



DYNAMIQUE INTRA-ANNUELLE DE LA FORMATION DU BOIS DES CONIFÈRES

- AVANCÉES RÉCENTES & PERSPECTIVES -

*Présenté par Francis Colin avec le soutien de Mériem Fournier pour
Cyrille Rathgeber*

*LERFoB, INRA, Nancy (France)
cyrille.rathgeber@nancy.inra.fr*



PLAN DE LA PRÉSENTATION

Plan

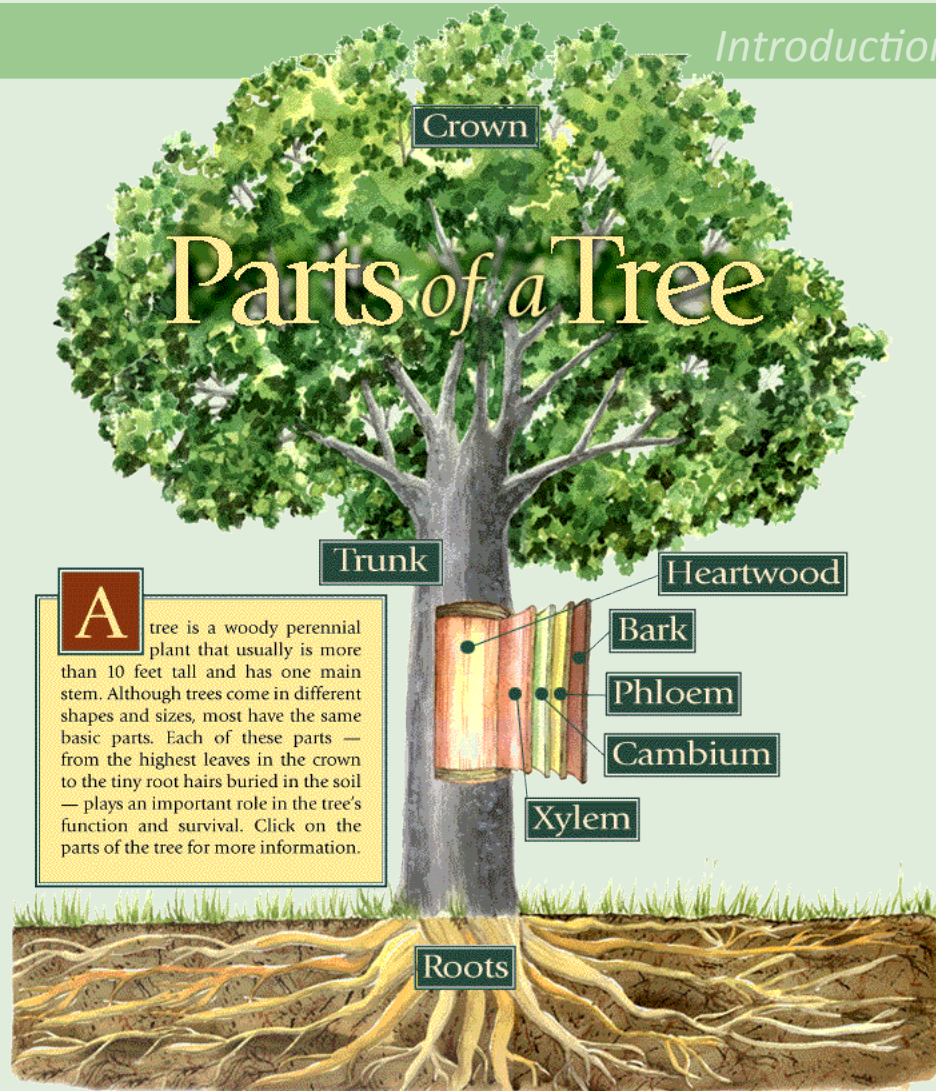
- Introduction
 - Connaissances anatomiques fondamentales
 - Questions de recherche
- Matériel & Méthode
 - Méthode de suivi de la formation du bois
 - Cadre conceptuel et analyses statistiques
- Résultats & Discussion
 - Dynamique intra-annuelle de la formation du bois
 - Relation avec l'anatomie et la densité
 - Influence du climat
- Perspectives



LES DIFFÉRENTES PARTIES D'UN ARBRE

Introduction

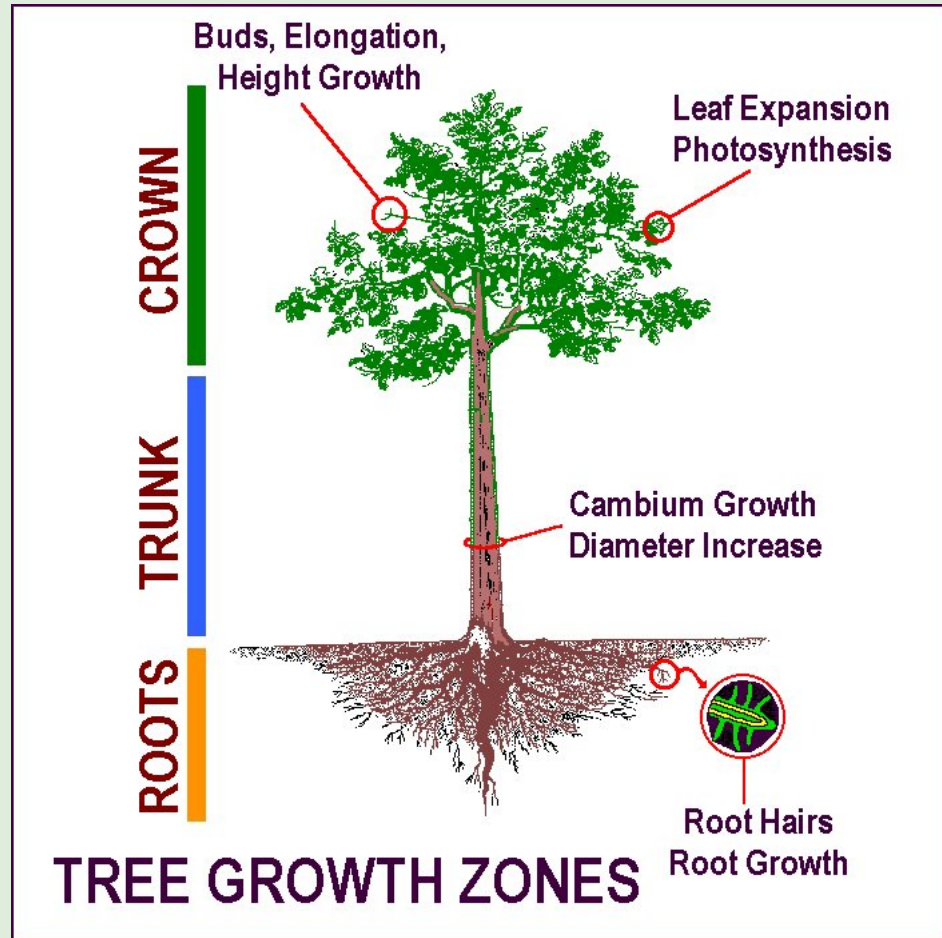
- Un arbre est composé de différents organes: feuilles, branches, **tronc**, racines, racines fines...
- Un arbre est caractérisé par la présence de **bois** !
- Le bois est produit par le **cambium** vasculaire.



LE CAMBIUM VASCULAIRE

Introduction

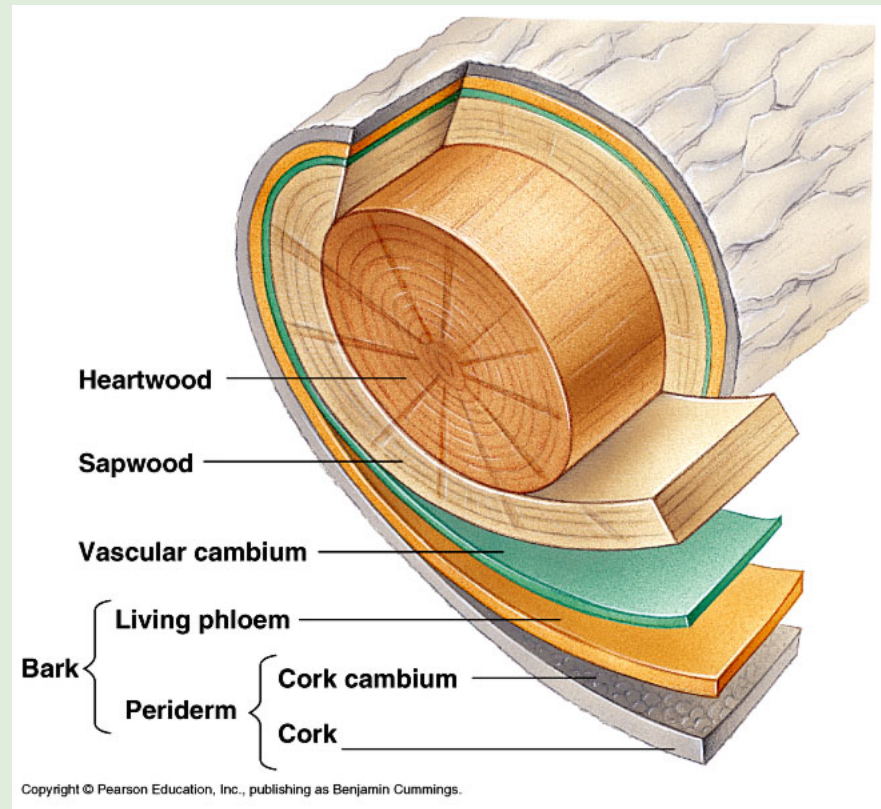
- Le **cambium** vasculaire est une fine couche de cellules vivantes (méristématiques) qui enveloppe les branches, le tronc et les racines d'un arbre.



