

# XYLOFOREST

127 thèses de doctorat  
pour la forêt et le bois  
*127 PhD Theses on forests  
and wood*



xyloforest

# XYLOFOREST

---

127 thèses de doctorat  
pour la forêt et le bois

*127 PhD Theses  
on forests and wood*



## LES PARTENAIRES DE L'ÉQUIPE XYLOFOREST



## UN PROJET CO-CONSTRUIT AVEC LES PARTENAIRES DU PÔLE DE COMPÉTITIVITÉ XYLOFUTUR



## UN PROJET GÉRÉ ET SUIVI PAR L'AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE



Investissements d'Avenir - ANR-10-EQPX-16

## PRÉAMBULE

L'Équipement d'Excellence **XYLOFOREST** fait partie du programme « Investissements d'avenir », initié par l'État français en 2010. Il avait pour ambition de renforcer et fédérer les infrastructures de recherche et d'innovation pour l'adaptation des forêts aux changements et la valorisation du matériau bois.

Il a permis de doter, via l'Agence Nationale de la Recherche, une dizaine de laboratoires de recherche travaillant dans les domaines des sciences de l'environnement, des biotechnologies et des matériaux d'équipements de très haut-niveau structurés au sein de plateformes techniques mutualisées et en réseau national. Celles-ci travaillent sur les systèmes sylvicoles innovants, les biotechnologies forestières, la génomique et le phénotypage des arbres, l'ingénierie avancée du bois, la conception de produits composites à base de bois, et la chimie et bioraffinerie du bois.

Le projet a débuté en 2011 et s'est achevé fin 2019. Il a été porté initialement par Jean-Michel Carnus (INRA), et s'est appuyé sur une équipe managériale soudée<sup>1</sup>. Les plateformes **XYLOFOREST** se sont équipées (104 équipements) et organisées progressivement. De très nombreux projets de recherche régionaux, nationaux et européens se sont appuyés directement sur ces plateformes, gérées par des équipes motivées et compétentes, générant un flux croissant de publications scientifiques et d'activités de valorisation ; depuis 2013, 150 publications scientifiques dans des revues internationales et 15 dépôts de brevets ont ainsi été recensés.

**XYLOFOREST** est fortement inséré dans des infrastructures de recherche européennes, ce qui a permis aux plateformes qui le composent d'accueillir de nombreux collègues européens. Des actions de dissémination et de communication ont été également menées en partenariat avec le pôle de compétitivité **XYLOFUTUR** en direction des partenaires professionnels et industriels et en direction du grand public à travers la participation à des événements liés au secteur forêt-bois.

Dans ce recueil, coordonné avec l'aide de Jean-François Trontin (FCBA) et Jean-Luc Coureau (Université de Bordeaux), chaque plateforme est présentée pour faciliter les collaborations à venir.

Ensuite, nous avons choisi d'illustrer la place importante qu'occupent les activités de formation par la recherche au sein de ces plateformes. Nous présentons donc sur deux pages chaque thèse qui s'est appuyée sur ces plateformes et listons ensuite plus brièvement les thèses en cours. Depuis 2013, ce sont en effet 127 doctorants nationaux et internationaux qui ont été formés grâce à l'EquipEx **XYLOFOREST** (82 thèses soutenues et 45 en cours). Un premier bilan publié en 2017 ne faisait état que de 50 thèses, illustrant l'utilisation croissante de ces plateformes. Le lecteur souhaitant approfondir tel ou tel sujet pourra facilement consulter la thèse elle-même (généralement accessible en ligne sur le site national theses.fr, pour les thèses soutenues en France) ou les publications issues du travail du doctorant, signalées à chaque fois. L'ensemble du document illustre bien à quel point le travail des équipes gérant les équipements est essentiel pour former la nouvelle génération de chercheurs.

La fin du projet EquipEx en décembre 2019 marque le début d'une nouvelle aventure pour ces plateformes mutualisées. La plupart d'entre elles entament en effet une autre phase de leur développement avec une reconnaissance institutionnelle accrue et des perspectives d'évolution rapide grâce à leurs bilans remarquables.

Nous leur souhaitons de nouveaux succès et de passionnantes découvertes pour les années à venir.

**RÉMY PETIT**, Inra Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux, coordinateur de l'EquipEx Xyloforest

**RICHARD EMEYRIAT**, Ingénieur Conseil Forêt-Bois, chef de projet Xyloforest

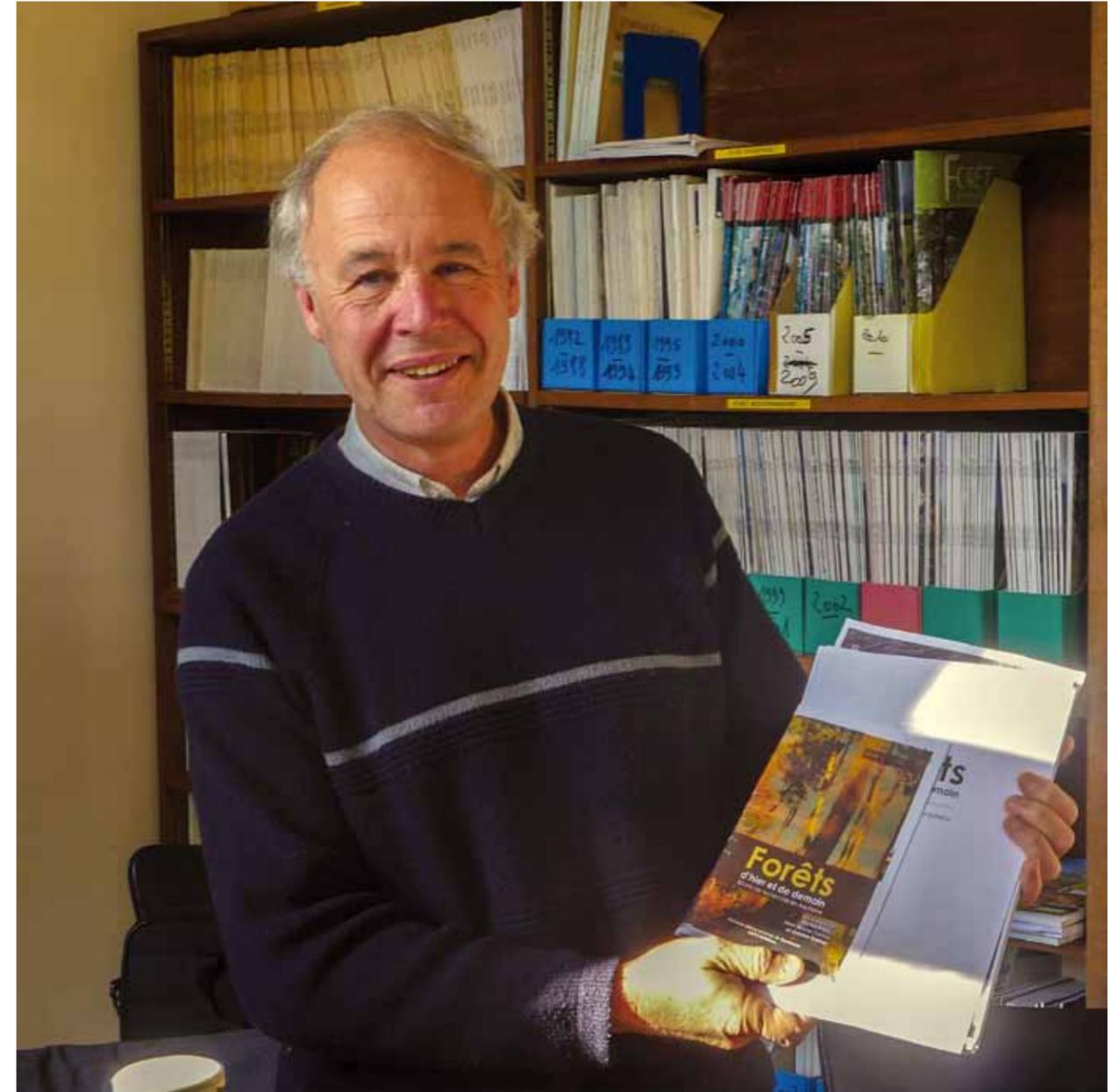
1. Equipex Management Team (EMT) composé de Stéphane Grelier puis Frédérique Pichavant (Université de Bordeaux), Christine Déliée (Bordeaux Sciences Agro), Fabienne Schneider (INRA), Bertrand Charrier (Université de Pau et des Pays de l'Adour), Pierre Trichet (INRA), Jean-Luc Coureau (Université de Bordeaux), Jean-François Trontin (FCBA), Rémy Petit (INRA), Richard Emevriat (Forêt Logistique Conseil).



Equipex Management Team de Xyloforest fin 2017, lors du départ en retraite de Jean-Michel Carnus (de gauche à droite) : Jean-François Trontin, Richard Emeyriat, Jean-Michel Carnus (coordinateur, 2011-2017), Fabienne Schneider, Rémy Petit (coordinateur, 2018-2019), Stéphane Grelier, Pierre Trichet, Bertrand Charrier, Jean-Luc Coureau.



Présentation de Xyloforest lors de Forexpo 2016 (Mimizan).



Jean-Michel Carnus, concepteur puis coordinateur de Xyloforest de 2011 à 2017.

## Ce que vous trouverez dans ce recueil :

L'EquipEx **XYLOFOREST** avait pour objectif de renforcer des plateformes technologiques de recherche et d'innovation dans les secteurs de la forêt et du bois. Dans ce document, vous trouverez tout d'abord une description de chaque plateforme ayant bénéficié de l'EquipEx **XYLOFOREST** : intitulé, objectifs, ouverture, reconnaissance institutionnelle, et informations pratiques (localisation, contact, site internet, etc.). Ensuite, les thèses qui se sont appuyées sur ces plateformes sont présentées, regroupées par plateforme (voir le sommaire ci-contre). Nous présentons successivement les thèses déjà soutenues, en fournissant le résumé de la thèse, généralement en français et anglais, et une liste de publications issues du travail de thèse, puis nous listons les thèses en cours. A chaque fois, nous indiquons où la thèse s'est déroulée et précisons les directeurs de thèse et le ou les plateau(x) techniques mobilisés. Toutes les illustrations sont originales. Leurs auteurs sont listés en fin d'ouvrage.

## What you will find in this document:

*The objective of the **XYLOFOREST** project was to develop research infrastructures dealing with forest and wood. In this document, you will find a brief description of these facilities including their specific objectives, access, institutional recognition, as well as some practical information (location, contact, website). Following this, a list of PhD theses that have relied on these facilities is provided, listed by facility. An English abstract of the work is provided for each of them, as well as a list of publications and some original illustrations. At the end of each section, a listing of all ongoing PhD theses is also provided.*

## SOMMAIRE

DESCRIPTION DES PLATEFORMES	8
Thèses préparées sur chaque plateforme :	
<b>XYLOSYLVE</b> SYSTÈMES SYLVICOLES INNOVANTS	24
<b>XYLOBIOTECH</b> BIOTECHNOLOGIES FORESTIÈRES	34
<b>XYLOMIC</b> GÉNOMIQUE ET PHÉNOTYPAGE DES ARBRES	50
<b>XYLOPLATE</b> INGÉNIERIE AVANCÉE DU BOIS	122
<b>XYLOMAT</b> PRODUITS COMPOSITES À BASE DE BOIS	160
<b>XYLOCHEM</b> CHIMIE ET BIO-RAFFINERIE DU BOIS	202

# Plateforme XYLOSYLVE

## Systèmes sylvicoles innovants

3 thèses soutenues, 5 en cours

### Objectifs

La plateforme **XYLOSYLVE** vise à évaluer la durabilité et la performance environnementale de systèmes de production intensifs de bois et de biomasse ligneuse, en conditions climatique océanique sur sols sableux podzolisés. Les itinéraires sylvicoles innovants testés visent à optimiser les fonctions biologiques des écosystèmes pour la production de biomasse dans le contexte du changement climatique (fixateurs naturels d'azote, recyclage de produits résiduels, labour réduit, mélange d'espèces, irrigation...).



### Activités

Une plateforme expérimentale de 45 ha testant des scénarios sylvicoles est installée sur le domaine de la station de recherche INRA de Bordeaux-Pierroton. Elle comprend 3 parcelles de 10 ha permettant un suivi biologique, biogéochimique et biophysique en continu des écosystèmes (sol, eau, végétation, atmosphère) associées à un site ICOS (FR-Bil) de classe II (**XYLOSYLVE OBSERVATION**), un dispositif de 6 ha comparant la croissance du Pin maritime et de l'Eucalyptus ou l'alimentation hydrique et minérale est manipulée (fertirrigation) et un dispositif factoriel complet testant la productivité de 8 itinéraires sylvicoles innovants sur 16 ha (**XYLOSYLVE EXPERIMENTATION**), et un dispositif expérimental de l'effet de la biodiversité sur le fonctionnement des forêts (**ORPHEE**), faisant partie d'un réseau international (TreeDivNet).

### Contact

pierre.trichet@inra.fr



### Ouverture de la plateforme

Le site met à disposition des scientifiques les services suivants :

- Un service d'expérimentation *in situ* sur les écosystèmes ;
- Une instrumentation pour le suivi à long terme de ces écosystèmes et la mesure *in situ* des paramètres environnementaux ;
- Des dispositifs et outils pour la collecte d'échantillons et de données sur les écosystèmes étudiés ;
- Une halle technique de 500 m<sup>2</sup> dédiée au traitement des échantillons.

### Reconnaissance

Xylosylve est intégrée dans les infrastructures de recherche françaises et européennes AnaEE (Analysis and Experimentation on Ecosystems) et ICOS (Integrated Carbon Observation System)



**XYLOSYLVE:** Sustainable forest production systems for biomass production

**XYLOSYLVE** answers the need to support development of intensive forest production systems such as planted forests and their adaptation to climate changes and related risks, in oceanic climatic and sandy podzol soil conditions.

The experiments include a comparison of forest management alternatives (various levels of species mixture, fertilisation, soil preparation and legumes introduction), aiming to optimize the biological functions of the «landes de Gascogne» ecosystem for a sustainable biomass production.

**XYLOSYLVE** is an ensemble of four long-term complementary field experiments and laboratory facilities, co-located in the INRA Bordeaux Pierroton research site.

# Plateforme XYLOBIOTECH

## Biotechnologies forestières

6 thèses soutenues, 3 en cours



### Objectifs

La plateforme **XYLOBIOTECH** est spécialisée en biotechnologies appliquées aux arbres forestiers. Elle associe un Centre Technique Industriel (FCBA) et un institut de recherche académique (INRAE).

### Activités et ouverture de la plateforme

Des équipements de pointe et des experts sur les sites de Pierroton (FCBA, pôle Biotechnologies et sylviculture avancée) et Orléans (INRAE, UMR BioForA) sont à la disposition des acteurs scientifiques, académiques ou privés, pour répondre à leurs besoins de R&D, formation et services en :

#### MICROPROPAGATION

FCBA(R&D, formation/services)

#### CRYOCONSERVATION

FCBA (R&D, formation/services)

#### TRANSFORMATION GÉNÉTIQUE

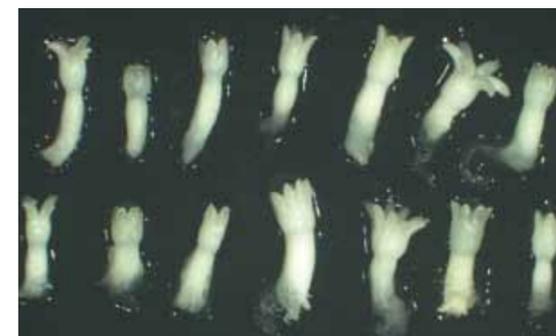
FCBA (pin), INRAE (peuplier)  
R&D, formation/service aux chercheurs

#### HISTOCYTOLOGIE

INRAE (R&D, formation/services)

#### TYPAGE MOLÉCULAIRE

FCBA (R&D, formation/services)



### Contact

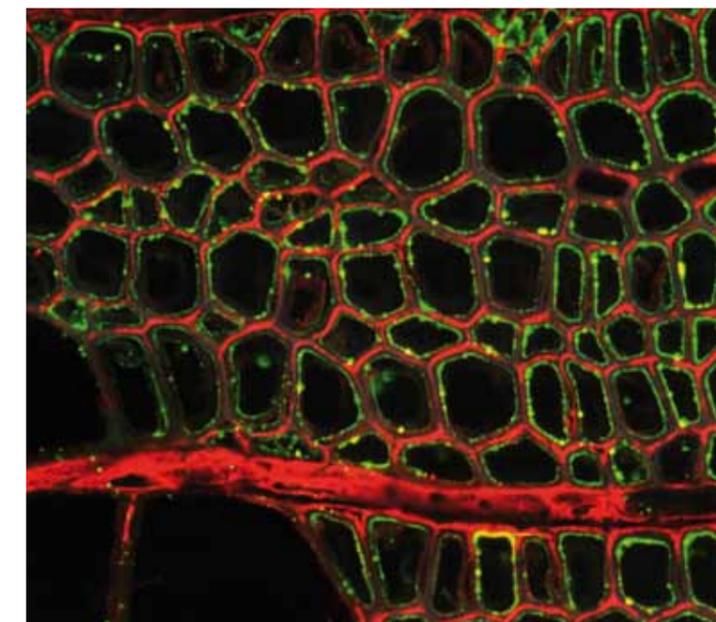
Pierroton : jean-francois.trontin@fcba.fr  
Orléans : francoise.laurans@inra.fr

### Site internet

<http://biotech.xyloforest.org/>

### Reconnaissance

La plateforme est référencée par les infrastructures In-Sylva France et ERIFORE.



**XYLOBIOTECH**, a FCBA/INRAE platform offering R&D, training and services in forest biotechnologies for a wide scientific community (academic and private): expertise in micropropagation, cryopreservation, genetic engineering, histocytology and molecular typing.



# GénoBois – Phénotypage des propriétés physico-chimiques du bois et hydraulique des arbres

16 thèses soutenues, 2 en cours

## Objectifs

**GÉNOBOIS** constitue un outil de phénotypage pour étudier l'influence des changements globaux et de l'amélioration génétique sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers et sur la productivité et la qualité du bois des arbres. Ses objectifs sont de fournir à la recherche et à l'industrie une plateforme commune pour caractériser le bois et comprendre les processus biologiques et écologiques impliqués dans l'élaboration de ce tissu, comprendre les déterminants environnementaux et génétiques de la variabilité des propriétés du bois des forêts de plantation et des forêts peu anthropisées, identifier les mécanismes impliqués dans l'adaptation et la réponse des arbres au stress hydrique et fournir des outils de phénotypage pour identifier de nouveaux génotypes performants pour la sylviculture en terme de productivité, de résistance aux stress abiotiques et de résilience.

## Activités et ouverture de la plateforme

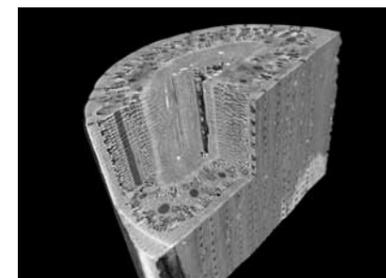
La plateforme **GÉNOBOIS** associe plusieurs laboratoires et ateliers adossés aux Unités BioForA du Centre Val de Loire (site d'Orléans), BIOGECO du Centre Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux (sites de Cestas et Pessac) et PIAF du Centre Auvergne-Rhône-Alpes (site de Crouël). Leur mise en réseau permet d'assurer une complémentarité avec des équipements spécifiques et remarquables répartis sur les trois sites et de répondre aux diverses demandes et projets d'analyses dans les domaines de la génétique quantitative, l'écophysiologie, la génomique, la biologie moléculaire, l'anatomie, la biochimie et la dendrochronologie.

**GÉNOBOIS** propose une diversité de mesures d'appréciation directe ou indirecte de paramètres phénotypiques en lien avec les propriétés physico-chimiques du bois et hydrauliques des arbres (analyses chimiques du bois, évaluation de la qualité de la biomasse,

microdensitométrie aux rayons X, mesures physiques et mécaniques du bois, études micro et macroscopiques du tissu bois, microtomographie à rayons X, hydraulique des arbres, évaluation par spectrométrie infrarouge de la composition chimique du bois, ...). La plateforme dispose également de chaînes partiellement automatisées de traitement d'échantillons végétaux (sciage, broyage, distribution) permettant d'atteindre un grand débit d'analyse. Les équipements et compétences de **GÉNOBOIS** servent principalement aux projets de recherche de leurs unités d'adossement, mais sont également ouverts à toute la communauté scientifique publique et privée. De nombreux visiteurs utilisent la plateforme tous les ans à raison de séjours d'un à plusieurs mois.

## Reconnaissance

**GÉNOBOIS** est labellisée Installation Scientifique Collective par l'INRA et est référencée par l'infrastructure nationale In-Sylva.



*The **GÉNOBOIS** Facility, based in Orléans, Bordeaux and Clermont-Ferrand, is an academic structure specialized in wood phenotyping and in tree hydraulics. Génobois offers access to equipment, cutting-edge technologies and expertise for a wide scientific community. Numerous international visitors take advantage of the facility by staying one month or more to conduct experiments and collaborate with the scientific teams.*

## Contact

plateforme-genobois@inra.fr

## Site internet

<https://www6.inra.fr/genobois/>

# Plateforme Génome Transcriptome de Bordeaux (PGTB)



14 thèses soutenues, 8 en cours

## Objectifs

La **PGTB** réalise des développements technologiques et des prestations dans le domaine du séquençage et génotypage à moyen et haut débit, de la veille technologique pour anticiper les besoins, et conseille et forme les utilisateurs et co-développe des méthodes d'analyse de données.

## Activités

La Plateforme développe et propose des services faisant appel à des technologies émergentes reposant sur le séquençage d'ADN (séquençage de courts et longs fragments d'ADN, reséquençage et métagénomique ciblée, séquençage de petits génomes et de transcriptomes), la recherche et le génotypage de mutations, la quantification absolue de l'expression de gènes, l'analyse d'ADN environnemental (sensible ou ancien en laboratoire confiné), et les analyses de biologie moléculaire courante (quantification d'acides nucléiques, contrôle de qualité, préparation de bibliothèques, etc.).

## Ouverture de la plateforme

Localisée sur le site INRA de Cestas-Pierroton (33), la plateforme met à disposition ses compétences et son savoir-faire pour des projets régionaux, nationaux et internationaux via des collaborations de recherche (en mode prestation ou projet de recherche et de développement) dans les domaines de l'agronomie, de l'environnement et de la santé. Elle est ouverte à l'ensemble de la communauté scientifique académique et aux acteurs industriels.



## Reconnaissance

La **PGTB** fait partie du réseau France Génomique qui regroupe les principales plateformes françaises de génomique, de l'Infrastructure Distribuée INRA Génomique. Elle est labellisée Installation Scientifique Collective par l'INRA et reconnue Plateforme stratégique par la CNOC et le GIS-IBiSA. Enfin, la PGTB est certifiée ISO 9001 et NFX 50-900 garantissant aux utilisateurs le respect de la réglementation, la traçabilité et la qualité des analyses et des résultats produits.

*The Genome Transcriptome Facility of Bordeaux (PGTB) is an academic structure specialized in sequencing and genotyping. PGTB offers access to equipment, cutting-edge technologies and expertise for a wide scientific community (academic and industrial research teams). Its objectives are to develop and provide sequencing and genotyping services, anticipate user needs by monitoring and benchmarking new technological developments and applications, provide advices and training to users and contributing to data analysis.*

## Contact

[pgtb@inra.fr](mailto:pgtb@inra.fr)

## Site internet

<https://pgtb.cgfb.u-bordeaux.fr/fr>





# Plateforme XYLOPLATE

## Plateforme Advanced Timber Engineering



16 thèses soutenues, 9 en cours

### Objectifs

La Plateforme **XYLOPLATE** est une structure académique spécialisée en caractérisation mécanique des matériaux et des structures au sens large. Ses objectifs principaux sont la caractérisation mécanique à différentes échelles du bois et de ses produits, la valorisation des matériaux bio-sourcés et des matériaux quasi-fragiles et la caractérisation fonctionnelle des matériaux et des structures permettant des approches transversales et complémentaires entre le génie mécanique et le génie civil.

### Activités

**XYLOPLATE** contribue aux recherches sur l'ingénierie avancée du bois, des composites, des matériaux bio-sourcés naturels. Il vise à développer les connaissances et savoir-faire concernant la caractérisation des comportements des matériaux, des effets systèmes et des structures. Cette plateforme propose également d'intégrer les approches de diagnostic, de fiabilité des produits manufacturés et de sécurité des ouvrages. Les équipements et les moyens numériques offrent la possibilité d'explorer les matériaux quasi-fragiles de la petite échelle aux dimensions d'emplois dans des contextes de chargements variables (long terme et court terme) et dans des ambiances climatiques variables. **XYLOPLATE** aide à fournir des méthodes innovantes d'investigations reliant les sciences expérimentales à des modélisations numériques dédiées à la gestion de la connaissance, permettant de mieux définir la qualité et les performances des produits d'engineering.

### Ouverture de la plateforme

Localisée sur le site de Talence de l'Université de Bordeaux, la plateforme met à disposition ses compétences et son savoir-faire pour des projets régionaux, nationaux et internationaux via des collaborations de recherche (en prestation ou projet de recherche et de développement). Elle contribue aussi à des actions de formation. Elle est ouverte à l'ensemble de la communauté scientifique académique et aux acteurs industriels.

### Reconnaissance

**XYLOPLATE** est intégrée par son périmètre d'actions dans la plateforme « BOIS » de l'Institut Carnot ARTS. Au niveau régional, elle est partenaire de la Plateforme Technologique Bois Aquitaine. Le personnel est très impliqué dans le GDR 3544 « Sciences du BOIS » du CNRS.



*The **XYLOPLATE** Facility is an academic structure specialized in the mechanical characterisation of wood, bio materials and quasi-brittle materials. **XYLOPLATE** offers access to equipment and expertise for a wide scientific community (academic and industrial research teams). Its objectives are to develop and provide innovative methods to develop new technologies for wood, bio materials and building materials by monitoring and benchmarking applications. It provides also advices and training to users and contributing to data analysis.*

### Contact

[jean-luc.coureau@u-bordeaux.fr](mailto:jean-luc.coureau@u-bordeaux.fr)

### Site internet

<https://www.u-bordeaux.fr/Recherche/Plateformes>

# Plateforme XYLOMAT

## Composites à base de bois

18 thèses soutenues, 11 en cours

### Objectifs

Les objectifs de la plateforme **XYLOMAT**, un réseau national pluridisciplinaire orienté sur la mise en œuvre de composites à base de bois performants d'un point de vue environnemental, sont de mettre en œuvre des stratégies de formulation de mélanges collants biosourcés performants adaptés à la valorisation de bois locaux selon les techniques de transformation industrielle, de développer la dimension environnementale des composites et panneaux à base de bois, de caractériser les matériaux composites selon une approche multi échelle (de la structure moléculaire à l'organisation macroscopique), et de réaliser des caractérisations physique, mécanique, chimique et biologique par l'utilisation de systèmes de mesures normalisés et développer des outils.

