

Programme GICC Gestion et Impacts du Changement Climatique
Séminaire scientifique de restitution
11-12 mai 2006, PARIS

**Impact des dépôts azotés sur les changements de productivité des forêts :
apports de la dendroisotopie**

Elhani S.^{*}, Dupouey J.L.^{*}, Fernández Lema B.^{*}, Zeller B.^{**},
Brechet C.^{*}, Chabbert B.^{***}, Nys C.^{**}, Guehl J.M.^{*}

* : UMR Ecologie et Ecophysiologie Forestières, INRA - Nancy

** : Unité Cycles biogéochimiques, INRA - Nancy

*** : UMR-FARE, Equipe Parois et Matériaux Fibreux, INRA - Université de Reims

communication présentée par Jean-Luc Dupouey, mail : dupouey@nancy.inra.fr

Un résultat majeur obtenu au cours des dernières années dans le domaine de la recherche forestière consiste en la mise en évidence d'une augmentation de la productivité forestière depuis le début du XX^{ème} siècle, ou même lors des dernières décennies, dans différentes parties de l'Europe. Cependant les causes précises de telles observations ne peuvent pas être clairement identifiées parmi les différentes composantes des changements environnementaux (CO₂ atmosphérique, dépôts azotés...), notamment parce que l'on manque encore de méthodes opérationnelles (par exemple indicateurs environnementaux simples, modèles de croissance) permettant de séparer les effets sylviculturaux et environnementaux dans l'analyse des tendances à long terme de la croissance.

Dans le présent projet nous avons cherché à développer des outils pour des approches rétrospectives dendro-écologiques, non seulement pour l'évaluation des changements de productivité passés ou en cours, mais également pour analyser les causes de ces changements. En particulier nous avons analysé l'apport potentiel des outils isotopiques, en combinaison avec les analyses classiques de largeur de cernes d'accroissement. Cette extension constitue une voie peu explorée à ce jour mais prometteuse car les signatures isotopiques naturelles peuvent être associées à des caractéristiques fonctionnelles à l'échelle de l'arbre ou à celle de l'écosystème, offrant ainsi la possibilité de définition de nouveaux indicateurs environnementaux fiables. Nous avons mis en œuvre une approche isotopique duale :

- Composition isotopique en azote ($\delta^{15}\text{N}$). L'intensité des dépôts azotés atmosphériques peut affecter l'évolution du signal ^{15}N des arbres à travers un effet direct de composition isotopique de la source azotée des arbres et à travers des effets indirects de discrimination isotopique liés aux processus aboutissant à des pertes en azote du sol (dénitrification, drainage...). L'interprétation de ces signatures ^{15}N est compliquée par le fait qu'une partie de l'azote du bois est extrêmement mobile à l'échelle interannuelle, réduisant la résolution interannuelle du signal. Une phase de validation méthodologique restait nécessaire.

- La composition isotopique en carbone de la matière végétale ($\delta^{13}\text{C}$) est un indicateur de l'efficacité d'utilisation de l'eau (WUE, rapport photosynthèse/transpiration). L'analyse rétrospective du $\delta^{13}\text{C}$ des cernes a été effectuée sur fraction cellulose (carbone immobilisé) selon une procédure éprouvée et validée depuis plusieurs années dans l'unité EEF de l'INRA de Nancy.

Dans une première phase du projet, nous avons mis au point et testé l'approche ^{15}N dans les cernes en nous focalisant sur le hêtre (*Fagus sylvatica* L.) et en mettant à profit une expérimentation de marquage

artificiel fort préexistante. Plus précisément, il s'agissait de déterminer si l'élimination par extraction chimique de composés non liés aux structures pariétales, donnant accès à une fraction de composés azotés pariétaux 'immobilisés', permet d'améliorer l'analyse de la résolution temporelle du signal ^{15}N dans les cernes successifs. La concentration $[\text{N}]$ et la composition isotopique ($\delta^{15}\text{N}$) de l'azote ont été mesurées dans les cernes annuels d'arbres d'un jeune peuplement du Nord-Est de la France, âgés de 16 ans. Les analyses ont été effectuées sur des échantillons de bois avant et après l'extraction des composés labiles par des solvants organiques. Les arbres ont été soumis à un enrichissement en ^{15}N par une solution d'urée pulvérisée sur les feuilles. L'enrichissement a été effectué durant trois années successives: 1993, 1994 et 1995. Les arbres ont été échantillonnés en 2001. Le $\delta^{15}\text{N}$ du bois de l'arbre non marqué variait entre -4 et -7 ‰. Le marquage a conduit à une augmentation significative de $\delta^{15}\text{N}$ dans le bois brut pour les années 1994, 1995 et 1996. On a également trouvé des valeurs élevées de $\delta^{15}\text{N}$ dans les cernes formés avant et après la période de marquage. Cela traduit une forte mobilité de N entre les cernes. L'extraction a éliminé 36 % de l'azote total et 14 % du carbone. Cette procédure a permis d'améliorer la résolution inter-annuelle de $[\text{N}]$ et $\delta^{15}\text{N}$. Son application autorise l'utilisation de ces variables en dendroécologie pour détecter les modifications isotopiques au niveau des sources de N utilisées par les arbres.

Dans une seconde phase, nous avons entrepris une validation plus affinée de l'approche ^{15}N dans les cernes en exploitant une situation de marquage artificielle plus proche des conditions naturelles, liée à une expérimentation de fertilisation dans un peuplement âgé de 82 ans de hêtre en Forêt de Fougères (Bretagne). La résolution temporelle était étudiée ici par comparaison des cernes formés avant ou après fertilisation. Des analyses conjointes de largeur des cernes (croissance en diamètre) et de $\delta^{13}\text{C}$ ont été effectuées. Quatre traitements de fertilisation (N, Ca, NPKCa et témoins non fertilisés) ont été considérés. La fertilisation a eu lieu au cours de deux années successives (1973 et 1974) vingt ans avant l'échantillonnage des carottes de bois. Dans le cas du traitement témoin non fertilisé, une diminution continue de $\delta^{15}\text{N}$ était notée au cours du temps. Une nette divergence du signal $\delta^{15}\text{N}$ était notée pour les traitements avec fertilisation (augmentation de $\delta^{15}\text{N}$) comparativement au témoin (diminution de $\delta^{15}\text{N}$) à partir du début de la fertilisation (1973). Ainsi nous avons pu détecter rétrospectivement de façon précise l'intervention de la nouvelle source azotée liée à la fertilisation. Le traitement NPKCa a eu l'effet le plus important sur la croissance radiale (+29% par rapport au témoin), cependant que le traitement N n'a pas affecté la croissance. Dans le cas du traitement N on a également noté une diminution de WUE par rapport au témoin durant 6 années après fertilisation alors que pour le traitement NPKCa aucun effet significatif n'était noté.

En conclusion, l'utilisation conjointe de différents isotopes (^{13}C , ^{15}N et probablement aussi ^{18}O) en association avec les outils dendro-écologiques classiques s'avère potentiellement très pertinente pour l'interprétation causale environnementale des évolutions de productivité forestière. Il est possible maintenant de passer à la phase réellement opérationnelle concernant l'utilisation des isotopes stables comme indicateurs environnementaux dendro-écologiques. Nous nous attachons à rechercher les moyens et situations permettant d'aborder cette phase avec la considération de gradients géographiques dans le cadre de réseaux d'observations à grande échelle au niveau européen. Dans une perspective plus à long terme, il nous paraît nécessaire d'intégrer également une dimension modélisatrice dans une telle approche.