LE CAMBIUM VASCULAIRE

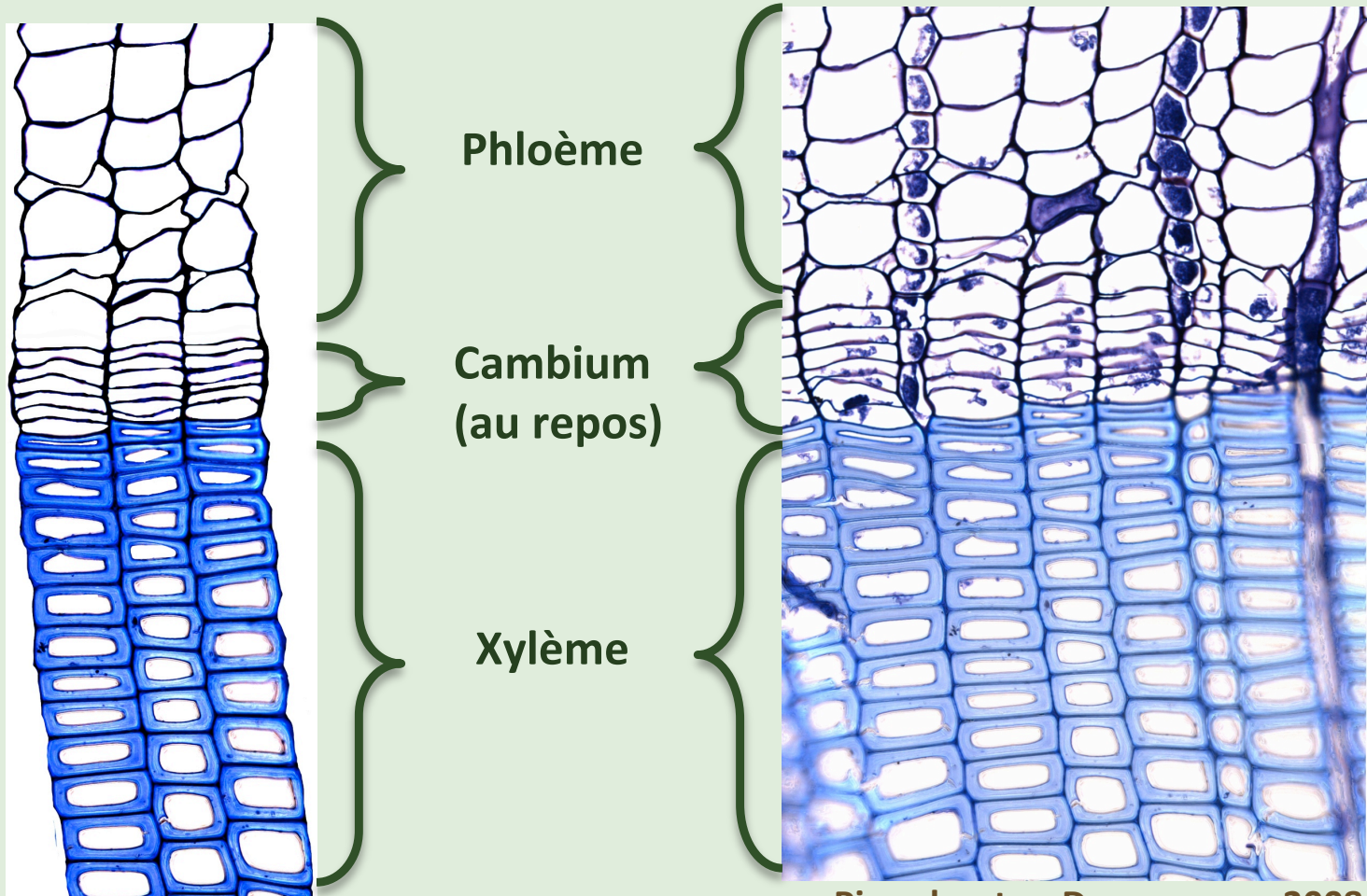
Introduction

- Le cambium produit le **xylème** (bois) vers l'intérieur du tronc
- Et le **phloème** (liber - écorce vivante) vers l'extérieur du tronc



LES CELLULES CAMBIALES

Introduction

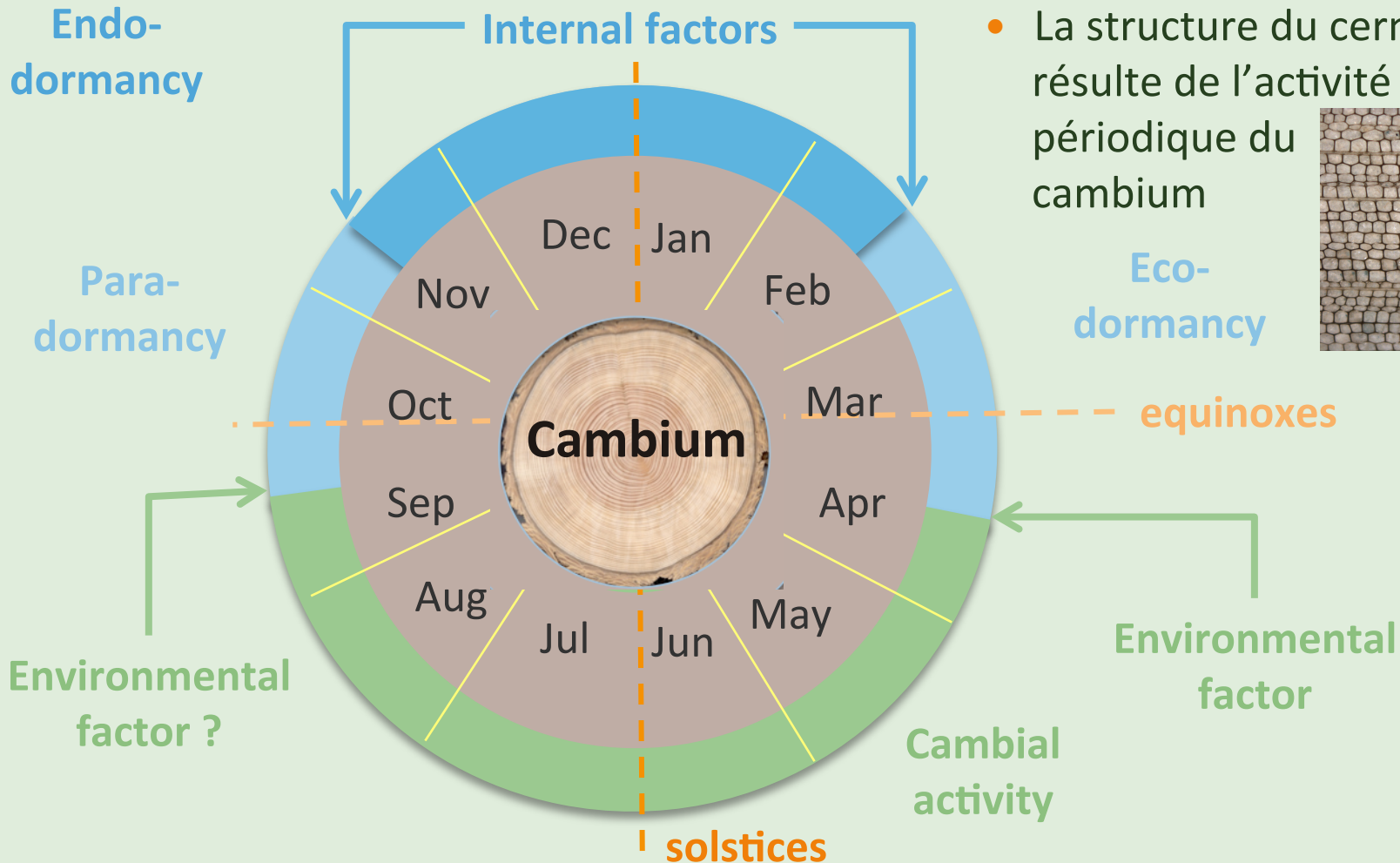


Pin sylvestre, Donon, mars 2008

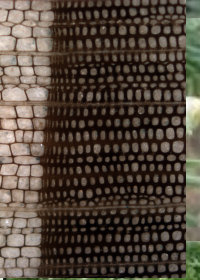
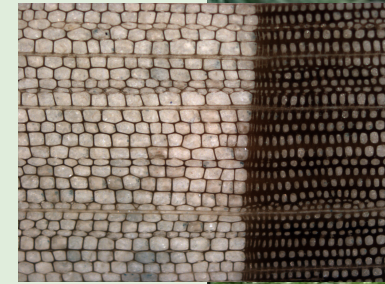


SAISONNALITÉ DE L'ACTIVITÉ CAMBIALE

Introduction



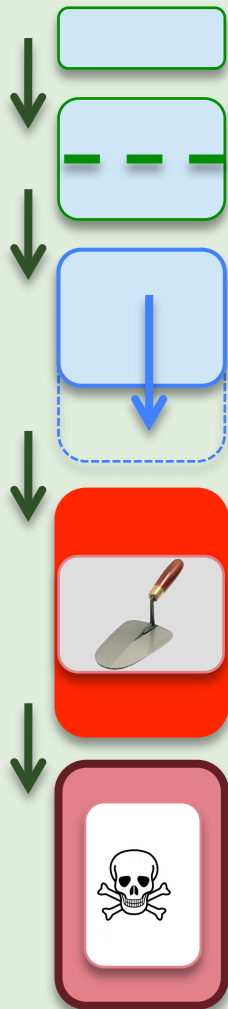
- La structure du cerne résulte de l'activité périodique du cambium



LA XYLOGÉNÈSE

Les 4 phases du développement d'une trachéide

Introduction



Cellule cambiale

1. Phase de division

2. Phase d'expansion

3. Phase d'épaississement

4. Phase mature

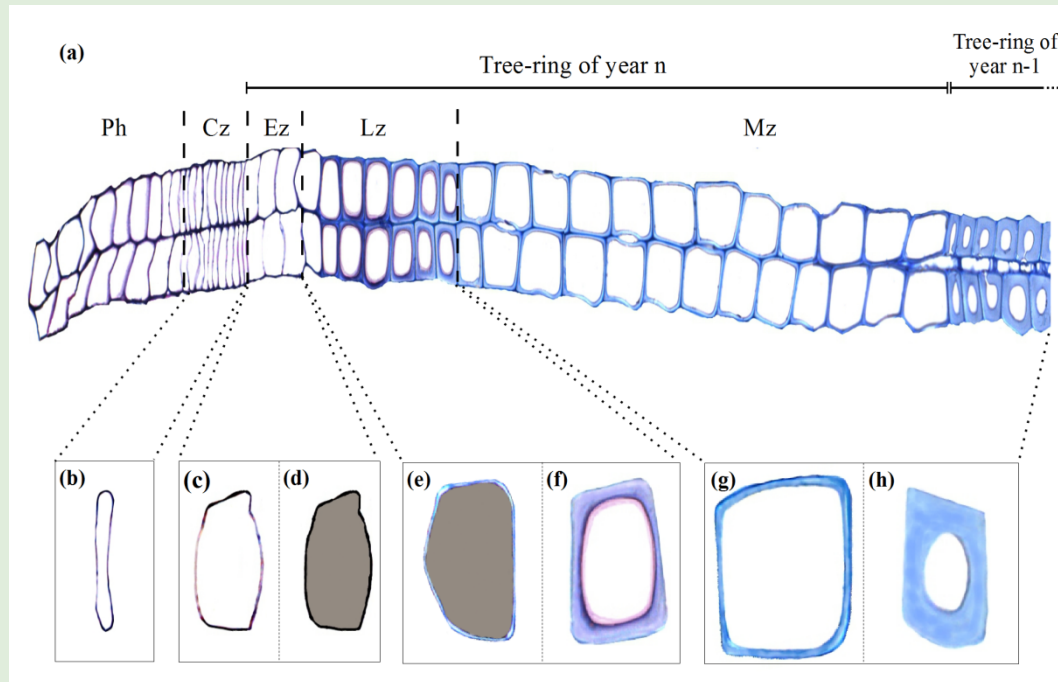
- ① Phase de **Division** péricleinale d'une cellule cambiale en deux cellules mère de xylème
- ② Phase d'**Expansion** radiale d'une cellule en développement avec formation de paroi primaire
- ③ Phase de formation des parois secondaires (épaississement + lignification)
 - I. biosynthèse et dépôt des celluloses et hémicelluloses
 - II. Biosynthèse et dépôt des lignines
- ④ Mort programmée de la cellule par autolyse du contenu cellulaire pour donner une trachéide mature fonctionnelle
- ⑤ Duraminisation (non abordée)...



