

## Proposition de Contrats de Jeunes Chercheurs par l'INRA dans le cadre de l'École Doctorale RP2E (Nancy-Université)

### Appel à candidatures - mai 2011

L'INRA et l'École Doctorale RP2E proposent en 2011 un à deux Contrats Jeunes Scientifiques de 3 ans (durée d'une thèse de doctorat) prolongés par deux ans de post-doctorat. Les candidats pourront choisir l'un des deux sujets proposés cette année :

**Proposition 1.** Développement d'un modèle mécaniste de fonctionnement du cambium et de formation du bois sous forçage micro-climatique. *Encadrants* : Cyrille Rathgeber, Mériem Fournier, UMR1092 INRA-AgroParisTech, Laboratoire d'Etude de la Ressource Forêt-Bois (LERFoB), Centre INRA de Nancy, F-54280 Champenoux

**Proposition 2.** Division et élongation cellulaire dans l'apex de la racine : diversité de réponse au déficit hydrique. *Encadrants* : Marie-Béatrice Bogeat-Triboulot; Irène Hummel, André Granier UMR 1137 INRA/Nancy-Université UHP "Ecologie et Ecophysiologie Forestières", Centre INRA de Nancy, F-54280 Champenoux.

Les sujets et les personnes à contacter pour obtenir des informations complémentaires sont présentés en détail dans les documents joints.

**Candidature.** Les candidats à ces deux contrats doivent déposer leur dossier de candidature comportant :

- Un CV avec une description détaillée du cursus universitaire et des stages réalisés,
- Une lettre de motivation avec indication du choix de sujet parmi les deux proposés,
- Une lettre de recommandation d'un enseignant chercheur ou d'un chercheur ayant encadré le candidat.

Les dossiers de candidature devront parvenir au secrétariat de l'École Doctorale ([christine.fivet@inpl-nancy.fr](mailto:christine.fivet@inpl-nancy.fr)) avec copie à la Présidence du Centre INRA de Nancy ([presid@nancy.inra.fr](mailto:presid@nancy.inra.fr)) avant le vendredi 13 mai 2011.

Un comité de sélection examinera ces candidatures. Une première sélection de candidats admis à concourir sera faite par le comité sur la base des compétences générales des candidats et de l'adéquation aux thèmes proposés. La sélection définitive se fera après audition des candidats en juin 2011 (date non encore fixée). L'audition comportera une présentation de 10 mn par le candidat suivie par une série de questions (20 mn).

Pour plus d'informations, contactez : [presid@nancy.inra.fr](mailto:presid@nancy.inra.fr)

Le site de RP2E : <http://www.rp2e.inpl-nancy.fr/>

Le site INRA : <http://www.nancy.inra.fr>

**Young scientist contracts offered by INRA within the doctoral school  
RP2E (Nancy-Université)  
Call for applications - May 2011**

INRA and the Doctoral School RP2E offer during 2010 one or two "Contrats Jeunes Scientifiques" (Young Scientist Contracts) for 3 years (duration for completion of a PhD) followed by two years of post doctoral research. Candidates may choose among the two topics proposed this year:

**Topic 1.** Mechanistic biophysical modelling of cambial activity and wood formation. *Supervisors* : Cyrille Rathgeber, Mériem Fournier, UMR1092 INRA-AgroParisTech, Laboratoire d'Etude de la Ressource Forêt-Bois (LERFoB), Inra Research Center of Nancy, F-54280 Champenoux

**Topic 2.** Cell division and cell elongation in the root apex: diversity of drought-induced responses. *Supervisors* : Marie-Béatrice Bogeat-Triboulot; Irène Hummel, André Granier UMR 1137 INRA/Nancy-Université UHP "Ecologie et Ecophysiologie Forestières" Inra Research Center of Nancy, F-54280 Champenoux

The topics and contact persons for specific information are provided in the documents attached to this announcement.

**Applications.** Applicants to these two contracts should send the application files including :

- One detailed CV with all details about obtained degrees and fulfilled training,
- One motivation letter providing an indication about the topic selected and the reasons for this choice,
- One recommendation letter provided by a professor or a researcher who supervised the candidate during his/her training.

Applications files should be sent to the administration of the Doctoral School ([christine.fivet@inpl-nancy.fr](mailto:christine.fivet@inpl-nancy.fr)) with a copy to the president of INRA – Nancy ([presid@nancy.inra.fr](mailto:presid@nancy.inra.fr)) before Friday May 13<sup>th</sup>.

A selection committee will examine all applications and will select the candidates for an audition, based on the skills of the candidates and their adequation to the selected topics. The final selection will follow the audition of the candidates after 10 min presentation followed by 20 min questions.

For more information, please contact : [presid@nancy.inra.fr](mailto:presid@nancy.inra.fr)

RP2E website : <http://www.rp2e.inpl-nancy.fr/>

INRA website : <http://www.nancy.inra.fr>

## Proposition 1

**Unité d'accueil :**

Laboratoire d'Etude de la Ressource Forêt-Bois (LERFoB), Centre INRA de Nancy, F-54280 Champenoux

**Titre du projet :**

Développement d'un modèle mécaniste de fonctionnement du cambium et de formation du bois sous forçage micro-climatique.

