



Unravelling the influence of environment and development on intra-annual dynamics of wood formation and resulting tree-ring structure and isotope ratios

Responsable scientifique : Cyrille Rathgeber, UMR Silva

Partenaires Labex : Stéphane Ponton & Gonzalo Pérez-de-Lis, UMR Silva

Contexte —

Les cernes des arbres jouent un rôle majeur dans la documentation des changements climatiques passés et en cours et de leurs impacts sur les écosystèmes forestiers. Cependant, les reconstructions climatiques passées et les projections de croissance future restent entravées par une mauvaise compréhension de l'influence des facteurs environnementaux et développementaux sur les processus physiologiques qui régissent la formation du bois.

Objectifs —

Le projet WoodIsotop vise à faire avancer notre connaissance des interactions entre les facteurs environnementaux, les contraintes développementales, et les processus physiologiques impliqués dans la formation du bois. Nos investigations se concentrent sur une meilleure compréhension des mécanismes par lesquels, les variations saisonnières du climat, et les événements extrêmes, laissent des empreintes permanentes dans les cernes. Nous nous focalisons en particulier sur (i) l'identification des facteurs environnementaux influençant la dynamique intra-annuelle de la formation du bois et les caractéristiques des cernes formés (i.e. profil micro-densitométrique, caractéristiques anatomiques du bois, et variations intra-cerne de la composition isotopique) ; (ii) la compréhension des mécanismes impliqués ; et (iii) leurs coordinations temporelles.

Démarche —

Pour réaliser ce projet, nous nous sommes appuyés sur un réseau de placettes instrumentées composé de 3 peuplements mélangés de conifères, contenant 3 espèces, suivis sur 3-4 ans, et installés le long d'un gradient altitudinal dans le Donon (Vosges du nord). Le jeu de données a été complété pour contenir l'ensemble des informations concernant la dynamique de formation, l'anatomie quantitative et la composition isotopique ($\delta^{13}\text{C}$) des cernes. Nous avons de plus amélioré notre modèle de la dynamique de la formation du bois pour relier de façon précise la cinétique de différenciation cellulaire, la morphologie des trachéides, et les compositions isotopiques du bois, aux conditions environnementales concomitantes.

Résultats marquants —

En connectant les causes (conditions environnementales et développementales) et les conséquences (caractéristiques des cernes de croissance et signature isotopique du bois) grâce à une compréhension mécaniste des processus physiologiques impliqués dans la formation du bois, le projet WoodIsotop ne va pas seulement renforcer la fiabilité des variables dendrochronologiques utilisées pour les reconstructions climatiques, mais il va aussi réduire les incertitudes des futures évaluations de l'impact des changements climatiques sur la croissance des arbres, le fonctionnement des écosystèmes forestiers, et la quantification des flux échangés entre la biomasse terrestre et l'atmosphère.

Les résultats obtenus portent sur :

- L'attribution d'une fenêtre temporelle aux variations de densité et de la composition isotopique du carbone dans le cerne ;
- La mise en évidence du « chevauchement » temporel entre les sections de cernes (voir illustration) ;
- La mise en évidence d'un probable « isolement » des trachéides en formation qui seraient seulement alimentées en carbohydrates lors de leur création dans la zone cambiale, mais plus du tout lors de leur différenciation dans le xylème en développement ;
- L'acquisition d'indices suggérant que le dépôt de cellulose et l'imprégnation de lignine sont deux processus concomitants.

Principales conclusions —

Malgré de nombreuses difficultés méthodologiques inhérentes à la technique de suivi de formation du bois, nous avons pu suffisamment améliorer notre modèle statistique de la dynamique de la xylogénèse pour attribuer à chaque section de bois découpée à l'intérieur du cerne une fenêtre temporelle précise. Cela nous a permis de montrer que les sections de bois ainsi délimitée, bien que complètement séparée d'un point de vue spatial, se « chevauchent » en réalité largement d'un point de vue temporel. Ces sections ne peuvent donc pas fournir d'informations climatiques indépendantes, contrairement à ce qui est proposé régulièrement dans les publications scientifiques sur le sujet.