### Activités

**XYLOMAT** s'est structuré autour de compétences pluridisciplinaires (chimistes, biologistes, physiciens, mécaniciens, spécialistes de usinage et du génie des procédés) réparties sur l'ensemble de l'hexagone au sein d'établissements universitaires, écoles d'ingénieurs, entreprises et centres de recherche. Dix partenaires composent le réseau : quatre universités (Bordeaux, Lorraine, Toulouse, Pau et Pays de l'Adour), trois écoles d'ingénieurs (ESB, ENSTIB et ENSAM), un centre technique (FCBA), un centre de recherche (CIRAD) et deux structures de transfert de technologie (CANOE et RESCOL).

*The objectives of **XYLOMAT**, a national network of nine technical facilities, are to conceive innovative wood-based eco-friendly composites for the industry, taking advantage of locally produced wood. A multi-scale approach (considering both the macro- and nanostructure of the material) is used to develop new plywood and other innovative products including bio-based adhesives. These products are then characterized in terms of physical, mechanical, chemical, and biological properties using standard procedures.*

### Contact

[bertrand.charrier@univ-pau.fr](mailto:bertrand.charrier@univ-pau.fr)



### Ouverture de la plateforme

Les neuf sites du réseau mettent à disposition leurs compétences pour développer les collaborations industrielles via des projets locaux, régionaux nationaux et internationaux. Ces projets peuvent se mettre en place via des contrats collaboratifs ou des prestations. Le réseau peut également organiser des actions de formation. **XYLOMAT** est ouvert à l'ensemble de la communauté scientifique académique et aux acteurs industriels.

### Reconnaissance

Depuis 2011, **XYLOMAT** a permis de développer de multiples actions collaboratives avec des partenaires industriels qui auront permis de mettre en place de nouveaux matériaux industriels (par exemple panneaux CLT, LVL à haute performance environnementale) et de mieux maîtriser la qualité de la mise en œuvre des produits issus de la forêt (vernis à base de colophane, contrôle de l'exsudation de la résine, recyclage etc.). Le personnel est très impliqué dans le GDR 3544 « Sciences du BOIS » du CNRS.



## Plateau Technique de Mont de Marsan

**Institut des Sciences Analytiques et de Physico Chimie pour l'Environnement et les Matériaux (IPREM) UMR CNRS 5254**  
**Université de Pau et des Pays de l'Adour**

### Secteur d'activités

Recherche et transfert de technologie dans le secteur des bois massifs et composites (recherche appliquée, essais avant certification de produits, formation, expertise).

### Compétences

- Analyse chimique (broyage, extraction, séparation et identification): Formulation de résines bio sourcées.
- Mise en œuvre de Composites par thermo compression (bois et bio plastiques).
- Essais de durabilité biologique (résistance aux champignons et insectes) et physiques (dégradation aux UV...).
- Analyse thermique des matériaux et des mélanges collants.
- Conductivités thermiques et acoustiques.

### Mots clés

Durabilité biologique ; Formulation ; Résines biosourcées ; Panneaux à base de bois ; composites bois plastique ; Photodégradation ; Analyses physico chimiques.



### Adresse et contacts

**371, rue du ruisseau 40004 Mont de Marsan**  
**[bertrand.charrier@univ-pau.fr](mailto:bertrand.charrier@univ-pau.fr)**

### Site internet

Xylomat – Iprem : <http://www.xyloforest.org>

## Plateau Technique de Cluny

**Laboratoire Bourguignon des Matériaux et Procédés - EA 3633**  
**Arts et Métiers Sciences et Technologies**

### Secteur d'activités

Recherche et transfert de technologie dans le secteur des bois massifs et composites (recherche appliquée, essais avant certification de produits, formation, expertise).

### Compétences

- Maîtrise des procédés de première transformation (déroulage et sciage)
- Caractérisation et modélisation des propriétés mécaniques des placages et des sciages et des produits techniques bois reconstitués à partir de ces éléments.

### Mots clés

Déroulage, Sciage, Classement mécanique, Produits Techniques, Bois, Modélisation



### Adresse et contacts

**Louis Denaud - Arts et Métiers Sciences et Technologies**  
**Rue porte de Paris 71250 Cluny**  
**[louis.denaud@ensam.eu](mailto:louis.denaud@ensam.eu)**

### Site internet

Xylomat – LaBoMaP : <http://www.xyloforest.org>

## Plateau Technique de Montpellier

**Unité de Recherche Biomasse, Bois, Energie et Bio-Produits (BioWooEB, UR 114)**  
**CIRAD**

### Secteur d'activités

Caractérisation et transformation des biomasses végétales, Bioproduits fonctionnels et matériaux composites, Durabilité et protection des biomasses et des matériaux

### Compétences

- Anatomie des biomasses (xylothèque), Bois tropicaux et méditerranéens
- Analyses physico-mécaniques (dont analyses non destructives), chimiques et biologiques des biomasses et des matériaux
- Durabilité naturelle et protection vis-à-vis des champignons et des termites
- Essais de vieillissement associés (essais normalisés, validation et conception de méthodes, accréditation COFRAC n°1-1686, portée disponible sur [www.cofrac.fr](http://www.cofrac.fr))
- Extractions et analyses, Eco-toxicité. Management de la qualité et métrologie.

### Mots clés

Biomasse végétale, matériaux et composites Xylothèque, Propriétés physico-chimiques, Durabilité naturelle et protection, Extractibles, Ecotoxicité.



### Adresse et contacts

**CIRAD, TA B 114/16, 73 rue Jean François Breton, 34398 Montpellier Cedex 5**  
[marie-france.thevenon@cirad.fr](mailto:marie-france.thevenon@cirad.fr)

### Site internet

BioWooEB : <https://ur-biowoeb.cirad.fr/>

## Plateau Technique de Nantes

**LIMBHA**  
**ESB**

### Secteur d'activités

Promouvoir l'utilisation du bois, de ses dérivés et des matériaux agrosourcés en respectant les piliers de l'économie circulaire.  
Faire du Confort du cadre bâti un levier de valorisation du bois et des matériaux biosourcés.



### Compétences

- Caractérisation anatomique des essences
- Détermination des résistances mécaniques - matériaux et structures -
- Caractérisations chimiques
- Caractérisation des émissions de composés organiques volatiles
- Analyse des voies de réutilisation et recyclage
- Instrumentation des bâtiments - SHM
- Optimisations multicritères de procédés de fabrication et de valorisation
- ACV

### Mots clés

Économie circulaire, construction, bois, matériaux biosourcés, matériau composite, COV, propriétés mécaniques.



### Adresse et contacts

**ESB - LIMBHA, BP 10605**  
**rue Christian Pauc 44306 Nantes Cedex 3**  
[christophe.belloncle@esb-campus.fr](mailto:christophe.belloncle@esb-campus.fr)

### Site internet

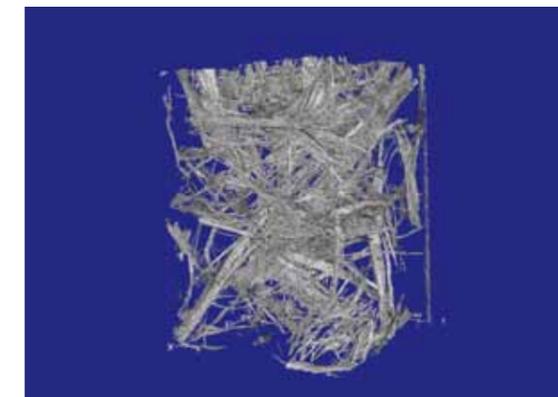
<https://www.esb-campus.fr/recherche/>

## Plateau Technique de Bordeaux

**Institut de Mécanique et Ingénierie (I2M),**  
**Département Génie Civil et Environnemental**  
**UMR CNRS 5295, Univ. Bordeaux, Arts et Métiers**  
**ParisTech, Bordeaux INP, INRA**

### Secteur d'activités

Ecoconception, caractérisation, modélisation des composites à base de bois, dont les matériaux à base de fibres de bois. Optimisation des performances physico-mécaniques, environnementales, économiques des matériaux. Recherche appliquée.



### Adresse et contacts

**351 Cours de la Libération, 33400 Talence**  
[christine.delisee@agro-bordeaux.fr](mailto:christine.delisee@agro-bordeaux.fr)  
[jerome.moreau@esb-campus.fr](mailto:jerome.moreau@esb-campus.fr)



### Compétences

- Ecoconception et mise en œuvre de Composites par Nappage et consolidation thermique (bois et thermoplastiques, procédé non tissé) ou Thermo compression (procédé MDF).
- Caractérisation morphologique par microtomographie aux rayons X.
- Caractérisation thermique (conductivité et inertie thermiques) et mécanique (compression, reprise en épaisseur) en conditions d'ambiance variables.

### Mots clés

Panneaux à base de fibres de bois ; Isolation thermique ; Microtomographie X ; Analyses physico-mécaniques ; Eco-conception.

# Plateforme XYLOCHEM

## Chimie et bioraffinerie du bois



9 thèses soutenues, 7 en cours

### Plateau technique du LCPO

#### Objectifs

Le **LCPO** (Laboratoire de Chimie des Polymères Organiques) est un laboratoire de recherche spécialisé dans la conception et le développement de nouveaux polymères dans les secteurs du développement durable, de la santé et de l'énergie.

#### Activités

Le cœur des recherches réalisées au **LCPO** a trait à l'étude des réactions de polymérisation et à la mise au point de nouvelles méthodologies en chimie, ingénierie et physico-chimie des polymères. Sur la base de ce savoir-faire et en intégrant les principes de la chimie verte, nos objectifs sont aujourd'hui de créer de nouveaux systèmes polymères fonctionnels pour des applications visant les secteurs du développement durable, de la santé et de l'énergie.



#### Contacts

[sgrelier@enscbp.fr](mailto:sgrelier@enscbp.fr)

[frederique.pichavant@enscbp.fr](mailto:frederique.pichavant@enscbp.fr)

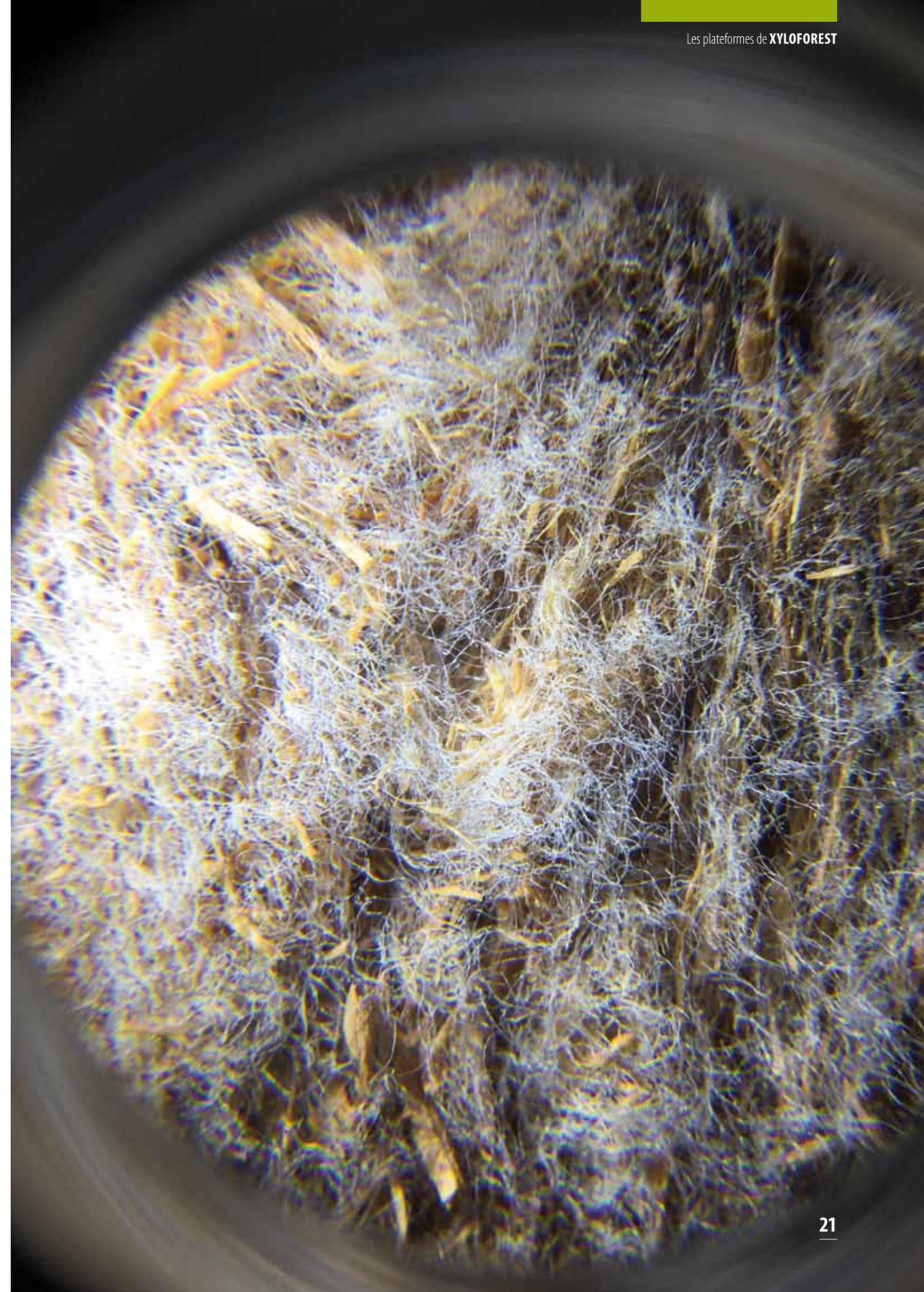
#### Ouverture du plateau

#### « Équipements Ligno-cellulose »

Hébergé dans une halle technique, ce service met à la disposition des scientifiques et des industriels des équipements pour favoriser l'émergence de projets collaboratifs sur la chimie et la bio-raffinerie du bois



*The facility «Lignocellulosic equipments» hosted in the **LCPO** laboratory aims to bring together academic research laboratories, institutional and industrial partners around coherent and innovative projects in the field of chemistry and wood biorefinery. The main objective is to develop and operate the lignocellulosic biomass (cellulose, hemicellulose, lignin) as a source of raw materials for the chemical industry.*





## Plateau Technique de Pau

**Institut des Sciences Analytiques et de Physico Chimie pour l'Environnement et les Matériaux (IPREM) UMR CNRS 5254**  
**Université de Pau et des Pays de l'Adour**



### Secteur d'activités

Chimie & Physico-chimie des matériaux polymères bio-sourcés & bio-inspirés : Ingénierie macromoléculaire, auto-assemblage, étude des surfaces et des interfaces, rhéologie des fluides Complexes : cosmétique, santé/bien-être, énergie (conversion photovoltaïque et stockage moléculaire), adhésifs...

### Compétences

- Développement de matériaux polymères et de systèmes fonctionnels. Synthèse de polymères fonctionnels à architectures contrôlées, fonctionnalisation de surfaces & nano/micro particules par greffage de polymère. Modification chimique de polymères naturels eco-responsable et polymères (méth)acryliques bio-sourcés. Biomimétisme.
- Caractérisation des propriétés des polymères en solution, suspension ou masse (Caractérisation structurale et physico-chimique, rhéologie, colloïdes, propriétés interfaciales et mécaniques).
- Formulation et optimisation des procédés de mise en forme (Adhésifs ; composites : élastomère, thermoplastique, nanocharges, biorenforts).

### Mots clés

(Co)Polymères, Auto-assemblage, fonctionnalités, Matériaux bio-inspirés et bio-sourcés.



### Adresse et contacts

**Technopôle Hélioparc,**  
**2 avenue du Président Pierre Angot – 64 053 PAU**  
**laurent.billon@univ-pau.fr**

### Site internet

**Xylochem – Iprem : <http://iprem-ecp.univ-pau.fr/live/>**

# XYLOSYLVE

## SYSTÈMES SYLVICOLES INNOVANTS

**RÔLES FONCTIONNELS ET STRUCTURELS DE LA BIODIVERSITÉ  
SUR LES COMMUNAUTÉS D'INSECTES ET D'HERBIVORIE  
ASSOCIÉE : UNE APPROCHE EXPÉRIMENTALE** 26  
*Functional and structural consequences of plant  
diversity on insect communities and herbivory*

**ARCHITECTURE RACINAIRE ET STABILITÉ CHEZ LE PIN MARITIME  
(PINUS PINASTER AIT.) AU STADE JEUNE** 28  
*Root architecture and mechanical stability in Pinus  
pinaster ait. Saplings*

**MODÉLISATION DU DÉVELOPPEMENT ARCHITECTURAL,  
DE L'ACCLIMATATION AU VENT DOMINANT ET DE L'ANCRAGE  
DU SYSTÈME RACINAIRE DU PIN MARITIME** 30  
*Modelling of architectural development,  
acclimation to dominant wind and anchorage  
of Pinus pinaster root system*

**LISTE DES THÈSES EN COURS** 32



# Bastien Castagneyrol

## RÔLES FONCTIONNELS ET STRUCTURELS DE LA BIODIVERSITÉ SUR LES COMMUNAUTÉS D'INSECTES ET L'HERBIVORIE ASSOCIÉE : UNE APPROCHE EXPÉRIMENTALE

### *Functional and structural consequences of plant diversity on insect communities and herbivory*

**Thèse de doctorat en Ecologie évolutive, fonctionnelle et des communautés sous la direction de Hervé Jactel (Laboratoire d'accueil : Unité Mixte de Recherche Biodiversité, Gènes et Communautés, INRA - Université de Bordeaux).**

Soutenue le 13-07-2012 à l'Université de Bordeaux.

#### Résumé

Les relations entre plantes et herbivores sont importantes pour le fonctionnement des écosystèmes. Les effets de la diversité des plantes sur les herbivores et la phytophagie varient entre résistance et susceptibilité par association, selon qu'il y ait réduction ou au contraire augmentation des dégâts causés par les herbivores quand la diversité des plantes augmente au sein des communautés. La résistance par association semble plus fréquente que la susceptibilité par association, mais les mécanismes sous-jacents restent discutés et semblent dépendre de la plus ou moins grande spécialisation des herbivores et de l'identité des espèces végétales associées. D'où ces questions: (1) quel est l'effet de la diversité des plantes sur la diversité des insectes, notamment herbivores ? (2) Quelle composante de la diversité des plantes explique le mieux la résistance et la susceptibilité par association ? La méta-analyse présentée dans cette thèse montre que la diversité des animaux augmente avec la diversité des plantes, quels que soient les écosystèmes et les taxons considérés. Dans le cas des Arthropodes, la richesse spécifique des herbivores est mieux corrélée à la richesse spécifique des plantes que celle des prédateurs. De plus, la diversité des herbivores augmente plus rapidement que la diversité des prédateurs avec la diversité des plantes. D'où le paradoxe : si la diversité des herbivores augmente avec celle des plantes, comment expliquer les nombreux cas où la phytophagie diminue (résistance par association) ? Cette question a fait l'objet d'une approche expérimentale centrée sur le chêne pédonculé et fondée sur la manipulation de la diversité spécifique et génétique des essences forestières. Ces deux niveaux de diversité ont des effets contrastés sur

#### Abstract

*The relationship between biodiversity and ecosystem functioning is a key issue in ecology. It has been suggested that plant species diversity can shape plant-insect interactions, through associational resistance (higher herbivory in monocultures than in plant mixtures) or associational susceptibility (higher herbivory in plant mixtures than in monocultures). Although it is now widely acknowledged that associational resistance is more frequent than associational susceptibility, the underlying mechanisms are still debated and seem to depend on herbivore specialization and plant species identity. Here we address two questions: (1) What are the consequences of plant diversity for insect herbivore diversity? (2) Which component of plant diversity matters for herbivory? Using a meta-analysis, we show that animal diversity significantly increases with increasing plant diversity, regardless of habitat or taxa. In arthropods, herbivores species richness increases more steeply with plant richness than predator richness. This result raises an apparent paradox: if herbivore diversity is positively correlated with plant diversity, why does herbivory decrease with increasing plant diversity (associational resistance)? To solve this paradox we developed an experimental approach focusing on pedunculate oak and based on the manipulation of tree genetic and species diversity. We show that generalist and specialist herbivores respond differently to the two levels of tree diversity. Herbivory by generalist herbivores significantly increased with oak genetic diversity (i.e. associational susceptibility) while specialist herbivores did not respond to the genetic diversity of their host tree. Conversely, tree species*

la phytophagie. Les dégâts causés par les insectes herbivores généralistes tendent à augmenter avec la diversité génétique de leur hôte (susceptibilité par association), alors que les spécialistes ne répondent pas à la diversité génétique du chêne. Au contraire, la diversité spécifique est à l'origine d'une résistance par association pour les herbivores spécialistes mais pas pour les généralistes. Les effets de la diversité des plantes sur les insectes herbivores et leurs dégâts s'exprimeraient principalement à l'échelle locale – celle d'un arbre et de ses voisins immédiats – au travers de « l'apparence » des arbres, qui dépend de leur taille et de celle de leurs voisins. La prise en compte de la spécialisation des insectes herbivores et des différentes composantes de la diversité des arbres contribue donc à une meilleure compréhension des mécanismes impliqués dans la résistance et la susceptibilité par association des forêts mélangées.

*diversity triggered associational resistance to specialist insect herbivores but had no effect on generalists. A new mechanism was identified that may account for associational resistance in tree species mixtures: host apparency. More apparent oak trees – i.e. those taller than their neighbours – are more prone to insect damage. Increasing tree species diversity implies higher probability to be associated with fast growing species (such as pine or birch) than can hide neighbouring oaks, reducing their apparency and then their susceptibility. Our findings suggest that accounting for the diet breadth of insect herbivores and the different components of tree diversity can contribute to a better understanding of the mechanisms leading to associational resistance or susceptibility in mixed forests.*



#### Publications

Castagneyrol B, Giffard B, Péré C, Jactel H (2013). Plant apparency, an overlooked driver of associational resistance to insect herbivory. *Journal of Ecology* 101, 418-429.

Castagneyrol B, Jactel H (2012). Unraveling plant-animal diversity relationships: a meta-regression analysis. *Ecology* 93, 2115-2124.

Castagneyrol B, Lagache L, Giffard B, Kremer A, Jactel H (2012). Genetic diversity increases insect herbivory on oak saplings. *PLoS one* 7, e44247.

#### Prix

Lauréat du prix de la Thèse des bois (CAPFOREST) (2012)

#### Plateforme ORPHEE

# Antoine Danquechin Dorval

## ARCHITECTURE RACINAIRE ET STABILITÉ CHEZ LE PIN MARITIME (*PINUS PINASTER* AIT.) AU STADE JEUNE

*Root architecture and mechanical stability in Pinus pinaster Ait. saplings*

**Thèse de doctorat en Ecologie évolutive, fonctionnelle et des communautés sous la direction de Frédéric Danjon et de Céline Meredieu (Laboratoire d'accueil : Unité Mixte de Recherche Biodiversité, Gènes et Communautés, INRA-Université de Bordeaux).**

Soutenue le 26-03-2015 à l'Université de Bordeaux

### Résumé

Les tempêtes sont responsables de la moitié des dégâts dans les forêts européennes. Le massif landais a été touché par deux tempêtes. L'ancrage racinaire est une composante majeure de la stabilité des arbres. L'ancrage du pin adulte est dépendant du développement des racines au stade jeune puisqu'elles ne fourchent pas spontanément et ne possèdent pas d'axes à développement retardé. Notre but était de mettre en relation architecture racinaire, stabilité et itinéraire sylvicole. Nous avons mesuré et analysé de façon innovante l'architecture racinaire d'arbres âgés de 3 à 5 ans et de 13 ans ayant subi une tempête. Le pivot des arbres de 13 ans ne représente que 12% de la biomasse racinaire mais reste le composant majeur de la stabilité. Un ancrage efficace est assuré par un pivot vertical unique, petit et large ou long et fin, par le volume des racines profondes et par la rigidité des racines traçantes. Le maintien du tronc est uniquement lié à la rigidité de la partie centrale du système racinaire. La fonction d'haubanage des racines traçantes est faible. La taille du plus grand secteur sans racine traçante auvent et sous le vent tout comme une microtopographie importante au vent n'interviennent pas dans la stabilité. Au stade jeune, les arbres plantés présentent de nombreuses déformations des racines traçantes, déformations qui les redistribuent au hasard tout autour de la souche avant d'être rapidement incluses par la souche en croissance. Le développement du pivot est en général correct. Les différents types de labour n'impactent pas l'architecture racinaire. Les racines traçantes suivent la surface du sol et peuvent être coupées lors des entretiens de la strate basse.

### Abstract

Storms account for half of the damages in European forests; the Landes forest has been heavily damaged by two major storms. Root anchorage is a major element in tree stability. The root anchorage of mature pine is strongly linked with the root development in seedlings as this species do not spontaneously fork and do not grow delayed branches. The aim of our research was to link root architecture, stability and stand management practices. We measured and analyzed in an innovative way the root architecture of 3-5-year-old trees as well as 13-year-old trees from stands damaged by a storm. The 13-year-old trees, taproot only represented 12% of root biomass but still remained the main component of stability. An efficient anchorage was provided by a unique vertical taproot, short and large or long and thin, together with a larger deep root volume. Windward shallow roots stiffness also contributed to stability. Stem leaning was solely prevented by the stiffness of the central part of the root system. The guying of shallow roots did not contribute to stability. The size of the largest angle between shallow roots windward and leeward was not related to stem leaning. Similarly, a larger furrow leeward did not weaken tree stability. Planted seedling show large deformations of their shallow lateral roots, randomly distributed around the stump before being later included in the growing stump. The taproot growth was generally correct. Root architecture of trees after strip ploughing was not different from those of full ploughing. The shallow roots follow the soil surface and can be cut during mechanical weed control.



### Publication

Dorval AD, Meredieu C, Danjon F (2016). Anchorage failure of young trees in sandy soils is prevented by a rigid central part of the root system with various designs. *Annals of Botany* 118, 747-762.