**Encadrants du travail de doctorat :**

Mérim Fournier,

UMR1092 INRA-AgroParisTech, Laboratoire d'Etude de la Ressource Forêt-Bois (LERFoB), Centre INRA de Nancy, F-54280 Champenoux

Tél. : +33 3 83 39 40 00

Fax : +33 3 83 39 40 69

Courriel : [meriem.fournier@agroparistech.fr](mailto:meriem.fournier@agroparistech.fr)

&

Cyrille Rathgeber,

UMR1092 INRA-AgroParisTech, Laboratoire d'Etude de la Ressource Forêt-Bois (LERFoB), Centre INRA de Nancy, F-54280 Champenoux

Tél. : +33 3 83 39 40 64

Fax : +33 3 83 39 40 69

Courriel : [cyrille.rathgeber@nancy.inra.fr](mailto:cyrille.rathgeber@nancy.inra.fr)

**Problématique générale de recherche et état de l'art :**

Comprendre et modéliser l'influence des conditions environnementales sur la croissance des arbres est l'un des objectifs majeurs de la recherche forestière. Aujourd'hui, cela devient un enjeu particulièrement important du fait de l'accélération des changements globaux. De plus, bien que l'attention des forestiers se soit longtemps portée prioritairement sur la production en volume de bois d'œuvre, la demande du marché les conduits, aujourd'hui, à s'intéresser de près à la relation entre croissance en volume, qualité du bois, performance des produits finis et bilans environnementaux de la sylviculture dans la perspective d'un développement durable. Dans ce contexte, les théories phénoménologiques dendrométriques de la croissance doivent être révisées pour prendre explicitement en compte les variables climatiques à partir de l'étude des processus qui régissent l'interaction entre le climat et la croissance. Il devient alors nécessaire d'appréhender les relations entre les facteurs environnementaux et la croissance des arbres, non plus aux seules larges échelles spatiales et temporelles (peuplement, année), mais à des échelles plus fines (cellule, jour) afin de se donner les moyens de comprendre réellement les processus biologiques mis en œuvre. D'autre part la qualité du bois (dont la densité est l'indicateur le plus commun) est étroitement liée aux caractéristiques anatomiques des cellules qui le constituent, hors le développement de ces cellules au cours de la période de croissance des arbres est largement influencé par les conditions environnementales.

Le renouveau récent des études de suivi de la formation du bois, que ce soit en milieu naturel ou contrôlé, ont permis d'acquérir de précieux jeux de données qui permettent de comprendre en détail certaines relations entre activité cambiale et xylogénèse d'une part et facteurs internes et externes d'autre part. Ces données n'ont cependant pas encore été utilisées pour supporter une démarche globale et intégratrice de compréhension et de modélisation de l'ensemble du processus de formation du bois.

De nombreux modèles fonctionnels de croissance des arbres existent, mais pour ces modèles, la largeur des cernes ne dépend que de la quantité de carbone potentiellement allouée au compartiment tronc correspondant ; l'activité cambiale n'étant pas prise en compte. Peu de modèles (Deleuze & Houllier, 1998; Fritts *et al.*, 1999; Drew *et al.* 2010; Hölttä *et al.* 2010) se basent sur une description plus ou moins détaillée de l'activité cambiale pour simuler la croissance radiale à une échelle de temps infra-annuelle (hebdomadaire ou journalière). L'approche utilisée par ces modèles consiste le plus souvent à relier les principales caractéristiques des trachéides (nombre, taille, poids) aux conditions environnementales en prenant en compte, pour chaque phase de l'activité cambiale, l'influence des facteurs environnementaux les plus limitants. Le lien avec les flux hydriques et carbonés commence à peine à être abordé (Drew *et al.* 2010; Hölttä *et al.* 2010) et aucun de ces modèles n'a encore été validé sur des données de suivi de formation du bois.

Enfin le développement de modèles de croissance en files cellulaires est une question théorique très générale de la biologie intégrative, qui a donné lieu au développement de différents formalismes (cf par exemple Coen et al 2004, Fournier, Durand et al 2005, Silk 2006) qu'il convient d'évaluer et de s'approprier pour argumenter les choix de modélisation.

### **La question de recherche spécifiquement posée au candidat :**

L'objectif est de développer un modèle mécaniste de l'activité cambiale et de la formation du bois qui :

- (Objectif 1) permette de simuler les cinétiques des différents processus – division, élongation, épaississement, maturation – au cours d'une saison de croissance et leurs conséquences en terme de structure (profil de caractéristiques des cellules le long d'une file radiale) du bois formé.
- (Objectif 2) formalise le lien entre variables environnementales et formation du bois.
- (Objectif 3) soit calibré et validé sur une vaste gamme de situations expérimentales, ce qui veut dire que le modèle se doit d'être robuste et parcimonieux en s'adaptant au dialogue avec l'expérimentation, tout en décrivant correctement les patrons de variations observés. Sans que cela fasse partie du travail de thèse, le candidat pourra participer à l'acquisition des données pour comprendre les difficultés et les logiques de l'expérimentation.

Ce modèle sera utilisé pour dialoguer et concevoir de nouvelles expérimentations avec les écophysiologistes visant à tester le déterminisme du fonctionnement cambial et ses liens avec d'autres processus (bilans hydriques, photosynthèse, thigmomorphogenèse).

