



UNIVERSITÉ  
DE LORRAINE



U.F.R. Faculté des Sciences et Technologies

Secteur Biologie

École Doctorale Ressource Procédés, Produits, Environnement (RP2E)

## HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

# ÉCOPHYSIOLOGIE DE LA FORMATION DU BOIS : CONCEPTS, METHODES ET APPLICATIONS

**CYRILLE RATHGEBER**

*Soutenance le 5 septembre 2019 à 14 heures  
Centre INRA Grand Est – Nancy*

**Membres du jury :**

<b>Rapporteurs :</b>	<b>KATHY STEPPE</b>	Directrice de Recherche, Université de Gant
	<b>ANDREW FRIEND</b>	Professeur, Université de Cambridge
	<b>CHRISTOPHE PLOMION</b>	Directeur de recherche, INRA Bordeaux
<b>Examineurs :</b>	<b>CLAIRE DAMESIN</b>	Professeure, Université Paris Sud
	<b>HANS-PETER KAHLE</b>	Professeur, Université de Freiburg
	<b>DANIEL EPRON</b>	Professeur, Université de Lorraine
<b>Invités :</b>	<b>MERIEM FOURNIER</b>	Directrice du centre INRA, INRA Grand Est – Nancy
	<b>JOËL GUIOT</b>	Directeur de recherche, CNRS

---

*Équipe EcoSilva, Silva (UMR 1434 INRA - AgroParisTech - Université de Lorraine),*

*Centre de Recherche INRA Grand Est – Nancy,*

*Route de l'Arboretum, 54280 Champenoux, France*

*Université de Lorraine,*

*Faculté des sciences & Technologies, BP 239 F-54506 Vandoeuvre lès Nancy*



## **Summary**

Wood, the most abundant biological compound on earth, is of crucial importance for Humankind and Biosphere. Although tree rings and the process of xylogenesis that creates them have long been under the microscope of biologists, it is only recently that the invention of new techniques has made it possible to monitor the intra-annual dynamics of xylem formation by the cambium, along with the environmental conditions that influence it.

In most regions of the world cambial activity follows a seasonal cycle. At the beginning of the growing season, when temperatures increase, the cambium resumes activity. During the growing season, new xylem cells produced by the cambium are undergoing profound transformations, passing through successive differentiation stages, which will enable them to perform their future functions in trees. Finally, at the end of the growing season, when climatic conditions deteriorate, cambial activity stops, soon followed by the cessation of all the differentiation processes.

In this work, after reviewing the biological basis of wood formation and describing the methods that allow its monitoring, we investigate and model the relationships between cambium phenology, tree-ring formation dynamics, tracheid differentiation kinetics, and the climatic factors. The results obtained are used to describe the coordination between stem growth in size and in biomass, as well as the relationships between the source (the canopy) and the main sink (the cambium) of carbon in trees.

Finally, three promising research avenues are presented, exploring the relationships between: (1) the intra-annual dynamics of woody biomass production and gross primary productivity; (2) the intra-annual dynamics of water conduction in xylem and stem sap flow and stand evapotranspiration; (3) the kinetics of tracheid differentiation and the creation of the isotopic signals in tree-ring archives.

In the context of accelerating global changes, it is crucial to investigate what is ruling tree-ring formation and wood production, in order to better evaluate how the ongoing modifications of the environmental factors are impacting trees, biogeochemical cycles, human societies, and ultimately the climate itself.

## **Key words:**

Xylogenesis, Wood anatomy, Tree radial growth, Cambium phenology, Forest productivity, Dendroecology, Climate change, Carbon and water cycles

## **Résumé**

Le bois, composé biologique le plus abondant sur terre, est d'une importance cruciale pour l'humanité et la biosphère. Si les cernes des arbres et le processus de xylogénèse qui les crée sont depuis longtemps sous la loupe des biologistes, ce n'est que récemment que l'invention de nouvelles techniques a permis de suivre la dynamique intra-annuelle de formation du xylème par le cambium, ainsi que les conditions environnementales qui l'influencent.

Dans la plupart des régions du monde, l'activité cambiale suit un cycle saisonnier. Au début de la saison de croissance, lorsque les températures augmentent, le cambium reprend son activité. Au cours de la saison de croissance, les nouvelles cellules du xylème produites par le cambium subissent de profondes transformations, passant par des étapes successives de différenciation, qui leur permettront d'assurer leurs futures fonctions dans l'arbre. Enfin, à la fin de la saison de croissance, lorsque les conditions climatiques se détériorent, l'activité cambiale s'arrête, bientôt suivie par l'arrêt de tous les processus de différenciation. Dans ce travail, après avoir passé en revue les bases biologiques de la formation du bois et décrit les méthodes qui permettent son suivie, nous décrivons et modélisons les relations entre la phénologie du cambium, la dynamique de formation des cernes, la cinétique de différenciation des trachéides et les facteurs climatiques. Les résultats obtenus servent à décrire la coordination entre la croissance des troncs en taille et en biomasse, ainsi que les relations entre la source (la canopée) et le puits principal (le cambium) de carbone dans les arbres.

Enfin, trois pistes de recherche prometteuses sont présentées, explorant les relations entre : (1) la dynamique intra-annuelle de la production de biomasse ligneuse et de la productivité primaire brute ; (2) la dynamique intra-annuelle de la conduction de l'eau dans le xylème et le flux de sève des tiges et l'évapotranspiration des peuplements ; (3) la cinétique de la différenciation des trachéides et la création des signaux isotopiques dans les archives constituées par les cernes d'arbres.

Dans le contexte de l'accélération des changements globaux, il est crucial d'étudier ce qui régit la formation des cernes de croissance des arbres et la production de bois, afin de mieux évaluer comment les modifications continues des facteurs environnementaux affectent les arbres, les cycles biogéochimiques, les sociétés humaines et finalement le climat lui-même.

## **Mots clés :**

Xylogénèse, Anatomie du bois, Croissance radiale des arbres, Phénologie du cambium, Productivité forestière, Dendroécologie, Changement climatique, Cycles du carbone et de l'eau