### Plateforme

XYLOSYLVE - Expérimentations

# Clément Saint Cast

## MODÉLISATION DU DÉVELOPPEMENT ARCHITECTURAL, DE L'ACCLIMATATION AU VENT DOMINANT ET DE L'ANCRAGE DU SYSTÈME RACINAIRE DU PIN MARITIME

### *Modelling of architectural development, acclimation to dominant wind and anchorage of Pinus pinaster root system*

**Thèse de doctorat en Ecologie évolutive, fonctionnelle et des communautés sous la direction de Frédéric Danjon et Pauline Défossez (Laboratoire d'accueil : Unité Mixte de Recherche Biodiversité, Gènes et Communautés, INRA-Université de Bordeaux).**

Soutenue le 08-02-2019 à l'Université de Bordeaux

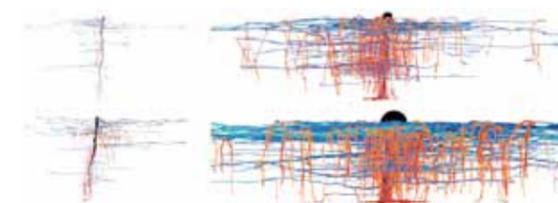
#### Résumé

Plus de la moitié des pertes de bois dans les forêts européennes sont dues aux tempêtes. Une connaissance des mécanismes impliqués dans la stabilité mécanique des arbres est alors capitale. L'ancrage de l'arbre dans le sol constitue l'une des composantes principales du maintien mécanique de l'arbre. Il est principalement déterminé par l'architecture du système racinaire et son interaction mécanique avec le sol. Au cours de son développement, l'arbre modifie ses dimensions et se complexifie. Plus particulièrement, le système racinaire semble s'acclimater (ex : croissance en diamètre plus importante) aux déformations engendrées par le vent. L'ensemble de ces modifications conduit à une évolution des mécanismes à l'origine de l'ancrage au cours du développement de l'arbre. L'étude expérimentale de cette fonction est compliquée car les racines sont difficilement mesurables en continu dans le sol. Nous avons alors mis au point une approche numérique pour décrire la croissance du système racinaire et la distribution des déformations dues au vent. Une grande base de données structurée en chronoséquence de systèmes racinaires numérisés (*Pinus pinaster*) a été mobilisée. Comme l'étude de la structure et des fonctions des racines est plus efficace quand la différenciation entre racines est prise en compte, nous avons d'abord formalisé les types racinaires du système racinaire du pin maritime à partir d'une technique de classification (« k-means clustering ») réalisée avec quatre variables. La classification des racines latérales du pin maritime nous a permis d'identifier 5 types racinaires au cours du développement du pin maritime. Ce

#### Abstract

*Storms cause more than 50% of the timber loss in European forests. However, forest tree anchorage mechanisms throughout their lifespan are not fully understood, especially the strong acclimation of root systems to common winds. This lack of knowledge is mainly due to technical difficulties: neither the root structure nor the mechanical contribution of the roots could be characterized continually. Thus we set up a numerical approach to model the development of the root system and to describe the strains resulting from common winds. This generic approach has been developed using Pinus pinaster grown in sandy soils as model species. Seven datasets of excavated root systems from 0 to 50 years were employed. The assessment of root structure and functions is more powerful if the differentiation of root system in several root types is considered. We first proposed an automatic classification of roots with the k-means clustering algorithm. Four root traits were chosen as classifiers, including three geometric architectural traits, which can be precisely assessed whatever the tree/root age. Clustering yielded similar five groups of lateral roots at all ages, explaining 70% of the variability. The three largest lateral roots per tree were all horizontal roots branching from stump and the other lateral roots show a large differentiation for tropism: nearly all the roots were horizontal or vertical roots. The framework of the central part of the root system can be almost completed in 4-year-old trees (3.5 cm collar diameter). We then calibrated the existing RootTyp (Pagès et al. 2004) architectural model for P. pinaster for each of the root types defined by the cluster analysis. We*

regroupement explique 70% de la variabilité de notre base de données. Chaque système racinaire est caractérisé par trois grosses racines horizontales émises par la souche. Les racines montrent une forte différenciation pour leur tropisme, avec une direction de croissance soit horizontale soit verticale. La structure de la partie centrale du système racinaire est pratiquement complète dès l'âge de 4 ans. Sur la base des types racinaires identifiés, nous avons calibré un modèle architectural (RootTyp ; Pagès et al. 2004) pour le pin maritime. Treize paramètres pour chaque type racinaire ont été estimés par l'intermédiaire de la base de données, d'informations issues de la littérature et d'une procédure d'optimisation. Une modélisation réaliste du système racinaire jusqu'à 50 ans n'a pu être obtenue qu'en implémentant au modèle RootTyp de nouveaux processus biologiques : la diminution de la ramification avec la croissance de la racine et la diminution de la vigueur des racines avec l'ordre de ramification. Malgré ces améliorations, les systèmes racinaires de la base de données présentent des diamètres plus importants à proximité de la souche par rapport aux systèmes racinaires simulés. Ce biais systématique est principalement attribué à l'acclimation des racines au vent dominant. Les altérations de croissance dues aux contraintes pédologiques ont également été implémentées grâce à l'amélioration du module de sol du modèle architectural. Enfin, pour comprendre les mécanismes à l'origine de l'acclimation des racines nous avons combiné plusieurs modèles pour prédire la distribution spatiale des déformations dans des maquettes simplifiées de systèmes racinaires à 4, 6 et 13 ans, pour trois régimes de vent spécifiques à la région étudiée. D'après les simulations, les déformations des racines sous l'effet du vent diminuent avec l'âge, en raison de l'augmentation de la rigidité des racines. Cela suggère une plus forte réponse thigmomorphogénétique aux stades jeunes. Les modifications structurelles et anatomiques du système racinaire par acclimation au vent s'expliquent principalement par les distributions des déformations et des contraintes dans les racines.



#### Publication

Saint Cast, C., Meredieu, C., Défossez, P., Pagès, L., Danjon, F. (2019). Modelling root system development for anchorage of forest trees up to the mature stage, including acclimation to soil constraints: the case of *Pinus pinaster*. *Plant Soil* 439, 405–430.

*used the database combined with a literature review and an optimization method to get accurate values for 13 parameters by root types. We devoted effort to validate our model calibration. In order to model architecture of the root system, damping properties had to be implemented to yield realistic outputs up to the mature stage. Branching varied as a function of distance from the root base, and growth capacity decreased with branching order. Nevertheless, the root diameters of simulated root systems were generally underestimated. This was certainly due to root growth plasticity to the prevailing wind, an acclimation facet not taken into account at this calibration step. Growth alterations due to a cemented horizon were reproduced using the new calibrated soil module. Then, the wind acclimation of roots was numerically investigated by examining the root mechanical stimuli due to wind. A chain of biomechanical models was used to predict the spatial distribution of stress and strain in simplified root systems at 4, 6 and 13-year-old as a result of three levels of usual winds. According to simulations, the strain amplitude decreased with tree growth due to the increasing root system stiffness. This suggests larger thigmomorphogenetic responses at young stages. The modifications of the structural and wood root properties related to wind acclimation were largely explained by the stress and strain distribution in the root system.*



#### Plateforme

XYLOSYLVE - Expérimentations

# LISTE DES THÈSES EN COURS

## XYLOSYLVE

Andreas ALTINALMAZIS KONDYLIS

**LA BIODIVERSITÉ DANS LES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS EST-ELLE SUSCEPTIBLE DE MODIFIER LES PROCESSUS DE PRODUCTION DE RACINES ET DE DÉCOMPOSITION DES LITIÈRES DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE ?**

Thèse débutée le 27-10-2017 sous la direction de Mark Bakker et Stephan Hattenschwiler à l'UMR ISPA.

Plateforme  
XYLOSYLVE - Expérimentations



Elsa FIELD

**IMPACTS OF TREE DIVERSITY AND DROUGHT ON FOREST RESILIENCE TO PATHOGENS**

Thèse débutée en 2015 sous la direction de Dan Bebber et Sarah Gurr à l'Université d'Exeter.

Plateforme  
ORPHEE



Séverin JOUVEAU

**EFFETS DE LA DIVERSITÉ BIOLOGIQUE DES FORÊTS SUR LA DIVERSITÉ FONCTIONNELLE DES PRÉDATEURS CARABIQUES**

Thèse débutée le 15-07-2016 sous la direction de Hervé Jactel à l'UMR Biogeco.

Plateforme  
ORPHEE



Soline MARTIN-BLANGY

**IMPACT DES INTERACTIONS DES ESPÈCES FORESTIÈRES ET DU CLIMAT SUR L'ACQUISITION DE LA LUMIÈRE ET DE L'EAU ET SUR LE FONCTIONNEMENT HYDRIQUE ET CARBONÉ DES ARBRES**

Thèse débutée le 17-11-2017 sous la direction de Damien Bonal et Marie Charru à l'UMR ISPA.

Plateforme  
XYLOSYLVE - Expérimentations

Tania Maxwell

**LA BIODIVERSITÉ PERMET-ELLE D'ATTÉNUER LES EFFETS NÉGATIFS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES LORS DU RECYCLAGE DES NUTRIMENTS EN FORÊT ?**

Thèse débutée en octobre 2018 sous la direction de Laurent Augusto, Alisson Munson et Nicolas Fanin à l'UMR ISPA.

Plateforme  
ORPHEE



David VIDAL

**INTENSIFICATION DE LA PRODUCTION ET DE LA RÉCOLTE SYLVICOLES PAR DES PRATIQUES DURABLES ET INNOVANTES DE GESTION - EVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET DE LA DURABILITÉ DES ÉCOSYSTÈMES AU TRAVERS D'EXPÉRIMENTATIONS IN SITU DE LONGUE DURÉE**

Thèse débutée le 01-10-2016 sous la direction de Laurent Augusto, Mark Bakker, Jean-Christophe Domec et Pierre Trichet à l'UMR ISPA.

Plateforme  
XYLOSYLVE - Expérimentations



# XYLOBIOTECH

## BIOTECHNOLOGIES FORESTIÈRES

**VERS L'IDENTIFICATION DES ACTEURS MOLÉCULAIRES RESPONSABLES DES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DU BOIS DE TENSION DE PEUPLIER**

36

*Toward identifying molecules responsible for the mechanical properties of poplar tension wood*

**ORIGINE ÉVOLUTIVE ET BASES MOLÉCULAIRES DU MODE DE VIE GALLIGÈNE CHEZ LES GRACILLARIIDAE**

38

*Evolutionary origin and molecular basis of the gall-inducing lifestyle in the Gracillariidae*

**ÉTUDE FONCTIONNELLE DE TROIS FACTEURS DE TRANSCRIPTION IMPLIQUÉS DANS LA FORMATION DE LA PAROI SECONDAIRE CHEZ LE PEUPLIER**

40

*Functional study of three transcription factors involved in secondary cell wall formation in poplar*

**PHYSIOLOGIE MOLÉCULAIRE DU DÉVELOPPEMENT DES EMBRYONS SOMATIQUES DE PIN MARITIME (PINUS PINASTER AIT.): APPROCHES TRANSCRIPTOMIQUE ET PROTÉOMIQUE**

42

*Molecular physiology of somatic embryo development of maritime pine (Pinus pinaster ait.): proteomic and transcriptomic approaches*

**IDENTIFICATION ET CARACTÉRISATION DES ACTEURS MOLÉCULAIRES POTENTIELLEMENT IMPLIQUÉS**

44

**DANS LES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DU BOIS DE TENSION**  
*Identification and characterization of molecular players potentially responsible for the mechanical properties of tension wood*

**OPTIMISATION DES STRATÉGIES D'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE DU PIN MARITIME GRÂCE À L'UTILISATION DE MARQUEURS MOLÉCULAIRES**

46

*Optimization of maritime pine breeding strategies using molecular markers*

**LISTE DES THÈSES EN COURS**

48



Fernanda T. P. Guedes (Trislitz Perassolo Guedes)

## VERS L'IDENTIFICATION DES ACTEURS MOLÉCULAIRES RESPONSABLES DES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DU BOIS DE TENSION DE PEUPLIER

*Toward identifying molecules responsible for the mechanical properties of poplar tension wood*

**Thèse de doctorat en biologie moléculaire et cellulaire végétales sous la direction de Gilles Pilate (Laboratoire d'accueil : Unité Amélioration, Génétique et Physiologie Forestières - INRA).**

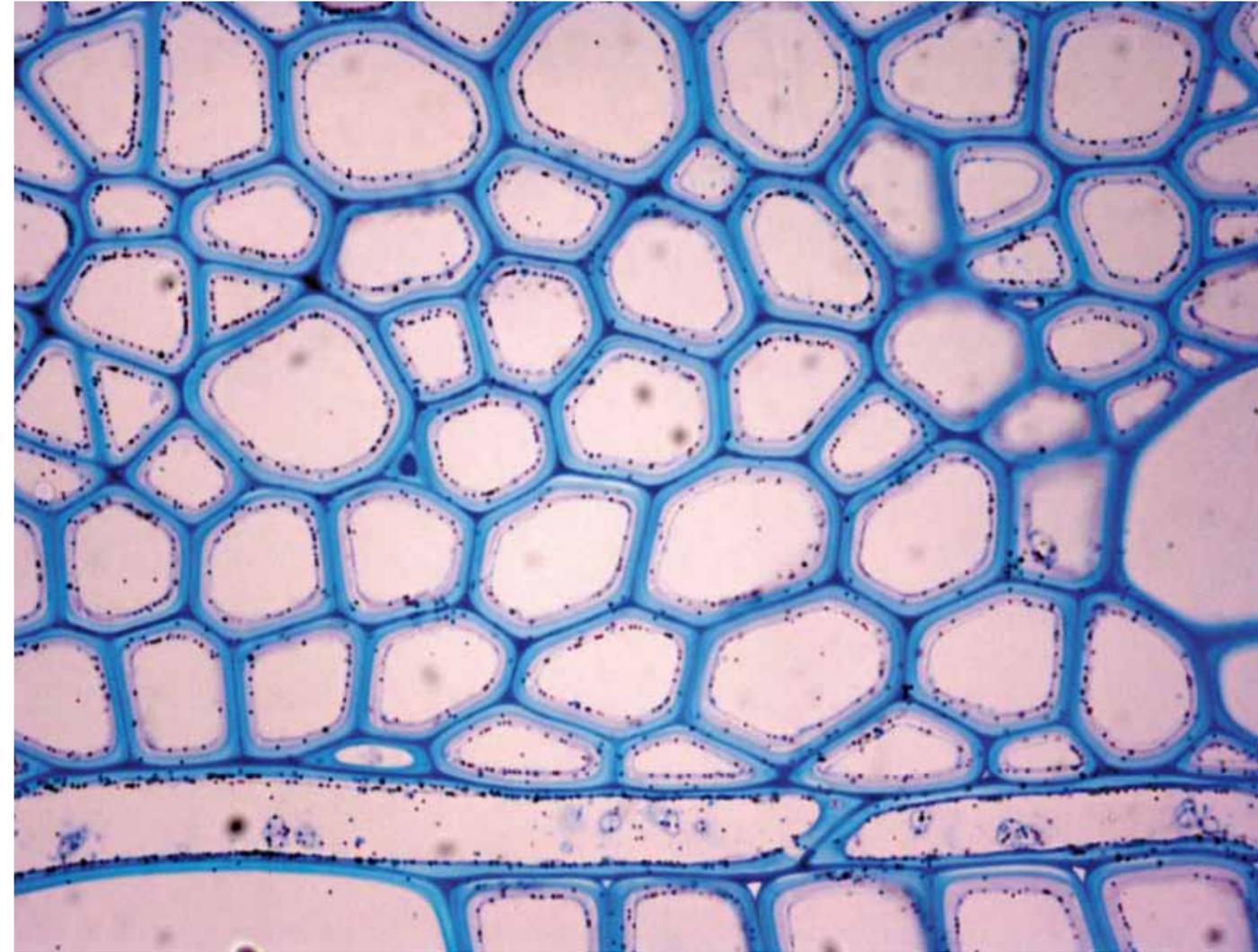
Soutenue le 18-12-2013 à l'Université d'Orléans

### Résumé

Cette thèse visait à caractériser la composition en polysaccharides des fibres de bois de tension chez le peuplier et établir de possibles corrélations avec les mécanismes de création de la tension. A cette fin, nous avons étudié le bois de jeunes peupliers qui ont poussé sous conditions contrôlées. Nous avons pu déterminer la composition en polysaccharides des couches G isolées ainsi que la structure de ces polysaccharides. L'évolution de cette composition au long de la différenciation du bois de tension et du bois opposé a été évaluée à l'aide de 178 anticorps dirigés contre les principaux polysaccharides pariétales. La fonction de deux protéines à arabinogalactanes avec domaine fascicline-like a été également étudiée à l'aide des anticorps produits à cet effet. La génétique inverse a été également utilisée pour compléter l'étude de la fonction d'une de ces protéines dans la formation du bois de tension. Les résultats obtenus ont mis en évidence une évolution de la composition de la couche G au cours de la différenciation. Des différences entre la composition de la couche S2 des fibres du bois de tension et du bois opposé ont aussi été détectées. Une grande quantité de pectines de type RG-I a été décelé dans la couche G, molécules qui pourraient participer à la formation d'un gel. Le gonflement de ce gel serait responsable de la mise en tension des microfibrilles de cellulose. Cependant, nos travaux ne montrent aucune évidence pour la présence de xyloglucanes dans la couche G. Des indices en faveur de l'implication des FLAs dans la construction de la couche G ont été également trouvés dans cette étude. Ce travail de thèse ouvre des perspectives pour l'identification du déterminisme moléculaire à l'origine de la création de la tension dans le bois de tension.

### Abstract

*This work aimed at characterizing the composition in polysaccharides of poplar tension wood fibres and a possible correlation with mechanisms for creating tension. Firstly, we isolated G-layers from tension wood formed in young poplars which grows in a greenhouse under controlled conditions and determine its polysaccharides composition and the structure of these polysaccharides. Therefore, we investigate the polysaccharide distribution during tension and opposite wood fibres differentiation by using 178 antibodies raised against the major wall polysaccharides. The distribution and function of two fasciclin-like arabinogalactan proteins were studied using two antibodies produced to this end and the function of one of the proteins were studied by reverse genetics. This work show an evolution in the polysaccharides composition of G-layer through its differentiation and also differences concerning S2 layer composition between tension and opposite wood fibres. No evidences for the presence of xyloglucans in the G-layer. However, this work shows the presence of a high quantity of RG-I type pectin which may be implicated in a gel-like structure formation which swelling could be responsible for tension creation in cellulose microfibrils. Our results suggest an implication of fasciclin-like arabinogalactan proteins in G-layer construction. Further, this work opens up new perspectives towards identification of molecular basis of tension creation in tension wood.*



### Publications

Guedes FTP, Laurans F, Quemener B, Assor C, Laine-Prade V, Boizot N, Vigouroux J, Lesage Descauses MC, Leplé JC, Dejardin A, Pilate G (2017). **Non-cellulosic polysaccharide distribution during G-layer formation in poplar tension wood fibers: abundance of rhamnogalacturonan I and arabinogalactan proteins but no evidence of xyloglucan.** *Planta* 246, 857–878

Guedes F, Takeuchi M, Laurans F, Pilate G (2011). **Toward identifying molecules responsible for the peculiar properties of the G-layer in tension wood fibres.** IUFRO Tree Biotechnology Conference 2011: From Genomes to Integration and Delivery, Arraial d'Ajuda, Bahia, Brazil. 26 June - 2 July 2011. *BMC Proceedings* 5, P121.

**Plateforme  
XYLOBIOTECH**

# Antoine Guiguet

## ORIGINE ÉVOLUTIVE ET BASES MOLÉCULAIRES DU MODE DE VIE GALLIGÈNE CHEZ LES GRACILLARIIDAE

### *Evolutionary origin and molecular basis of the gall-inducing lifestyle in the Gracillariidae*

Thèse de doctorat en sciences de la vie et de la santé sous la direction de David Giron, Carlos Lopez-Vaamonde et Issei Ohshima (Laboratoire d'accueil : Institut de Recherche sur la Biologie de l'Insecte, Université de Tours).

Soutenue le 26-04-2019 à l'Université de Tours.

#### Résumé

L'objectif de la thèse visait à étudier les processus évolutifs ayant conduit à l'évolution du mode de vie galligène et à rechercher des effecteurs impliqués dans l'induction des galles dans la famille des Gracillariidae (Lepidoptera) avec un accent particulier sur deux espèces, *Borboryctis euryae* et *Caloptilia cecidophora*. Cette étude a ainsi démontré que ces deux espèces présentent la particularité de posséder un mode de vie intermédiaire entre mineur de feuille et inducteur de galle. Le tissu prolifératif présent dans la mine de *B. euryae* s'apparente en effet à une galle et les larves de *C. cecidophora* connaissent une transition du mode de vie mineur de feuille à galligène au cours de leur développement. Des campagnes de terrain ont permis de découvrir de nouvelles espèces de *Caloptilia* inductrices de galles, et leur étude phylogénétique a montré qu'elles forment un groupe monophylétique. Enfin, exploitant la transition de mode de vie de *C. cecidophora* ainsi que son contexte phylogénétique, nous avons appliqué une approche de transcriptomique comparative intra- et inter-espèce afin de rechercher des effecteurs candidats impliqués dans la formation de galle.

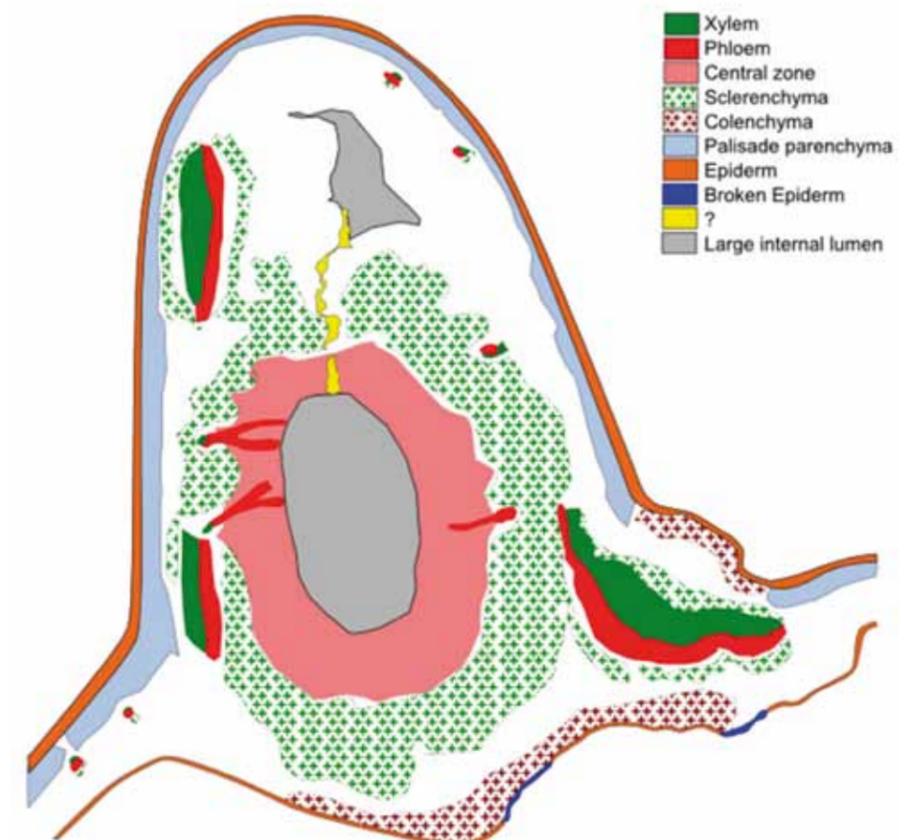
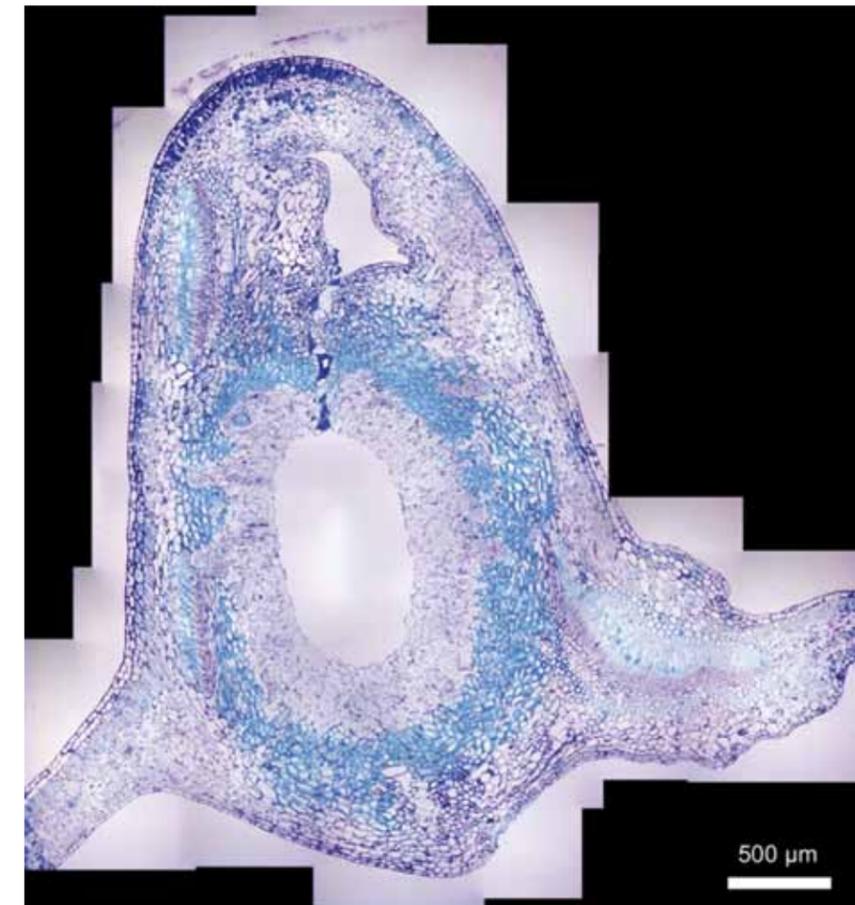
#### Abstract

The aim of the thesis was to study the evolutionary processes that led to the evolution of the gall-inducing lifestyle and to look for effectors involved in the induction of galls in the Gracillariidae family (Lepidoptera) with a particular focus on two species, *Borboryctis euryae* and *Caloptilia cecidophora*. This study has demonstrated that these two species have a particular intermediate lifestyle between leaf-miner and gall-inducer. The proliferative tissue in the *B. euryae* mine is similar to a gall and the larvae of *C. cecidophora* undergo a transition from leaf-miner to gall-inducer during their development. Field work has uncovered new gall inducing *Caloptilia* species, and their phylogenetic study has shown that they form a monophyletic group. Finally, exploiting the transition of feeding habit of *C. cecidophora* as well as its phylogenetic context, we applied a comparative intra- and inter-species transcriptomic approach to search for candidate effectors involved in gall induction.

#### Publications

Guiguet A, Hamatani A, Amano T, Takeda S, Lopez-Vaamonde C, Giron D, Ohshima I (2018). Inside the horn of plenty: Leaf-mining micromoth manipulates its host plant to obtain unending food provisioning. *PLOS ONE* 13, e0209485.

Guiguet A, Ohshima I, Takeda S, Laurans F, Lopez Vaamonde C, Giron D (2019). Origin of gall-inducing from leaf-mining in *Caloptilia* micromoths (Lepidoptera, Gracillariidae). *Scientific Reports* 9, 6794.