S'il s'avère bien reproduire les observations de phénologie cambiale (Seo *et al.*, 2008; Rossi *et al.*, 2010) et de réponse des processus du développement cambial aux facteurs de l'environnement (collaboration avec Hubert Morin de l'Université de Chicoutimi, Canada, dans un projet stratégique canadien auquel le LERFoB est associé), il pourra être calibré sur un large jeu de données de suivi de la formation du bois et des variables environnementales pertinentes pour différentes espèces et différents climats. Cela permettra de dresser un bilan de l'influence du climat sur la formation du bois en fonction du site, de l'espèce et des caractéristiques de l'arbre. A terme, le modèle pourrait être utilisé pour simuler la croissance radiale et les profils anatomiques et densitométriques des arbres au cours du 20<sup>ème</sup> siècle, avec l'objectif ultime de revisiter la dendroécologie : confirmer ou infirmer certaines hypothèses sur les tendances à long terme qui s'expriment dans la croissance des arbres, tester des hypothèses de fertilisation carbonique ou azotée en ajoutant des modules écophysiologiques, et enfin simuler l'impact des changements climatiques sur la croissance des arbres pour différents scénarios de changements climatiques.

**Originalité du sujet présenté et insertion dans la thématique du laboratoire :**

Le sujet est ambitieux : partant d'une approche de modélisation cinétique biophysique appuyée sur les modèles de croissance cellulaire, il propose de formuler des règles physiologiques simplifiées de réponse des différents processus aux variables environnementales pour simuler le déterminisme de la structure du bois. L'idée est « dans l'air du temps » comme l'attestent les articles sortis récemment mais on peut espérer raisonnablement que nos capacités d'observation des processus à partir de données expérimentales de qualité et représentatives d'une diversité de situations (grâce à notre insertion dans un réseau d'expérimentateurs international) et nos relations avec des modélisateurs biophysiques nous donne un avantage décisif.

Pour le LERFoB, un tel modèle aura un rôle central dans l'organisation des collaborations au sein du laboratoire car il permettrait de rassembler les personnes travaillant sur la qualité du bois, l'influence des facteurs environnementaux sur la croissance et la biomécanique de l'arbre autour d'un outil commun leur permettant de confronter leurs théories.

**Enjeux (scientifiques, socio-économiques...) :**

Dans le contexte actuel de comprendre l'impact des changements globaux en cours et à venir sur la production des écosystèmes forestiers, le LERFoB s'intéresse à la compréhension et à la modélisation des effets des facteurs environnementaux sur la qualité des bois. La qualité est appréhendée au travers d'indicateurs de la fonctionnalité du bois pour l'écosystème, l'arbre ou le matériau industriel, indicateurs qui sont liés aux caractéristiques structurales du bois, cellulaires ou pariétales. Les facteurs environnementaux sont les ressources ou signaux qui déterminent le fonctionnement de l'arbre dans l'écosystème, et qui caractérisent les conditions de stress, perturbation ou compétition à l'origine des différenciations de stratégie des espèces.

Les changements climatiques demandent de réviser les approches classiques de modélisation de la croissance et de la qualité des bois (théories phénoménologiques dendrométriques) où l'effet du sol et du climat est abordé de façon indissociée au travers de caractéristiques stationnelles supposées stables dans le temps. On s'oriente donc vers la prise en compte explicite de l'effet des variables climatiques sur les caractéristiques du bois formé à partir de l'étude des processus qui régissent l'interaction entre climat et fonctionnement cambial. L'enjeu de modélisation est alors d'intégrer ces processus décrits à des échelles fines (cellule, jour) pour d'une part comprendre et simuler les relations entre facteurs environnementaux et qualité observables à plus grande échelle (peuplement, année), et d'autre part aborder la question du contrôle environnemental (et de l'acclimatation) de la performance biophysique (conductance hydraulique ou rigidité mécanique) du bois.

Le modèle sera extrêmement structurant pour collaborer avec l'écophysiologie et la dendroécologie, en envisageant son couplage avec d'autres modèles du fonctionnement de l'arbre. A plus long terme, il doit permettre de revisiter la dendroécologie et jouer un rôle important dans le dialogue entre physiologie de l'arbre et écologie des forêts soumises aux changements environnementaux.

**Matériel disponible et/ou à produire et méthodes envisagées :**

Le livrable de la thèse est un modèle programmé en Java (et capable de dialoguer avec d'autres modules de la plate forme CAPSIS).

- Pour l'Objectif 1, on s'appuiera sur les travaux existants en morphogenèse et description de la croissance cellulaire, dont les travaux spécifiquement conduits sur le cambium et le bois (à partir du modèle historique de Wilson (Wilson 1964, 1973, Wilson et Howard 1968, Howard et Wilson 1972).

- Pour l'Objectif 2, on s'appuiera sur le travail de Deleuze et Houllier (1998) conduit au LERFoB et ses hypothèses majeures : (1) la température influence directement le taux de division cellulaire, (2) le statut hydrique de l'arbre influence directement le taux d'expansion cellulaire, (3) la quantité de sucre dans la sève influence directement le taux d'épaississement des parois. Mais on l'adaptera pour tenir compte des cinétiques variables entre processus (cf objectif 1).
- Pour l'objectif 3, la thèse aura accès à différents jeux de données déjà acquis ou en passe de l'être dans un réseau de laboratoires en France, Europe et Canada.

