université Paris-Sud-11, Bât 362  
91405 Orsay

### Participants :

**ESE – UMR 8079 (UPS-Orsay ; CNRS ; AgroParisTech)**

Stéphane Bazot (MC) ; Daniel Berveiller (IE) ; Alissar Cheaib (Post-Doc) ; Nicolas Chemidlin Prévot-Bourré (Doctorant) ; Claire Damesin (Pr) ; Nicolas Delpierre (Doctorant) ; Eric Dufrêne (CR) ; Thomas Eglin (Doctorant) ; Christophe François (CR) ; Chantal Fresneau (CR) ; Alice Michelot (Doctorante) ; Jérôme Ngao (Post-Doc) ; Jean-Yves Pontailler (IR) ; Laurent Vanbostal (T) et Kamel Soudani (MC)



# Introduction générale

## 1- Faits marquants de l'année 2008

### Expérimentation

#### - **Composition isotopique *in situ* :**

Le laboratoire d'écophysologie végétale a acquis en 2007 un nouveau spectrophotomètre (Trace Gas Analyzer TGA-100A, Campbell Sci.) à diode laser modulable en fréquence d'émission qui mesure à haute fréquence la composition isotopique en  $^{13}\text{C}$  du  $\text{CO}_2$ . Cet instrument a été installé sur le site de Barbeau à partir de juillet 2008 afin de caractériser les variations journalières et saisonnières des flux mesurés et la composition isotopique du  $\text{CO}_2$  issu des troncs de chênes sessiles. Le suivi porte sur trois arbres, dont la dynamique de l'azote est également étudiée. Suite à cette première expérimentation, le TGA-100A sera utilisé à partir de 2009 dans le cadre du projet ANR CATS (coordinateur D. Epron) impliquant trois sites forestiers de l'ORE : Barbeau (UMR ESE, Orsay), Hesse (UMR EEF, Nancy) et Le Bray (UMR EPHYSE, Bordeaux). L'objectif est de déterminer, pour différents stades phénologiques, le devenir du carbone assimilé dans le système arbre-sol. Pour cela, les houppiers d'arbres sélectionnés seront marqués au  $^{13}\text{CO}_2$ , et le  $\text{CO}_2$  dégagé par les différents compartiments sera suivi au TGA-100A. En pratique, 19 arbres ont été choisis dans la parcelle ONF N°7 de la forêt de Barbeau, puis élagués en fin d'hiver 2008. En avril 2008, le système racinaire de chaque arbre a été isolé des autres arbres par des tranchées et un film plastique. Le site de Barbeau-CATS a été clôturé en novembre 2008.

#### - **Dynamique de l'azote**

L'azote est localisé et quantifié dans les différents compartiments du système sol-arbre (feuilles, troncs, xylème, phloème, racines et sol) au cours de l'année en relation avec la phénologie (variations saisonnières). Les différentes formes de l'azote (azote total, protéines solubles et amino-acides) sont étudiées. De plus la localisation et la caractérisation des protéines de réserve est entreprise par électrophorèse (SDS page). La variabilité saisonnière des activités enzymatiques (GS, GOGAT, AS et activité protéase) impliquées dans le cycle de l'azote de l'arbre est suivi dans les différents compartiments de l'arbre. Finalement, les biomasses microbiennes du sol rhizosphérique et du sol non rhizosphérique sont estimées à chaque saison.

#### - **Caractérisation des turbulences sous couvert**

La mise en œuvre de la méthode *d'eddy covariance* pour la mesure de l'échange net de dioxyde de carbone et d'eau entre le peuplement et l'atmosphère suppose un niveau de turbulence atmosphérique élevé au sein du volume étudié. En atmosphère stable, un découplage des flux situés au-dessus et au-dessous de la canopée peut se traduire par un « écoulement » de  $\text{CO}_2$  (flux advectif horizontal), non mesuré par le système principal. Cela a pour principal effet une sous-estimation des flux respiratoires nocturnes. Le site de Barbeau est situé sur un plateau en bordure de vallée de Seine, il est donc potentiellement concerné par les flux de drainage. Entre juillet 2007 et juin 2008, nous avons mesuré les vitesses et directions de vent sous couvert à l'aide d'anémomètres soniques placés le long de la tour à flux (15 et 3 m, collaboration FUSAGx M. Aubinet). Cette campagne de mesures a permis la mise en évidence d'un écoulement préférentiel dans le sens de plus grande pente, en conditions de faibles turbulences nocturnes. La fréquence des découplages directionnels est affectée par la phénologie du peuplement (plus élevée en phase feuillée). Nous suspectons donc l'existence de flux d'advection horizontaux pour le peuplement de Barbeau dont la caractérisation et la quantification restent à faire par la mise en œuvre d'un dispositif d'échantillonnage du gradient horizontal de  $\text{CO}_2$  dans le sens d'écoulement.