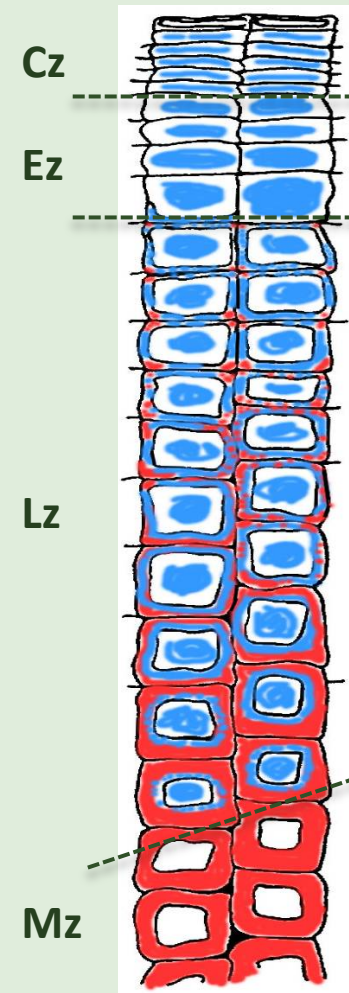
LA XYLOGÉNÈSE

Organisation spatiale d'une file radiale

Introduction



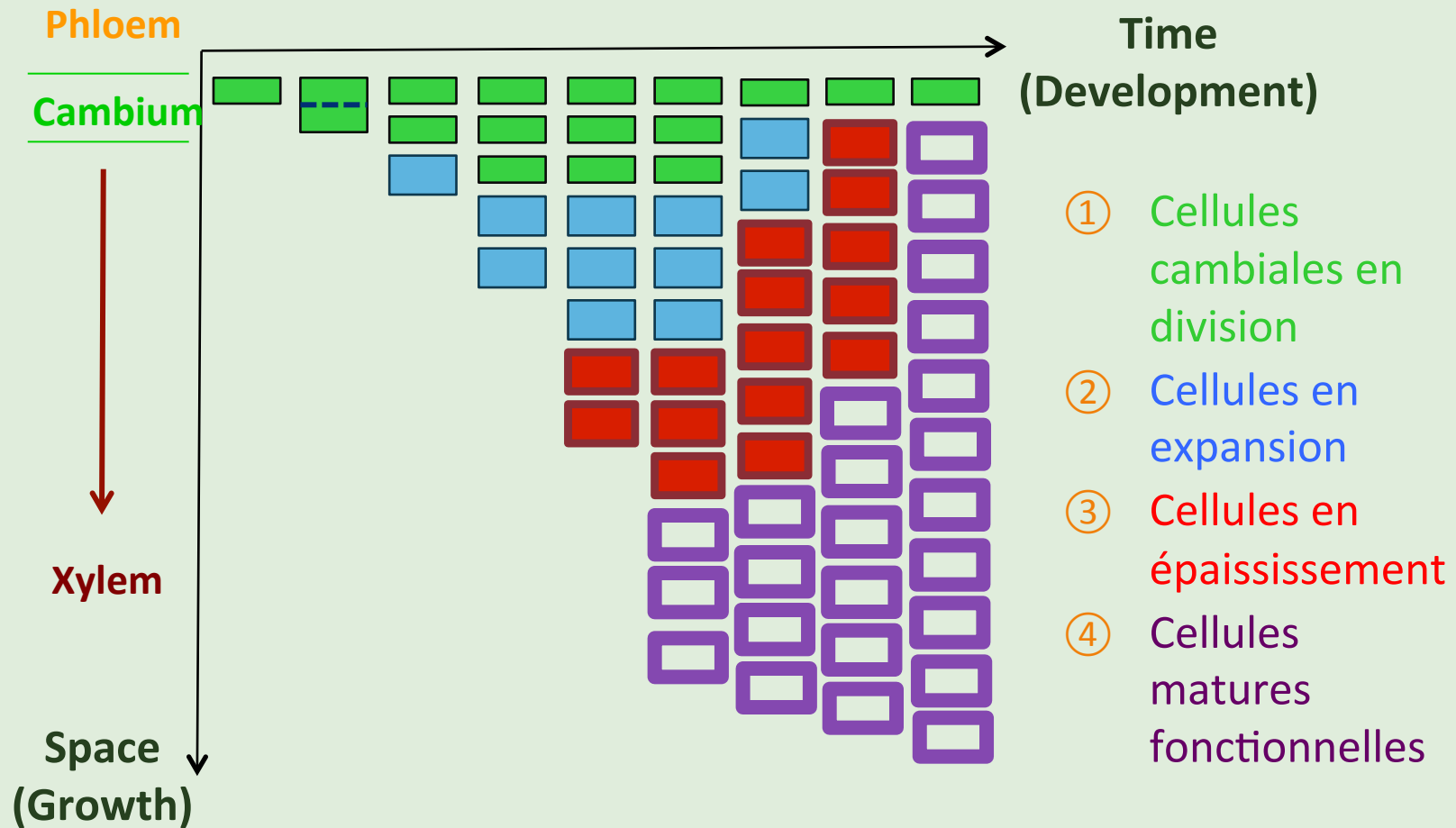
- Cz : zone cambiale (b)
- Ez : Zone d'élargissement cellulaire (c, d)
- Lz : zone de formation des parois secondaires (e, f)
- Mz : Zone mature (g – bois initial, h – bois final)



LA XYLOGÉNÈSE

Organisation spatio-temporelle – Développement d'une file radiale

Introduction

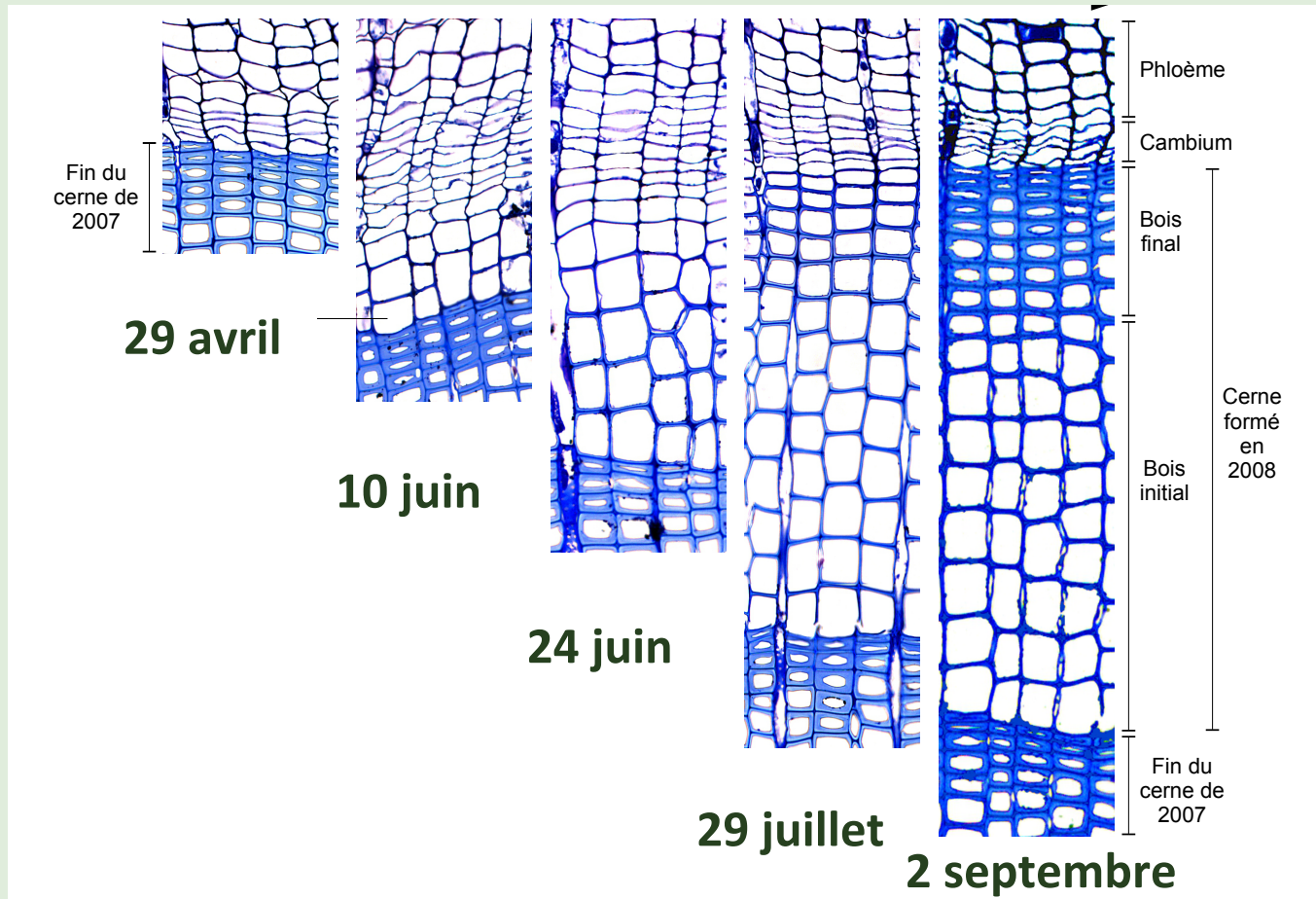


LA XYLOGÉNÈSE

Organisation spatio-temporelle - Exemple

Introduction

Epicéa – Grandfontaine, Donon (700 m), année 2008



QUESTIONS DE RECHERCHES

Introduction

- Décrire la dynamique intra-annuelle de la formation du bois en région tempérée
- Relation entre dynamique de formation du bois et structure du cerne
- Influence des facteurs Environnementaux