Perspectives —

Durant ce projet nous avons pu démontrer que notre approche était applicable et remettait en question les résultats acquis précédemment par des approches moins exactes. A l'heure actuelle, les résultats obtenus pour le sapin dans les Vosges à l'aide des variations intra-cerne de ^{13}C et les profils micro-densitométriques sont assez décevants d'un point de vue dendroécologique. Nous pensons que cela est due à la faible variabilité observée entre les sites d'études et les années de suivies, ainsi qu'au comportement physiologique de l'espèce qui change peu au cours de la période de végétation. Deux pistes sont envisagées pour prolonger ce projet : (1) poursuivre l'analyse de la coordination entre le dépôt de cellulose et l'imprégnation de lignine en utilisant la microscopie confocale, et comprendre les conséquences sur les variations du signal isotopique dans les cernes ; (2) comparer nos résultats avec les simulations d'un modèle de croissance incluant la discrimination isotopique du carbone dans les cernes (MUSICA) pour à la fois mieux interpréter nos résultats et vérifier la cohérence du modèle ; (3) utiliser notre méthodologie pour nous intéresser aux variations de ^{18}O dans les cernes de mélèze le long d'un gradient altitudinal en Suisse (Lötschental) pour lequel les contraintes climatiques sont beaucoup plus forte.

Valorisation scientifique —

Le projet WoodIsotop a d'ores et déjà donné lieu à :

7 articles scientifiques :

1. SADARI S, RATHGEBER CBK, ROZENBERG P, FOURNIER M. 2019. Phenology of wood formation in larch (*Larix decidua* Mill.) trees growing along a 1000-m elevation gradient in the French Southern Alps. *Annals of Forest Science*: 76–89.



2. ANDRIANANTENAINA AN, RATHGEBER CBK, PEREZ-DE-LIS G, CUNY H, RUELLE J. 2019. Quantifying intra-annual dynamics of carbon sequestration in the forming wood: a novel histologic approach. *Annals of Forest Science*: 1–12.
3. DE MICCO V, CARRER M, RATHGEBER CBK, CAMARERO JJ, VOLTAS J, CHERUBINI P, BATTIPAGLIA G. 2019. From xylogenesis to tree rings: wood traits to investigate tree response to environmental changes. *IAWA JOURNAL*: 155–182.
4. DELPIERRE N, LIREUX S, HARTIG F, CAMARERO JJ, CHEAIB A, ČUFAR K, CUNY H, DESLAURIERS A, FONTI P, GRIČAR J, HUANG J-G, KRAUSE C, LIU G, DE LUIS M, MÄKINEN H, MARTINEZ DEL CASTILLO E, MORIN H, NÖJD P, OBERHUBER W, PRISLAN P, ROSSI S, SADERI SM, TREML V, VAVRICK H, RATHGEBER CBK. 2019. Chilling and forcing temperatures interact to predict the onset of wood formation in Northern Hemisphere conifers. *Global Change Biology* 25: 1089–1105.
5. FRIEND AD, ECKES-SHEPARD AH, FONTI P, RADEMACHER TT, RATHGEBER CBK, RICHARDSON AD, TURTON RH. 2019. On the need to consider wood formation processes in global vegetation models and a suggested approach. *Annals of Forest Science* 76.
6. CUNY H, FONTI P, RATHGEBER CBK, ARX VON G, PETERS RL, FRANK DC. 2018. Couplings in cell differentiation kinetics mitigate air temperature influence on conifer wood anatomy. *Plant, Cell & Environment* 11: 328–11.
7. RATHGEBER CBK, SANTENOISE P, CUNY H. 2018. CAVIAR: an R package for checking, displaying and processing wood-formation-monitoring data. *Tree physiology* 38: 1246–1260.