### - Mesures de télédétection rapprochée

Les capteurs de télédétection (NDVI) conçus par Jean-Yves Pontailler ont été réalisés et mis en service sur les différents sites du réseau (date de mise en service entre parenthèses)

Barbeau (printemps 2005)	Tchizalamou (automne 2006)
Paracou (automne 2006)	Hesse 1 (printemps 2007)
Le Bray (printemps 2007)	Puéchabon (printemps 2007)
Fontblanche (automne 2007)	Fougères FOU2 (printemps 2008)

Ces capteurs permettent un bon suivi de la phénologie des différents couverts végétaux. Les mesures de Puéchabon montrent une lente dérive du signal NDVI depuis la mise en place du capteur. Un second capteur a été envoyé sur place afin de déceler l'origine du phénomène (état de la végétation ou problème d'instrumentation). L'analyse des données et leur comparaison avec les données satellitaires MODIS est prévue en 2009.

### - Télédétection satellitaire et phénologie

Une comparaison entre les produits du satellite MODIS et la base de données phénologiques du RENECOFOR (51 parcelles de chênes et de hêtres réparties sur toute la France) a montré les limites de ces données satellitaires pour estimer avec une bonne précision les dates de débourrement à une échelle fine (parcelle). Toutefois, l'utilisation des données brutes et un traitement du signal adapté permettent d'améliorer la résolution temporelle et d'atteindre une précision de l'ordre de la semaine (Soudani *et al.*, 2008).

## Modélisation

### - Croissance et mortalité des arbres

Dans le cadre du projet QDiv, les données des sites de Hesse, Fougères et Fontainebleau sont utilisées pour développer (paramétrisation et calibration) un nouveau schéma d'allocation du modèle CASTANEA dans le but de simuler les effets à long terme des événements extrêmes (sécheresses principalement) sur la croissance et la survie des arbres. Ce travail de modélisation en cours doit permettre de simuler les réponses (croissance et survie) des arbres (hêtre et chêne dans un premier temps) dans des conditions de climat futur (scénarii IPCC et modèle climatique ARPEGE).

### - Phénologie : jaunissement

Dans le cadre de la thèse de Nicolas Delpierre, nous avons développé un nouveau modèle de jaunissement foliaire pour les espèces caducifoliées tempérées (Delpierre *et al.*, sous presse a). Ce dernier permet de simuler la variabilité interannuelle et entre parcelles, observée sur les parcelles du réseau RENECOFOR avec une bonne précision. Dans le cadre des changements climatiques en cours, les réponses phénologiques doivent être quantifiées finement en vue de prédire leur impact sur les variations des bilans de matières et d'énergie (travail en cours).

### - Fortes températures hivernales et fixation printanière de carbone dans les forêts européennes

Faisant suite à un hiver particulièrement doux, le printemps 2007 a été marqué par des températures élevées en Europe. A ces températures élevées étaient associés les plus forts flux de photosynthèse printaniers mesurés sur la dernière décennie pour cinq des six sites forestiers européens considérés (43°N-62°N). Après validation par comparaison avec les flux mesurés, le modèle CASTANEA a été utilisé en tant qu'outil de déconvolution du signal flux. Les analyses de sensibilité du modèle ont permis de quantifier l'impact des facteurs biologiques et climatiques sur l'accroissement des flux photosynthétiques observés au printemps 2007. Celui-ci apparaissait lié à un développement précoce de la canopée des espèces caducifoliées (ex : GPP printanière +40% par rapport à la moyenne décennale), ou à une levée précoce de l'acclimatation des processus de photosynthèse aux températures gélives des espèces sempervirentes (ex : GPP printanière +20% par rapport à la moyenne pour la pinède finlandaise d'Hyytiälä, et la pessière allemande de Tharandt) (Delpierre *et al.*, sous presse b).

## 2- Compléments quantitatifs

Arrivées – Départs (étudiants et chercheurs impliqués dans l'ORE)

Arrivées :

- Alissar Cheaib (post-doc) modélisation réserves, croissance, mortalité (ANR QDiv)
- Alice Michelot (doctorante) : « Analyse dendro-isotopique de l'impact des variations climatiques sur le fonctionnement de trois essences forestières à l'échelle saisonnière et interannuelle ». (dendrochronologie, isotopes stables, modélisation).
- Stéphane Bazot (MC) : bilan azote arbre et sol
- Jérôme Ngao : isotopes stables, marquage, TDL (projet CATS, postdoc CNRS)

Départs :