# Wassim Lakhali

## ÉTUDE FONCTIONNELLE DE TROIS FACTEURS DE TRANSCRIPTION IMPLIQUÉS DANS LA FORMATION DE LA PAROI SECONDAIRE CHEZ LE PEUPLIER

*Functional study of three transcription factors involved in secondary cell wall formation in poplar*

Thèse de doctorat en biologie moléculaire et cellulaire sous la direction d'Annabelle Déjardin (Laboratoire d'accueil : Unité Amélioration, Génétique et Physiologie Forestières, INRA).

Thèse soutenue le 18-12-2013 à l'Université d'Orléans.



### Résumé

Les facteurs de transcription (FT) de la famille R2R3-MYB chez les plantes jouent un rôle important dans la formation de la paroi secondaire des cellules de bois, que ce soit en activant ou en réprimant leurs gènes cibles au sein d'un réseau régulationnel complexe. Dans ce travail, nous avons utilisé la transgénèse et l'immunoprécipitation de chromatine associée à un séquençage haut-débit (ChIP-SEQ) pour déterminer la fonction de 3 FT R2R3-MYB chez le peuplier. Les peupliers surexprimant MYB090 ont des rayons moins lignifiés ; les tiges présentent une réduction de croissance et de teneurs en lignines. MYB090 régule ses cibles à l'aide d'un motif très conservé, similaire au motif Gamyb. Ses cibles sont impliquées notamment dans la biosynthèse des lignines, cellulose et xylanes, constituants principaux des parois. Les plantes surexprimant MYB221-SRDX et MYB156 présentent une nette réduction de la lignification des parois de leurs fibres, associée à une réduction de croissance. MYB221 semble avoir pour cibles des gènes codant pour des enzymes du métabolisme, ainsi qu'un autre FT de type R2R3-MYB, dont la régulation passe par un motif conservé de type SMRE (Secondary wall MYB-Responsive Element). En conclusion, la combinaison des approches ChIP-SEQ et de transgénèse montre que MYB090 semble être un répresseur transcriptionnel de la lignification, notamment dans les rayons, et de la formation de la paroi secondaire. De même, MYB156 et MYB221 seraient également des répresseurs de la lignification, dans les fibres et les rayons. Cette thèse ouvre des perspectives sur l'établissement de réseaux de régulation transcriptionnelle de la formation de la paroi secondaire.

### Abstract

Plant R2R3-MYB transcription factors (TF) play an important role in secondary cell wall formation in wood cells, by activating or repressing their target genes within a complex regulatory network. Here, we used genetic engineering and chromatin immunoprecipitation technique, associated to next-generation sequencing (ChIP-SEQ) to determine the function of 3 R2R3-MYB TF in poplar. Plants overexpressing MYB090 had less lignified parenchyma rays. The stem growth and total lignin content were reduced. MYB090 regulates target genes through a highly conserved motif, similar to Gamyb. Its target genes are involved in lignin, cellulose and xylan biosynthesis, which are the major components of secondary cell wall. Poplars overexpressing MYB221-SRDX and MYB156 showed a decrease in fiber cell wall lignification, and a reduced growth. MYB221 have targets encoding for metabolic enzymes but also for another R2R3-MYB TF. MYB221 recognizes its target genes, most probably through SMRE (Secondary wall MYB-Responsive Element) conserved motif. In conclusion, the combination of ChIP-SEQ and genetic engineering approaches shows that MYB090 seems to be a transcriptional repressor of lignification, especially in parenchyma rays. MYB156 and MYB221 are also negative regulators of secondary cell wall lignification, in fibers and parenchyma rays. This work opens new avenues on the building of transcriptional regulatory networks involved in secondary cell wall formation.

### Publications

Dejardin A, Lakhali W, Boizot N, Lesage Descauses M-C, Rogier O, Laurans F, Ader K, Charpentier J-P, Decoville M, Bénédicti H, Leplé J-C, Pilate G (2016). Unraveling the function of MYB090 and MYB156 in secondary cell wall formation in poplar using both ChIP-SEQ and in planta gene modification approach. In: XIV Cell Wall Meeting. Programme and Book of Abstracts (p.134).

Lakhali W, Boizot N, Lesage Descauses M-C, Leplé J-C, Laurans F, Laine-Prade V, Millet N, Ferrigno P, Pilate G, Dejardin A (2013). Both ChIP-SEQ and in planta gene modification indicate a function of PtaMYB221 in lignin biosynthesis and secondary cell wall formation in poplar. In: The 13th Cell Wall Meeting : abstract book (p. 170).

# Alexandre Morel

## PHYSIOLOGIE MOLÉCULAIRE DU DÉVELOPPEMENT DES EMBRYONS SOMATIQUES DE PIN MARITIME (*PINUS PINASTER* AIT.): APPROCHES TRANSCRIPTOMIQUE ET PROTÉOMIQUE

### *Molecular physiology of somatic embryo development of maritime pine (Pinus pinaster Ait.): proteomic and transcriptomic approaches*

Thèse de doctorat en biologie végétale et forestière sous la direction de Marie-Anne Lelu-Walter (Laboratoire d'accueil : Unité Amélioration, Génétique et Physiologie Forestières, INRA).

Thèse soutenue le 20-03-2014 à l'Université d'Orléans.

#### Résumé

Chez le pin maritime l'embryogenèse somatique, méthode de multiplication végétative performante, n'est pas optimisée, la limite étant le contrôle du développement des embryons somatiques (ES). Nos objectifs ont été 1) d'étudier les mécanismes physiologiques, cellulaires et moléculaires précoces contrôlant la différenciation des ES en réponse à une disponibilité en eau réduite et 2) d'évaluer pour l'ES cotylédonaire de 12 semaines son état de maturité, son protéome, afin de les comparer à l'embryon zygotique (EZ). 1) Pour le premier objectif, le rapprochement de données de transcriptomique et de protéomique a été entrepris. Nous avons observé une réponse physiologique et moléculaire ABA-dépendante entraînant une transition précoce de la prolifération vers la différenciation des ES (surexpression de protéines impliquées dans la division cellulaire, l'embryogenèse et la synthèse de l'amidon). Une protéine de type germine et une ubiquitine ligase apparaissent comme marqueurs potentiels de l'embryogenèse somatique précoce du pin maritime, alors que la protéine phosphatase 2C marque la réponse adaptative à l'environnement de culture. 2) La maturité de l'ES cotylédonaire a été étudiée aux niveaux physiologique (masse sèche, teneur en eau) et biochimique (teneur en protéines totales, en sucres solubles). Des ES de 10, 12 ou 14 semaines se révèlent semblables. Une méthode de classification hiérarchique ascendante basée sur 9 variables explicatives, montre que l'ES est si-

#### Abstract

*In maritime pine, somatic embryogenesis, a powerful method of vegetative propagation, is not optimized, the limitation being the control of the somatic embryo (SE) development. Our objectives were 1) To study the early physiological, cellular and molecular mechanisms controlling SE differentiation in response to a reduced water availability, and 2) to estimate for cotyledonary SE 12 weeks old, its maturity, its proteome, and compare them to the zygotic embryo (ZE). 1) For the first objective, transcriptomic and proteomic data were combined. We observed an ABA-dependent physiological and molecular answer, inducing an early transition from proliferation towards SE differentiation (over-expression of proteins involved in cellular division, embryogenesis and in starch synthesis). A protein of germin type and an ubiquitine ligase appear as potential markers of early somatic embryogenesis in maritime pine, while the phosphatase protein 2C stands out the adaptive answer to the environment of culture. 2) Cotyledonary SE maturity was studied at the physiological (dry weight, water content) and biochemical levels (total protein content, soluble sugars). SE 10, 12 or 14 weeks old appeared very similar. A hierarchical ascendant cluster analysis based on 9 explanatory variables, shows that SE is similar to the fresh cotyledonary ZE; proteome profiling further confirmed high similarity (94.5%) between them. Protein profiling revealed common proteins belonging to 3 large*

milaires à l'EZ cotylédonaire frais (protéomes présentant 94% d'homologie). Parmi les protéines communes, 3 familles ont été identifiées (protéines de réserve, protéines de réponse au stress HSP, protéines LEA) ainsi que l'aldose réductase et l'adénosine kinase. Nous les proposons comme marqueurs génériques du stade cotylédonaire de l'embryogenèse tardive du pin maritime. L'ensemble des résultats contribue à une meilleure compréhension de l'embryogenèse somatique du pin maritime.

*families (HSP, LEA and storage proteins) as well as aldose reductase and adenosine kinase. We propose them as generic markers of the cotyledonary stage of the late embryogenesis of the maritime pine.*

#### Publications

Canales J, Bautista R, Label P, Gómez-Maldonado J, Lesur I, Fernández-Pozo N, Rueda-Lopez M, Guerrero-Fernandez D, Castro-Rodríguez V, Benzekri H, Cañas RA, Guevara MA, Rodrigues A, Seoane P, Teyssier C, Morel A, Ehrenmann F, Le Provost G, Lalanne C, Noirot C, Klopp C, Reymond I, García-Gutiérrez A, Trontin JF, Lelu-Walter MA, Miguel C, Cervera MT, Cantón FR, Plomion C, Harvengt L, Avila C, Claros MG, Cánovas FM (2014). **De novo assembly of maritime pine transcriptome: implications for forest breeding and biotechnology.** *Plant Biotechnology Journal* 12, 286-299.

Morel A, Teyssier C, Trontin JF, Eliášová K, Pešek B, Beaufour M, Morabito D, Boizot N, Le Metté C, Belal-Bessai L, Reymond I, Harvengt L, Cadene M, Corbineau F, Vágner M, Label P, Lelu-Walter MA (2014). **Early molecular events involved in *Pinus pinaster* Ait. Somatic embryo development under reduced water availability: transcriptomic and proteomic analyses.** *Physiologia Plantarum* 152, 184-201.

Morel A, Trontin JF, Corbineau F, Lomench AM, Beaufour M, Reymond I, Le Metté C, Ader K, Harvengt L, Cadène M, Label P, Teyssier C, Lelu-Walter MA (2014). **Cotyledonary somatic embryos of *Pinus pinaster* Ait. most closely resemble fresh, maturing cotyledonary zygotic embryos: biological, carbohydrate and proteomic analyses.** *Planta* 240, 1075-1095.

Plomion C, Bastien C, Bogeat-Triboulot MB, Bouffier L, Déjardin A, Duplessis S, Fady B, Heuert M, Le Gac AL, Le Provost G, Legué V, Lelu-Walter MA, Leplé JC, Maury S, Morel A, Oddou-Muratorio S, Pilate G, Sanchez L, Scotti I, Scotti-Saintagne C, Segura V, Trontin JF, Vacher C (2016). **Forest tree genomics: 10 achievements from the past 10 years and future prospects.** *Annals of Forest Science* 73, 77-103.

Trontin JF, Teyssier C, Morel A, Harvengt L, Lelu-Walter MA (2016). **Prospects for new variety deployment through somatic embryogenesis in maritime pine.** In: Park YS, Bonga JM, Moon HK (Eds), *Vegetative Propagation of Forest Trees* (ISBN 978-89-8176-064-9). Korea Forest Research Institute. Seoul, Korea, 572-606.



#### Prix

Premier prix de la compétition scientifique étudiante organisée par le groupe IUFRO 2.09.02 « Embryogenèse somatique et autres méthodes de multiplication végétative » dans le cadre de sa 3<sup>e</sup> conférence internationale (Vitoria-Gasteiz, Espagne, 10 septembre 2014).

Plateforme  
XYLOBIOTECH

# Amra Šećerović

## IDENTIFICATION ET CARACTÉRISATION DES ACTEURS MOLÉCULAIRES POTENTIELLEMENT IMPLIQUÉS DANS LES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DU BOIS DE TENSION

*Identification and characterization of molecular players potentially responsible for the mechanical properties of tension wood*

Thèse de doctorat en physiologie moléculaire des plantes sous la Direction de Gilles Pilate et d'Annabelle Déjardin (Laboratoire d'accueil : Unité Amélioration, Génétique et Physiologie Forestières, INRA).

Thèse soutenue le 29-11-2016 à l'Université d'Orléans.

### Résumé

Le but de cette thèse était d'identifier les mécanismes moléculaires responsables des propriétés particulières de la couche G et les propriétés mécaniques remarquables du bois de tension (BT). Trois acteurs moléculaires potentiels (des protéines à arabinogalactane avec domaine fasciclin-like (FLA), une protéine chitinase-like (CTL) et une  $\beta$ -galactosidase (BGAL)) ont été choisis et étudiés dans: analyse phylogénétique, analyses d'expression et caractérisation de peupliers transgéniques affectés dans l'expression de chacun de ces acteurs. La caractérisation fine de ce matériel a révélé que CTL2 et les FLA jouent un rôle dans la régulation de la cristallinité de la cellulose dans le BT. CTL2 apparaît également important dans l'organisation de la paroi cellulaire et des propriétés mécaniques des tiges. BGAL a été avant proposé pour une fonction dans modification de pectine RG-I potentiellement important pour des propriétés mécaniques de BT. Le bois de tension exhibe une activité BGAL plus élevée que dans le bois opposé. L'inhibition par RNAi de l'expression de BGAL7, spécifiquement exprimée dans le BT, n'est pas responsable à lui seul de la forte activité BGAL présente dans le BT. En contrepoint à l'étude menée sur le peuplier, nous avons également évalué la présence d'acteurs moléculaires potentiellement responsables des propriétés mécaniques du BT chez le simarouba qui développe dans

### Abstract

Deciduous trees produce tension wood in order to reinforce and reorient their axis, prone to leaning by the action of environmental factors as strong winds. The appearance of tension wood on eccentric stems and branches is the main cause of wood twisting and is therefore regarded as a defect in wood industry. On the contrary, tension wood represents an interesting resource for conversion to bioethanol of glucose-enriched cell walls. The aim of the research study was to understand how is formation of tension wood controlled on molecular level to produce wood of remarkable mechanical strength and peculiar anatomical properties. The main model species used in the study was poplar, which develops particular G-layer in secondary cell wall of tension wood fibers. Three molecular players, namely fasciclin-like arabinogalactan protein, chitinase-like protein and beta-galactosidase, were studied in light of their potential function in regulation of particular structure of cellulose microfibrils in the G-layer, and generation of tensile stress by physicochemical modifications of the G-layer matrix, which embeds the microfibrils. In attempt to clarify their biological functions, a multilevel characterization was performed on genetically transformed poplar trees modified for the expression of genes encoding the molecular players. In comparison to poplar, the occur-

leur BT des fibres ayant leurs sous-couches de la paroi intermédiaire entre la G et la S2. Des protéines à arabinogalactanes ainsi que des pectines du type RG-I sont présentes dans les fibres de BT de peuplier et de simarouba et pourraient avoir une fonction dans un mécanisme commun de génération des contraintes dans le BT. Finalement, un modèle est proposé sur le rôle présumé des différents acteurs moléculaires étudié dans la régulation des propriétés de la couche G et la génération des fortes contraintes du bois de tension.

rence of two matrix components potentially involved in the generation of tensile stress was studied in tropical tree species simarouba, which develops G-layer different from poplar. Such strategy was used to determine if, despite the G-layer diversity, tree species use the same mechanism of tensile stress generation.



### Publication

Almérás T, Ghislain B, Clair B, Secerovic A, Pilate G, Fournier M (2018). Quantifying the motor power of trees. *Trees* 2, 689–702.

Plateforme  
XYLOBIOTECH

# Marjorie Vidal

## OPTIMISATION DES STRATÉGIES D'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE DU PIN MARITIME GRÂCE À L'UTILISATION DE MARQUEURS MOLÉCULAIRES

### *Optimization of maritime pine breeding strategies using molecular markers*

**Thèse de doctorat en écologie évolutive, fonctionnelle et des communautés sous la direction de Laurent Bouffier, Christophe Plomion et Luc Harvengt (Laboratoires d'accueil : Pôle Biotechnologie & Sylviculture Avancée, Institut Technologique FCBA ; UMR Biodiversité, Gènes & Communautés, INRA-Université de Bordeaux).**

Thèse soutenue le 06-04-2016 à l'Université de Bordeaux.



#### Résumé

Le pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.) est l'une des principales espèces forestières en France, fournissant près d'un quart de la production nationale de bois. Un programme d'amélioration, mis en place dans les années 1960, propose des variétés génétiquement améliorées pour la croissance et la rectitude du tronc. Cette thèse explore la possibilité d'introduire les marqueurs moléculaires dans les stratégies d'amélioration génétique du pin maritime en Aquitaine. Les marqueurs sont utilisés afin de reconstituer a posteriori les pedigrees au sein d'un test de descendance « polycross », pour d'une part vérifier les hypothèses sur lesquelles repose la sélection backward, et d'autre part, pour proposer une stratégie de sélection innovante. Tout d'abord, la reconstitution du pedigree de 984 individus à l'aide de 63 marqueurs SNPs permet de valider les hypothèses de la sélection backward, et montre que les estimations des paramètres génétiques et des valeurs génétiques maternelles, basées sur l'information d'un pedigree partiel ou complet, diffèrent peu. Puis, les meilleurs descendants du test polycross sont présélectionnés et génotypés pour évaluer la faisabilité d'une stratégie de sélection forward. Enfin, des vergers à graines sont simulés selon différentes stratégies de sélection (backward, forward, mixte) afin de comparer les gains génétiques des variétés améliorées ainsi obtenues. Une stratégie de sélection forward chez le pin maritime permettrait d'accélérer les cycles de sélection et d'augmenter la fréquence des sorties variétales. De plus, le jeu de marqueurs SNPs développé dans cette étude est en cours de valorisation dans différentes étapes du programme d'amélioration.

#### Prix

Lauréate du Prix de la Recherche Forestière lors du salon ForestInnov (Charnay-Lès-Mâcon, 25 novembre 2016). Prix décerné par le fonds « Plantons pour l'Avenir ».

#### Publications

Vidal M, Plomion C, Harvengt L, Raffin A, Boury C, Bouffier L (2015). **Paternity recovery in two maritime pine polycross mating designs and consequences for breeding.** *Tree Genetics & Genomes* 11, 1-13.

Bartholomé J, Van Heerwaarden J, Isik F, Boury C, Vidal M, Plomion C, Bouffier L (2016). **Performance of genomic prediction within and across generations in maritime pine.** *BMC Genomics* 17, 604.

Vidal M, Plomion C, Raffin A, Harvengt L, Bouffier L (2017). **Forward selection in a maritime pine polycross progeny trial using pedigree reconstruction.** *Annals of Forest Science* 74, 21.

#### Abstract

*Maritime pine (Pinus pinaster Ait.) is one of the main economical forest species in France, providing about twenty five percent of the national round wood production. A breeding program, implemented since the 60's, offers genetically improved varieties for growth and stem straightness. This PhD explores the use of molecular markers in breeding strategies for maritime pine in Aquitaine. Molecular markers were used for pedigree recovery in a polycross progeny trial to test assumptions of backward selection on one hand, and to evaluate the feasibility of a new breeding strategy on the other hand. First, the pedigree of 984 progeny was recovered with 63 SNPs allowing to verify the assumptions of backward selection. We also showed that genetic parameters and maternal breeding value estimates were not much modified by inclusion of full pedigree information. Then, the best progenies in the polycross trial were preselected and genotyped to investigate the possibility of carrying out a forward selection strategy. Finally, establishment of clonal seed orchards were simulated from various breeding strategies (backward, forward, mixed) in order to compare genetic gains from the improved varieties obtained thereby. This study opens new perspectives towards an implementation of forward selection in the French maritime pine breeding program, to speed the selection cycles up and to increase the frequency of variety renewal. Moreover, the set of SNP markers developed is now used in different steps of the breeding program.*

# LISTE DES THÈSES EN COURS

## XYLOBIOTECH

Cathy BOUFFARTIGUE

**REVALORISATION DU PATRIMOINE GÉNÉTIQUE D'UNE ESPÈCE AGROFORESTIÈRE : ANALYSE DE TROIS INITIATIVES TERRITORIALES ET CO-CONCEPTION D'OUTILS DE GESTION, LE CAS DU CHÂTAIGNIER**

*Revalorizing the genetic background of an agroforestry species: analysis of three territorial initiatives and co-design of management tools, the case study of the chestnut tree*

Thèse débutée le 01-12-2016  
sous la direction de Laurent Hazard,  
Nathalie Couix et Thimothée Flutre à l'UMR AGIR.

Plateforme  
XYLOBIOTECH

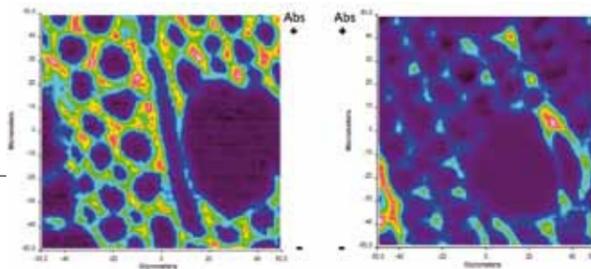
Clément CUELLO

**VERS L'ÉLABORATION D'UN MODÈLE DE CONSTRUCTION DES PAROIS DES FIBRES DE BOIS CHEZ LE PEUPLIER**

*Toward the building of a model for the assembly of poplar wood fibre cell walls*

Thèse débutée le 01-10-2017 sous la direction de  
Gilles Pilate et Annabelle Déjardin à l'UMR BioForA.

Plateforme  
XYLOBIOTECH



Manon MARTIN

**DÉVELOPPEMENT D'UN MODÈLE DE FONCTIONNEMENT HYDRIQUE DES SOLS FORESTIERS PARTIELLEMENT COMPACTÉS UTILISABLE DANS UN CONTEXTE DE DONNÉES PARCIMONIEUSES.**

*Modelling of hydrological functioning in partially compacted forest soils in a context of parsimonious data*

Thèse débutée le 07-11-2016  
sous la direction de André Chanzy et de Frédéric Rouger à l'UMR EMMAH et au Pôle PTA (FCBA).

Plateforme  
XYLOBIOTECH

# XYLOMIC

## GÉNOMIQUE ET PHÉNOTYPAGE DES ARBRES

### DÉTERMINISME GÉNÉTIQUE DE LA DYNAMIQUE DE CROISSANCE ET DE LA COMPOSITION ISOTOPIQUE DU CARBONE CHEZ L'EUCALYPTUS EN RÉPONSE AUX VARIATIONS ENVIRONNEMENTALES 54

*Genetic determinism of growth dynamics and carbon isotope composition in Eucalyptus in response to environmental changes*

### VARIABILITÉ INTRASPÉCIFIQUE DE LA RÉSISTANCE À L'EMBOLIE ET TRADE-OFFS FONCTIONNELS CHEZ LE TOURNESOL (*HELIANTHUS ANNUUS* L.) ET LE PIN MARITIME (*PINUS PINASTER* AIT.) 56

*Intraspecific variability in embolism resistance and functional trade-offs in sunflower (*Helianthus annuus* L.) and Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.)*

### RÉSISTANCE À LA CAVITATION ET RÔLE FONCTIONNEL DE LA PONCTUATION DANS LE XYLÈME DES CONIFÈRES : DE LA VARIABILITÉ INTERSPÉCIFIQUE À LA VARIABILITÉ AU SEIN D'UN ARBRE 58

*Cavitation resistance and the functional role of bordered pits in xylem of conifers: from inter-specific to within a tree variability*

### UNE HISTOIRE ÉCOLOGIQUE ET ÉVOLUTIVE DU ROBINIER FAUX-ACACIA (*ROBINIA PSEUDOACACIA* L.) DEPUIS SON INTRODUCTION EN EUROPE 60

*A European ecological and evolutive history of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.)*

### VARIABILITÉ PHÉNOTYPIQUE ET GÉNÉTIQUE DES TRAITS DE REPRODUCTION DE DEUX ESPÈCES DE CHÊNE BLANC EUROPÉEN (*QUERCUS PETRAEA* ET *Q. ROBUR*) 64

*Phenotypic and genetic variability of reproduction-related traits in two European white oak species (*Quercus petraea* and *Q. robur*)*

### ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET POTENTIEL ÉVOLUTIF DU DOUGLAS (*PSEUDOTSUGA MENZIESII* FRANCO.): RÔLE DES TRAITS HYDRAULIQUES, MICRODENSITOMÉTRIQUES ET ANATOMIQUES DU XYLÈME 66

*Adaptation to climate change and evolutionary potential of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* Franco.): role of hydraulic, microdensitometric and anatomical features of xylem.*

### STRUCTURE DES ASSEMBLAGES FONGIQUES DE LA PHYLLOSPHÈRE DES ARBRES FORESTIERS ET EFFET POTENTIEL DU CHANGEMENT CLIMATIQUE 68

*Structure of fungi communities in the phyllosphere of forest trees and potential effect of climate change*

### COMPRENDRE LES RELATIONS ENTRE STRATÉGIES HYDRAULIQUES ET LES AUTRES TRAITS DE VIE AFIN DE DÉTERMINER LA SURVIE DES PLANTES EN CONDITIONS DE SÉCHERESSE 70

*Understanding the coordination of hydraulic strategies with other traits in determining plant survival under drought*

### ÉTUDE DES CAPACITÉS DE DISPERSION DE MONOCHAMUS GALLOPROVINCIALIS VECTEUR DU NÉMATODE DU PIN *BURSAPHELENCHUS XYLOPHILUS* 72

*Dispersal capacities of *Monochamus galloprovincialis* vector of the pinewood nematode *Bursaphelenchus xylophilus**

### EFFET DU PAYSAGE SUR LA STRUCTURE DES COMMUNAUTÉS FONGIQUES FOLIAIRES 74

*Effect of the landscape on foliar fungal community structure*

### APTITUDE DU DOUGLAS (*PSEUDOTSUGA MENZIESII*) À L'EMBRYOGENÈSE SOMATIQUE : APPROCHES DE PHYSIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE VIA L'ANALYSE DU PROTÉOME ET DU TRANSCRIPTOME 76

*Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) ability to somatic embryogenesis: cellular and molecular physiology approaches via proteome and transcriptome analysis*

### LA DISPERSION DES GLANDS ET SES CONSÉQUENCES POUR LA RÉGÉNÉRATION ET L'EXPANSION D'UN PEUPEMENT DE CHÊNE 78

*Acorn dispersal and its consequences for regeneration in an expanding oak forest stand*

### EXPRESSION D'UNE VARIABILITÉ GÉNÉTIQUE POUR LA PHÉNOLOGIE DE CROISSANCE, L'EFFICIENCE D'UTILISATION DE L'EAU ET LA RÉSISTANCE À LA CAVITATION AU SEIN DE POPULATIONS NATURELLES DE PEUPLIER NOIR (*POPULUS NIGRA* L.) 80

*Expression of genetic variation for bud phenology, water-use efficiency and xylem resistance to drought-induced cavitation in natural populations of black poplar (*Populus nigra* L.)*