RÉCOLTE DES ÉCHANTILLONS

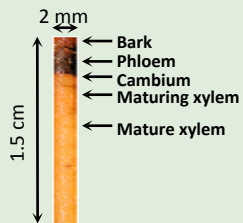
Matériel & Méthodes



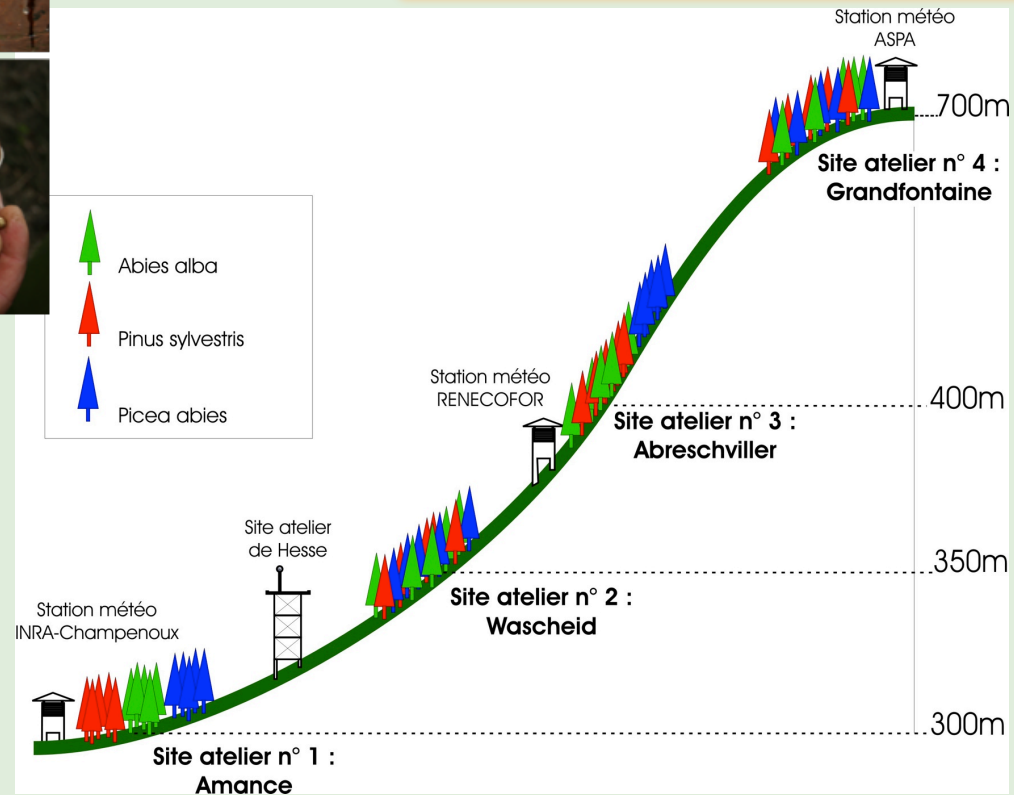
IAWA Journal, Vol. 27 (1), 2006: 89–97

TREPHOR: A NEW TOOL FOR SAMPLING MICROCORES FROM TREE STEMS

Sergio Rossi, Tommaso Anfodillo and Roberto Menardi



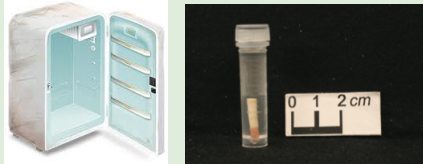
Microcarotte



PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS

Matériel & Méthodes

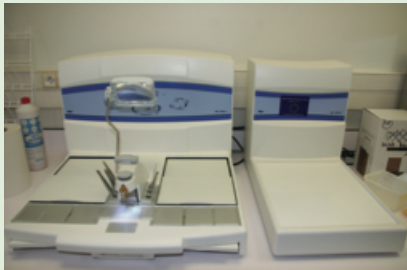
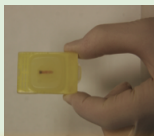
1) Stockage des échantillons



2) Conditionnement des échantillons



3) Préparation des blocs de paraffine



Cah. Tech. Inra, 2011, 73, 45-62

Méthodes de prélèvement et de préparation des échantillons pour l'étude de l'activité cambiale et de la formation du bois

Maryline Harroué¹, Emmanuel Cornu¹, Cyrille Rathgeber¹

LAWA Journal, Vol. 27 (4), 2006:

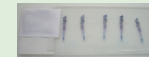
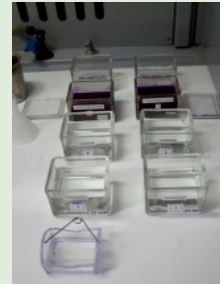
ASSESSMENT OF CAMBIAL ACTIVITY AND XYLOGENESIS BY MICROSAMPLING TREE SPECIES: AN EXAMPLE AT THE ALPINE TIMBERLINE

Sergio Rossi*, Annie Deslauriers and Tommaso Anfodillo

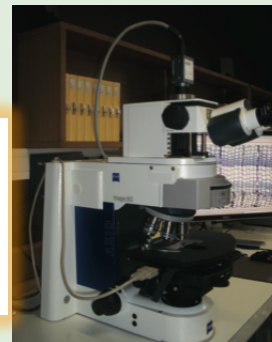
4) Coupe des blocs de paraffine



5) Coloration des lames minces



6) Observations des coupes anatomiques



OBSERVATIONS ANATOMIQUES

Matériel & Méthodes

1. Cellules cambiale

Petites cellules, paroi fine
(en forme de vague quand elles se divisent)



Grosses cellules « gonflée »

2. Cellules en expansion

Parois cellulaires fines



Parois biréfringentes en lumière polarisée

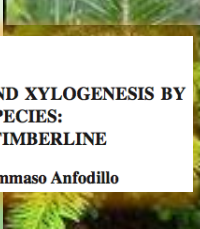
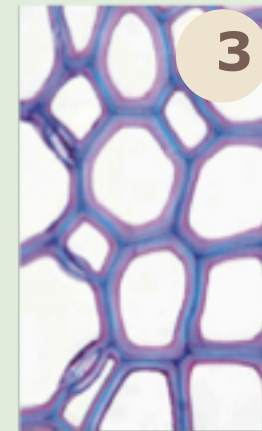
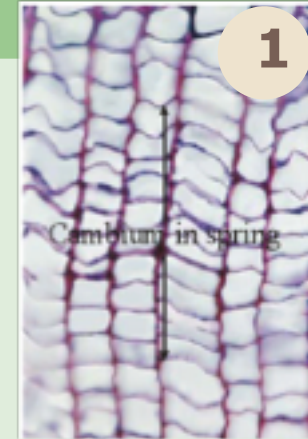
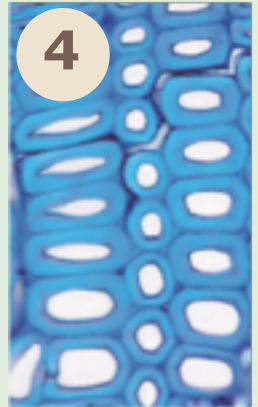
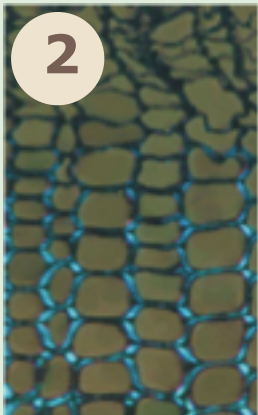
3. Cellules en épaissement

Parois cellulaires épaisses et bicolores



Parois cellulaires épaisses unicolores

4. Cellules matures



IAWA Journal, Vol. 27 (4), 2006: 383–394

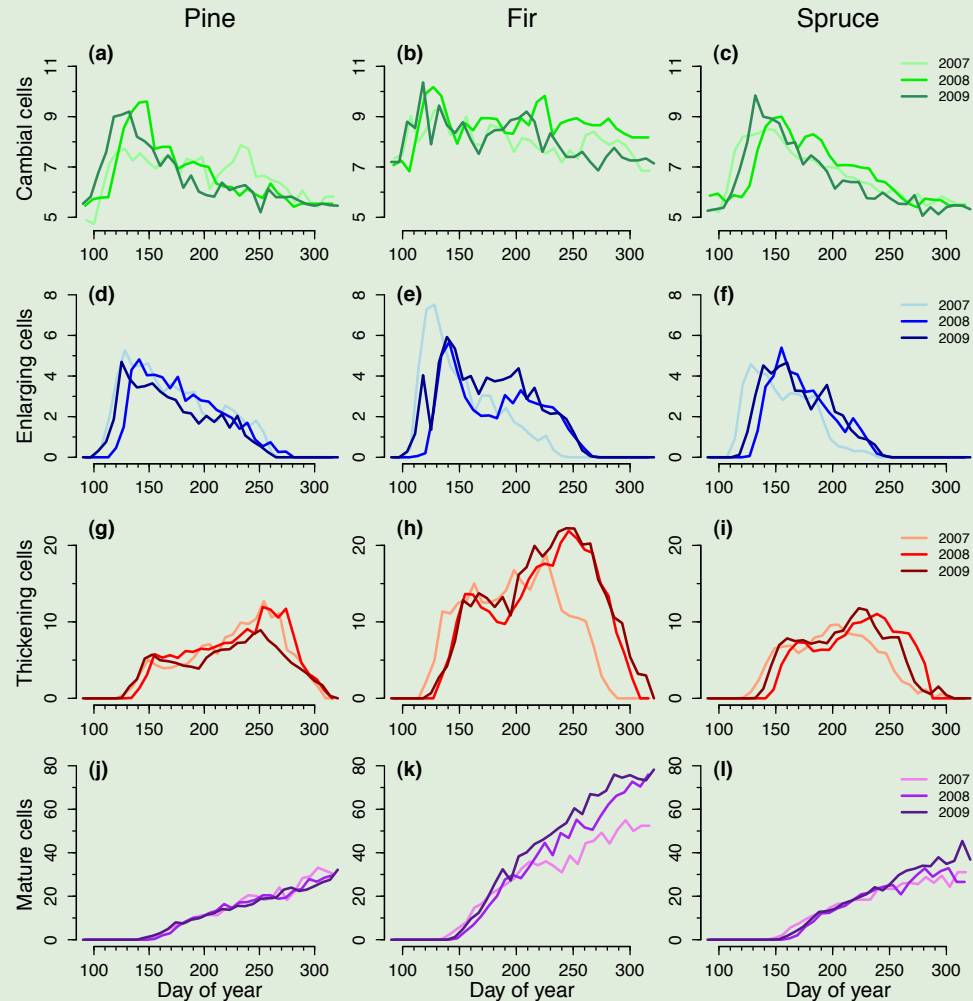
ASSESSMENT OF CAMBIAL ACTIVITY AND XYLOGENESIS BY
MICROSAMPLING TREE SPECIES:
AN EXAMPLE AT THE ALPINE TIMBERLINE