- Nicolas Chemidlin Prévot-Bouré : thèse soutenue en décembre 2008 sur la respiration du sol et des racines (voir encadré 1)
- Thomas Eglin : thèse soutenue en décembre 2008 sur la modélisation de la discrimination post-photosynthétique du  $^{13}\text{C}$  (modèle ISO-CASTANEA). (voir encadré 2)

## Publications

### revues internationales à comité de lecture

- Maunoury F., Berveiller D., Lelarge C., Pontailier JY., Vanbostal L. & Damesin C., 2007** - Seasonal, daily, and diurnal variations in  $\delta^{13}\text{C}$  of  $\text{CO}_2$  respired by tree trunks in a deciduous oak forest. *Oecologia*, **151** : 268-279.
- Ngao J., Longdoz B., Granier A. & Epron D., 2007** - Separating autotrophic and heterotrophic respiration in two young beech stands: Impact of corrections for root decomposition in trenched plots. *Plant and Soil*, **301** : 99-110.
- Chemidlin Prevost-Boure N., Ngao J., Berveiller D., Bonal D., Damesin C., Dufrêne E., Lata JC., Le Dantec V., Longdoz B., Ponton S., Soudani K. & Epron D., 2008** - Root exclusion through trenching does not affect the isotopic composition of soil  $\text{CO}_2$  efflux. *Plant and Soil*, (sous presse).
- Davi A., Barbaroux C., Dufrêne E., François C., Montpied P., Bréda N. & Badeck F., 2008** - Modelling leaf mass per area in forest canopy as affected by prevailing radiation conditions. *Ecological Modelling*, **211** : 339-349.
- Davi H., Barbaroux C., Francois C., le Dantec V. & Dufrêne E., 2008** - The fundamental role of reserves and hydraulic constraints in predicting LAI and carbon allocation in forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, (sous presse).
- Davi H., Baret F., Huc R., Weiss M. & Dufrêne E., 2008** - Effect of thinning on LAI variance in heterogeneous forests. *Forest Ecology and Management*, (sous presse).
- Delpierre N., Dufrêne E., Soudani K., Ulrich E., Cecchini S., Boé J. & François C., 2009** - Modelling interannual and spatial variability of leaf senescence for three deciduous tree species in France. *Agricultural and Forest Meteorology*, (sous presse a).
- Delpierre N., Soudani K., François F., Köstner B., Pontailier JY., Aubinet M., Bernhofer C., Granier A., Grunwald T., Heinesch B., Longdoz B., Misson L., Nikinmaa E., Ourcival JM., Rambal S., Vesala I. & Dufrêne E., 2009** - Exceptional carbon uptake in European forests during the warm spring of 2007 : a data-model analysis. *Global Change Biology*, (sous presse b).
- Eglin T., Fresneau C., Lelarge-Trouverie C., François C. & Damesin C., 2009** - Leaf and twig  $\delta^{13}\text{C}$  during growth in relation to biochemical composition and respired  $\text{CO}_2$ . *Tree Physiology*, (sous presse).
- Eglin T., Maunoury-Danger F., Fresneau C., Lelarge C., Pollet B., Lapierre C., François C. & Damesin C., 2008** - Biochemical composition is not the main factor influencing variability in carbon isotope composition of tree rings. *Tree Physiology*, **28** : 1619-1628.
- Jacques G. & Saugier B., 2008** - Les puits de carbone. Editions TEC & DOC, Lavoisier, Paris. 167 pp.

- le Maire G., François C., Soudani K., Berveiller D., Pontailier JY., Bréda N., Genet H., Davi H. & Dufrêne E., 2008** - Calibration and validation of hyperspectral indices for the estimation of broadleaved forest Leaf Chlorophyll Content, Leaf Mass per Area, Leaf Area Index and Leaf Canopy Biomass. *Remote Sensing of Environment*, **112**(10) : 3846-3864.
- Soudani K., le Maire G., Dufrêne E., François C., Delpierre N., Ulrich E. & Cecchini S., 2008** - Evaluation of the onset of green-up in temperate deciduous broadleaf forests derived from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data. *Remote Sensing of Environment*, **112**(5) : 2643-2655.
- Vitasse Y., Delzon S., Dufrêne E., Pontailier JY., Louvet JM., Kremer A. & Michalet R., 2008** - Leaf phenology sensitivity to temperature in European trees : do within-species populations exhibit similar responses ? *Agricultural & Forest Meteorology*, (sous presse).