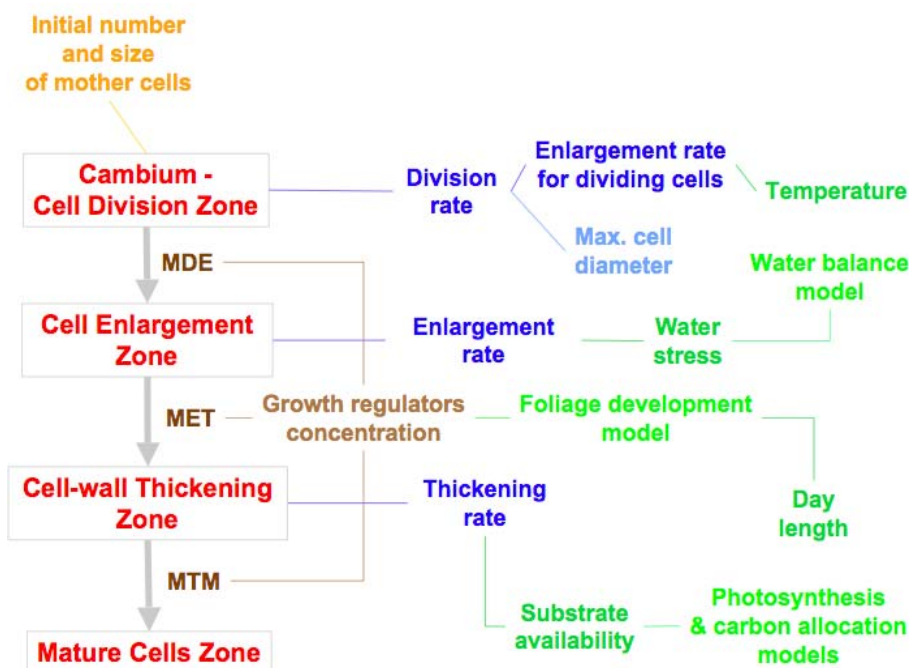


Figure 1. Modèle conceptuel de formation des cernes de croissance

### Compétences (cognitives et techniques) que le doctorant acquerra durant sa thèse :

Le candidat recherché doit démontrer des compétences en modélisation (avec une appétence pour la programmation en Java). La thèse relève d'une démarche interdisciplinaire entre modélisation cinématique de la formation de files cellulaires, modélisation biophysique du comportement de chaque cellule (faisant intervenir des variables de dilution, pression osmotique...) et calibration de modèles sur des données biologiques et écologiques réelles. Compte tenu des compétences présentes au LERFoB (en analyse statistique, en analyse de structure du bois, en biomécanique et en dendroécologie), nous souhaiterions recruter un modélisateur plutôt physicien attiré par la biologie. Un biologiste ayant une motivation affirmée pour la modélisation biophysique sera également considéré.

Le candidat sera fortement encouragé à effectuer plusieurs séjours dans des laboratoires partenaires, en France ou à l'étranger. Ces séjours auront pour objectif d'acquérir de nouvelles compétences dans les domaines de la modélisation en écophysiologie et de l'analyse des données.

**Comité de suivi de thèse :**

La thèse demandant des compétences interdisciplinaires, des contacts ont d'ores et déjà été pris avec les personnes suivantes pour la conception du projet :

Bruno Moulia (INRA Clermont) – modélisation biophysique  
 Hendrik Davi (INRA Avignon) - modélisation écophysiological  
 André Lacoïnte (INRA Avignon) – modélisation écophysiological  
 André Granier (INRA Nancy) – modélisation bilan hydrique  
 Frédéric Mothe ou Mattieu Fortin (LERFoB) – modélisation, Language Java  
 Sergio Rossi (UQAC, Canada) – suivi de la formation du bois

**Publications significatives de l'unité d'accueil sur le sujet (5 maximum) :**

- Moulia, B. and M. Fournier (2009). "The power and control of gravitropic movements in plants: a biomechanical and systems biology view." *Journal of Experimental Botany* 60(2): 461-486
- 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.
- Rathgeber C. B. K., Decoux V., Leban J.-M. (2006) Linking intra-tree-ring wood density variations and tracheid anatomical characteristics in Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). *Annals of Forest Science* 63: 699-706.
- Bouriaud O., Leban J.-M., Bert D. & Deleuze C. 2005. Intra-annual variations in climate influence growth and wood density of Norway spruce. *Tree Physiology* 25 (6): 651-660.
- Rathgeber C., Nicault A., Kaplan J.O. & Guiot J. 2003. Simulated responses of *Pinus halepensis* forest productivity to climate change and CO2 increase using a biogeochemistry model. *Ecological Modelling* 166: 239-255.
- Deleuze C. & Houllier F. 1998. A simple process-based xylem growth model for describing wood microdensitometric profiles. *Journal of Theoretical Biology* 193: 99-113.