Sergio Rossi*, Annie Deslauriers and Tommaso Anfodillo

DONNÉES BRUTES

Matériel & Méthodes

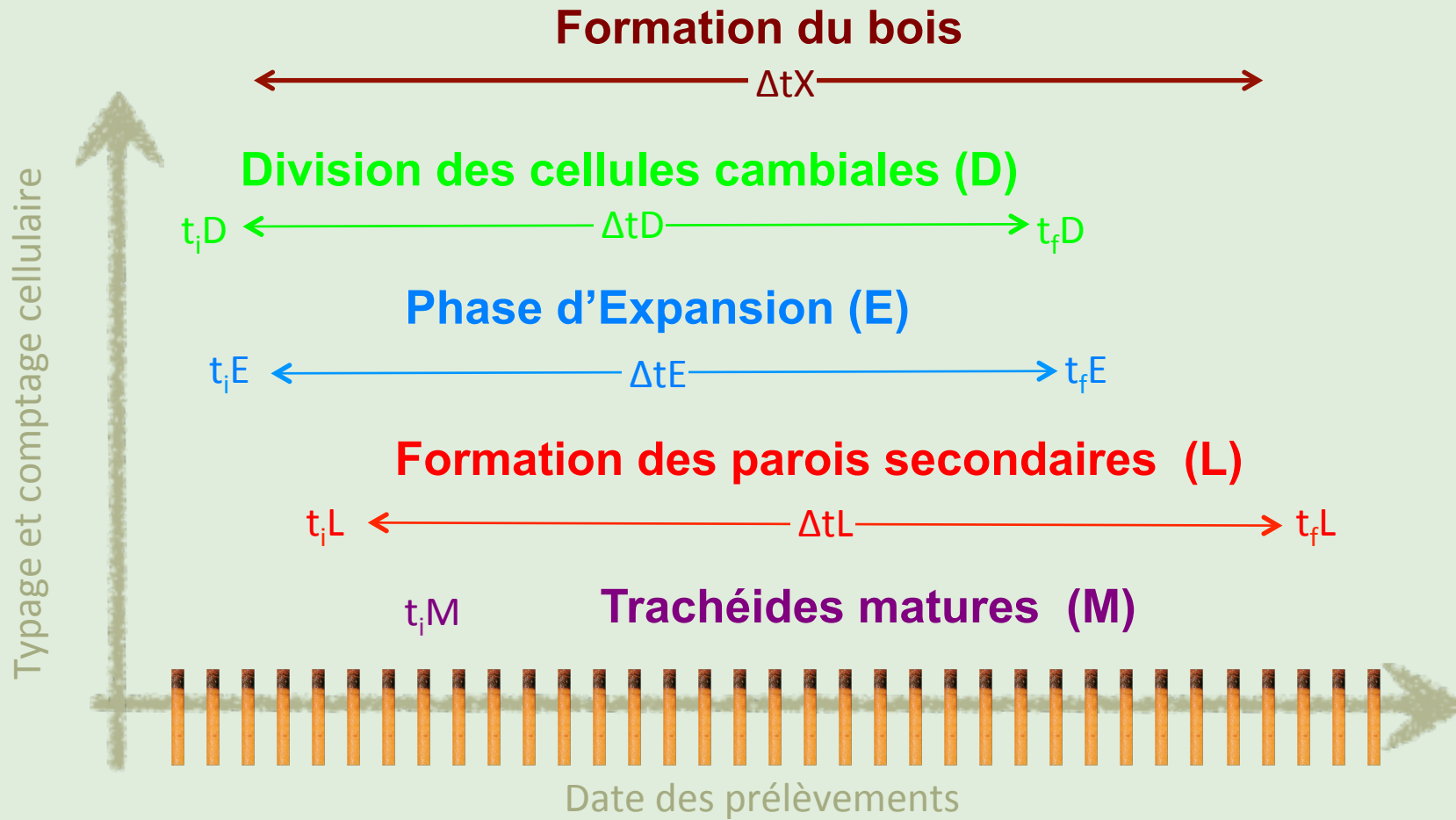
- Exemple :
Grandfontaine, Donon



Référence : Thèse Henri Cuny



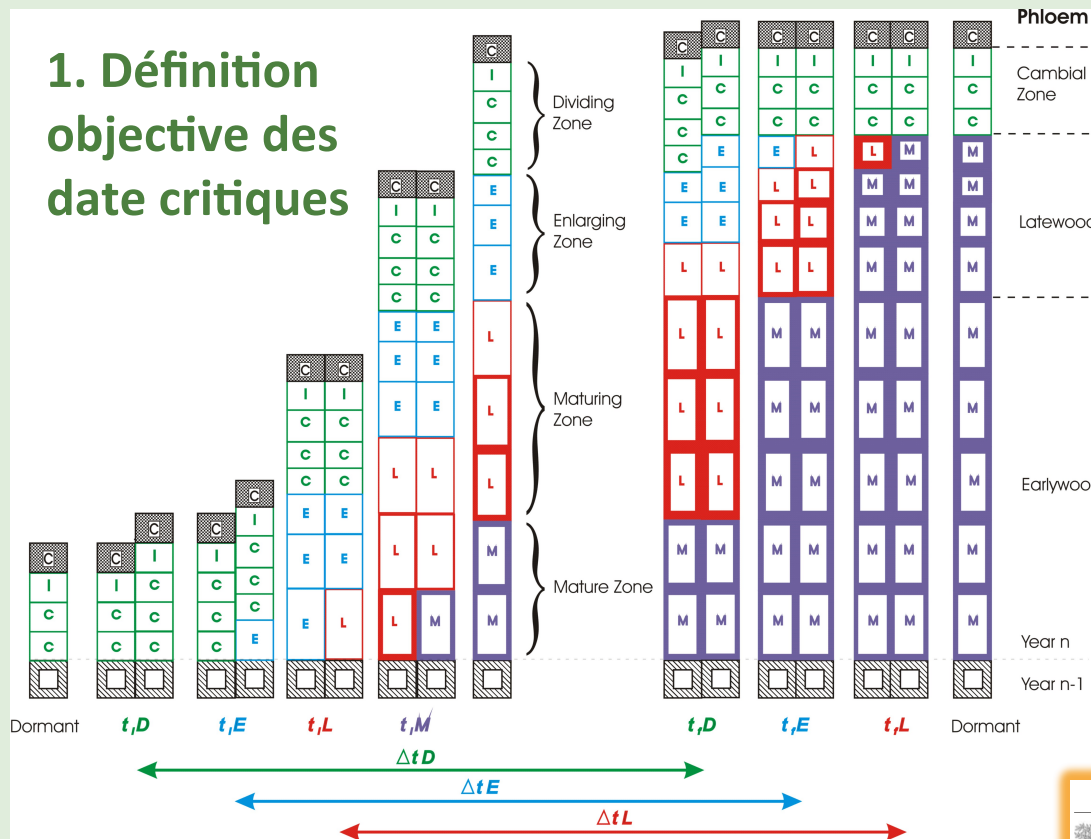
PHÉNOLOGIE CAMBIALE



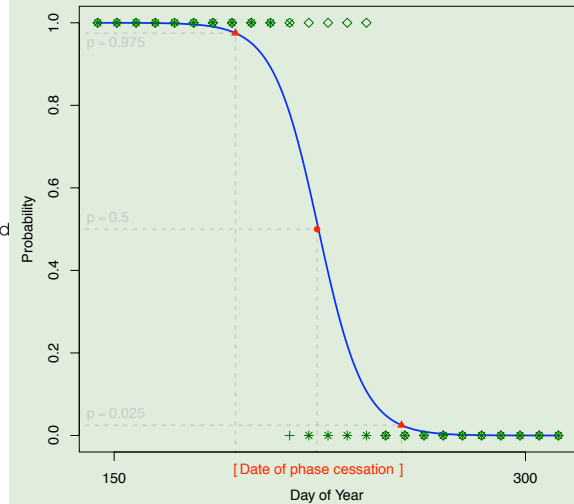
PHÉNOLOGIE CAMBIALE - MÉTHODE

Matériel & Méthodes

1. Définition objective des date critiques



2. Calcul automatique des dates critiques par régression logistique



Dendrochronologia 29 (2011) 139–149

Contents lists available at ScienceDirect

Dendrochronologia

journal homepage: www.elsevier.de/dendro

Original article

Phenology of wood formation: Data processing, analysis and visualisation using R (package CAVIAR)

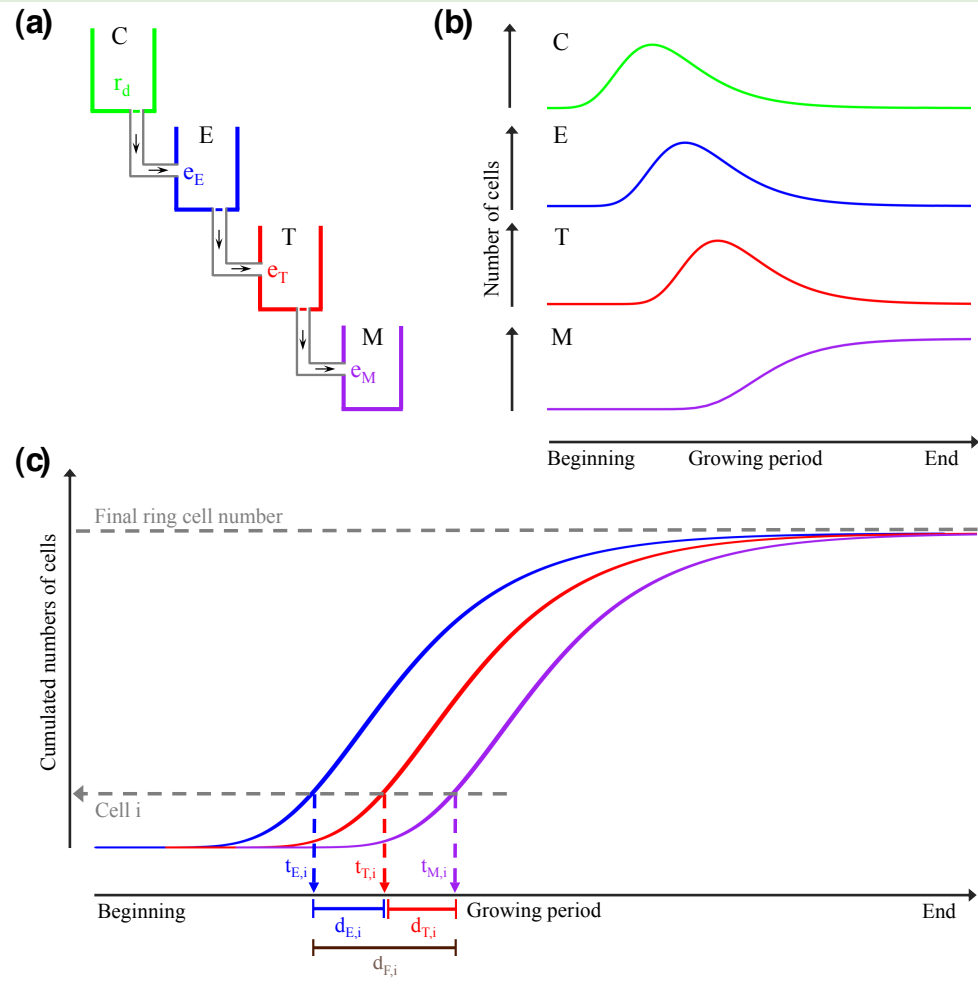
Cyrille B.K. Rathgeber^{a,b,*}, Fleur Longuetaud^{a,b}, Frédéric Mothe^{a,b}, Henri Cuny^{a,b}, Gilles Le Moguédec^{a,c}



DYNAMIQUE - CONCEPT

Matériel & Méthodes

- a) Modèle conceptuel « hydrologique »
- b) Dynamique classique
- c) Méthode de calcul des timings cellulaires