### Thèses

- le Maire G., 2005** - Détermination du bilan de carbone de la forêt de Fontainebleau : apport de la télédétection pour la spatialisation des paramètres d'entrée. Thèse de Doct. en Sci., Univ. Paris-Sud, Orsay, 201 p. + annexes.
- Maunoury F., 2007** - Etude de la signature isotopique du carbone ( $\delta^{13}\text{C}$ ) du  $\text{CO}_2$  respiré et du cerne en relation avec le fonctionnement de l'arbre. Thèse de Doct. en Sci., Univ. Paris-Sud, Orsay, 77 p. + annexes.
- Berveiller D., 2008** - Etude de l'assimilation de carbone par le compartiment ligneux aérien de l'arbre. Thèse de Doct. en Sci., Univ. Paris-Sud, Orsay, 113 p.
- Chemidlin Prevost-Boure N., 2008** - Les respirations autotrophe et hétérotrophe du sol dans une chênaie tempérée. Thèse de Doct. en Sci., Univ. Paris-Sud, Orsay, 220 p.
- Eglin T., 2008** - Le déterminisme climatique et physiologique des variations saisonnières de la signature isotopique de la matière organique au sein d'arbre décidus. Thèse de Doct. en Sci., Univ. Paris-Sud, Orsay, 223 p

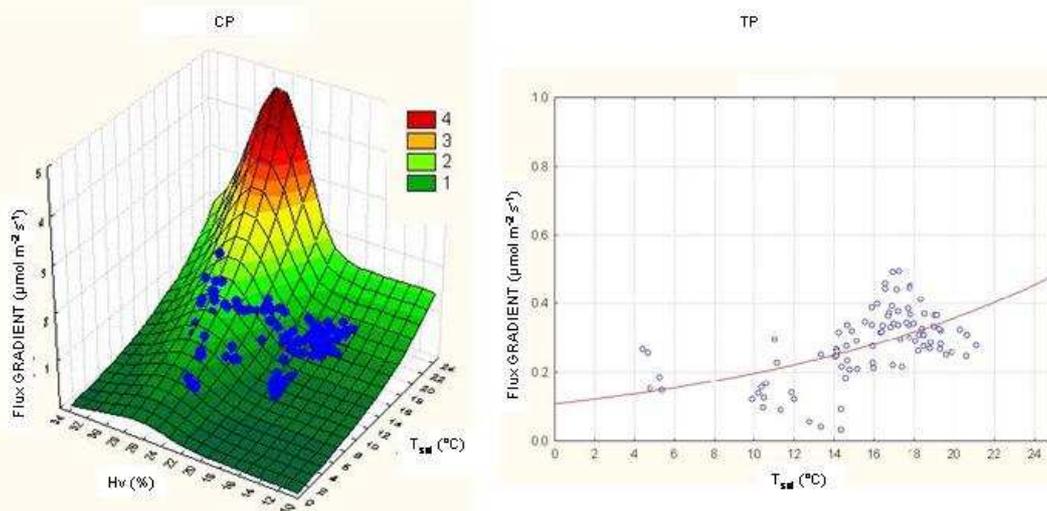
### Chapitre d'ouvrage

- Davi H., François C., Ogée J., Dufrêne E., Ciais P., Bosc. A., & G. le Maire, 2008** - Tools for predicting the carbon cycle, in Response of temperate and Mediterranean forests to climate change: effects on carbon cycling, productivity and vulnerability, Chapter 9, Collection Science update, QUAE Editions, Versailles (sous presse)

## Encadré n°1 – Les respirations autotrophe et hétérotrophe du sol dans une chênaie tempérée (Thèse Nicolas Chemidlin Prévot-Bourre, 2008)

Actuellement, des désaccords subsistent quand à l'effet des changements climatiques sur l'évolution des stocks de C des sols à l'échelle globale. Pourtant, le stockage ou au contraire le destockage du C dans le sol est déterminant pour le statut de puits ou de source de C des écosystèmes terrestres. Cette balance entre entrées de C, *via* la matière organique, et sorties de C via les processus respiratoires de la biomasse aérienne et du sol (Respiration du sol,  $R_S$ ) pourrait être modifiée dans le cadre des changements climatiques. En effet, l'augmentation potentielle de la productivité des écosystèmes pourrait augmenter la respiration du sol, qui représente à elle seule 40 à 70% de la respiration écosystémique, conduisant à une possible altération de l'état de puits de C des écosystèmes terrestres. Néanmoins, d'autres études tendent à montrer que les processus physiologiques impliqués dans la respiration du sol pourraient s'acclimater aux nouvelles gammes de température, contrebalançant l'effet des changements climatiques. Ces observations « contradictoires » mettent en avant l'importance de bien comprendre la réponse de  $R_S$  face aux variations des facteurs climatiques du sol (température, humidité) et à des variations d'allocations de C, ce qui nécessite d'être en mesure d'appréhender séparément les composantes autotrophe et hétérotrophe ( $R_A$  et  $R_H$ , respectivement) de  $R_S$ . A l'échelle de chacune de ces composantes, il apparaît alors nécessaire de hiérarchiser les différents facteurs biotiques et abiotiques les influençant. Les objectifs de cette étude étaient de décomposer  $R_S$  en  $R_A$  et  $R_H$  d'une part ; et de déterminer l'effet de variations de facteurs biotiques et abiotiques sur le fonctionnement du sol d'autre part. Cette étude s'est principalement déroulée dans le site de Barbeau, un taillis de charme sous futaie mature de chêne en climat tempéré.