3 présentations dans des conférences internationales :

- PÉREZ-DE-LIS G, RATHGEBER, CBK, PONTON S. Can we chop a tree-ring into time-slices? What wood formation dynamics can bring to intra-annual tree-ring sciences. Eurodendro 2019, 9-13 September 2019, Brno (Czech Republic).
- RATHGEBER CBK, SADERI S, ROZENBERG P. Wood formation phenology of larch trees growing along a 1,000 m elevation gradient in the French Southern Alps. *Topwood international conference*, 12-15 march 2019, Bariloche (Patagonia, Argentina).
- RATHGEBER CBK, SADERI M, CUNY H. How cell differentiation kinetics drive tree-ring structure plasticity over changing climate and site conditions. *Plasticity in plant vascular systems: roles, limits and consequences*. Multiscale plant vascular biology, Gordon Research Conference, 17–22 June 2018, Mount Snow (Vermont, USA).

2 posters présentés à l'occasion de congrès internationaux :

- Using intra-annual dynamics of wood formation to disentangle wood structure and C isotope signals in tree rings. Gonzalo Pérez-de-Lis, Cyrille B.K. Rathgeber & Stéphane Ponton. *Le Studium: Wood formation and tree adaptation to climate*, 23-25 Mai 2018, Orléans (France).
- Kinetics of wood formation: Are they helpful to explain climate effects on wood density and carbon isotope signals? Gonzalo Pérez-de-Lis, Cyrille B.K. Rathgeber & Stéphane Ponton. *GRC: Plasticity in plant vascular systems: roles, limits and consequences*, 16-22 juin 2018, Mount Snow (Vermont, USA).

Article et chapitre de livre en préparation :

- PÉREZ-DE-LIS G, RATHGEBER, CBK, FERNÁNDEZ-DE-UÑA L, PONTON S. Cutting time slices of tree rings — How intra-annual dynamics of wood formation help to decipher space for time conversion in tree-ring sciences.
- RATHGEBER CBK, PÉREZ-DE-LIS G, FERNÁNDEZ-DE-UÑA L, FONTI P, ROSSI S, TREYDTE K, GESSLER A, DESLAURIERS A, FONTI MV, PONTON S. Anatomical, developmental and physiological basis of tree-ring formation in relation with environmental factors. In SIEGWOLF R, BROOKS JR, RODEN J, SAURER M (Eds), *Stable Isotopes in Tree Rings: Inferring Physiological, Climatic and Environmental Responses*. *In preparation for Springer Series on Tree Physiology*.

Effet levier du projet —

Ce projet nous a permis de recruter Gonzalo Perez-de-Lis en Post-doc ; ce qui a motivé sa compagne, Laura Fernández de Uña, à déposer une demande de bourse AgreenSkill+ qu'elle a obtenue. L'expertise de L. Fernández sur la discrimination isotopique et la phénologie a été pertinente pour l'interprétation de résultats du projet WoodIsotop. Nous avons aussi obtenu nouveau projet Labex + Région pour prolonger le post-docs de Gonzalo Perez-de-Lis. Gonzalo a participé activement à la vie scientifique de l'équipe, notamment à la thèse de la doctorante Anjy Andrianantenaina, mais aussi de manière occasionnelle aux projets de recherche des étudiants de master et de visiteurs scientifiques.

Ce projet nous a également aidé à démarrer une collaboration avec Andrew Friend de l'université de Cambridge (Royaume Uni). En effet, une partie des données préparées par G Perez-de-Lis a été partagée avec l'équipe d'A. Friend pour développer un module de formation du bois destiné à être intégré à leur modèle global de dynamique de la végétation (DGVM Hybrid).

Les résultats de ce projet devraient nous permettre de développer nos collaborations avec le WSL (Krestin Treydte, Patrick Fonti & Georg von Arx) et d'envisager la soumission de nouveaux projets communs.