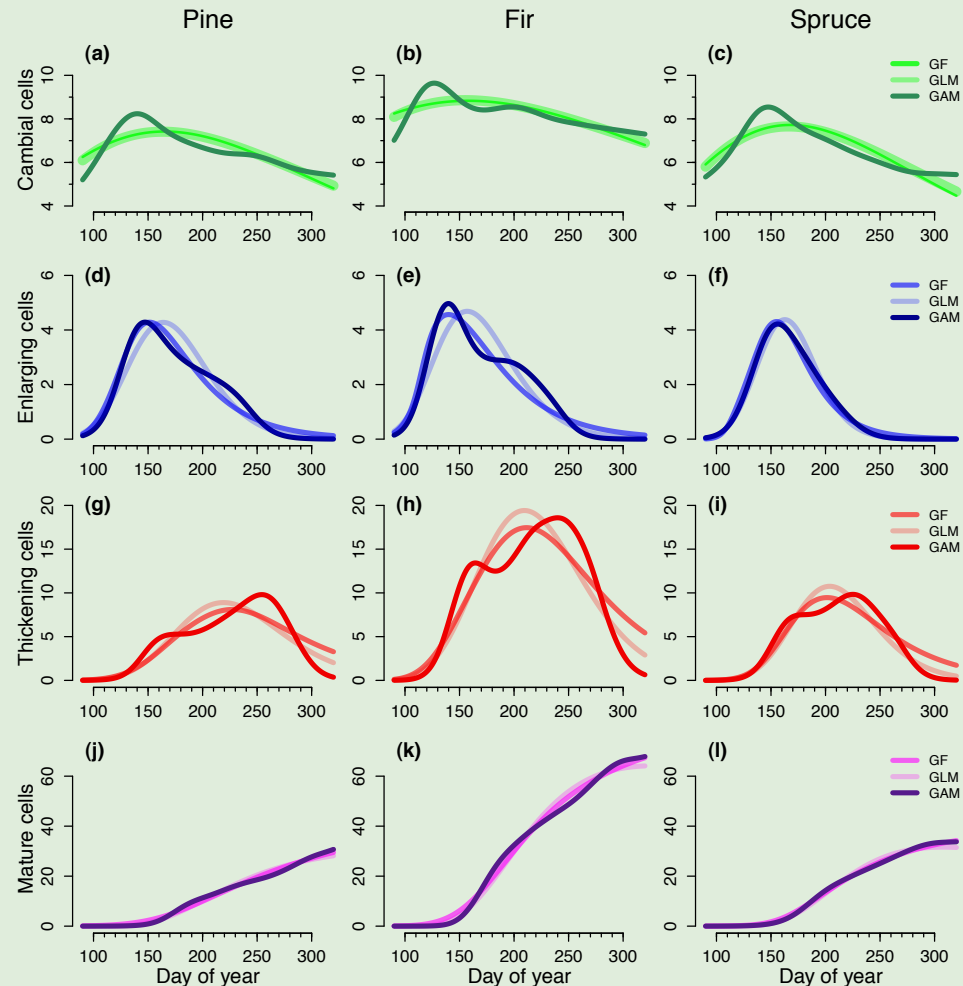
DYNAMIQUE - MÉTHODE

Matériel & Méthodes

- Mise au point d'une nouvelle méthode d'ajustement basée sur les modèles additifs généralisés (GAM) :
 - Rassembler les données (arbres, années, sites...)
 - De caractériser précisément la dynamique
 - De calculer les temps de résidences des ζ dans les \neq phases

Référence :

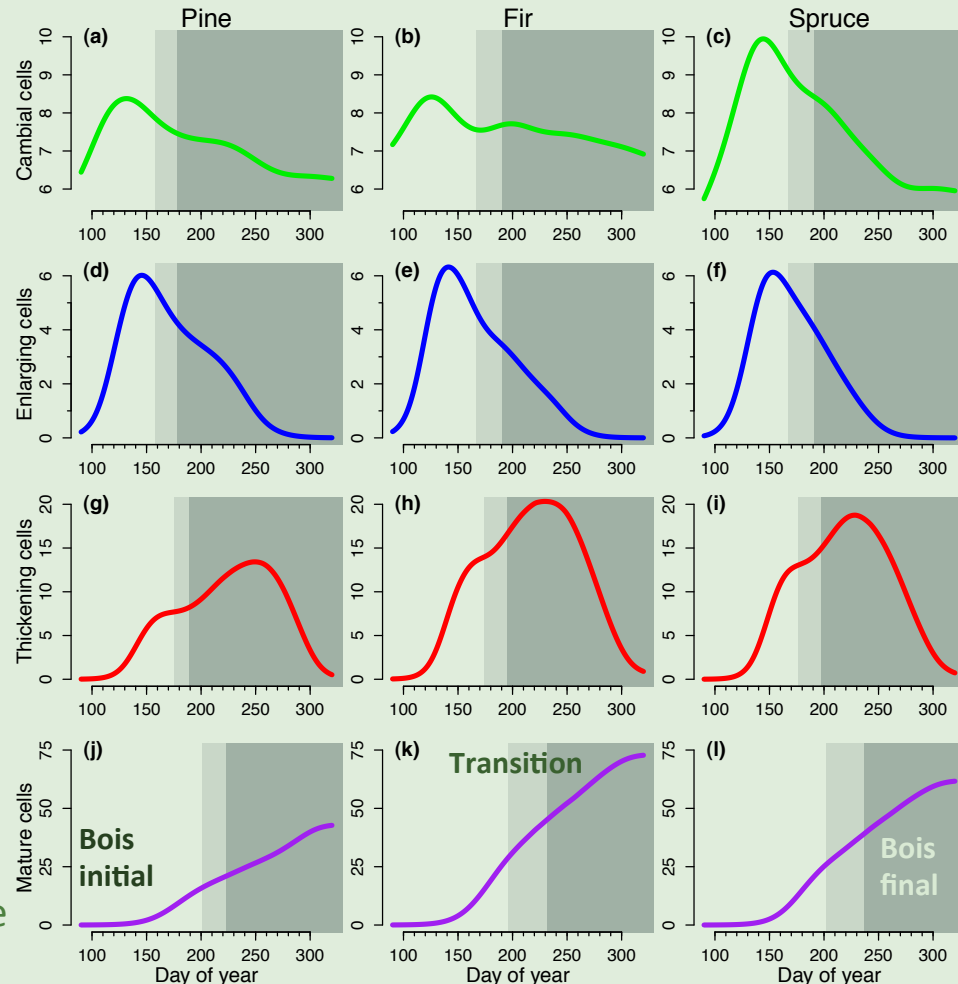
Cuny H, Rathgeber CBK, Senga Kiese T, Hartman F, Barbeito I & Fournier M. A novel statistical approach, based on general additive models (GAM), reveals the intrinsic complexity of wood formation dynamics. Submitted to *New Phytologist*



DYNAMIQUE INTRA-ANNUELLE

Résultats & Discussion

- **Zone cambiale**
 - Augmentation rapide de 2 à 4 μ m en début d'année
 - Diminution lente
- **Z. Elargissement**
 - Augmentation rapide de 0 à 6 μ m en début d'année
 - Diminution progressive
- **Z. Epaisseur**
 - Augmentation progressive de 0 à 15-20 μ m en cours d'année
 - « vidange » rapide
- **Z. Mature**
 - Augmentation progressive en deux phases correspondant à bois initial et bois final séparée par du bois de transition



TEMPS DE RÉSIDENCE

Résultats

- Z. Elargissement**

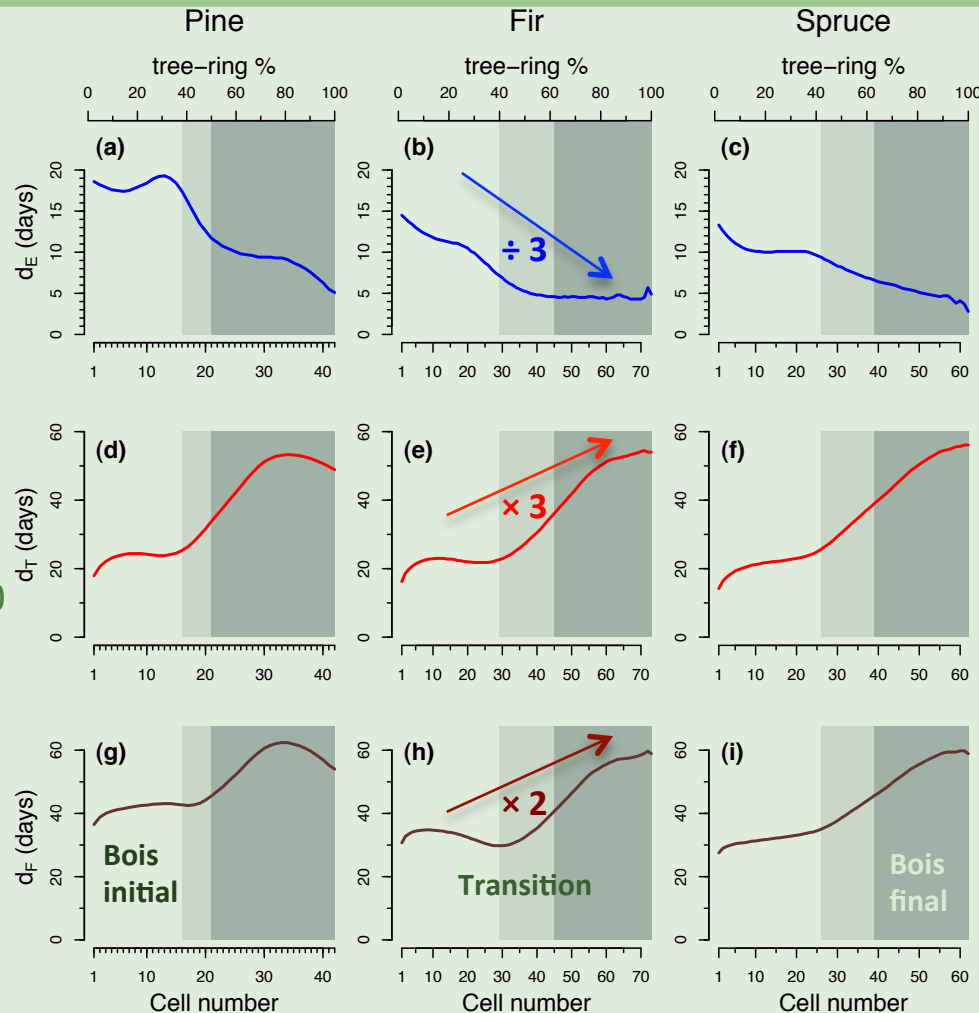
- Diminution régulière au cours de la formation des cellules de 15-20 jours à 5 jours

- Z. Epaissement**

- Plateau minimal pour le bois initial (40 premier % du cerne) autour de 20 jours
- Augmentation rapide pour le bois de transition
- Maximum pour le bois final (40 % finaux du cerne) entre 50 et 60 jours

- Total Maturation**

- Patron similaire à d_T
- **30 jours pour produire une trachéide de bois initial**
- **60 jours pour bois final**