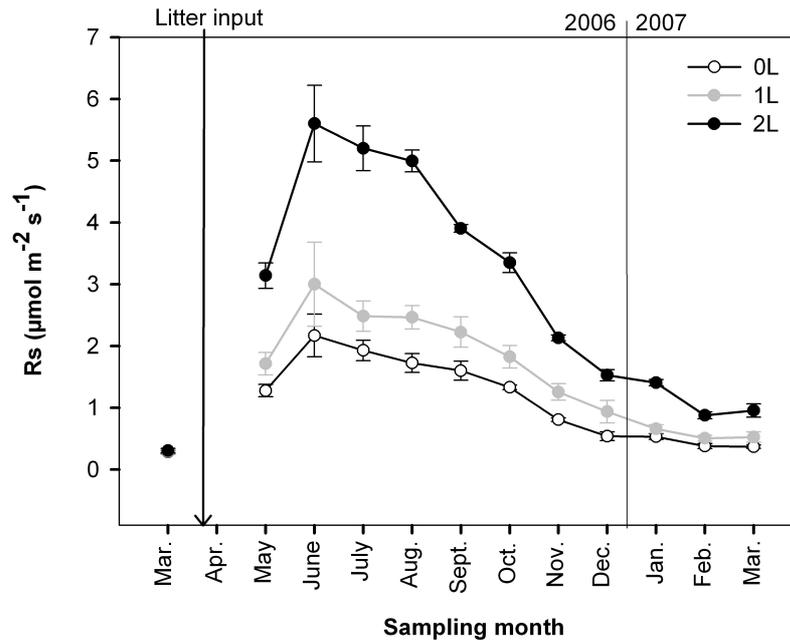
La décomposition de  $R_S$  en  $R_A$  et  $R_H$  a mis en jeu une méthode d'exclusion racinaire (« Trench plot ») couplée à des mesures de  $R_S$  et l'utilisation des isotopes stables du C en abondance naturelle. Chaque placette de Trench plot (TP) était couplée à une placette de contrôle (CP). Ce couplage entre différentes techniques a permis de tester l'impact de l'exclusion racinaire sur la composition isotopique du  $CO_2$  sortant du sol ( $\delta^{13}C_{R_S}$ ) en vue de l'utilisation des mesures de composition isotopique pour décomposer  $R_S$  en  $R_A$  et  $R_H$ . Les résultats ont permis de montrer que  $R_H$  contribuait à hauteur de 40 à 60% de  $R_S$ .  $R_S$  et  $R_H$  augmentent avec la température du sol ; l'augmentation de  $R_S$  étant modulée par l'humidité du sol (Figure 1).



**Figure 1.** Réponse de la respiration du sol aux variations de température et d'humidité dans la placette CP (à gauche) et à la variation de la température dans la placette TP (à droite) au cours de l'année 2006. Les points correspondent aux moyennes journalières mesurées les jours sans pluie et sans écoulement de l'eau de pluie dans le sol. La surface de réponse (à gauche) et la courbe (à droite, rouge) présentent les prédictions du modèle.

Au contraire, l'exclusion racinaire n'a pas affecté  $\delta^{13}C_{R_S}$ , ce qui laisse supposer que la différence de composition isotopique entre  $R_A$  et  $R_H$  est trop faible pour décomposer précisément  $R_S$  dans des écosystèmes forestiers sans alternance entre types photosynthétiques  $C_3$  et  $C_4$ .

L'effet d'une variation de l'apport de C au sol sur le fonctionnement du sol a été étudié *via* une modification quantitative des allocations de litière foliaire au sol suivant trois traitements : pas d'apports (0L), un apport en quantité naturelle (1L) et un apport doublé (2L) ; et par un suivi mensuel de  $R_S$  et de la structure des communautés bactériennes (BCS, méthode ARISA) du sol et de la litière. Les résultats montrent que  $R_S$  augmente fortement et non proportionnellement avec la quantité de litière allouée (Figure 2).