### RECONSTRUCTIONS PHYLOGÉNÉTIQUES DU GENRE *QUERCUS* À PARTIR DE SÉQUENCES DU GÉNOME NUCLÉAIRE ET CHLOROPLASTIQUE 82

*Phylogeographic reconstructions of the genus *Quercus* based on nuclear and chloroplast dna sequences*



<b>ARCHITECTURE GÉNÉTIQUE DES INTERACTIONS ENTRE LE CHÊNE PÉDONCULÉ (<i>QUERCUS ROBUR</i> L.) ET LES COMMUNAUTÉS MICROBIENNES DE SA PHYLLOSPHÈRE</b>	<b>84</b>	<b>PROCESSUS ÉCOLOGIQUES ET ÉVOLUTIFS IMPLIQUÉS DANS LE SUCCÈS DE L'INTRODUCTION DE <i>QUERCUS RUBRA</i> L. EN EUROPE</b>	<b>100</b>
<i>Genetic architecture of the interactions between english oak (<i>Quercus robur</i> L.) And the microbial community of its phyllosphere</i>		<i>Ecological and evolutionary processes involved in the success of <i>Quercus rubra</i> L. introduction in Europe</i>	
<b>ÉTUDE DE L'ÉMERGENCE ET DE LA DYNAMIQUE ÉVOLUTIVE D'<i>ARMILLARIA OSTOYAE</i>, AGENT PATHOGÈNE DU PIN MARITIME</b>	<b>86</b>	<b>AJUSTEMENT BIOLOGIQUE DU MÊLÈZE AUX VARIATIONS ENVIRONNEMENTALES LE LONG D'UN GRADIENT ALTITUDINAL : APPROCHE MICRODENSITOMÉTRIQUE DE LA RÉPONSE AU CLIMAT</b>	<b>102</b>
<i>Study of the emergence and evolutionary dynamics of <i>Armillaria ostoyae</i>, a pathogen of maritime pine</i>		<i>Biological adjustment of larch to environmental variations along an altitudinal gradient: a wood microdensity approach of climate</i>	
<b>HYBRIDATION ET DYNAMIQUE DE LA SPÉCIATION CHEZ LES CHÊNES SESSILE (<i>QUERCUS PETRAEA</i>) ET PÉDONCULÉ (<i>QUERCUS ROBUR</i>)</b>	<b>88</b>	<b>DENDROÉCOLOGIE ET GÉNÉTIQUE D'UNE POPULATION DE HÊTRE (<i>FAGUS SYLVATICA</i>) EN MARGE CHAUDE DE L'AIRE DE RÉPARTITION DE L'ESPÈCE</b>	<b>104</b>
<i>Hybridization and speciation dynamic of <i>Quercus petraea</i> and <i>Quercus robur</i></i>		<i>Dendroecology and genetics of a beech (<i>Fagus sylvatica</i>) population at the species' warm range margin</i>	
<b>PLASTICITÉ PHÉNOTYPIQUE ET ARCHITECTURE GÉNÉTIQUE DE LA CROISSANCE ET DE LA DENSITÉ DU BOIS DU PIN MARITIME (<i>PINUS PINASTER</i> AIT.)</b>	<b>90</b>	<b>ÉTUDE DE LA FORMATION DU DURAMEN CHEZ LE DOUGLAS : APPROCHES BIOCHIMIQUE ET TRANSCRIPTOMIQUE</b>	<b>106</b>
<i>Growth of maritime pine (<i>Pinus pinaster</i> ait.) in response to its environment: phenotypic variability and genetic architecture</i>		<i>Study of the Douglas-fir heartwood formation: biochemical and transcriptomic approaches</i>	
<b>RÉSISTANCE À LA CAVITATION : DES MÉCANISMES PHYSIOLOGIQUES À LA GÉNÉTIQUE ÉVOLUTIVE : DE LA BULLE AUX GÈNES</b>	<b>92</b>	<b>BIOLOGIE DE DÉVELOPPEMENT DU BOIS EN RÉPONSE À DES SOLlicitATIONS MÉCANIQUES ENVIRONNEMENTALES</b>	<b>108</b>
<i>Resistance to cavitation: from physiological mechanisms to evolutionary quantitative genetic: from bubbles to genes</i>		<i>Integrative study of wind-induced flexure wood formation</i>	
<b>ÉVOLUTION DE LA RÉSISTANCE À LA CAVITATION CHEZ LES CONIFÈRES</b>	<b>94</b>	<b>ADAPTATION DU DOUGLAS (<i>PSEUDOTSUGA MENZIESII</i> (MIRB.) FRANCO) AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES : ÉTUDE RÉTROSPECTIVE BASÉE SUR L'ANALYSE DES CERNES</b>	<b>110</b>
<i>The evolution of cavitation resistance in conifers</i>		<i>Adaptation of Douglas-fir (<i>Pseudotsuga menziesii</i> (MIRB.) Franco) to climate change: retrospective study based on annual-ring analysis</i>	
<b>LES POLYSACCHARIDES ET LES ELLAGITANINS DU BOIS DE CHÊNE : INFLUENCE SUR LA QUALITÉ SENSORIELLE DES VINS</b>		<b>RÉPONSE DES ARBRES FORESTIERS AUX CHANGEMENTS GLOBAUX : APPROCHES BIOGÉOGRAPHIQUE ET ÉCOPHYSIOLOGIQUE</b>	<b>112</b>
<i>Oak wood polysaccharides and ellagitannins: the impact on sensory quality of wines</i>		<i>Responses of tree species to global change: Biogeographic and ecophysiological approaches</i>	
<b>DES ARBRES POUR LES FORÊTS DU FUTUR – RÉPONSES GÉNÉTIQUES ET PLASTIQUES DES ESPÈCES LIGNEUSES AUX FACTEURS ABIOTIQUES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE</b>	<b>96</b>	<b>L'HISTOIRE DU MÊLÈZE D'EUROPE (<i>LARIX DECIDUA</i> MILL.)</b>	<b>114</b>
<i>Trees for future forests – Genetic and plastic responses in woody species to abiotic factors of climate change</i>		<i>History of the european larch (<i>Larix decidua</i> mill.)</i>	
<b>ÉTUDE DE LA VIGUEUR HYBRIDE CHEZ LE MÊLÈZE ET RÔLE DE LA PLASTICITÉ PHÉNOTYPIQUE DANS LA CONSTRUCTION DE L'HÉTÉROIS</b>	<b>98</b>	<b>DIVERGENCE ÉVOLUTIVE DANS LE GENRE <i>PLATYCARYA</i> (JUGLANDACEAE) ET SES IMPLICATIONS POUR LA DYNAMIQUE PASSÉE DE CET ARBRE FORESTIER EN CHINE SUBTROPICALE</b>	<b>116</b>
<i>Larch hybrid vigor and role of the phenotypic plasticity in the construction of heterosis</i>		<i>Genetic divergence within the monotypic tree genus <i>Platycarya</i> (Juglandaceae) and its implications for species' past dynamics in subtropical China</i>	
		<b>LISTE DES THÈSES EN COURS</b>	<b>118</b>



# Jérôme Bartholomé

## DÉTERMINISME GÉNÉTIQUE DE LA DYNAMIQUE DE CROISSANCE ET DE LA COMPOSITION ISOTOPIQUE DU CARBONE CHEZ L'EUCALYPTUS EN RÉPONSE AUX VARIATIONS ENVIRONNEMENTALES

### *Genetic determinism of growth dynamics and carbon isotope composition in Eucalyptus in response to environmental changes*

Thèse de doctorat en Biologie Intégrative des Plantes sous la direction de Jean-Marc Bouvet et Jean-Marc Gion (Laboratoires d'accueil : UMR Biogeco, INRA et Université de Bordeaux, et UMR AGAP (Montpellier)).

Soutenue le 28-03-2014 à l'Université de Montpellier.

#### Résumé

Les différents scénarios sur l'évolution du climat prévoient une augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses. La croissance des arbres forestiers étant fortement conditionnée par la disponibilité en eau, ces changements devraient impacter de manière significative la productivité des forêts plantées. La compréhension de l'impact des facteurs génétiques et environnementaux sur la dynamique de croissance est donc un enjeu majeur pour assurer les niveaux de production des plantations de demain. L'Eucalyptus, grâce à sa croissance rapide et à la disponibilité de ressources génétiques et génomiques, est un modèle biologique idéal pour mener ces recherches. L'objectif de cette thèse est de caractériser l'architecture génétique de la dynamique de croissance à différentes échelles de temps chez l'eucalyptus en relation avec : (i) les variations environnementales, et notamment l'évolution de la disponibilité en eau, et (ii) la composition isotopique du carbone de l'arbre (delta 13C), un caractère lié à l'efficacité d'utilisation de l'eau. Pour répondre à cet objectif, un croisement interspécifique *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* a été étudié dans quatre dispositifs expérimentaux en République du Congo. Notre approche se base sur la cartographie des loci à effet quantitatif (QTL) et combine : (i) un génotypage haut débit, (ii) une caractérisation inter et intra-annuelle de la croissance et du delta 13C, ainsi qu'un suivi en continu des micro-variations du rayon et (iii) une caractérisation en continu

#### Abstract

Scenarios of climate changes forecast an increase in frequency and intensity of droughts, related to an increase of global temperatures and changes in rainfall distribution. Growth of forest trees highly depends on water availability and will be significantly impacted by these changes. The understanding of the impact of genetic and environmental factors on the growth dynamics is a major challenge to ensure production levels of future planted forests. *Eucalyptus*, thanks to its rapid growth and the availability of genetic and genomic resources, is a perfect model to conduct this research. The objective of this thesis is to characterize the genetic architecture of growth dynamics in *Eucalyptus* at different time scales, in relation with: (i) environmental changes, including changes in water availability, and (ii) isotopic composition of carbon (delta 13C), a character associated with water-use efficiency. To this end, an interspecific cross between *E. urophylla* x *E. grandis* was studied in four experimental trials in the Republic of Congo. Our approach, based on mapping of quantitative trait loci (QTL), combines (i) a high-throughput genotyping, (ii) a characterization of inter and intra-annual growth dynamics and delta 13C, as well as a continual measurement of stem radial micro-variations and (iii) a continual characterization of environmental factors. First of all, this work led to the construction of the first high-resolution genetic maps in *Eucalyptus*, improving the sequence

des facteurs environnementaux. Ces travaux ont tout d'abord conduit à la construction des premières cartes génétiques à haute résolution chez l'Eucalyptus. L'analyse de l'architecture génétique du delta 13C a ensuite permis de mettre en évidence des gènes candidats positionnels, potentiellement impliqués dans la variation de ce caractère. Enfin, la caractérisation inter et intra-annuelle de la dynamique de croissance a permis de montrer que l'architecture génétique de la croissance, au stade adulte, est structurée par les réponses à l'environnement au stade juvénile. Ces réponses ont ensuite été analysées grâce aux profils de micro-variations du rayon, permettant ainsi de préciser leurs déterminants génétiques. Nos résultats soulignent l'importance de considérer la croissance comme un caractère dynamique, non seulement pour la compréhension de ses bases génétiques, mais également à des fins de sélection de variétés adaptées à un environnement changeant.

*of the reference genome. Then, the analysis of genetic architecture of delta 13C enabled the identification of positional candidate genes which might be involved in the variation of this trait. Finally, inter and intra-annual characterization of growth dynamics highlight that genetic architecture of adult growth is structured by responses to the environment at the juvenile stage. These responses were then analyzed using daily profiles of stem radial micro-variations, which enabled the characterization of the genetic determinants of response to the environmental factors at the juvenile stage. Our results highlight the importance of considering growth as a dynamic trait, not only to understand its genetic basis, but also to select in a changing environment.*



#### Publications

Bartholomé J., Salmon F, Vigneron P, Bouvet J-M, Plomion C, Gion J-M (2013). Plasticity of primary and secondary growth dynamics in *Eucalyptus* hybrids: a quantitative genetics and QTL mapping perspective. *BMC Plant Biology* 13, 120.

Bartholomé J., Mabila A, Savelli B, Bert D, Brendel O, Plomion C, Gion J-M (2015). Genetic architecture of carbon isotope composition and growth in *Eucalyptus* across multiple environments. *New Phytologist* 206, 1437–1449.

Bartholomé J., Mandrou E, Mabila A, Jenkins J, Nabihoudine I, Klopp C, Schmutz J, Plomion C, Gion J-M (2015). High-resolution genetic maps

of *Eucalyptus* improve *Eucalyptus grandis* genome assembly. *New Phytologist* 206, 1283–1296.

Plomion, C., Bartholomé J., Bouffier, L., Brendel, O., Cochard, H., de Miguel, M., Delzon, S., Gion, J.-M., Gonzalez-Martinez, S.C., and Guehl, J.-M. (2016). Understanding the genetic bases of adaptation to soil water deficit in trees through the examination of water use efficiency and cavitation resistance: maritime pine as a case study. *Journal of Plant Hydraulics* 3, 008.

#### Plateforme Génobois

# Hafiz Bashir Ahmad

## VARIABILITÉ INTRASPÉCIFIQUE DE LA RÉSISTANCE À L'EMBOLE ET TRADE-OFFS FONCTIONNELS CHEZ LE TOURNESOL (*HELIANTHUS ANNUUS* L.) ET LE PIN MARITIME (*PINUS PINASTER* AIT.)

*Intraspecific variability in embolism resistance and functional trade-offs in sunflower (Helianthus annuus L.) and Maritime pine (Pinus pinaster Ait.)*

Thèse de doctorat en Ecologie évolutive, fonctionnelle et des communautés sous la direction de Sylvain Delzon et d'Annabel Porté (Laboratoire d'accueil : UMR Biogeco, INRA & Univ. Bordeaux).

Soutenue le 14-11-2017 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

Plusieurs études ont montré que la productivité des forêts et des cultures décroît sur l'ensemble de la planète en réponse au changement climatique, et que les risques de mortalité liée à la sécheresse s'accroissent. Ces mortalités massives ont été observées dans tous les écosystèmes forestiers et seraient dues à un dysfonctionnement hydraulique des plantes, causé par de l'embolie xylémienne. Le spectre interspécifique de résistance à l'embolie a été largement étudié, mais peu d'attention a été accordée à la variabilité intra-spécifique de ce trait. C'est pourquoi, l'objectif de ce travail de thèse était d'améliorer notre compréhension de la variabilité intra-spécifique de la résistance à l'embolie chez une espèce cultivée (*Helianthus annuus* L.) et chez un conifère (*Pinus pinaster*). Nous avons déterminé la vulnérabilité à l'embolie de quatre variétés de tournesol, présentant des différences significatives de P50 (pression induisant 50% de perte de conductivité hydraulique), allant de -2.67 à -3.22 MPa. Un compromis entre sécurité hydraulique et croissance a été observé mais pas entre la sécurité hydraulique et la capacité de transport de l'eau du xylème. Seuls quelques caractères anatomiques, tels que la densité des vaisseaux et la surface du lumen, présentent une corrélation avec la résistance à l'embolie. Dans un second temps, nous avons phénotypé pour la résistance à l'embolie et la densité du bois 477 génotypes de *P. pinaster*, issus d'une F2 de pleins-frères correspondant à la 3ème génération consanguine obtenue par autofécon-

### Abstract

As a consequence of current global climate change, forest and crop ecosystems are decreasing in productivity worldwide and are under increased threat of widespread drought-induced mortality due to hydraulic failure caused by xylem embolism. The range of embolism resistance across species has been intensively studied but little attention has been paid to intraspecific variability. This thesis aimed therefore at improving our understanding of the intraspecific variation in embolism resistance in one crop species (*Helianthus annuus* L.) and one conifer species (*Pinus pinaster*). In the first place, vulnerability to embolism was determined across four sunflower accessions with significant variations in P50 (pressure inducing 50% loss of hydraulic conductivity) ranging between -2.67 and -3.22 MPa. A trade-off between hydraulic safety and growth was observed but not between hydraulic safety and efficiency. Only few anatomical traits, such as vessel density and vessel lumen area, were found related to embolism resistance. Secondly, we phenotyped 477 *P. pinaster* full-sib F2 genotypes corresponding to a three-generation inbred pedigree obtained by the self-pollination of an inter "Corsica × Landes" provenance hybrid, for embolism resistance and wood density. The variability for P50 within species was remarkably low (CVP=5.6%). We also found a lack of trade-off between hydraulic safety and wood density. The phenotypic variance explained by QTLs (PEV) detected for P50 accounted for 23.6% of the phenotypic variation

datation d'un hybride inter-provenance "Corse × Landes. La variabilité de la P50 au sein de l'espèce était extrêmement faible (CVP=5.6%). D'autre part, nous avons mis en évidence l'absence de compromis entre sécurité hydraulique et densité du bois. La part de variance du caractère P50 expliquée par QTLs (PEV) correspondait à 23.6% de la variance phénotypique totale mais aucun QTL commun n'a pu être détecté entre P50 et densité du bois, suggérant qu'au sein de cette famille, la plus forte résistance à l'embolie de certains génotypes n'est pas liée à un bois plus dense. Une analyse multi-caractère du fonctionnement de la feuille et du xylème a été réalisée via l'étude de la dynamique saisonnière de la fluorescence du photosystème II et des traits hydrauliques de la tige, sur une famille de pleins-frères d'un hybride interprovenance "Maroc × Landes" de *P. pinaster*; en réponse à une diminution du potentiel hydrique, l'efficacité du photosystème II et la conductance stomatique ont tous deux diminué, induisant une décroissance rapide du taux d'assimilation. La résistance à l'embolie du xylème n'a pas montré de relation significative avec les traits foliaires. L'absence de compromis entre ces caractères permet donc d'envisager la sélection génétique de génotypes à la fois efficaces et résistants.

but no QTL collocated between P50 and wood density, suggesting that embolism resistant genotypes in this family are not dependent on denser wood. A multi-trait analysis of leaf and xylem functioning was performed through seasonal measurements of photosystem II fluorescence and stem hydraulic traits on a full-sib family of an inter "Morocco × Landes" provenance hybrid of *P. pinaster*; it revealed that with decreasing water potential, the efficiency of both photosystem II and stomatal conductance decreased which resulted in rapid decrease in assimilation rate. Xylem resistance to embolism was found having no relationship with leaf functioning traits. The absence of trade-off between these traits makes it possible to consider selection for both efficient and resistant genotypes.



### Publication

Ahmad HB, Lens F, Capdeville G, Burtlett R, Lamarque LJ, Delzon S (2018). Intraspecific variation in embolism resistance and stem anatomy across four sunflower (*Helianthus annuus* L.) accessions. *Physiologia Plantarum* 163, 59-72.

Plateforme  
Génobois

# Pauline Bouche

## RÉSISTANCE À LA CAVITATION ET RÔLE FONCTIONNEL DE LA PONCTUATION DANS LE XYLÈME DES CONIFÈRES : DE LA VARIABILITÉ INTERSPÉCIFIQUE À LA VARIABILITÉ AU SEIN D'UN ARBRE

*Cavitation resistance and the functional role of bordered pits in xylem of conifers: from inter-specific to within a tree variability*

Thèse de doctorat en écologie sous la direction de Sylvain Delzon et Steven Jansen (Laboratoires d'accueil : UMR Biogeco, INRA et Université de Bordeaux, et Institut für Systematische Botanik und Ökologie, Université d'Ulm).

Soutenue en 2013 à l'Université d'Ulm (Allemagne).

### Résumé

L'objectif de ma thèse était de mieux comprendre la résistance à la cavitation (i.e. résistance à la formation et propagation de bulles d'air dans le système de transport hydrique des plantes suite à un stress hydrique) chez les conifères. Pour cela, nous avons réalisé une étude à l'échelle interspécifique et à l'échelle de l'individu. La première partie de ma thèse a contribué à approfondir les connaissances sur le mécanisme de cavitation au niveau des branches grâce à la construction d'une base de données anatomique de 115 espèces de conifères englobant les sept familles de conifères existantes et les quatre principaux biomes terrestres. Les compromis fonctionnels associés à la résistance à la cavitation ont également été étudiés en détail. Dans une seconde partie, le développement de méthodes de mesure adaptées aux différents organes des conifères (aiguilles, branches, troncs et racines) a permis d'explorer la variabilité de la résistance à la cavitation à la fois au sein d'un organe, et entre les organes pour un individu donné. Cela pour tester l'hypothèse de « segmentation de la vulnérabilité à la cavitation » du xylème qui suggère que les aiguilles seraient plus vulnérables que les branches, elles-mêmes plus vulnérables que le tronc et les racines. Des observations de l'anatomie du xylème et des ponctuations ont également été effectuées pour cette étude, en parallèle des mesures de résistance à la cavitation.

### Abstract

*This thesis aimed to improve our understanding of xylem cavitation resistance (i.e. resistance to drought-induced formation and spread of air in the water transport system) in conifers by carrying out experiments at two different levels: at the interspecific and intra-plant level. We first investigated the mechanism of cavitation based on 115 conifer species, covering seven conifer families and four major biomes. Also, the trade-offs associated with cavitation resistance were studied in details. Secondly, we developed new approaches to estimate cavitation resistance within and between different organs (needles, branches, trunks and roots). These allowed me to investigate the "vulnerability segmentation hypothesis" in conifers which suggest that leaves and branches are more vulnerable to cavitation than trunks and roots. Anatomical observations were also carried out at the intra-plant level.*



### Publications

Bouche PS, Delzon S, Choat B, Badel E, Brodribb TJ, Burrett R, Cochard H, Charra Vaskou K, Lavigne B, Li S, Mayr S, Morris H, Torres Ruiz JM, Zufferey V, Jansen S (2016). Are needles of *Pinus pinaster* more vulnerable to xylem embolism than branches? New insights from X ray computed tomography. *Plant, Cell & Environment* 39, 860-870.

Bouche PS, Jansen S, Sabalera JC, Cochard H, Burrett R, Delzon S (2016). Low intra-tree variability in resistance to embolism in four Pinaceae species. *Annals of Forest Science* 73, 681.

Bouche PS, Larter M, Domec J-C, Burrett R, Gasson P, Jansen S, Delzon S (2014). A broad survey of hydraulic and mechanical safety in the xylem of conifers. *Journal of Experimental Botany* 65, 4419-4431.

Lamy J, Delzon S, Bouche PS, Alia R, Vendramin GG, Cochard H, Plomion C (2014). Limited genetic variability and phenotypic plasticity detected for cavitation resistance in a Mediterranean pine. *New Phytologist* 201, 874-886.

Torres-Ruiz JM, Jansen S, Choat B, McElrone AJ, Cochard H, Brodribb TJ, Badel E, Burrett R, Bouche PS, Brodersen CR, Li S, Morris H, Delzon S (2015). Direct X-ray microtomography observation confirms the induction of embolism upon xylem cutting under tension. *Plant Physiology* 167, 40-43.

Plateforme  
GénoBois

# Xavier Bouteiller

## UNE HISTOIRE ÉCOLOGIQUE ET ÉVOLUTIVE DU ROBINIER FAUX-ACACIA (*ROBINIA PSEUDOACACIA* L.) DEPUIS SON INTRODUCTION EN EUROPE

*A European ecological and evolutive history of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.)*

Thèse de doctorat en Écologie évolutive, fonctionnelle et des communautés sous la direction de Annabel Porté et de Stéphanie Mariette (Laboratoire d'accueil : UMR Biogeco, INRA et Université de Bordeaux).

Soutenue le 28-09-2018 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

*Robinia pseudoacacia* L. est un arbre nord-américain qui est largement répandu à travers l'Europe. Afin d'évaluer les mécanismes évolutifs pouvant expliquer son potentiel invasif, il est indispensable d'identifier les populations sources de l'introduction et de comprendre quels traits ont contribué à son succès dans l'aire européenne. Une étude de génétique des populations a été réalisée, un large échantillonnage a été conduit au sein des deux aires et 818 individus provenant de 63 populations ont été génotypés grâce à 113 marqueurs SNPs. En premier lieu, nous avons démontré que le robinier européen provenait d'un nombre restreint de populations situées au nord du plateau des Appalaches, ce qui est en accord avec les données historiques. Au sein des États Unis la structure reflète des processus évolutifs au long cours tandis qu'en Europe, la structure est plus ténue et pourrait être due à l'activité humaine, notamment aux programmes de sélection entrepris en Europe centrale depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle. En deuxième lieu, un goulot d'étranglement génétique associé à une perte de diversité a été mis en évidence dans l'aire d'introduction. Enfin un plus fort taux de clonalité a été observé au sein des populations d'Europe. Conjointement à cette étude de génétique des populations. Une expérimentation de génétique quantitative a été réalisée afin d'évaluer la différenciation de traits juvéniles entre populations des deux aires (3 000 individus de 20 populations) cultivées dans 3 conditions de température différentes (18°C ; 22°C et 31°C). Les résultats ont révélé une augmentation du taux de germination parmi les populations européennes par rapport aux américaines (88% vs 60%) quelles que soient les conditions environnementales. Un

### Abstract

*Robinia pseudoacacia* L. is a North American tree which has now broadly spread in Europe. In order to evaluate the evolutionary mechanisms behind its invasiveness, it is crucial to identify the population sources of the introduction and to understand which traits contributed to its success in the European range. To undertake a population genetics study, we performed a large sampling both in the invasive and native ranges; 818 individuals from 63 populations were genotyped using 113 SNPs. First, we demonstrated that European black locust was introduced from only a limited number of populations located in the Northern plateau of the Appalachians Mountains; this is in agreement with historical records. Within America, population structure reflected long time evolutionary processes whereas in Europe, it was largely impacted by human activities. In the European range, the genetic clustering may be a signal of evolution caused by artificial selection due to human oriented mass selection or tree breeding initiated in Central Europe since the 18th century. Second, we evidenced a genetic bottleneck among ranges with a decrease in allelic richness and in the total number of alleles in Europe. Lastly, we found more clonality within the European populations. Conjointly to the population genetic analysis, we conducted a quantitative genetics experiment to evaluate juvenile traits of both native and invasive black locust populations (3000 individuals from 20 populations) grown under 3 different temperature conditions. Results revealed an enhanced germination rate among European populations compared to that of the native American populations whatever the environmental condition (88% vs 60%). Thus a possible scenario may be that Man would have selected and

scénario possible est que l'Homme aurait sélectionné et propagé les meilleures graines en Europe favorisant alors l'évolution du taux de germination. De plus, les traits phénotypiques juvéniles sont extrêmement plastiques à la température avec une tendance générale à l'augmentation de la valeur du trait avec la température. Cela suggère qu'un réchauffement climatique favoriserait le développement de l'espèce, au moins en conditions d'alimentation en eau non limitante. Cependant, seules les populations américaines montrent un signal une adaptation locale à la température d'origine. Dans tous les cas, ils semblent que l'action de l'Homme sur le potentiel reproductif, sexué ou asexué, a probablement influencé le potentiel invasif du robinier en Europe.