CARACTÉRISTIQUES ANATOMIQUES

Résultats & Discussion

- **Diamètre cellulaire**

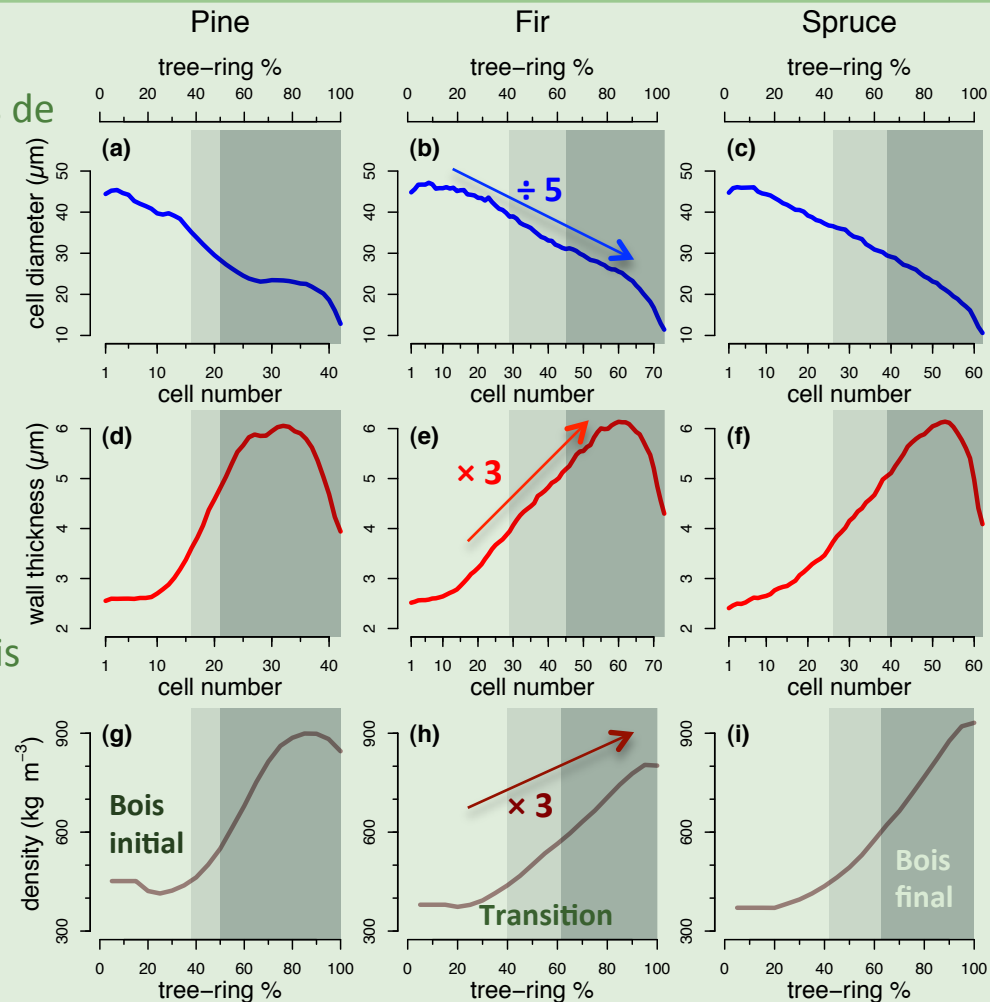
- Diminution régulière au cours de la formation des cellules de 40-50 à < 10 μm

- **Epaisseur des parois**

- Plateau minimal pour le bois initial autour de 2,5 μm
- Augmentation rapide pour le bois de transition
- Maximum dans le bois final autour de 6 μm
- Forte diminution en fin de bois final jusqu'à 4 μm

- **Densité du bois**

- Synthèse des deux patrons précédents
- Plateau initial autour de 400
- Max autour de 900 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$



RELATION ANATOMIE - DENSITÉ

Résultats & Discussion

- La connaissance des caractéristiques anatomiques permet de calculer la densité morphométrique
- $XRD = MMD \times PKD$
- PKD peut être considérée comme constante

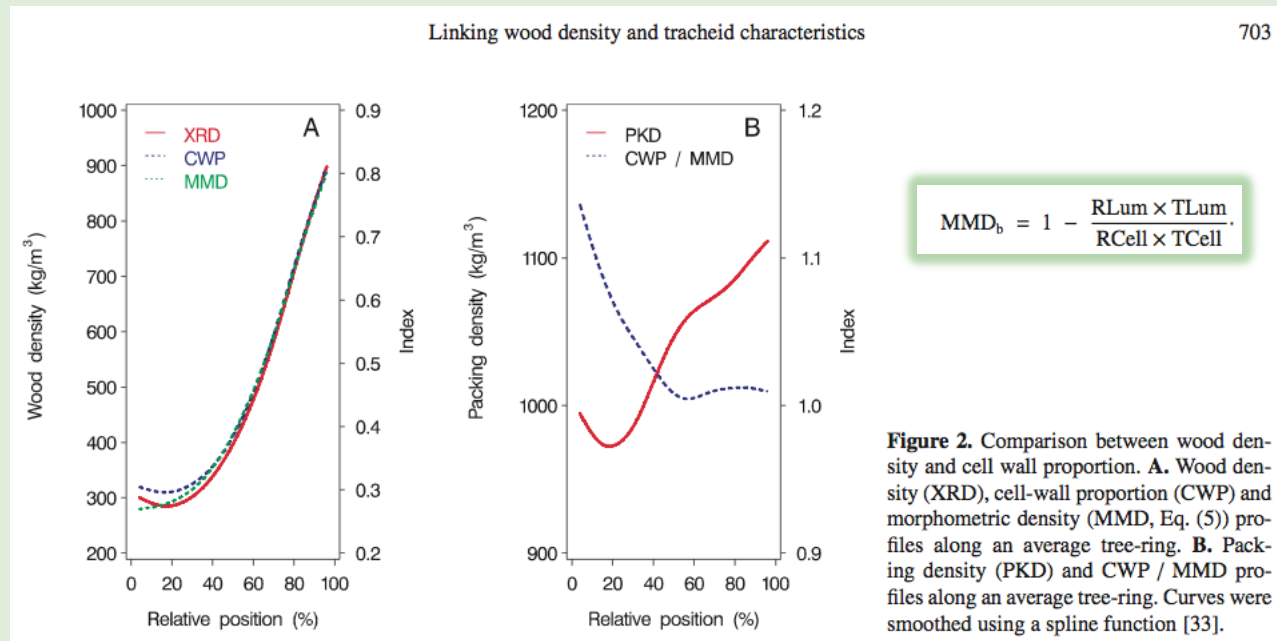
Ann. For. Sci. 63 (2006) 699–706
© INRA, EDP Sciences, 2006
DOI: 10.1051/forest:2006050

699

Original article

Linking intra-tree-ring wood density variations and tracheid anatomical characteristics in Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco)

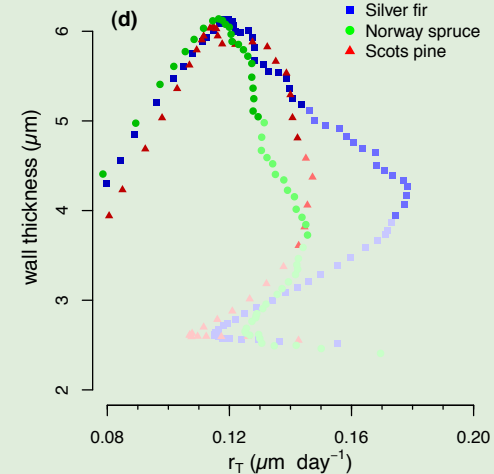
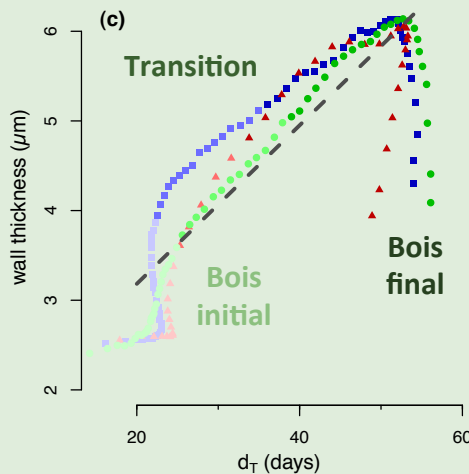
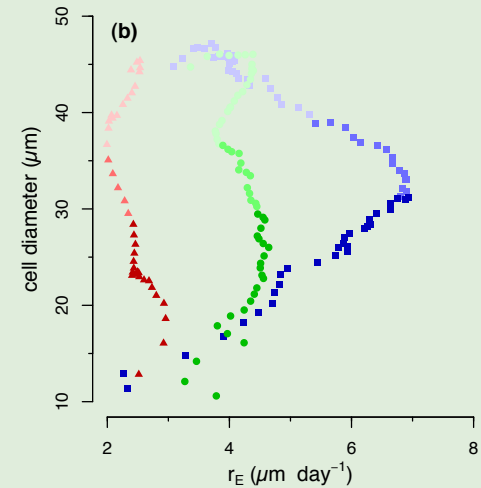
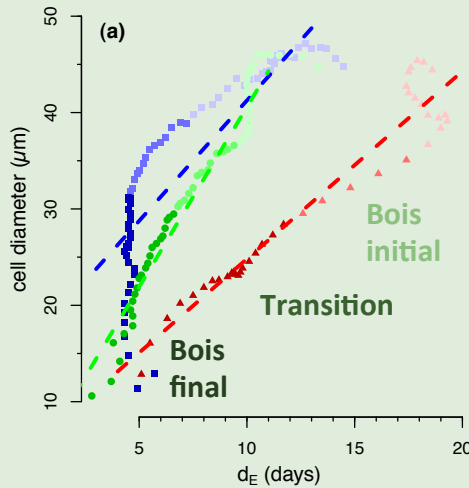
Cyrille B. K. RATHGEBER^{a*}, Valérie DECOUX^{b,c}, Jean-Michel Leban^a



RELATION DYNAMIQUE - ANATOMIE

Résultats & Discussion

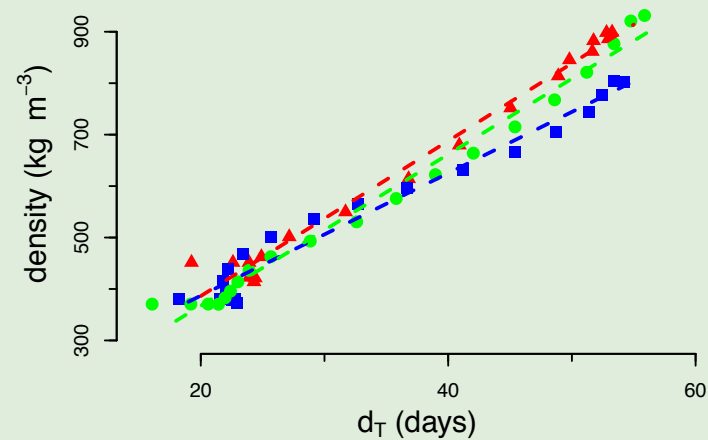
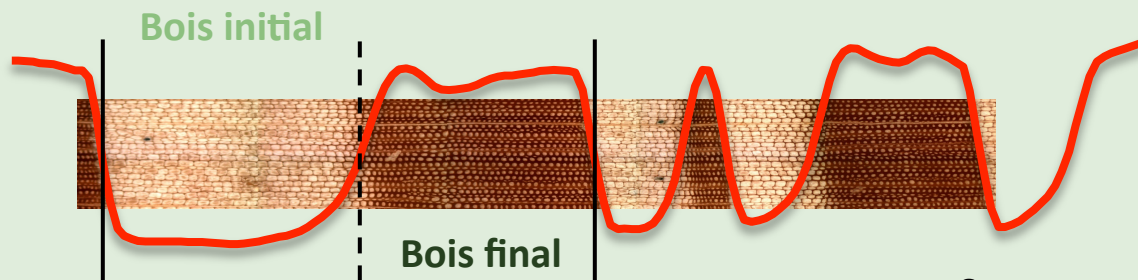
- Bonne relations entre
 - Diamètre et durée d'expansion
 - Epaisseur de paroi et durée d'épaississement
 - L'effondrement des taux en début et fin de saison est responsable de la partie non linéaire des relations