**Figure 2.** Dynamique temporelle de la respiration du sol ( $R_s$ ) dans chaque traitement. Chaque point correspond à la moyenne ( $n=4$ ) et les barres d'erreurs correspondent aux erreurs standard de la moyenne. Les cercles blancs correspondent au traitement 0L (Pas d'apport de litière) ; les gris au traitement 1L (Apports de litière en quantité naturelle) et les noirs au traitement 2L (Apports de litière doublés).

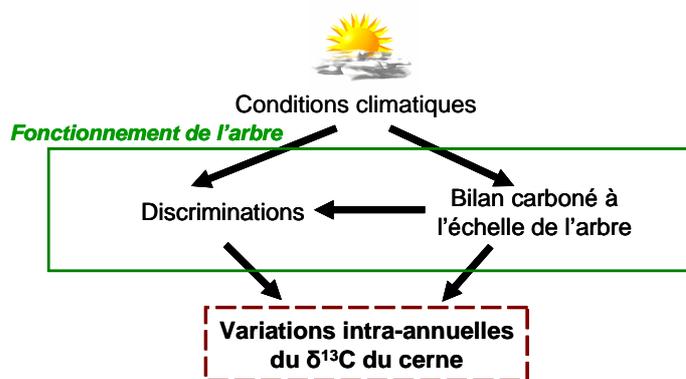
Cette forte augmentation de la respiration du sol ne s'explique pas uniquement par la litière apportée mais implique l'ensemble du sol, mettant en avant l'importance de la quantité de C au sol sur son fonctionnement. De plus, la modification quantitative des apports de C au sol sous forme de litière a induit des modifications de BCS du sol qui pourraient avoir un impact sur son fonctionnement. En plus de ces variations liées au traitement, des variations temporelles de BCS ont été observées au sein de chaque traitement, ceci entre des périodes présentant des gammes de température et de contenu en eau contrastées, deux facteurs déterminants aussi le niveau de respiration du sol.

L'ensemble de ces résultats traduit l'importance d'études intégrées de la  $R_s$ . En effet, une meilleure compréhension du fonctionnement du sol et de ses variations face aux changements climatiques nécessite d'être en mesure de prendre la forte variabilité de l'intensité respiratoire mais aussi des signaux isotopiques et du système sol en terme de contenu en C et de diversité spécifique des microorganismes, voire d'activité enzymatique des communautés microbiennes.

## Encadré n°2 – Modélisation des variations du $\delta^{13}\text{C}$ au sein de la matière organique du cerne : Application à la chênaie de Barbeau (Thèse de Thomas Eglin, 2008)

A l'échelle de l'arbre (de la feuille à la plante entière), la composition isotopique du carbone ( $\delta^{13}\text{C}$ ) de la matière organique est généralement considérée à différentes échelles temporelles (de l'instantané à la saison de croissance) comme un intégrateur des processus physiologiques et des conditions environnementales prévalant lors de l'assimilation du  $\text{CO}_2$  (Ehleringer *et al.*, 1988 ; Guehl *et al.*, 1993). En milieu tempéré, le bois des arbres est constitué de cernes annuels dont l'épaisseur et la composition isotopique sont les résultantes des processus physiologiques au sein de l'arbre et de leurs réponses aux conditions environnementales. Le  $\delta^{13}\text{C}$  de la matière organique du cerne est généralement étudié comme archive à l'échelle interannuelle mais il est actuellement fait l'hypothèse que des informations physiologiques et environnementales pourraient être obtenues à une résolution temporelle plus fine (échelle saisonnière).

L'objectif principal de ce travail est d'étudier le déterminisme du signal isotopique saisonnier au sein du cerne et de préciser quelles sont les informations physiologiques et environnementales qu'il est possible d'extraire (Figure 1). Notre approche a consisté à élaborer un modèle mécaniste simulant le bilan isotopique du carbone à l'échelle de l'arbre. Ce modèle, ISOCASTANEA, a été développé en FORTRAN 90 et mis en œuvre sur des dynamiques de  $\delta^{13}\text{C}$  intra-annuelles mesurées sur des cernes prélevés en conditions naturelles sur le site de Barbeau (site ECOFOR et CARBOEUROPE-IP) en 2006. Il a été testé sur le même site l'année suivante (2007). Simuler le  $\delta^{13}\text{C}$  de la matière organique du cerne nécessite de pouvoir modéliser le bilan carboné à l'échelle de l'arbre. Le modèle ISOCASTANEA est construit à partir de CASTANEA, un modèle développé au sein de l'équipe d'Ecophysiologie Végétale à l'Université d'Orsay pour simuler les flux et les stocks de carbone, d'eau et d'énergie dans un peuplement forestier équien et mono-spécifique. Afin de simuler les variations saisonnières du  $\delta^{13}\text{C}$  des réserves carbonées et de la matière organique totale au sein de l'arbre, nous avons choisi de prendre en compte et d'intégrer dans ce modèle :