**Références citées dans le texte :**

- Deleuze C, Houllier F. 1998. A simple process-based xylem growth model for describing wood microdensitometric profiles. *Journal of Theoretical Biology* 193: 99-113.
- Drew DM, Downes GM, Battaglia M. 2010. CAMBIUM, a process-based model of daily xylem development in Eucalyptus. *Journal of Theoretical Biology* 264: 395-406
- Fritts HC, Shashkin A, Downes GM 1999. A simulation model of conifer ring growth and cell structure. In: R. Wimmer, R. E. Vetter eds. *Tree-ring analysis: biological, methodological and environmental aspects*. Oxon New-York: CABI Publishing, 3-32.
- Hölttä T, Makinen H, Nojd P, Makela A, Nikinmaa E. 2010. A physiological model of softwood cambial growth. *Tree Physiology* 30:1235-1252.
- Howard RA, Wilson BF. 1972. A stochastic model for cambial activity. *Botanical Gazette* 133: 410-414.
- Rossi S, Morin H, Deslauriers A, Plourde PY. 2010. Predicting xylem phenology in black spruce under climate warming *Global Change Biology*.
- Seo J-W, Eckstein D, Jalkanen R, Rickebusch S, Schmitt U. 2008. Estimating the onset of cambial activity in Scots pine in northern Finland by means of the heat-sum approach. *Tree Physiology* 28: 105-112.
- Silk W. 2006. Moving with the flow: what transport laws reveal about cell division and expansion. *Journal of Plant Research*, 2006.
- Wilson BF 1964. A model for cell production by the cambium of conifers. In: M. H. Zimmerman ed. *The formation of wood in forest trees*. New-York: Academic Press, 19-36.
- Wilson BF. 1973. A diffusion model for tracheid production and enlargement in conifers. *Botanical Gazette* 134: 189-196.
- Wilson BF, Howard RA. 1968. A computer model for cambial activity. *Forest Science* 14: 77-90.

## Research topic 1

### Brief presentation of the research team :

The research activities of LERFoB (Forest Resources and Products Laboratory, joint venture between INRA and AgroParisTech) lie at the interface between tree development, forest growth, forest ecology, wood quality assessment to answer targeted questions for forest and wood sector, concerning i) spatial distribution of ecological factors and plant species, ii) forest dynamics, tree development and wood formation, resulting from plant competition, influenced by both environment and silviculture, iii) Changes of forest productivity in front of environmental changes, iv) Evaluating carbon, biomass and wood resource. Modelling (statistical, biophysical, dynamic systems) are an essential part of the lab's activities, using large set of field datas (for example the National Forest Inventory, phytoecological database EcoPlant, silvicultural experiments monitored for many years ...).

LERFoB is composed of 16 researchers, assistant professors and professors, 15 technicians and engineers and about 12 PhD students and Post-Doc researchers.

The group involved in the PhD program is mainly interested in how tree radial growth, wood structure and properties are constrained by ecological factors as climate or competition for light, as a key question linked to the sustainability of managed forest ecosystems under global change. Observations at different scales (from the individual tree to the national forest resource) are interpreted through statistical modelling. Experimental studies of wood formation, structure and properties are based on X ray CT scanning, wood anatomy and physics. Theoretical modelling analysed ecophysiological processes involved in wood formation and develop biophysical and ecological concepts about relationships between wood structure and function. Lastly modelling and simulation tools use the facility of the CAPSIS platform.

### Title of the research work :

Mechanistic biophysical modelling of cambial activity and wood formation.

### Supervising scientists :

Mériem Fournier,  
UMR1092 INRA-AgroParisTech, Laboratoire d'Etude de la Ressource Forêt-Bois (LERFoB),  
Centre INRA de Nancy, F-54280 Champenoux

Tél. : +33 3 83 39 40 00

Fax : +33 3 83 39 40 69

Courriel : [meriem.fournier@agroparistech.fr](mailto:meriem.fournier@agroparistech.fr)

&

Cyrille Rathgeber,  
UMR1092 INRA-AgroParisTech, Laboratoire d'Etude de la Ressource Forêt-Bois (LERFoB),  
Centre INRA de Nancy, F-54280 Champenoux

Tél. : +33 3 83 39 40 64

Fax : +33 3 83 39 40 69

Courriel : [cyrille.rathgeber@nancy.inra.fr](mailto:cyrille.rathgeber@nancy.inra.fr)

**Brief presentation of the research objectives :**

The thesis will consist in developing a mechanistic model of cambial activity and wood formation.

The first objective of the thesis is to find a mathematical formalism able to describe the intra-annual dynamics of cell development (division, enlargement, thickening and lignification and mature) and its consequences in terms of structure of the resulting tree-ring.

The second objective is to understand the influences of the climatic factors on cambial activity and xylogenesis and to build these relationships in the model.

The third objective is to calibrate and validate the model on large range of in- and ex-situ experiments/monitoring studies.

The validated version of the model will then be used to test some hypothesis about the impact of climatic changes on cambial activity and wood formation and to design new experiments in order to better understand the influence of ecophysiological processes (water balance, photosynthesis, thigmomorphogenesis) on cambial activity and wood formation.

**LERFoB's references on this topic :**

Mouliat, B. and M. Fournier (2009). "The power and control of gravitropic movements in plants: a biomechanical and systems biology view." *Journal of Experimental Botany* 60(2): 461-486

Rossi S., Deslauriers A., Gričar J., Seo J-W, Rathgeber C. B. K., Anfodillo T., Morin H., Levanić T., Oven P. & Jalkanen R. 2008. Critical Temperatures for xylogenesis in conifers of cold climates. *Global Ecology and Biogeography* 17: 696-707.