*propagated the best seeds in the new range that would have favored an evolution of germination rate through European populations. Phenotypic traits of juvenile development are extremely plastic in response to temperature (18/22/31°C), with a general tendency to increasing trait values with increasing temperature. This suggests that global warming would favor the development of the species, at least under non-limiting water supply conditions. However, only American populations demonstrated a signal of local adaptation to the temperature at the sampling location. In any case, the human role on the reproductive potential, both sexual and asexual, within the introduced range would likely be a key process in the success of black locust dynamics in Europe.*



### Publications

Bouteiller XP, Barraquand F, Garnier-Géré P, Harmand N, Laizet Y, Raimbault A, Segura R, Lassois L, Monty A, Verdu C, Mariette S, Porté AJ (2018). No evidence for genetic differentiation in juvenile traits between Belgian and French populations of the invasive tree *Robinia pseudoacacia*. *Plant Ecology and Evolution* 151, 5-17.

Bouteiller XP, AJ Porté AJ, Mariette S, Monty A (2017). Using automated sanding to homogeneously break seed dormancy in black locust (*Robinia pseudoacacia* L., Fabaceae). *Seed Science Research* 27, 243-250.

XP Bouteiller, CF Verdu, E Aikio, P Bloese, K Dainou, A Delcamp, De Their O, Guichoux E, Mengal C, Monty A, Pucheu M, van Loo M, Porté AJ, Lassois L, Mariette S (2019). A few north Appalachian populations are the source of European black locust. *Ecology and Evolution* 9, 2398-2414.

Plateforme  
PGTB

# Thomas Caignard

## VARIABILITÉ PHÉNOTYPIQUE ET GÉNÉTIQUE DES TRAITS DE REPRODUCTION DE DEUX ESPÈCES DE CHÊNE BLANC EUROPÉEN (*QUERCUS PETRAEA* ET *Q. ROBUR*)

*Phenotypic and genetic variability of reproduction-related traits in two European white oak species (Quercus petraea and Q. robur)*

Thèse de doctorat en Ecologie évolutive, fonctionnelle et des communautés sous la direction de Sylvain Delzon et de Antoine Kremer (Laboratoire d'accueil : UMR Biogeco, INRA et Université de Bordeaux).

Soutenue le 02-05-2018 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

La dynamique et le fonctionnement des écosystèmes forestiers dépendent fortement de la reproduction des arbres. La production de graines subit de fortes fluctuations interannuelles, mais très peu d'études ont pu caractériser la sensibilité aux variables climatiques et le déterminisme des traits de reproduction. Dans le cadre de cette thèse nous avons étudié la reproduction de deux espèces de chênes tempérés européens (*Quercus petraea* et *Quercus robur*) avec pour objectifs (i) d'évaluer l'évolution des traits de reproduction au cours des deux dernières décennies, notamment vis-à-vis des changements de température, (ii) d'estimer la contribution des facteurs génétiques et environnementaux à la variation de ces traits le long de gradients environnementaux et enfin (iii) d'estimer l'héritabilité des traits de reproduction ainsi que d'identifier les régions du génome qui leurs sont associées. A partir de suivis long-termes de l'effort de reproduction in situ sur tout le territoire de France métropolitaine, nous avons pu mettre en évidence une augmentation significative de la production fructifère des chênes au cours des 14 dernières années. Ces accroissements du nombre et de la taille des glands sont fortement corrélés à l'augmentation des températures printanières. Cette sensibilité à la température a été confirmée grâce à un dispositif indépendant installé le long de gradients altitudinaux dans les Pyrénées. Nos résultats montrent également une différenciation génétique entre les populations provenant du gradient altitudinal et une opposition de signes entre les clines génétique et phénotypique « contre-gradient » pour les deux traits de reproduction étudiés. Contrairement aux traits

### Abstract

Forest ecosystem dynamics closely depend on tree reproduction. Many studies have investigated the synchronous and non-predictable year-to-year variability of seed production, characteristic of masting species. However, little is known about the sensitivity of tree reproduction to climate variables and to which extent this phenotypic variability is genetically or environmentally driven. We studied the reproduction of two European temperate oaks (i) to characterize the change in reproductive traits over the last two decades, (ii) to assess the determinism of their variations along environmental gradients and (iii) to estimate the heritability of reproductive traits and identify the regions of their genome related to reproduction. We report a dramatic increase in seed production over the last 14 years. This increase in seed production and size is correlated with increasing spring temperatures. We then confirmed this sensitivity to temperature by studying the reproduction of oak populations growing along the Pyrenean elevation gradient. Based on a common garden approach, we then report significant genetic differentiation between oak provenances and demonstrated that the genetic and phenotypic clines for the reproductive traits observed along the environmental gradient have opposite signs (counter-gradient). Contrary to growth traits, for which genetic variation parallels phenotypic variation, the counter-gradient observed for reproduction-related traits suggests that genetic variation partly counteracts the phenotypic effect of temperature, moderating the change in reproductive effort according to temperature. Finally, by monitoring the reproduction in a full-sib family during four consecutive

de croissance pour lesquels nous observons un « co-gradient », le « contre gradient » observé pour la reproduction suggère que les variations génétiques contrecarrent en partie la forte plasticité environnementale, minimisant ainsi la tendance (ou patron) de l'effort de reproduction avec la température. Enfin, nous avons observé une forte héritabilité pour chacun des traits de reproduction chez le chêne pédonculé dans une famille de pleins frères, confirmant l'existence d'un déterminisme génétique, et avons identifié pour la première fois chez les arbres forestiers, des locus à caractère quantitatif (QTLs) associés à la reproduction du chêne. Ces résultats suggèrent qu'en réponse à des changements environnementaux, les traits de reproduction ont la capacité de s'adapter, apportant ainsi de nouvelles perspectives dans l'étude de la réponse des arbres forestiers aux changements climatiques.

*years, we report a high heritability of reproductive traits and a high genetic differentiation between trees of a same population, confirming the significant genetic determinism observed earlier. Furthermore, we were able to identify for the first time in forest trees quantitative trait loci (QTLs) associated with seed production and size. Our findings suggest that reproduction-related traits can be determinant for tree adaptation in response to environmental changes.*



### Publications

Caignard T, Kremer A, Firmat C, Nicolas M, Venner S, Delzon S (2017). Increasing spring temperatures favor oak seed production in temperate areas. *Scientific reports* 7, 8555.

Vacchiano G, Ascoli D, Berzaghi F, Lucas-Borja ME, Caignard T, Collalti A, Mairota P, Palaghianu C, Reyer CPO, Sanders TGM, Schermer E, Wohlgemuth T, Hackett-Pain A (2018). Reproducing reproduction: How to simulate mast seeding in forest models. *Ecological modelling* 376, 40-53.

Schermer E, Bel Venner MC, Fouchet D, Siberchicot A, Boulanger V, Caignard T, Thibaudon M, Oliver G, Nicolas M, Gaillard J-M, Delzon S, Venner S (2019). Pollen limitation as a main driver of fruiting dynamics in oak populations. *Ecology letters* 22, 98-107.

Caignard T, Delzon S, Bodénès C, Dencausse B, Kremer A (2019). Heritability and genetic architecture of reproduction-related traits in a temperate oak species. *Tree genetics & genomes* 15, 1.

Plateforme  
Génobois

# Thibaud Chauvin

## ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET POTENTIEL ÉVOLUTIF DU DOUGLAS (*PSEUDOTSUGA MENZIESII* FRANCO.): RÔLE DES TRAITS HYDRAULIQUES, MICRODENSITOMÉTRIQUES ET ANATOMIQUES DU XYLÈME

*Adaptation to climate change and evolutionary potential of Douglas-fir (Pseudotsuga menziesii Franco.): role of hydraulic, microdensitometric and anatomical features of xylem.*

Thèse de doctorat en Sciences de l'environnement sous la direction de Philippe Rozenberg et Hervé Cochard (Laboratoire d'accueil : UMR BIOFORA, INRA-ONF).

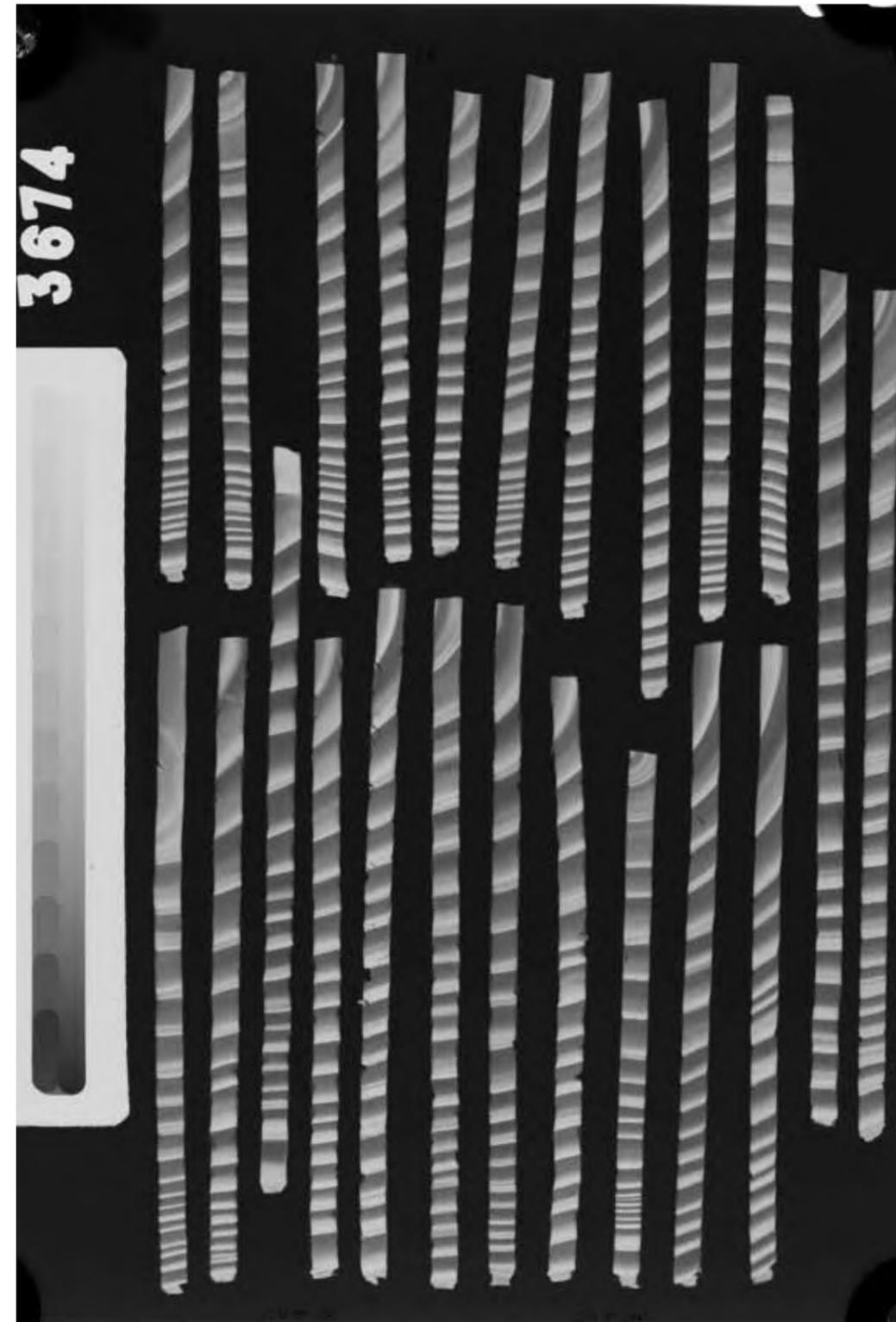
Soutenue le 24-01-2019 à l'Université de Paris.

### Résumé

Alors que la variation inter spécifique de la résistance à la sécheresse a été largement étudiée chez les arbres forestiers, beaucoup moins d'informations sont disponibles sur sa variation intra spécifique et son déterminisme génétique. Chez le douglas, des résultats obtenus dans le cadre de deux thèses achevées (Martinez-Meier 2009, Dalla-Salda 2014) et d'une thèse en cours (M. Ruiz-Diaz) montrent que le bois est impliqué dans la résistance à la sécheresse. Des liens mis en évidence entre résistance à la sécheresse, densité du bois et résistance à la cavitation ont permis de montrer l'existence d'un potentiel d'adaptation à la sécheresse chez le douglas. Le principal objectif de cette thèse est de profiter des progrès méthodologiques récents des mesures de résistance à la cavitation pour explorer à grande échelle ce potentiel d'adaptation dans des tests de comparaison de provenances européens.

### Abstract

While inter specific variation of resistance to drought has been widely studied in forest trees, much less information is available concerning its intra specific variation and its genetic determinism. In Douglas-fir, results obtained in the frame of two completed PhD thesis (Martinez-Meier 2009, Dalla-Salda 2014) and of an ongoing one (M. Ruiz-Diaz) show that wood is involved in resistance to drought. Relationships found between resistance to drought, wood density and vulnerability to cavitation demonstrate that there is a potential for adaptation to drought in Douglas-fir. The main objective of the thesis is to take advantage of the recent methodological progresses in collecting data of resistance to cavitation to explore this adaptation potential on a large scale relying on European provenance trials.



### Prix

Lauréat du prix de la recherche forestière 2016 à ForestInnov.

### Publication

Chauvin T, Cochard H, Segura V, Rozenberg P (2019). Native-source climate determines the Douglas-fir potential of adaptation to drought. *Forest Ecology and Management* 444, 9-20.

Plateforme  
Génobois

# Tristan Cordier

## STRUCTURE DES ASSEMBLAGES FONGIQUES DE LA PHYLLOSPHÈRE DES ARBRES FORESTIERS ET EFFET POTENTIEL DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

*Structure of fungi communities in the phyllosphere of forest trees and potential effect of climate change*

Thèse de doctorat en Ecologie évolutive, fonctionnelle et des communautés sous la direction de Marie-Laure Desprez-Loustau, de Cécile Robin et de Corinne Vacher (Laboratoire d'accueil : UMR Biogeco, INRA et Université de Bordeaux).

Soutenue le 06-04-2012 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

La phyllosphère est l'habitat fourni par la partie foliaire des plantes. De nombreuses espèces microbiennes - pathogènes, saprophytes ou mutualistes des plantes - peuplent cet environnement. Ce compartiment microbien influence donc la dynamique et la structure des communautés végétales. L'objectif principal de cette thèse était d'étudier les effets potentiels du changement climatique sur la structure des assemblages fongiques de la phyllosphère des arbres forestiers, et sur la niche écologique des espèces fongiques pathogènes des arbres forestiers. Nous avons pour cela utilisé deux approches, i) l'étude de gradients altitudinaux et ii) la construction de modèles de niche bioclimatique. Les assemblages fongiques de la phyllosphère des arbres forestiers étant encore peu connus, nous avons dans un premier temps décrit leur diversité et quantifié leur variabilité spatiale à l'échelle d'une parcelle forestière. Nos résultats montrent que la phyllosphère d'un arbre forestier abrite quelques centaines d'espèces fongiques, avec quelques espèces dominantes et beaucoup d'espèces rares. Les facteurs structurant ces assemblages incluent à la fois des facteurs abiotiques et biotiques : la température apparaît comme la variable climatique la plus explicative le long d'un gradient altitudinal; à l'échelle d'une parcelle, la proximité génétique entre arbres est plus déterminante que leur distance géographique. L'analyse des modèles de niche des champignons pathogènes forestiers à

### Abstract

Phyllosphere is the habitat provided by the leaves of living plants. Many microbial species - pathogens, saprophytes or mutualists of plants - inhabit this environment. These microbes therefore influence the dynamics and structure of plant communities. The main objective was to study the potential effects of climate change on the structure of phyllosphere fungal assemblages, and on the ecological niche of pathogenic fungal species of forest trees. We used two approaches, i) the study of altitudinal gradients and ii) the construction of bioclimatic niche models. Since phyllosphere fungal assemblages of forest trees are still poorly known, we first described their diversity and quantified their spatial variability at the scale of a forest stand. Our results show that the phyllosphere of a forest tree houses hundreds of fungal species, with few dominant species and many rare species. Factors structuring these assemblages include both abiotic and biotic factors: the temperature appears as the most explanatory variable along an elevation gradient. At the scale of a forest stand, the genetic proximity between trees is more important than the geographic distance. Analysis of the bioclimatic niche models of pathogenic fungi forest at the French scale highlights some climatic limitations, and the summer rainfall is an important explanatory variable. However, many introduced species already occupy the distribution of their host, without apparent climatic limitation. The effects of climate change on most

l'échelle de la France met en évidence des limitations climatiques, les pluies estivales étant une variable explicative importante. Toutefois, plusieurs espèces introduites occupent déjà la plus grande part de la distribution de leur hôte, sans limitation apparente par le climat. Les effets du changement climatique sur la plupart des pathogènes s'exerceront d'abord indirectement par des effets dépressifs très importants sur l'abondance de leurs arbres-hôtes. Seuls les pathogènes adaptés au biotope méditerranéen verraient leur impact s'accroître.

*pathogens will be exercised indirectly by very important depressive effects on the abundance of their host trees. Only pathogens adapted to the Mediterranean biotope would increase their impact.*



### Publications

Coince A, Cordier T, Lengellé J, Defossez E, Vacher C, Robin C, Buée M, Marçais B (2014). Leaf and root-associated fungal assemblages do not follow similar elevational diversity patterns. *PLOS ONE* 9, e100668.

Cordier T, Robin C, Capdevielle X, Desprez-Loustau M-L, Vacher C (2012). Spatial variability of phyllosphere fungal assemblages: genetic distance predominates over geographic distance in a European beech stand (*Fagus sylvatica*). *Fungal Ecology* 5, 509–520.

Cordier T, Robin C, Capdevielle X, Fabreguettes O, Desprez-Loustau M-L, Vacher C (2012). The composition of phyllosphere fungal assemblages of

European beech (*Fagus sylvatica*) varies significantly along an elevation gradient. *New Phytologist* 196, 510–519

Vacher C, Cordier T, Vallance J (2016). Phyllosphere fungal communities differentiate more thoroughly than bacterial communities along an elevation gradient. *Microbial Ecology* 72: 1.

Plateforme  
PGTB

## Danielle Creek

### COMPRENDRE LES RELATIONS ENTRE STRATÉGIES HYDRAULIQUES ET LES AUTRES TRAITS DE VIE AFIN DE DÉTERMINER LA SURVIE DES PLANTES EN CONDITIONS DE SÉCHERESSE

*Understanding the coordination of hydraulic strategies with other traits in determining plant survival under drought*

Thèse de doctorat sous la direction de David Tissue, Brendan Choat et Paul Rymer (Laboratoire d'accueil : Hawkesbury Institute for the Environment, Western Sydney University).

Soutenue en septembre 2018 à l'Université de Richmond (Australie).

#### Abstract

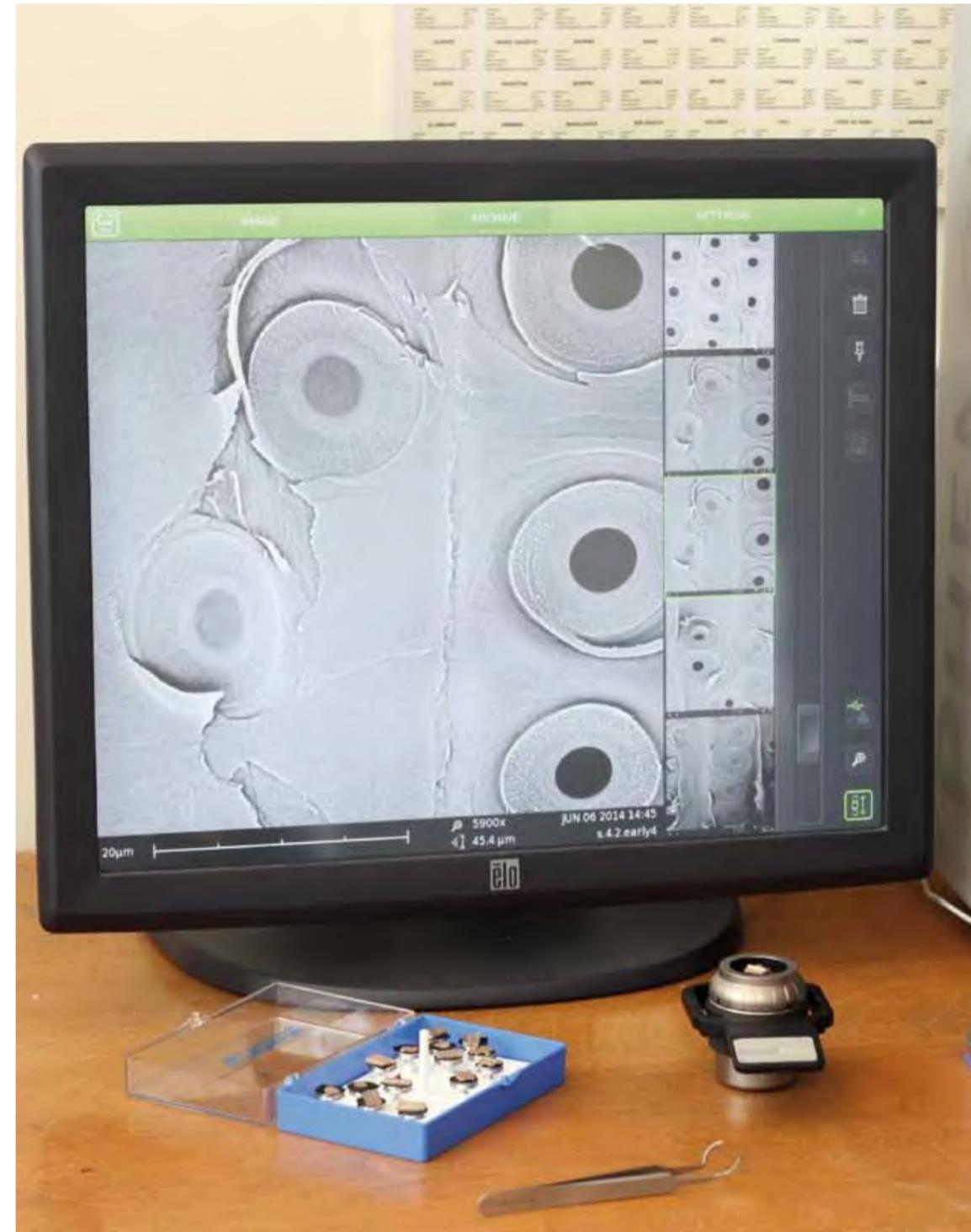
Drought negatively impacts plant growth and survival. The ability to maintain hydraulic functionality during water stress strongly influences whether plants will survive and recover from drought. Although our understanding of the mechanisms underlying drought-induced mortality have improved in recent decades, our understanding of the coordination between stomatal and hydraulic traits and their role in shaping drought resistance and enabling recovery remains poorly understood. In this thesis, I examined plant hydraulic traits across a range of contrasting species in order to better understand how hydraulics determines plant function under drought, governs gas exchange, and drives differences in drought resistance. By subjecting three contrasting Australian tree species to water limitation, we were able to determine the hydraulic vulnerability to embolism of leaves, stems and roots as well as the relationship between stomatal conductance and photosynthesis with decreasing water potential. We found that leaves and/or roots were more vulnerable than stems in *Eucalyptus coolabah* and *Acacia aneura*, however *E. populnea* did not show vulnerability segmentation. Additionally, in these species stomatal closure always occurred prior to significant hydraulic dysfunction. We confirmed this finding in three additional tree species, *Arbutus unedo*, *Ligustrum japonicum* and *Prunus persica* via direct imaging of leaf embolism formation by the Optical Visualisation (OV) method with simultaneous measurements of stomatal conduc-

tance on intact plants. Prior drought exposure resulted in higher rates of photosynthesis in *E. coolabah* and *E. melliodora* under subsequent water stress in comparison with plants that had not previously experienced drought, due to differences in stomatal regulation that enabled stomata to remain open for longer at lower potentials. Plants that had previously experienced drought also reduced leaf size and had lower overall biomass indicating that these species can acclimate to recurrent drought. In combination, our results strongly suggest that the ability to resist hydraulic dysfunction, rather than recover from xylem embolism underpins plant resilience to drought, with early stomatal regulation to prevent water loss and delay catastrophic xylem dysfunction crucial to plant survival and recovery.

#### Publication

Creek D, Lamarque L, Ruiz JT, Parise C, Burrett R, Tissue DT, Delzon S (2019). Xylem embolism in leaves does not occur with open stomata: evidence from direct observations using the optical visualisation technique. *Journal of Experimental Botany*

#### Plateforme Génobois



# Guillaume David

## ÉTUDE DES CAPACITÉS DE DISPERSION DE *MONOCHAMUS GALLOPROVINCIALIS* VECTEUR DU NÉMATODE DU PIN *BURSAPHELENCHUS XYLOPHILUS*

*Dispersal capacities of Monochamus galloprovincialis vector of the pinewood nematode Bursaphelenchus xylophilus*

Thèse de doctorat en Écologie évolutive, fonctionnelle et des communautés sous la direction de Hervé Jactel et de Alain Roques (Laboratoire d'accueil : UMR Biogeco, INRA et Université de Bordeaux).

Soutenue le 27-10-2014 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

Le nématode du pin *Bursaphelenchus xylophilus*, originaire des Etats-Unis, est responsable de dépérissements massifs dans les forêts de pin des pays où il a été introduit. Il utilise comme vecteur un insecte du genre *Monochamus*, notamment *M. galloprovincialis* en Europe. L'objectif de cette thèse est de fournir des informations concernant les capacités de dispersion de ce coléoptère afin de mieux prédire le risque d'invasion. À l'aide d'expériences en manège de vol, nous avons montré que les adultes émergents, encore immatures, sont déjà en mesure de maintenir des vols soutenus. Ils peuvent parcourir une distance d'environ 500m par jour et les capacités de vol augmentent avec la prise de poids pendant la phase de maturation sexuelle. Il n'existe pas de compromis d'allocation de l'énergie entre fonctions de dispersion et de reproduction pendant cette période et nous proposons de qualifier ces insectes de «income breeder» et «capital disperser». À l'état mature *M. galloprovincialis* est capable de voler un total de 16 km, avec des vols individuels d'environ 1 km; ces performances augmentent avec l'âge et le poids des insectes. Le maintien des capacités de vol tout au long de la vie adulte de *M. galloprovincialis* conduit à proposer que les distances potentiellement parcourues dépendent surtout de la longévité de l'insecte. Dans une expérience d'élevage en conditions contrôlées nous avons montré que la vie adulte dure au moins 4 mois, augmentant quand les fluctuations thermiques sont atténuées. Ces résultats

### Abstract

*The pinewood nematode (PWN) Bursaphelenchus xylophilus, native to the USA, is responsible of the pine wilt disease, causing large economic losses in the pine forests of all countries where it has been introduced. It uses as vector an insect of the genus Monochamus, e.g. M. galloprovincialis in Europe. The objective of this thesis is to provide information about the dispersal abilities of this beetle in order to better predict the spread rate of the PWN. Using flight mill experiments, we showed that immature adult beetles were able to fly since their emergence. The mean flight performance was ca. 500m per day, increasing with weight gain during the maturation period. There was no trade-offs in energy allocation between reproduction and dispersion. We therefore suggest that M. galloprovincialis is both «income breeder» and «capital disperser». Mature beetles were able to fly a total of 16km on average during their lifetime, with individual flights of ca. 1km. Flight performances increased with age and body weight, being equal for males and females. Because flight capacity remained constant across time, we suggested that the total distance potentially covered by beetles was mainly driven by their longevity. In a rearing experiment under controlled conditions we estimated the adult lifespan at 4 months. It was reduced under temperature regime with higher yearly thermal fluctuations. These results have important implications for the management of the PWN since they demonstrate that precautionary clear-cuts of 500m radius are likely to be ineffective in eradicating the disease.*



ont des implications pour la gestion de *B. xylophilus* en Europe puisqu'ils démontrent que la méthode d'éradication par coupe rase sur un rayon de 500m est probablement inopérante.