**Figure 1 Déterminisme des variations intra-annuelles du  $\delta^{13}\text{C}$  du cerne en relation avec le climat et le fonctionnement de l'arbre.**

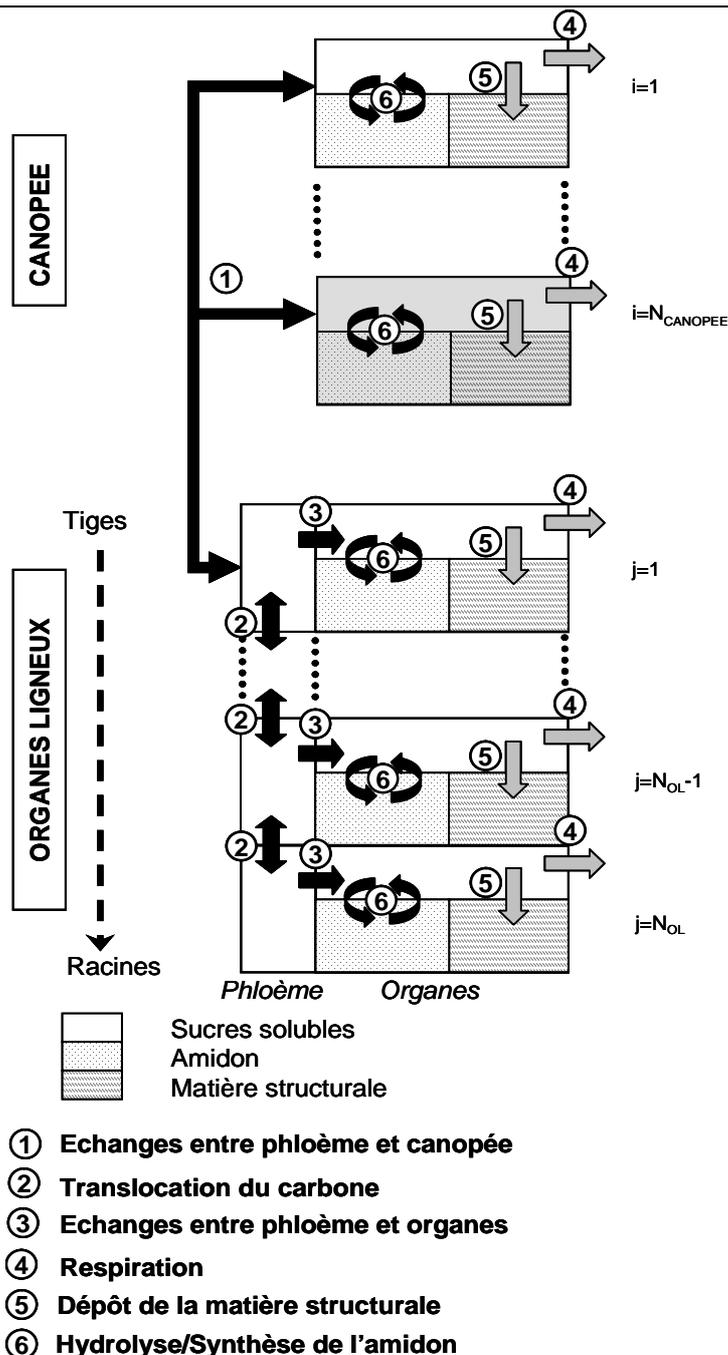
Le modèle de discrimination photosynthétique décrit par Farquhar *et al.* (1989) appliqué à l'échelle de la canopée.

Une modélisation simplifiée du transport du carbone au sein de l'arbre via un phloème explicitement décrit (Figure 2) et discrétisé en élément d'un mètre.

La distinction au sein des réserves glucidiques des deux principales formes de réserves carbonées dans les arbres : l'amidon et les sucres solubles (Figure 2).

Une modélisation simplifiée de la dynamique de déposition de la matière organique sans différenciation des différents composés.