Rathgeber C. B. K., Decoux V., Leban J.-M. (2006) Linking intra-tree-ring wood density variations and tracheid anatomical characteristics in Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). *Annals of Forest Science* 63: 699-706.

Bouriaud O., Leban J.-M., Bert D. & Deleuze C. 2005. Intra-annual variations in climate influence growth and wood density of Norway spruce. *Tree Physiology* 25 (6): 651-660.

Rathgeber C., Nicault A., Kaplan J.O. & Guiot J. 2003. Simulated responses of *Pinus halepensis* forest productivity to climate change and CO<sub>2</sub> increase using a biogeochemistry model. *Ecological Modelling* 166: 239-255.

Deleuze C. & Houllier F. 1998. A simple process-based xylem growth model for describing wood microdensitometric profiles. *Journal of Theoretical Biology* 193: 99-113.

## Proposition 2

### Unité d'accueil :

UMR1137 INRA-Nancy Université, Ecologie et Ecophysiologie Forestières, INRA, centre de Nancy, 54280 Champenoux

### Titre du projet :

Division et élongation cellulaire dans l'apex de la racine : diversité de réponse au déficit hydrique

### Encadrants du travail de doctorat :

Marie-Béatrice Bogeat-Triboulot (CR1 INRA, UMR 1137) ; triboulo@nancy.inra.fr

Irène Hummel (CR2 INRA, UMR 1137) ; hummel@nancy.inra.fr

André Granier (DR1 INRA, UMR 1137); agranier@nancy.inra.fr

### Problématique générale de recherche et état de l'art :

La sécheresse constitue une des contraintes les plus importantes limitant la productivité primaire. Avec les changements climatiques attendus dans les prochaines décennies, la fréquence, la durée et l'intensité des sécheresses augmenteront, concerneront des zones de plus en plus étendues et auront un impact massif sur le rendement voire la survie des agroécosystèmes.

A l'échelle de l'arbre, le maintien de la productivité sous sécheresse suppose le maintien du potentiel hydrique et peut être obtenu par la réduction des pertes en eau par transpiration et/ou par l'optimisation de l'exploitation de l'eau du sol. Par exemple, le meilleur comportement de *Populus deltoides* x *P. nigra* par rapport à *P. trichocarpa* x *P. deltoides* en réponse à une sécheresse a été attribué à une densité racinaire supérieure (rapportée au volume de tige) (Tschaplinski et al, 1998). Alors que le déficit hydrique édaphique tend à diminuer la conductivité hydraulique du système racinaire, l'exploration du sol nécessaire à l'exploitation d'une ressource dont la distribution est hétérogène, nécessite pour la plante de maintenir voire de stimuler la croissance racinaire. Le développement du système racinaire, qui inclut l'allongement des axes et la formation des « latérales », répond à de nombreux facteurs environnementaux dont les signaux fongiques, la disponibilité en éléments minéraux ou la disponibilité en eau. Les mécanismes cellulaires et moléculaires à la base de cette plasticité développementale sont quasi inconnus, de même que la diversité de cette plasticité (Den Herder et al, 2010).

L'allongement de l'axe racinaire résulte de deux processus : division et élongation cellulaires. Les mécanismes moléculaires de la régulation de la croissance incluent vraisemblablement une coordination spatiale et temporelle complexe de ces processus, actuellement non décryptée (Gonzalez et al, 2010). Alors que la température affecte division et élongation de façon coordonnée, le déficit hydrique semble désynchroniser ces processus (Silk, 2006). Les avancées technologiques associées aux concepts de la cinématique permettent maintenant de caractériser finement les paramètres de la croissance tant au niveau spatial que temporel (Walter et al, 2009 ; Rymen et al, 2010). Les approches de protéomique et transcriptomique, en fournissant une vue intégrée du fonctionnement cellulaire, sont un outil puissant pour analyser la réponse au déficit hydrique (Yamaguchi and Sharp, 2010). Par ailleurs, les approches multidisciplinaires apportent de nouveaux éléments pour comprendre la régulation des processus individuellement et leurs interactions. Ainsi nos travaux, associant la qPCR à haute résolution spatiale aux approches cinématiques, ont donné accès à la régulation de l'expression des gènes dans la zone de croissance de l'apex de la racine (Merret et al, 2010). Similairement, une analyse prenant en compte la diversité de la croissance racinaire entre accessions naturelles d'*Arabidopsis* a montré que la variabilité de la durée du cycle cellulaire explique près de la moitié de la variabilité de vitesse de croissance observée dans les différents fonds génomiques (Beemster et al, 2002).

L'étude que nous proposons sera traitée à partir des hypothèses de travail suivantes :

- Le maintien de la croissance racinaire est un avantage en situation de déficit hydrique et de compétition pour l'approvisionnement en eau et la meilleure tolérance de certains génotypes/espèces de peuplier au déficit hydrique édaphique pourrait dépendre en partie d'une différence de sensibilité du développement racinaire au déficit hydrique.
- La division et l'élongation cellulaire semblent différemment impactées par la sécheresse (Silk, 2006) mais la régulation de la synchronisation de ces processus n'est actuellement pas comprise. L'analyse de la diversité de sensibilité de la croissance et de ses processus élémentaires pourrait nous aider à comprendre leur coordination.
- La forte réactivité du transcriptome de la zone de croissance de la racine en réponse à la sécheresse souligne l'existence d'une forte plasticité moléculaire, qui est de surcroît génotype-dépendante (Cohen et al, 2010). Cette diversité pourrait être exploitée pour définir des marqueurs fonctionnels et des gènes impliqués dans la régulation de la croissance.