### Publications

Álvarez G, Etxebeste I, Gallego D, David G., Bonifacio L, Jactel H, Sousa E, Pajares J (2015). Optimization of traps for live trapping of Pine Wood Nematode vector *Monochamus galloprovincialis*. *Journal of Applied Entomology* 139, 618-626.

David G., Giffard B, Piou D, Jactel H. (2014). Dispersal capacity of *Monochamus galloprovincialis*, the European vector of the pine wood nematode, on flight mills. *Journal of Applied Entomology* 138, 566-576.

David G., Giffard B, van Halder I, Piou D, Jactel H (2015). Energy allocation during the maturation of adults in a long-lived insect: implications for dispersal and reproduction. *Bulletin of entomological research* 105, 629-636.

David G., Giffard B, Piou D, Roques A, Jactel H (2017). Potential effects of climate warming on the survivorship of adult *Monochamus galloprovincialis*. *Agricultural and Forest Entomology* 19, 192-199.

Giffard B, David G., Joubard B, Piou D, Jactel H (2017). How do sex and sexual maturation influence the response of *Monochamus galloprovincialis* to host odours? *Journal of Applied Entomology* 141, 551-560.

Plateforme  
Enceintes climatiques

# Thomas Fort

## EFFET DU PAYSAGE SUR LA STRUCTURE DES COMMUNAUTÉS FONGIQUES FOLIAIRES

### *Effect of the landscape on foliar fungal community structure*

**Thèse de doctorat en Ecologie évolutive, fonctionnelle et des communautés sous la direction de Cécile Robin et de Corinne Vacher (Laboratoire d'accueil : UMR Biogeco, INRA et Université de Bordeaux).**

Soutenue le 22-11-2016 à l'Université de Bordeaux.

#### Résumé

Les feuilles hébergent une grande diversité de micro-organismes. Parmi les facteurs responsables de la structuration des communautés microbiennes foliaires, l'effet du processus de dispersion reste peu étudié. Les structures paysagères telles que les lisières ou l'hétérogénéité du paysage influencent la migration et la dispersion de nombreuses espèces de macro-organismes, mais l'effet de tels facteurs sur la composition des communautés microbiennes foliaires n'a jamais été testé. Nous faisons l'hypothèse que les parcelles forestières sont une source de champignons foliaires pour les vignes adjacentes. Nous avons comparé les communautés fongiques foliaires et aériennes de la vigne et des forêts adjacentes au cours d'une saison de végétation, testé l'effet d'une lisière forestière sur ces communautés et évalué l'effet de la composition du paysage sur ces communautés. Les communautés fongiques ont été caractérisées par métabarcoding. Les communautés fongiques foliaires viticoles et forestières divergent au cours de la saison. Ni la distance à la lisière, ni la proportion de forêt dans le paysage n'affectent les communautés foliaires de la vigne, mais les communautés aériennes diffèrent en fonction de la distance à la lisière forestière. Ces résultats suggèrent que la dispersion ne joue qu'un rôle mineur dans la structure des communautés fongiques foliaires. De nombreuses pressions de sélection telles que les pratiques agricoles semblent en revanche avoir un effet fort sur ces communautés. Des études supplémentaires sont nécessaires pour vérifier la contribution relative de ces pressions de sélection, ainsi que le potentiel service de régulation fourni aux cultures par la forêt.

#### Abstract

*Plant leaves host a large diversity of microorganisms. Among the factors shaping foliar microbial community structure, the effect of the dispersal process remain understudied. Landscape elements, such as edges or landscape heterogeneity, influence migration and dispersal of many macro-organism species. However, the effect of such factors on foliar microbial communities has never been studied. We hypothesized that forests are a source of foliar fungi for adjacent vineyards. We compared foliar and airborne fungal communities in vineyard and adjacent forests along a vegetative season, we examined the effect of a forest edge on these communities in a vineyard, and we assessed the effect of landscape composition on these communities. Fungal communities were characterized with a metabarcoding method. Foliar fungal communities in vineyards and forests diverge over the course of the vegetative season. Neither the distance to the edge nor the proportion of forest in the landscape affect foliar fungal communities in vineyards, while airborne communities change with the distance to the forest edge. These results suggest that dispersal is not dominant in shaping foliar fungal communities. Instead, many selective pressures such as agricultural practices seem to shape strongly these communities. Further investigations are required in order to estimate the relative contribution of those processes, and the potential ecosystem service provided by the forest to crops.*



#### Publications

Desprez-Loustau M-I, Massot M, Feau N, Fort T., de Vicente A, Tores JA, Fernandez-Ortuno D (2017). Further support of conspecificity of oak and mango powdery mildews and first report of *Erysiphe quercicola* and *Erysiphe alphitoides* on mango in Mainland Europe. *Plant Disease* 101, 1086-109.

Fort T., Robin C, Capdevielle X, Delière L, Vacher C. (2016). Foliar fungal communities strongly differ between habitat patches in a landscape mosaic. *PeerJ* 4:e2656

Jakuschkin B, Fievet V, Schwaller L, Fort T., Robin C, Vacher C (2016). Deciphering the pathobiome: Intra- and interkingdom interactions involving the pathogen *Erysiphe alphitoides*. *Microbial Ecology* 72, 870-880.

Lemanceau P, Barret M, Mazurier S, Mondy S, Pivato B, Fort T., Vacher C (2016). Plant communication with associated microbiota in the spermosphere, rhizosphere and phyllosphere. *Advances in Botanical Research* 82, 101-133.

**Plateforme  
PGTB**

## Florian Gautier

### APTITUDE DU DOUGLAS (*PSEUDOTSUGA MENZIESII*) À L'EMBRYOGENÈSE SOMATIQUE : APPROCHES DE PHYSIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE VIA L'ANALYSE DU PROTÉOME ET DU TRANSCRIPTOME

*Douglas-fir (Pseudotsuga menziesii) ability to somatic embryogenesis: cellular and molecular physiology approaches via proteome and transcriptome analysis*

Thèse de doctorat en Biosciences de l'environnement et de la santé sous la direction de Guy Costa et de Marie-Anne Lelu (Laboratoire d'accueil : Unité AGPF, INRA).

Soutenue le 20-12-2017 à l'Université de Limoges.

#### Résumé

Au cours des prochaines décennies, les besoins en bois vont entraîner une pression considérable sur la production forestière. Pour le Douglas (*Pseudotsuga menziesii*), deuxième essence utilisée pour le reboisement des forêts françaises, le développement et la diffusion de variétés améliorées par sélection classique est lente. Chez les conifères l'embryogenèse somatique, méthode de multiplication végétative la plus performante, a été développée avec succès. Cependant elle n'est obtenue à ce jour qu'à partir de matériel juvénile (graines) malgré les nombreux travaux engagés. Les objectifs de ce travail de thèse ont été de 1) caractériser à différentes échelles l'aptitude à l'embryogenèse somatique en comparant des masses embryogènes (ME) et des cals non-embryogènes (NE) isogéniques, 2) caractériser les marqueurs responsables de la variation du potentiel embryogène en comparant aux niveaux cellulaire et moléculaire, les ME primaires à des ME secondaires et tertiaires obtenues lors de la ré initiation de l'embryogenèse somatique à partir d'ES cotylédonaire. 1) Pour le premier objectif, nous avons rapproché des données de protéomique et de transcriptomique, que nous avons complétées par des observations biologiques (potentiel embryogène), histologiques, et biochimiques (teneur en eau, glucides, régulateurs de croissance). Nous avons observé chez les ME une surexpression des marqueurs impliqués dans la différenciation (hormones, facteurs de transcription) et la division cellulaire (événements de mitose, teneur en

glucides, information génétique). Nous avons retrouvé certains facteurs de transcription marqueurs de l'embryogenèse somatique : WOX, LEC1, SERK1, BBM. En comparaison, les NE sont caractérisés par la réponse aux stimuli (ABA, phénols, protection contre les ROS), mais aussi par le stockage de réserves carbonées (amidon). 2) Le potentiel embryogène des ME secondaires et tertiaires augmente significativement. Au niveau cellulaire, cela se traduit par une amélioration de la structuration des ES (diminution de centres polyembryogènes au profit d'ES isolés). Le rapprochement des données de protéomique et de transcriptomique ont mis en évidence que lors de cette reprogrammation cellulaire il y a surexpression du métabolisme des protéines, oxydatif, et hormonal. La présence de facteurs de transcription associés à la maturation de l'ES (WRKY, NAC, ARF, ERF et MYB) surexprimés précocement pourrait aussi être une caractéristique ciblant un plus fort potentiel embryogène chez le Douglas. Nos résultats contribuent à une meilleure compréhension de l'aptitude à l'embryogenèse somatique du Douglas. Ils pourraient permettre *in fine* d'initier l'embryogenèse somatique à partir de matériel âgé.



#### Prix

Lauréat du prix de la recherche forestière 2016 à ForestInnov.

#### Publications

Gautier F, Eliášová K, Leplé J-C, Vondráková Z, Lomenech A-M, Le Metté C, Label P, Costa G, Trontin J-F, Teyssier C, Lelu-Walter M-A (2018). Repetitive somatic embryogenesis induced cytological and proteomic changes in embryogenic lines of *Pseudotsuga menziesii* [Mirb.]. *BMC Plant Biology* 18, 164.

Gautier F, Label P, Eliášová K, Leplé J-C, Motyka V, Boizot N, Vondráková Z, Malbeck J, Trávníčková A, Le Metté C, Lesage-Descauses M-C, Lomenech A-M, Trontin J-F, Costa G, Lelu-Walter M-A, Teyssier C (2019). Cytological, biochemical and molecular events of the embryogenic state in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.]). *Frontiers in Plant Science* 10.

Plateforme  
Génobois

# Gabriel Gerzabek

## LA DISPERSION DES GLANDS ET SES CONSÉQUENCES POUR LA RÉGÉNÉRATION ET L'EXPANSION D'UN PEUPEMENT DE CHÊNE

*Acorn dispersal and its consequences for regeneration in an expanding oak forest stand*

Thèse de doctorat en Ecologie évolutive, fonctionnelle et des communautés sous la direction de Arndt Hampe (laboratoire d'accueil : UMR Biogeco, INRA et Université de Bordeaux).

Soutenue le 15-12-2016 à l'Université de Bordeaux.

### Abstract

Seed dispersal generates the initial template of plant regeneration and has cascading effects on all subsequent plant demographic processes. In animal-dispersed plants, the behaviour of the dispersal agents can profoundly impact plant reproductive success and the resulting spatial and genetic structure of populations. Several decades of ecological research on seed dispersal have unravelled the great complexity of plant-disperser interactions. However, further progress towards a better understanding of the specific role of seed dispersers for plant regeneration is hampered by the difficulties involved in unequivocally linking the post-dispersal fate of seeds with their origin. The overall goal of this doctoral thesis is to investigate drivers of oak acorn dispersal by scatter-hoarding animals and its implications for early oak regeneration and the resulting reproductive success of individual trees. The study was carried out in a small, naturally regenerating and actively expanding mixed Pedunculate oak-Pyrenean oak (*Quercus robur* and *Q. pyrenaica*) forest stand, representative of a scattered but widespread vegetation type in the Landes de Gascogne region (SW France). A recently germinated seedling cohort was extensively sampled and genotyped using microsatellite (SSR) and single nucleotide polymorphism (SNP) markers. All individuals were mapped and tagged and their performance was assessed until an age of 3 years. The mother trees of the monitored seedlings were identified by means of Bayesian parentage analyses and their phenotype was assessed by field and laboratory measures. The thesis document is divided in three main chapters, each corresponding to an independent study. The first

chapter explore which characteristics of fruiting oak trees influence their attractiveness towards acorn-harvesting animals. The analysis showed that acorn dispersers selected individual trees was guided by local acorn abundance, whereas traits such as the oak species, acorn size or form played a negligible role. The second chapter address oak maternal reproductive success, its determinants and evolution through the early recruitment process. The study reveals that a few highly fertile trees dominated the reproduction in the stand. However, differential recruitment success tended to reduce their initial advantage, they suffered disproportionately from the satiation of their dispersers, resulting in higher acorn dispersal failure and seedling mortality. Their reproductive dominance hence should rapidly decline as more trees start to reproduce along the expansion process of the forest stand. The third chapter investigates consequences of the dispersal process on seedling performance, complementing the previous chapters by a whole-cohort perspective on recruitment patterns. The study indicates that seedling fates depended basically on the environment at their establishment sites. Among-habitat differences in recruit arrival and performance provide interesting insights into the putative effectiveness of the two major types of acorn dispersers, jays and rodents. Strikingly, seedling genetic diversity varied neither across different subcohorts (e.g. local vs immigrant origin, dispersal to different habitats) nor through the three-year monitoring period in spite of an extensive mortality (ca. 70%). Overall, this thesis helps elucidate precise ecological processes that act during a very short stage of the oak life



cycle: seed dispersal and early recruitment. It provides an unprecedented perspective upon the interaction between fruiting oaks and their scatter-hoarding dispersers and upon its implications for spatial and genetic patterns of oak regeneration. Its one-cohort snapshot character implies that the reported results must be interpreted with caution, yet different lines of evidence suggest that they might indeed be representative and relevant for the dynamics of oak regeneration in the region of this study. If this were true then we must conclude that the foraging behaviour of acorn-hoarding animals can indeed have a measurable long-term impact on the population structures of naturally regenerating oak forests.

### Publications

Gerzabek G, Oddou-Muratorio S, Hampe A (2017). Temporal change and determinants of maternal reproductive success in an expanding oak forest stand. *Journal of Ecology* 105, 39-48.

Gerzabek G, Klein EK, Hampe A (2019). Drivers of individual oak tree selection by acorn dispersing animals inferred from a genotyped seedling cohort. *bioRxiv* 559179

Plateforme  
PGTB

# Justine Guet

## EXPRESSION D'UNE VARIABILITÉ GÉNÉTIQUE POUR LA PHÉNOLOGIE DE CROISSANCE, L'EFFICIENCE D'UTILISATION DE L'EAU ET LA RÉSISTANCE À LA CAVITATION AU SEIN DE POPULATIONS NATURELLES DE PEUPLIER NOIR (*POPULUS NIGRA* L.)

*Expression of genetic variation for bud phenology, water-use efficiency and xylem resistance to drought-induced cavitation in natural populations of black poplar (*Populus nigra* L.)*

Thèse de doctorat en Biologie forestière sous la direction de Franck Brignolas et de Catherine Bastien (Laboratoire d'accueil : Unité AGPF, INRA).  
Soutenue le 01-04-2015 à l'Université d'Orléans.

### Résumé

La variabilité phénotypique exprimée pour la phénologie de croissance et la WUE a été évaluée au sein d'une collection européenne de peuplier noir regroupant 1085 génotypes échantillonnés dans 13 métapopulations et installés en test clonal en pépinière dans deux sites expérimentaux. Nos résultats ont révélé une importante variabilité génétique ainsi qu'une importante plasticité phénotypique des caractères phénologiques et de WUE au sein des métapopulations. Une différenciation génétique modérée à forte des métapopulations a été observée pour la phénologie de croissance et WUE. Les différences entre métapopulations se structuraient selon des patrons plus ou moins complexes, qui semblaient refléter, pour la phénologie de croissance, une adaptation locale des métapopulations aux conditions de photopériode et de température. Tenant compte des capacités de phénotypage limitées pour la résistance à la cavitation, la variabilité génétique exprimée pour ce caractère a été évaluée au sein d'une population naturelle de peuplier noir regroupant 33 génotypes et installée en test clonal en pépinière dans un site expérimental. Nous avons détecté une variation significative du niveau de résistance à la cavitation entre génotypes. De manière générale, aucune relation phénotypique significative n'a été détectée entre la phénologie de croissance, WUE et

### Abstract

*This work aimed at improving our understanding of the genetic and environmental control as well as the geographic structure of phenotypic variation for functional traits in black poplar (*Populus nigra* L.). Three functional traits were studied: bud phenology, water-use efficiency (WUE) and xylem resistance to drought-induced cavitation. The phenotypic variation expressed for bud phenology and WUE was evaluated in a European *P. nigra* collection composed of 1085 cloned individuals sampled in 13 natural metapopulations and established in clonal test in nursery at two experimental sites. Substantial genetic variation and substantial phenotypic plasticity for bud phenology and WUE were observed within all metapopulations. Moderate to strong genetic differentiation of metapopulations was evidenced for phenological traits and WUE. Patterns of genetic differentiation were more or less complex depending on traits and seemed to reflect, for phenological traits, local adaptation of metapopulations to photoperiod and temperature. Taking into account the limited phenotyping capacity for xylem resistance to cavitation, genetic variation expressed for this trait was evaluated within one single natural population of black poplar composed of 33 genotypes which were established in clonal test in nursery at one experimental site. Significant variations*

la résistance à la cavitation au niveau intra-population, suggérant le maintien d'une diversité de combinaisons fonctionnelles. Le développement d'une puce à 10 331 marqueurs SNPs distribués à l'échelle du génome de *P. nigra*, notamment dans des régions candidates pour la phénologie de croissance, devrait permettre, à court terme, de confirmer l'adaptation locale des populations de peuplier noir et d'explorer ses bases génétiques.

*were observed between genotypes for the degree of cavitation resistance. Overall, no significant relationship was detected between bud phenology, WUE and cavitation resistance at the within-population level, indicating the maintenance of a diversity of functional combinations. The development of an array covering 10 331 SNPs distributed across the *P. nigra* genome, notably in candidate regions for bud phenology, will enable in the short-term to confirm local adaptation of *P. nigra* populations and to identify its genetic basis.*



### Publications

Guet J, Fichot R, Lédée C, Laurans F, Cochard H, Delzon S, Bastien C, Brignolas F (2015). Stem xylem resistance to cavitation is related to xylem structure but not to growth and water-use efficiency at the within-population level in *Populus nigra* L. *Journal of Experimental Botany* 66, 4643-4652.

Guet J, Fabbrini F, Fichot R, Sabatti M, Bastien C, Brignolas F (2015). Genetic variation for leaf morphology, leaf structure and leaf carbon isotope discrimination in European populations of black poplar (*Populus nigra* L.). *Tree Physiology* 35, 850-863.

Plateforme  
Génobois

# François Hubert

## RECONSTRUCTIONS PHYLOGÉNÉTIQUES DU GENRE *QUERCUS* À PARTIR DE SÉQUENCES DU GÉNOME NUCLÉAIRE ET CHLOROPLASTIQUE

*Phylogeographic reconstructions  
of the genus Quercus based on nuclear  
and chloroplastic DNA sequences*

**Thèse de doctorat en Écologie évolutive,  
fonctionnelle et des communautés sous  
la direction de Antoine Kremer (Laboratoire  
d'accueil : UMR Biogeco, INRA et Université de  
Bordeaux).**

Soutenue le 21-06-2013 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

Le genre *Quercus* comprend plus de 500 espèces et est réparti sur l'ensemble de l'hémisphère nord. La phylogénie du genre, faite à ce jour à partir d'un nombre très limité de marqueurs nucléaires, n'était pas résolue. Des incertitudes demeuraient au niveau des nœuds profonds où ont divergé les principaux groupes taxonomiques aujourd'hui reconnus. L'objectif de cette thèse était d'explorer de manière plus exhaustive les ressources génomiques nucléaires et chloroplastiques pour affiner la phylogénie du genre. Les travaux sont basés sur les séquences de six gènes nucléaires et de l'ensemble du génome chloroplastique. Ces travaux confirment le caractère diffus du signal phylogénétique et le gain de résolution obtenu par l'adjonction de séquences nouvelles. Ils confirment également la subdivision du genre en six groupes infragénériques (*Cyclobalanopsis*, *Ilex*, *Cerris*, *Lobatae*, *Quercus s.s.* et *Protobalanus*), dont les relations phylogénétiques ont été précisées, même si certaines irrésolutions persistent. La thèse met très clairement en évidence l'empreinte phylogéographique dans le génome chloroplastique au niveau du genre et de sa distribution mondiale. Le signal phylogéographique chloroplastique ajouté à la phylogénie nucléaire permet déchauffer un scénario biogéographique de diversification du genre. Ce scénario devra être corroboré par des apports d'autres disciplines (paléontologie et géologie historique).

**Plateforme**  
PGTB

### Abstract

*The genus Quercus comprises more than 500 species, and is widely distributed across the Northern hemisphere. Phylogenetic reconstructions based on traditional molecular sequences were so far irresolvable at the deeper nodes where the major extant taxonomic groups have diverged. This thesis aims at improving the phylogeny of the genus by exploring the current nuclear and chloroplastic genomic resources. The phylogenetic investigations are based on sequences of six nuclear genes and the entire chloroplastic genome. The results confirm that the phylogenetic signal is rather diluted and that substantial improvements can be obtained by adding sequences from additional genes. They also confirm that the genus can be subdivided in six infrageneric groups (*Cyclobalanopsis*, *Ilex*, *cerris*, *Lobatae*, *Quercus s.s.* et *Protobalanus*). Phylogenetic relationships among these groups are refined, although not fully clarified. There is a very clear phylogeographic imprint in the chloroplast genome that extends at the macroevolutionary level at the whole genus across its entire distribution. The phylogeographic structure together with the phylogeny at the nuclear level allows to elaborate an historical scenario of the radiation of the genus. Additional elements coming from other disciplines (paleontology, historical geology) are however necessary to confirm this scenario.*

### Publications

Hubert F., Grimm GW, Jousset E., Berry V., Franc A., Kremer A (2014). Multiple nuclear genes stabilize the phylogenetic backbone of the genus *Quercus*. *Systematics and Biodiversity* 12, 405-423.



# Boris Jakuschkin

## ARCHITECTURE GÉNÉTIQUE DES INTERACTIONS ENTRE LE CHÊNE PÉDONCULÉ (*QUERCUS ROBUR* L.) ET LES COMMUNAUTÉS MICROBIENNES DE SA PHYLLOSPHÈRE

*Genetic architecture of the interactions between English oak (*Quercus robur* L.) and the microbial community of its phyllosphere*

Thèse de doctorat en Ecologie évolutive, fonctionnelle et des communautés sous la direction de Virgil Fiévet, Corinne Vacher et Cécile Robin (Laboratoire d'accueil : UMR Biogeco, INRA et Université de Bordeaux).

Soutenue le 15-12-2015 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

De nombreux et divers micro-organismes vivent dans les tissus interne et externe des feuilles des plantes, la phyllosphère. Ils influencent de nombreux traits, les interactions biotiques, le flux d'énergie, la tolérance au stress de leur hôte et en fin de compte la valeur sélective de leurs hôtes. Il a été montré que plusieurs traits quantitatifs de plantes structurent la communauté microbienne de la phyllosphère. Ainsi des loci de ces traits quantitatifs (Quantitative Trait Loci QTL) liés à la structure de cette communauté étaient attendus. L'objectif principal de ce travail était de rechercher des régions génomiques chez le chêne (*Quercus robur* L.), dont l'effet se prolonge jusqu'au niveau de la communauté, influençant ainsi le microbiote de la phyllosphère. Tout d'abord, nous avons étudié la composition et le réseau d'interactions du microbiote de la phyllosphère en portant un intérêt particulier à *Erysiphe alphitoides*, un agent pathogène majeur pour les chênes. Nous avons montré que l'infection par *E. alphitoides* est accompagnée par des changements dans la composition de la communauté fongique foliaire, mais pas dans la composition de la communauté bactérienne. Nous avons souligné certains partenaires d'interaction d'*E. alphitoides* et nous avons montré que le réseau d'interactions microbiennes, contrairement aux résultats précédents, était dominé par des interactions positives. Ensuite nous avons effectué une analyse QTL de descripteurs de la communauté microbienne dans une population de pleins frères. Nous avons trouvé 8 QTL correspondant à des traits de la communauté microbienne : composition fongique et bactérienne, diver-

### Abstract

Numerous and various microorganisms inhabit inner and outer tissues of plant leaves, the phyllosphere. They influence many plant traits, biotic interactions, energy flux, host stress tolerance and ultimately the fitness of their hosts. Many plant quantitative traits were shown to structure the phyllosphere microbial community. Hence quantitative trait loci (QTLs) linked to the structure of this community were expected. The main objective of this work was to search for genomic regions in oak (*Quercus robur* L.), whose effect extends to the community level, influencing the phyllosphere microbiota. First, we studied the composition and the interaction network of oak phyllosphere microbiota with specific focus on *Erysiphe alphitoides*, a major biotrophic pathogen of oak. We showed that infection by *E. alphitoides* is accompanied by changes in the foliar fungal community composition but not in the bacterial community composition. We highlighted likely interaction partners of *E. alphitoides* and we showed that the complex microbial interaction network, in contrast to previous findings, was dominated by positive interactions. Next we performed QTL analysis of microbial community descriptors in a full-sib mapping population of oak. We found 8 QTLs for microbial community traits: fungal and bacterial composition, fungal diversity, and percentage of *Erysiphe alphitoides* reads. Three of these QTLs co-localized with a QTL for powdery mildew sensibility, suggesting for strong genetic determinism of powdery mildew resistance in *Q. robur*. Finally we present preliminary results of a genetic association study and discuss our findings within an evolutionary perspective.



sité fongique, pourcentage de *Erysiphe alphitoides*. Trois d'entre eux sont colocalisés avec un QTL de sensibilité à *E. alphitoides*, suggérant un fort déterminisme génétique de la résistance à l'oïdium chez *Q. robur*. Enfin, nous présentons les résultats préliminaires d'une étude d'association génétique et discutons nos résultats avec une perspective évolutive.

### Publications

Desprez-Loustau M-L, Aguayo J, Dutech C, Hayden K, Husson C, Jakushkin B., Marçais B, Piou D, Robin C, Vacher C (2016). An evolutionary ecology perspective to address forest pathology challenges of today and tomorrow. *Annals of Forest Science* 73, 45–67.

Jakushkin B., Fievet V, Schwaller L, Fort T, Robin C, Vacher C (2016). Deciphering the pathobiome: Intra- and interkingdom interactions involving the pathogen *Erysiphe alphitoides*. *Microbial Ecology* 72, 870–880.