RELATION DYNAMIQUE - DENSITÉ

Résultats & Discussion

- Excellente relation (non causale) entre la microdensité du bois et la durée de formation des parois secondaires



Référence :

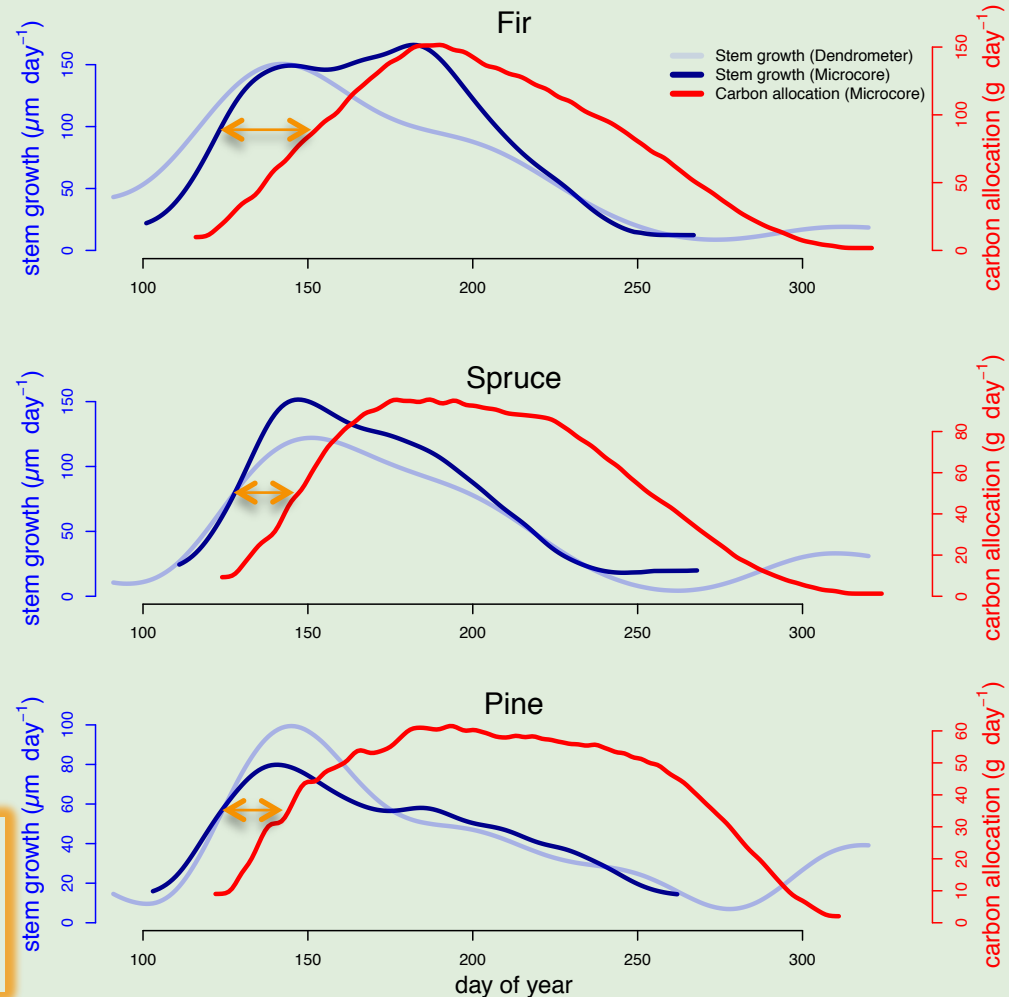
Cuny H, Rathgeber CBK & Fournier M. Wood formation dynamics explains wood density in conifers. *En préparation*



RELATION CROISSANCE - BIOMASSE

Résultats & Discussion

- Décalage de 1 à 2 mois entre la croissance au sens strict (phases de division et d'expansion des cellules) et l'allocation du carbone dans les parois cellulaires (phase d'épaississement)



Référence :

Cuny H, Rathgeber CBK & Fournier M. Time lag between stem growth and carbon allocation.

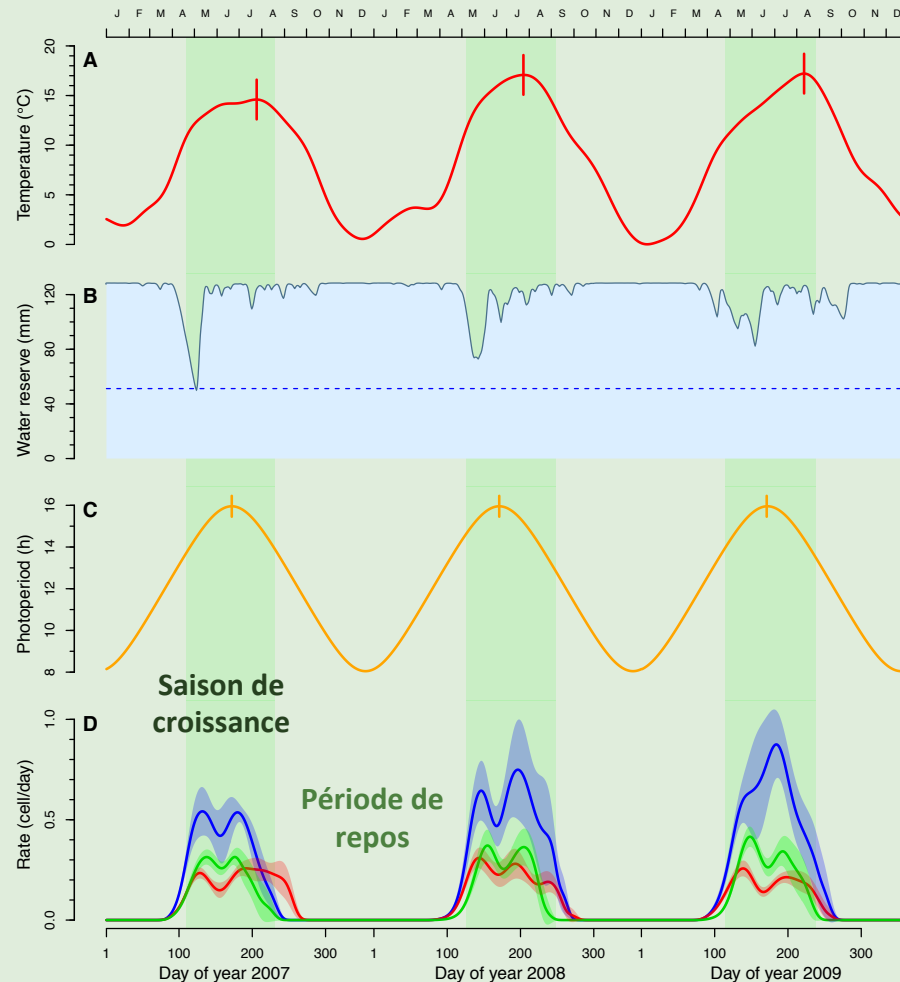
En préparation



INFLUENCE DU CLIMAT

Résultats & Discussion

- Aucune variable environnementale n'est capable d'expliquer directement le taux d'activité cambiale !



PERSPECTIVES

Perspectives

- Techniques
 - Meilleure définition des phases
 - Automatisation des comptages
 - Observation du phloème
- Méthodologiques
 - GAM avec variables climatiques
 - Modèle cinétique
 - Modèle Biophysique
- Fondamentales
 - Influence du climat
 - Plasticité phénotypique \neq variabilité génétique
 - Lien avec la physiologie de l'arbre



REMERCIEMENTS

Merci beaucoup à Francis et Mériem d'avoir présenté ce travail !!!



- **Thésards : Henri Cuny, Félix Hartmann, Alice Michelot**
- **Post-docs : Sergio Rossi, Sonia Simard, Tuula Jyske**
- **Equipe technique : Maryline Harroué, Emmanuel Cornu, Pierre Gelhaye, Etienne Farré, Alain Mercanti**
- **Stagiaires : Guillaume Zeender, Sophie Wieruszeski, Emilie Reverchon**
- **Collaborateurs : Patrick Fonti, Jozica Gricar, Annie Deslauriers**



POUR EN SAVOIR PLUS...

Références supplémentaires

- MICHELOT A., SIMARD S., RATHGEBER C., DUFRÊNE E. & DAMESIN C. 2012 Comparing the intra-annual wood formation of three European species (*Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris*) as related to leaf phenology and non-structural carbohydrate dynamics. *Tree Physiology* 32 : 1033-1045
- CUNY H., RATHGEBER C. B. K., LEBOURGEOIS F., FORTIN M. & FOURNIER M. 2012. Life strategy in intra-annual dynamics of wood formation, example of three conifer species (Silver fir, Norway Spruce, and Scots pine) in the Vosges Mountains. *Tree Physiology* 32 : 612-625.
- RATHGEBER C. B. K., ROSSI S., BONTEMPS J.-D. 2011a. Cambial activity related to tree size in a mature silver-fir plantation. *Annals of Botany* 108 : 429-438.
- RATHGEBER C. B. K., LONGUETAUD F., MOTHE F., CUNY H., LE MOGUÉDEC G. 2011b. Phenology of wood formation: Data processing, analysis and visualisation using R (package CAVIAR). *Dendrochronologia* 29 : 139-149.
- GRICAR J., RATHGEBER C. B. K., FONTI P. 2011. Monitoring seasonal dynamics of wood formation. *Dendrochronologia* 29 : 123-125.
- ROSSI S., RATHGEBER C. B. K., DESLAURIERS A. & DE ZAN C. 2009. Comparing needle and shoot phenology with xylem development on three conifers in Italy. *Annals of Forest Science* 66 : 206.
- ROSSI S., SIMARD S., RATHGEBER C. B. K., DESLAURIERS A. & DE ZAN C. 2009. Effects of a 20-day-long dry period on cambial and apical meristem growth in *Abies balsamea* seedlings. *Trees – Structure and Function* 23 : 85-93.
- ROSSI S., DESLAURIERS A., GRIČAR J., SEO J-W, RATHGEBER C. B. K., ANFODILLO T., MORIN H., LEVANIC T., OVEN P. & JALKANEN R. 2008. Critical Temperatures for xylogenesis in conifers of cold climates. *Global Ecology and Biogeography* 17: 696-707.