#### **La question de recherche spécifiquement posée au candidat :**

Comment les processus élémentaires de la croissance, division et élongation cellulaires, sont-ils modulés lors de variations de la croissance des axes racinaires induites par le déficit hydrique ? Qu'en est-il de la synchronisation entre ces deux processus ?

Cette question sera traitée en quantifiant l'impact du déficit hydrique sur les composantes dynamiques de la croissance des axes racinaires, division et élongation cellulaires, en caractérisant la plasticité moléculaire sous-jacente, et en analysant la diversité de la plasticité de la croissance et des régulations moléculaires.

#### **Originalité du sujet présenté et insertion dans la thématique du laboratoire :**

La question de recherche - à savoir le rôle respectif de la production de cellules et de l'expansion cellulaire dans le contrôle de la taille de l'organe - est fondamentale en biologie du développement. L'originalité du projet réside dans l'utilisation de la diversité génétique et moléculaire pour caractériser la plasticité de la coordination des deux processus élémentaires en réponse à la contrainte hydrique.

L'originalité de ce sujet réside aussi dans sa pluridisciplinarité -écophysiologie, biophysique et génomique fonctionnelle. La réussite de ce projet prend fondement autant sur le savoir-faire de l'équipe « physiologie et diversité de la réponse aux contraintes » de l'UMR EEF en matière de dissection des mécanismes d'acclimatation des arbres au déficit hydrique que sur l'expertise de l'équipe d'accueil dans le domaine de la génomique comparative et de l'analyse de la diversité chez les espèces forestières.

Ce projet de thèse s'inscrit pleinement dans les thématiques et dans l'approche intégrative de l'Unité. Il permettra d'asseoir la thématique du contrôle de la croissance de la racine, développée depuis quelques années dans l'UMR, en particulier au travers du doctorat de R. Merret (2007-2010). De plus, les interactions des UMRs EEF et IAM autour des thématiques « croissance de la racine » et « génomique fonctionnelle » constituent un environnement scientifique stimulant et très favorable à la réalisation du projet.

**Enjeux (scientifiques, socio-économiques...) :**

Depuis quelques années, le compartiment racinaire est l'objet d'un attrait grandissant. Les modèles de fonctionnement à l'échelle de la plante entière ou de l'écosystème requièrent une meilleure connaissance du fonctionnement de ce compartiment, à toutes les échelles. Au sein du centre INRA de Nancy, un rapprochement des acteurs de la recherche sur l'objet « racine » des UMRs EEF et IAM est en cours. Les résultats attendus dans ce projet de thèse seront facilement transposables à la question du contrôle développemental de la racine lors de la mycorhization. La réalisation de ce projet renforcera cette thématique de recherche transversale à l'échelle du centre INRA de Nancy.

Ce projet s'inscrit dans les défis du schéma stratégique du département EFPA de l'INRA, en particulier étudier l'adaptation des organismes aux changements globaux, définir la plasticité et du comportement des individus, modéliser les interactions génotype x environnement. Il s'insère naturellement dans les challenges scientifiques du Meta-Programme ACCAF. Ce projet contribuera à améliorer la compréhension des mécanismes d'acclimatation au déficit hydrique : enjeu important, en particulier pour les espèces pérennes qui affronteront des périodes de sécheresse sans avoir la possibilité de s'adapter à travers la sélection générationnelle. L'amélioration des connaissances de la biologie du peuplier contribuera aussi à l'évaluation du potentiel du genre *Populus* dans le cadre de la production de bioénergie à partir des ligneux à croissance rapide.

**Matériel disponible et/ou à produire et méthodes envisagées :**

Les travaux menés dans l'équipe au cours de ces dernières années ont permis le développement d'une expertise dans tous les domaines scientifiques nécessaires à la réalisation de ce projet : cultures du peuplier (hydroponie, sol, minirhizotrons), cinématique (quantification des processus de croissance), génomique (analyse du transcriptome sur puces Affymetrix, qPCR, microdissection laser), gestion du déficit hydrique (automate d'irrigation, stress osmotique), statistique (plasticité et diversité). Les analyses cytologiques se feront en collaboration avec l'UMR IAM.

Ce projet sera mené sur une sélection d'espèces de peuplier dont la tolérance à la sécheresse a été caractérisée lors de projets de recherche précédents (Establish, ANR Popsec) ou sur la base de leur intérêt scientifique : *Populus deltoides x nigra* cv Soligo et I45-51 (sensible et tolérant à la sécheresse, respectivement), *P. tremula x alba* 717-1B4 (très tolérant à la sécheresse et transformable) et *P. trichocarpa* Nisqually1 (le génome séquencé). D'autre part, sous réserve d'obtention de matériel végétal, ces clones pourront être comparés à une espèce de peuplier phréatophyte, *P. euphratica*, capable d'un enracinement très profond pour attendre les nappes souterraines.