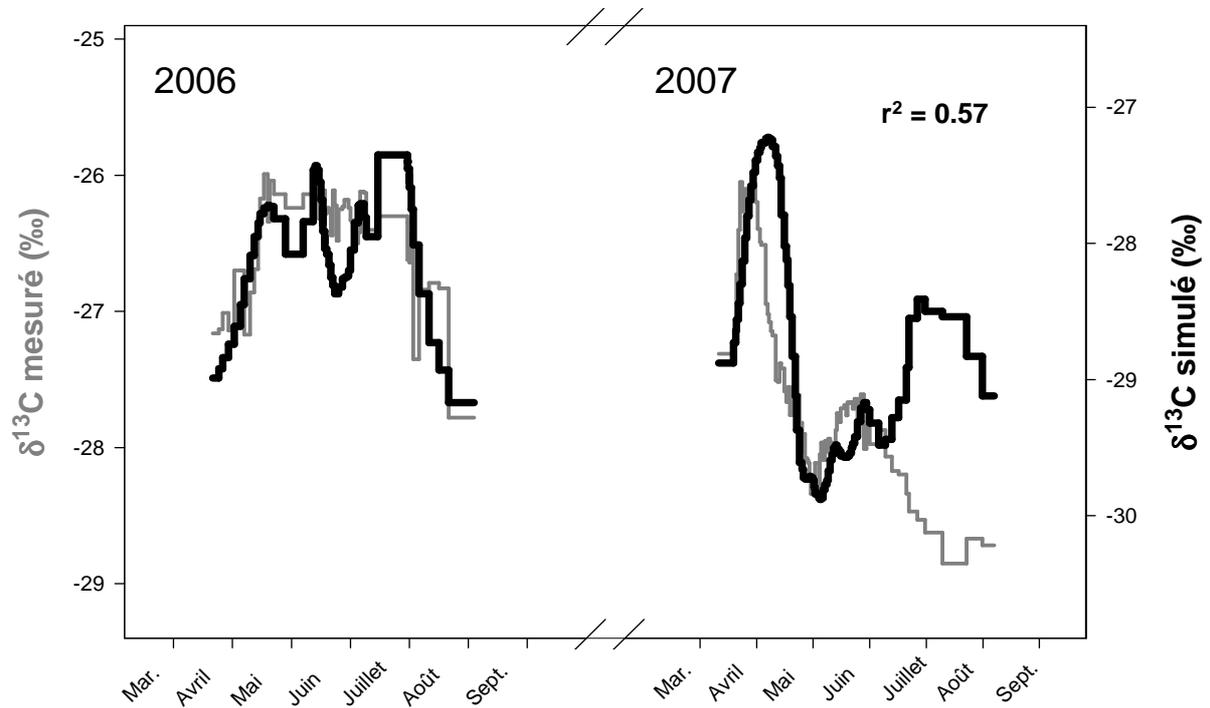
La possibilité d'associer des discriminations post-photosynthétiques aux différents processus pris en compte (synthèse d'amidon, respiration, translocation, biosynthèse des composés organiques).



**Figure 2 Schéma du modèle de translocation et d'allocation du carbone au sein de l'arbre**

Les variations du  $\delta^{13}\text{C}$  simulées et mesurées au sein des cernes des années 2006 et 2007 sont présentées en Figure 3. Les mesures sont issues d'un même arbre et d'une même carotte et ont été replacées dans le temps à partir des mesures de croissance radiale effectuées sur le site. Bien qu'il existe un décalage de niveau entre les simulations et les mesures, le modèle reproduit en grande partie les variations du signal isotopique au sein des cernes des années 2006 et 2007 et ceci en ne considérant que deux étapes de fractionnement isotopique : lors de la photosynthèse et lors de la synthèse de l'amidon (enrichissement de l'amidon par rapport aux sucres solubles). Toutefois, modèles et mesures divergent en fin d'année 2007. Il est donc probable que des processus non pris en compte interviennent en particulier dans la dernière partie du cerne. Les variations du  $\delta^{13}\text{C}$  simulées s'expliquent par l'utilisation progressive de réserves amyloacées enrichies en  $^{13}\text{C}$  en début de croissance puis par l'utilisation par la suite de carbone nouvellement assimilé dont le  $\delta^{13}\text{C}$  est

déterminé directement par la discrimination photosynthétique (ici principalement déterminée par l'humidité relative ou le VPD).



**Figure 3 Comparaison des simulations (ligne noire) aux dynamiques de  $\delta^{13}\text{C}$  intra-cerne mesurées (ligne grise) pour des cernes de l'année 2006 et 2007 issus d'une même carotte prélevée en décembre 2007 sur le site de Barbeau.**

Cette étude suggère que les variations saisonnières du  $\delta^{13}\text{C}$  de la matière organique au sein du cerne peuvent être majoritairement expliquées par la dynamique de mobilisation des réserves enrichies en  $^{13}\text{C}$  (amidon) en début de croissance et par l'influence des conditions environnementales sur la discrimination photosynthétique pendant le reste de la croissance. Les bonnes corrélations, généralement observées en interannuel en dendroclimatologie, entre le  $\delta^{13}\text{C}$  du cerne dans le bois d'été et les conditions climatiques peuvent être ainsi expliquées physiologiquement à l'échelle (intra-)saisonnière.