**Compétences (cognitives et techniques) que le doctorant acquerra durant sa thèse :**

La thèse proposée s'inscrit dans une démarche de biologie intégrative et comparative. Le doctorant acquerra des compétences en écophysiologie et en biophysique du grandissement cellulaire. Il sera amené à acquérir des compétences techniques et théoriques dans différents domaines dont l'histologie et la cytolocalisation, le micro-échantillonnage et la biologie moléculaire (transcriptomique et qPCR) et les statistiques.

Par ailleurs, cette formation à la recherche amènera le candidat à construire une démarche scientifique, à développer son autonomie, à travailler en collaboration et à valoriser ses travaux.

**Comité de suivi de thèse :**

B. Moulia (DR, UMR PIAF) pour son expertise en cinématique de la croissance, B. Muller (DR, UMR LEPSE) pour son expertise en biologie intégrative de la croissance sous déficit hydrique et S Delzon (CR, UMR BIOGECO) pour son expertise dans l'analyse comparative des réponses des arbres forestiers aux contraintes environnementales et deux experts du développement racinaire lors de l'interaction racine-champignon mycorhizien V. Legué (MCF, UMR IAM) pour les aspects de physiologie moléculaire et d'imagerie cellulaire et A. Kohler (IR, UMR IAM) pour les aspects de

transcriptomique. Ce comité de pilotage sera ouvert à des experts internationaux A. Walter (ICG-3, Jülich, Allemagne), spécialiste du phénotypage de la croissance et G. Beemster (Université d'Antwerp, Belgique), spécialiste des processus de division et élongation.

Cette liste n'est pas limitative, elle comporte selon nous des membres permanents du comité de pilotage mais aussi des experts invités à des étapes clés du suivi de la thèse. Aucun des chercheurs pressentis n'a été consulté.

**Publications significatives de l'unité d'accueil sur le sujet (5 maximum) :**

**Cohen D et al. 2010.** Comparative transcriptomics of drought responses in *Populus*: a meta-analysis of genome-wide expression profiling in mature leaves and root apices across two genotypes. *BMC Genomics* **11**: 630.

**Hummel I et al. 2010.** *Arabidopsis thaliana* plants acclimate to water deficit at low cost through changes of C usage; an integrated perspective using growth, metabolite, enzyme and gene expression analysis. *Plant Physiology* **154**:357-372.

**Merret R et al. 2010.** Monitoring the regulation of gene expression in a growing organ using a fluid mechanics formalism. *BMC Biology* **8**: 18.

**Bogeat-Triboulot MB et al. 2007.** Gradual soil water depletion results in reversible changes of gene expression, protein profiles, ecophysiology, and growth performance in *Populus euphratica*, a poplar growing in arid regions. *Plant Physiology* **143**: 876-892.

**Triboulot MB et al. 1995.** Stimulation and inhibition of pine root growth by osmotic stress. *New Phytologist* **130**: 169-175.

## Research topic 2

### Brief presentation of the research team :

The research unit Forest Ecology and Ecophysiology (EEF) implements multi-scale research programmes aiming at investigating short and long-term effects of environmental constraints, especially water shortage, on tree function and growth, on water and carbon cycles, on forest species distribution and its temporal changes. Its research aims at understanding and improving tree and forest ecosystem adaptations to their present and future environment. This research covers a broad range of experimental approaches: from gene expression to forest ecosystems functioning, including integrative biology at the tree scale and diversity analysis. Within this Unit, a group focuses on poplar root growth and its response to water deficit, with an integrative approach combining biophysics and transcriptomics.

### Title of the research work :

Cell division and cell elongation in the root apex: diversity of drought-induced responses

### Supervising scientists :

Marie-Béatrice Bogeat-Triboulot (CR1) ; [triboulo@nancy.inra.fr](mailto:triboulo@nancy.inra.fr)  
Irène Hummel (CR2) ; [hummel@nancy.inra.fr](mailto:hummel@nancy.inra.fr)  
André Granier (DR1) ; [agranier@nancy.inra.fr](mailto:agranier@nancy.inra.fr)

### Brief presentation of the research objectives :

The developmental plasticity of the root system is crucial for whole plant functioning (Den Herder et al, 2010). Root branching and root elongation are known to be plastic in response to soil heterogeneity. Maintaining root growth under water deficit favours water foraging and thus contributes to sustain water status and plant productivity. Root elongation relies on two dynamic processes, the meristematic production of cells and their elongation. Both are responsive to environmental factors. While the molecular mechanisms underlying cell division and cell elongation have been depicted, those involved in the synchrony between these cellular processes remain puzzling.

The project aims to unravel the relationships between the elementary processes, cell division and cell elongation, in the drought-induced variations of poplar root growth. We will particularly focus on the debated question of the synchrony between these cellular processes. On this purpose the study will include not only the determination of the drought response of the cellular processes and the characterisation of the underlying molecular plasticity but also the analysis of their diversity among poplar genotype/species. Kinematic analyses will allow an accurate description of these dynamic components of root growth and will be combined to gene expression monitoring (transcriptomic and qPCR) in order to decipher their spatial and temporal regulation. Screening the diversity of the plasticity at the biophysical and molecular scales among poplar genotype/species opens a new way to dissect the molecular basis of growth regulation.