Vacher C, Tamaddon-Nezhad A, Kamenova S, Peyrard N, Moalic Y, Sabbadin R, Schwaller L, Chiquet J, Smith MA, Vallance J, Fievet V, Jakushkin B., Bohan DA (2016). Chapter One - Learning Ecological Networks from Next-Generation Sequencing Data, In: Guy Woodward and David A. Bohan, Editor(s), *Advances in Ecological Research* 54, 1–39.

### Plateforme PGTB

# Frédéric Labbé

## ÉTUDE DE L'ÉMERGENCE ET DE LA DYNAMIQUE ÉVOLUTIVE D'ARMILLARIA OSTOYAE, AGENT PATHOGÈNE DU PIN MARITIME

*Study of the emergence and evolutionary dynamics of Armillaria ostoyae, a pathogen of maritime pine*

Thèse de doctorat en Ecologie évolutive, fonctionnelle et des communautés sous la direction de Cécile Robin et de Christian Cyril Dutech (Laboratoire d'accueil : UMR Biogeco, INRA et Université de Bordeaux).

Soutenue le 11-12-2015 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

Dans la forêt de pin maritime (*Pinus pinaster*) des Landes de Gascogne (sud-ouest de France), la mortalité des pins causée par le champignon pourridié *Armillaria ostoyae* (Basidiomycète) a augmenté au cours des 30 dernières années. Les premiers cas de cette maladie ont été signalés quelques années après un changement majeur dans l'utilisation des terres, qui a eu lieu dans cette région suite au remplacement des landes et marais d'origine par une forêt plantée et gérée de façon intensive. Notre objectif était de comprendre les facteurs à l'origine de cette maladie émergente. Pour cela, nous avons étudié la distribution spatiale des dommages causés par le pathogène en relation avec des facteurs historiques, estimé la variabilité des traits fongiques liés au parasitisme et saprophytisme, et étudié l'histoire démographique d'*A. ostoyae*. La répartition actuelle de la mortalité induite par *A. ostoyae* est apparue dépendre de la présence des forêts préexistantes, ce qui suggère qu'*A. ostoyae* était fréquent dans ces zones forestières anciennes, qui ont agi comme un réservoir pour la colonisation des forêts plantées récentes. La production de rhizomorphes était significativement corrélée avec la virulence, suggérant que ce trait joue un rôle important dans le stade parasitaire d'*A. ostoyae*. Aucune relation significative entre le parasitisme et saprophytisme n'a été détectée, suggérant une absence de compromis évolutif entre ces traits. Enfin, le meilleur scénario démographique pour expliquer la structure de la population d'*A. ostoyae* dans la forêt des Landes est un scénario en deux étapes : il y aurait eu d'abord une diminution puis une expansion de la population fongique, qui semblait suivre la dynamique de la population d'hôtes. Le temps de génération d'*A. ostoyae* a été estimé entre 10 et 20 ans.

### Abstract

*In the maritime pine (Pinus pinaster) forest of the Landes de Gascogne (south-western France), pine mortality due to the root rot fungus Armillaria ostoyae (Basidiomycete) has been increasing over the last 30 years. The first cases of this disease were reported a few years after a major change in land use which occurred in this region following the replacement of original moors by an intensively managed planted forest. Our aim was to understand the factors driving this disease emergence. For this, we investigated the spatial distribution of pathogen damage related to historical factors, estimated the variation in fungal traits related to parasitism and saprophytism and investigated the demographic history of A. ostoyae. The current distribution of A. ostoyae mortality appeared depending on the pre-existing forests, suggesting that A. ostoyae was commonly distributed in pre-existing forest areas which acted as a reservoir for the colonization of recent planted forests. The rhizomorphs production was significantly correlated with virulence, suggesting that this trait plays an important role in the parasitic stage of A. ostoyae, but no significant relationship between parasitism and saprophytism components was detected, which may suggest that there is no trade-off between these traits. Finally, the best demographic scenario to explain A. ostoyae population structure in the Landes forest is a two-step scenario: there was first a decrease and then an expansion in the fungal population, which appeared to follow the dynamics of the host population. The generation time of A. ostoyae was estimated between 10 and 20 years.*



### Publications

Dutech C, Labbé F, Capdevielle X, Lung-Escarmant B (2017). Genetic analysis reveals efficient sexual spore dispersal at a fine spatial scale in *Armillaria ostoyae*, the causal agent of root-rot disease in conifers. *Fungal Biology* 121, 550-560.

Labbé F, Marçais B, Dupouey J-L, Bélouard T, Capdevielle X, Piou D, Robin C, Dutech C (2015). Pre-existing forests as sources of pathogens? The emergence of *Armillaria ostoyae* in a recently planted pine forest. *Forest Ecology and Management* 357, 248-258.

Labbé F, Lung-Escarmant B, Fievet V, Soularue J-P, Laurent C, Robin C, Dutech C (2017). Variation in traits associated with parasitism and saprotrophism in a fungal root-rot pathogen invading intensive pine plantations. *Fungal Ecology* 26, 99-108.

Plateforme  
PGTB

# Lélia Lagache

## HYBRIDATION ET DYNAMIQUE DE LA SPÉCIATION CHEZ LES CHÊNES SESSILE (*QUERCUS PETRAEA*) ET PÉDONCULÉ (*QUERCUS ROBUR*)

*Hybridization and speciation dynamic of Quercus petraea and Quercus robur*

Thèse de doctorat en Ecologie évolutive, fonctionnelle et des communautés sous la direction de Rémy Petit (Laboratoire d'accueil : UMR Biogeco, INRA et Université de Bordeaux).

Soutenue le 14-12-2012 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

Les chênes sessiles et pédonculés sont deux espèces sympatriques interfertiles occupant des places distinctes dans la succession écologique. Elles constituent pour cela un bon modèle pour l'étude de la spéciation écologique. Malgré leur écologie contrastée, les deux espèces de chênes coexistent naturellement dans de nombreuses forêts, rendant possible l'étude de leur système de reproduction intra- et interspécifique. Des travaux précédents ont suggéré que l'hybridation entre ces deux espèces serait fréquence-dépendante. Elle dépendrait de la proportion de pollen allospécifique (c'est-à-dire de pollen de l'autre espèce) que reçoit l'arbre mère étudié. Ce phénomène d'hybridation fréquence-dépendante est appelé effet Hubbs, du nom d'un ichthyologue qui découvrit ce mécanisme en 1955. Mon travail a consisté à étudier, dans une parcelle mixte de chênes, les barrières à l'hybridation qui permettent la coexistence de ces deux espèces. Pour cela, j'ai effectué une étude de paternité de grande ampleur (près de 3500 individus typés sur 12 marqueurs microsatellites). Tout d'abord, je me suis intéressée à la délimitation des deux espèces en appliquant pour la première fois in situ le critère d'interfertilité. Je me suis ensuite concentrée sur les facteurs qui influencent l'hybridation au travers d'une modélisation des croisements à l'échelle de l'individu. Les résultats montrent que le maintien de ces deux espèces est régi par deux composantes environnementales importantes : la fréquence de chaque espèce et leur distribution, qui influencent la quantité de pollen reçue. Grâce à cette étude empirique et à l'approche de modélisation de ces croisements, nous avons désormais une bien meilleure vision de l'effet de l'environnement sur l'hybridation. J'ai

### Abstract

*Quercus petraea and Q. robur are two interfertile sympatric species. They occupy distinct stages during forest succession and constitute therefore good models for ecological speciation studies. Despite their differences, they often grow together in mixed stands, allowing the study of their intra- and interspecific reproductive system. Hybridization between these two oak species has been suggested to be frequency-dependent. The effect of the relative species abundance on hybridization is known as the "Hubbs' effect", from the name of an ichthyologist who described this mechanism in 1955. My work was to study the processes that limit hybridization between these two species, thereby allowing their coexistence. I conducted an extensive paternity analysis (almost 3500 individuals genotyped at 12 microsatellite markers). First, I tried to delimitate the two oak species by applying for the first time in situ the interfertility criterion. Then, I focused on interspecific crosses by studying those factors influencing hybridization. Results showed that the maintenance of these two species depends on the frequency of each species and their distribution, as both factors influence the quantity of pollen received by female flowers. Thanks to this empirical study and to this modeling approach, we have now a much better view of environmental effects on hybridization. I then compared the characteristics of the reproductive system of each species (pollen dispersal and male fertility) in relation with their ecological strategies. The results suggest that differences in species ecological dynamics are at the origin of the speciation process but that at a finer scale the stability of the environment is crucial for species' maintenance.*



par la suite comparé les caractéristiques du système de reproduction de chaque espèce (dispersion du pollen et fécondité mâle) en cherchant si un lien existait avec leur stratégie écologique. Les résultats suggèrent que les différences de dynamique écologique pourraient être à l'origine de la spéciation du fait de l'existence de compromis différents en termes d'allocation de ressources mais qu'à plus court terme la stabilité de l'environnement est essentielle au maintien des espèces.

### Publications

Klein EK, Lagache L., Navarro L, Petit RJ (2017). Demographic and spatial determinants of hybridization rate. *Journal of Ecology* 105, 29-38.

Lagache L., Leger J.-B., Daudin J.-J., Petit RJ, Vacher C (2013). Putting the biological species concept to the test: Using mating networks to delimit species. *PLoS One* 8, e68267.

Lagache L., Klein EK, Guichoux E, Petit RJ (2013). Fine-scale environmental control of hybridization in oaks. *Molecular Ecology* 22, 423-436.

Lagache L., Klein EK, Ducousso A, Petit RJ (2014). Distinct male reproductive strategies in two closely related oak species. *Molecular Ecology* 23, 4331-4343.

Plateforme  
PGTB

# Hélène Lagraulet

## PLASTICITÉ PHÉNOTYPIQUE ET ARCHITECTURE GÉNÉTIQUE DE LA CROISSANCE ET DE LA DENSITÉ DU BOIS DU PIN MARITIME (*PINUS PINASTER* AIT.)

*Growth of Maritime pine (Pinus pinaster Ait.) in response to its environment: phenotypic variability and genetic architecture*

Thèse de doctorat en Ecologie évolutive, fonctionnelle et des communautés sous la direction de Christophe Plomion et de Jean-Marc Gion (Laboratoire d'accueil : UMR Biogeco, INRA et Université de Bordeaux).

Soutenue le 27-04-2015 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

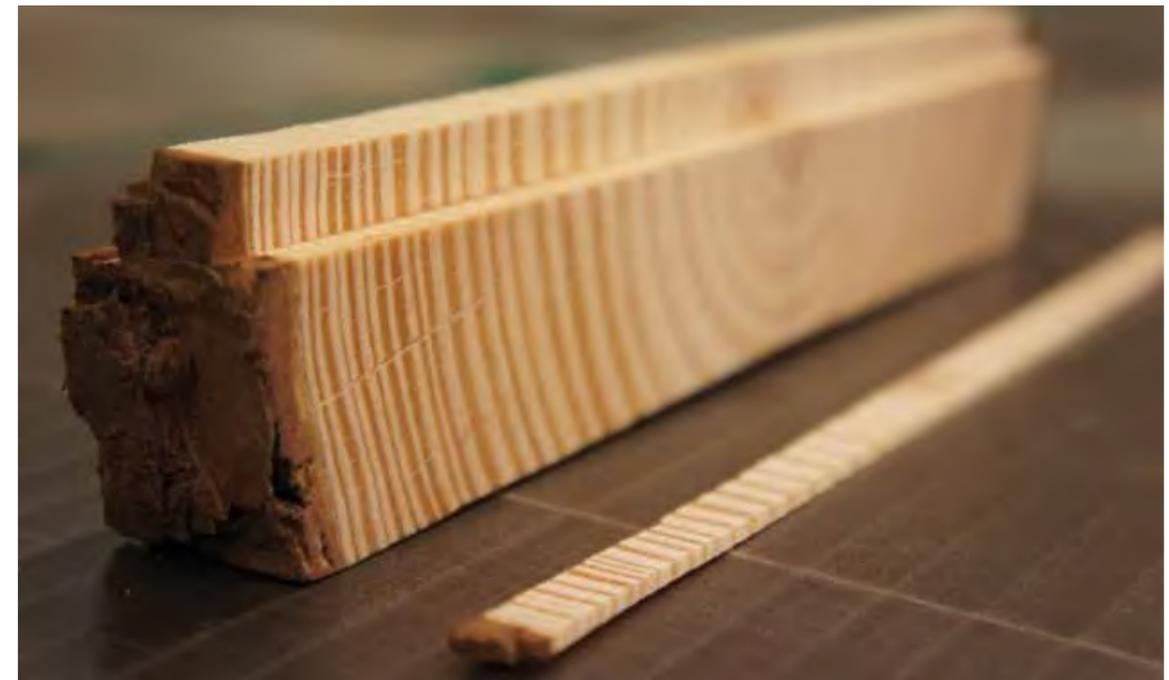
Evaluer l'effet du climat sur la croissance des arbres forestiers, et notamment leur capacité de production de biomasse en situation de contrainte hydrique, passe par la quantification du niveau de plasticité phénotypique des individus et de la diversité génétique des populations. Le pin maritime est un excellent modèle biologique pour mener à bien ce type d'étude. Nous avons étudié la variabilité phénotypique de caractères liés à la croissance du pin maritime au jeune âge en fonction de contraintes abiotiques, notamment la disponibilité en eau. Nous avons documenté l'architecture génétique de ces traits (nombre, position et effet des gènes majeurs (QTL) contrôlant cette variabilité phénotypique). Deux dispositifs expérimentaux ont été utilisés: l'un composé de trois familles F1 issues de croisements contrôlés de parents d'origines géographiques contrastées (Corse, Landes et Maroc), l'autre d'une famille F2 issue de l'autofécondation d'un hybride Corse x Landes. Le premier essai comprenait 1500 individus semés en 2007 sur lesquels la hauteur et le diamètre ont été mesurés annuellement de 2010 à 2014. Nous avons également noté l'évolution de la phénologie du débourrement apical en 2012 et 2013. Enfin, la dynamique de la croissance radiale de 239 génotypes a été suivie en continu de 2011 à 2013 grâce à un dispositif unique de capteurs de déplacement continu (microdendromètres). Le second essai comprenait 500 arbres semés en 1998. Leur carottage a permis d'établir le profil microdensitométrique sur 7 années consécutives. Le génotypage des descendants des 4 croisements a permis

### Abstract

*Evaluating the impact of climate change on current plantations supposes the evaluation of their phenotypic plasticity and their genetic diversity under abiotic pressure. Maritime pine is a perennial species of major economic interest in the French Aquitaine region. Maritime pine is a good biological model to investigate this question. We have studied various traits related to maritime pine growth under constraints. We have (1) evaluated phenotypic variability and have (2) analysed the genetic architecture of the traits (number, location and effects of QTLs). The comparison between environmental and phenotypic data reveals the phenotypic plasticity of individuals. The knowledge of the genetic architecture of the traits and of its variation according to the genetic background and to environmental conditions allows us to assess the stability of the QTLs. We used 4 progenies of maritime pines: 3 crosses involving parents growing in regions with contrasted climate (Corsica, Landes and Morocco) and 1 controlled cross from a second generation of self-pollination (F2). Micro-cores were extracted from the individuals of the F2 population and microdensity profiles were established for 7 annual rings. Total height and diameter of each individual were measured once a year on the 3 crosses from 2010 to 2014. Dynamics of apical budburst was tracked on the same individuals in 2012 and 2013. Finally, the dynamics of radial growth was monitored on a sub-sample of 239 individuals during 3 years by using microdendrometers. All individuals were genotyped with a DNA chip*

de construire des cartes génétiques. L'analyse conjointe de l'information phénotypique et génotypique a permis d'identifier des QTL pour l'ensemble des caractères et d'étudier leur stabilité en fonction des conditions environnementales et du fond génétique. Le débourrement est variable entre années en fonction des températures et du fond génétique. Tout comme la croissance primaire et secondaire, le débourrement est contrôlé par de nombreux QTL à effets modérés qui varient en fonction du climat et du fond génétique. L'étude de l'interaction QTL x environnement a montré que la densité du bois est régulée soit par différents gènes soit par les mêmes gènes régulés de façon différentielle selon le climat. Enfin, nous avons mis en évidence pour la première fois une variabilité des fluctuations journalières du tronc entre individus qui interagit avec l'environnement.

*to build genetic maps. The confrontation of phenotypic and genotypic data made it possible to identify genomic regions involved in the genetic architecture of the traits and to study their stability according to environmental conditions and to the genetic background of individuals. Bud burst varies from year to year, depending on the temperature and the genetic background. Growth and bud burst are controlled by many QTLs of moderate effect. The monitoring of the seasonal dynamics of wood formation also showed a QTL x environment interaction, showing that wood density is regulated by different genes or the same set of genes differentially regulated in response to climate. Finally, we showed for the first time that the daily fluctuations of trunk size have a genetic basis and interact with the environment.*



### Publications

de Miguel M, Bartholomé J, Ehrenmann F, Murat F, Moriguchi Y, Uchiyama K, Ueno S, Tsumura Y, Lagraulet H., de Maria N, Cabezas J-A, Cervera M-T, Gion JM, Salse J, Plomion C (2015). Evidence of intense chromosomal shuffling during conifer evolution. *Genome Biology and Evolution* 7, 2799-2809.

Plomion C, Bartholomé J, Bouffier L, Brendel O, Cochard H, de Miguel M, Delzon S, Gion J-M, Gonzalez-Martinez SC, Guehl J-M, Lagraulet H., Le Provost G, Marguerit E, Porté A (2016). Understanding the genetic bases of adaptation to soil water deficit in trees through the examination of water use efficiency and cavitation resistance: maritime pine as a case study. *Journal of Plant Hydraulics* 3:008.

Plomion C, Bartholomé J, Lesur I, Boury C, Rodríguez-Quilón I, Lagraulet H., Ehrenmann F, Bouffier L, Gion JM, Grivet D, de Miguel M, de Maria N, Cervera MT, Bagnoli F, Isik F, Vendramin GG, González-Martínez SC (2016). High-density SNP assay development for genetic analysis in maritime pine (*Pinus pinaster*). *Molecular Ecology Resources* 73: 77.

Plateforme  
PGTB, Génobois

# Jean-Baptiste Lamy

## RÉSISTANCE À LA CAVITATION : DES MÉCANISMES PHYSIOLOGIQUES À LA GÉNÉTIQUE ÉVOLUTIVE : DE LA BULLE AUX GÈNES

### *Resistance to cavitation: from physiological mechanisms to evolutionary quantitative genetic: from bubbles to genes*

Thèse de doctorat en Écologie évolutive, fonctionnelle et des communautés sous la direction de Christophe Plomion, Sylvain Delzon et Hervé Cochard (Laboratoire d'accueil : UMR Biogeco, INRA et Université de Bordeaux).

Soutenue le 13-03-2012 à l'Université de Bordeaux.

#### Résumé

Force est de constater que les dépérissements forestiers augmentent. Ces observations vont de pair avec l'accroissement des événements climatiques extrêmes. Aussi dans ce contexte, il est nécessaire d'identifier de nouveaux caractères de résistance à la sécheresse. La résistance à la cavitation est actuellement le meilleur marqueur de la survie d'une espèce à la sécheresse. Cette thèse avait deux objectifs : (i) comprendre le mécanisme de propagation de la cavitation dans le xylème chez les gymnospermes. (ii) Quantifier la variation phénotypique in situ de ce caractère chez *Pinus pinaster* ainsi que (iii) quantifier la variation génétique, et sa plasticité phénotypique. La démarche a été la suivante (i) une étude interspécifique de la résistance à la cavitation a été couplée à des mesures micro-anatomiques. (ii) Pour le volet intra-spécifique, nous avons phénotypé six populations dans deux tests de populations-descendances, ainsi qu'en population naturelles in situ. La propagation de l'embolie chez les Pinaceae et les ex-Taxodiaceae pourrait être due au passage du germe d'air (rupture capillaire) à travers des nanopores dans le torus. En effet, la pression de rupture d'un ménisque air-sève est corrélée à l'entrée de l'air dans le xylème (P12). Alors que la variation interspécifique est grande, la résistance à la cavitation varie faiblement au sein d'une espèce. Ainsi les populations provenant de climat contrasté ne présentent pas ou peu de différence génétique (en test de provenance) ou en populations naturelles in situ. Ce

#### Abstract

Several review reported global forest die-back that are caused, directly or indirectly, by extreme climatic events (like heat waves or prolonged drought). In this context, there is an urgent need to identify new traits to trace drought tolerance. Resistance to cavitation is one of the best proxy for survival during extreme drought. The aim of this work was (i) to understand how spreads cavitation in the vascular pathway of gymnosperms (ii) to quantify the phenotypic variation of resistance to cavitation for *Pinus pinaster* species, (iii) to determine the amount of the genetic variation and phenotypic plasticity available for this trait. A micro-anatomy study was coupled to measurement of resistance to cavitation for various species to found where air-seeding occurs in the bordered pit. To quantify the variability of resistance to cavitation, we phenotyped 506 genotypes using to replicated provenance-progeny trials and on natural in situ populations. The spread of embolism for Pinaceae and ex-Taxodiaceae could be due to minute pore in tori, which are remains of secondary plasmodesmata. We found that the pressure needed to break a water/air meniscus in these minute pores is correlated with the xylem air entry (P12). Despite the great variability of resistance to cavitation between species, we found low variability within species. Most of the variability is within population, rather than between populations. The phenotypic plasticity of resistance to cavitation is low compare to growth traits. Comparison between QST and FST shows

caractère présente une plasticité phénotypique mais faible comparée à celle de la croissance en hauteur par exemple. La comparaison entre la variation génétique entre populations et la variation des marqueurs neutres entre ces mêmes populations montrent que la variation de ce caractère semble réduite par l'architecture génétique sous-jacente. La résistance à la cavitation est vraisemblablement un trait canalisé.

*that populations exhibit less variation compare to what it is expected under genetic drift. The variation of resistance to cavitation seems to be narrowed by the genetic architecture, which is the sign of canalization.*



#### Prix

2010 Prix Jean Lesbats pour "Apparent lack of genetic variation for wood related traits in *Pinus* species".

#### Publications

Jansen S, Lamy J-B, Burrett R, Cochard H, Gasson P, Delzon S (2012). Plasmodesmatal pores in the torus of bordered pit membranes affect cavitation resistance of conifer xylem. *Plant Cell and Environment* 35, 1109-1120.

Lamy J-B, Bouffier L, Burrett R, Plomion C, Cochard H, Delzon S (2011). Uniform selection as a primary force reducing population genetic differentiation of cavitation resistance across a species range. *Plos One* 6, e23476.

Lamy J-B, Plomion C, Kremer A, Delzon S (2012). QST < FST as a signature of canalization. *Molecular Ecology* 21, 5646-5655.

Lamy J-B, Lagane F, Plomion C, Cochard H, Delzon S (2012). Micro-evolutionary patterns of juvenile wood density in a pine species. *Plant Ecology* 213, 1781-1792.

Lamy J-B, Delzon S, Bouche PS, Alia R, Vendramin GG, Cochard H, Plomion C (2014). Limited genetic variability and phenotypic plasticity detected for cavitation resistance in a Mediterranean pine. *New Phytologist* 201, 874-886.

Plateforme  
PGTB, Génobois

# Maximilian Larter

## EVOLUTION DE LA RÉSISTANCE À LA CAVITATION CHEZ LES CONIFÈRES

### *The evolution of cavitation resistance in conifers*

**Thèse de doctorat en Ecologie évolutive, fonctionnelle et des communautés sous la direction de Sylvain Delzon et de Jean-Christophe Domec (Laboratoire d'accueil : UMR Biogeco, INRA et Université de Bordeaux).**

Soutenue le 22-07-2016 à l'Université de Bordeaux.

#### Résumé

Les forêts du monde entier sont menacées de mortalités importantes lors de sécheresses intenses liés au changement climatique. Les conifères en particulier semblent extrêmement vulnérables à la mort par dysfonctionnement hydraulique de leur système vasculaire ou embolie. Le principal objectif de cette thèse est d'étudier la résistance à l'embolie des conifères dans un cadre évolutif. Premièrement, nous avons mis en évidence que la résistance à l'embolie varie d'un facteur neuf sur plus de 250 espèces parmi les 7 familles de conifères, atteignant un nouveau record du monde avec *Callitris tuberculata* ( $P50 = -18.8$  MPa). Nous avons montré le lien évolutif entre cette résistance et l'anatomie des ponctuations aréolées. En combinant cette base de données unique avec une phylogénie calibrée de plus de 300 espèces, nous avons retracé la diversification des conifères et l'évolution de leur résistance à l'embolie. Nous avons découvert que plusieurs lignées de conifères ont brusquement changé de dynamiques évolutives, avec l'accélération de la spéciation et de l'évolution de résistance à l'embolie. En outre, les conifères plus résistants se sont diversifiés plus rapidement, notamment les genres *Cupressus*, *Juniperus* et *Callitris* (Cupressaceae). La diversification de ces derniers s'est accélérée avec l'aridification de l'Australie sur les derniers 30 Millions d'années. Nous montrons que leur xylème a été façonné par la sécheresse, devenant plus résistant à l'embolie mais surtout sans compromettre l'efficacité du transport de l'eau ou augmenter son coût de construction. Cette thèse élargit notre compréhension de l'évolution des plantes vasculaires face aux sécheresses intenses.

#### Abstract

*Forests worldwide are at increased risk of widespread mortality due to intense drought under current and future climate change. In particular, conifer species seem extremely vulnerable to mortality due to hydraulic failure or embolism. The main objective of this thesis was to examine conifer resistance to embolism in an evolutionary framework. Firstly, we uncovered 9-fold variation in resistance to embolism across 250 species from the 7 conifer families, culminating in a new world record in *Callitris tuberculata* ( $P50 = -18.8$  MPa). We demonstrated the evolutionary relationship between increased embolism resistance and the anatomy of bordered pits. By combining this unprecedented physiological dataset with a time-calibrated phylogeny of over 300 species, we retraced conifer diversification and the evolution of embolism resistance. We discovered multiple evolutionary dynamics with several conifer lineages shifting to higher rates of speciation and trait evolution. We found that conifers with high drought resistance diversified more rapidly, especially crown groups of Cupressaceae composed of the *Cupressus*-*Juniperus* clade and the *Callitris* clade. Within this last group, diversification rates increased over the course of the aridification of Australia over the last 30 million years. We show how their xylem has been shaped by drought, becoming more resistant to embolism, but crucially we found no trade-off with water transport efficiency or construction costs. This work greatly expands our understanding of how vascular plants have evolved to cope with extreme drought.*



#### Publications

Bouche PS, Larter M, Domec J-C, Burrett R, Gasson P, Jansen S, Delzon S (2014). A broad survey of hydraulic and mechanical safety in the xylem of conifers. *Journal of Experimental Botany* 65, 4419-4431.

Castagneyrol B, Jactel H, Brockerhoff EG, Perrette N, Larter M, Delzon S, Piou D (2016). Host range expansion is density dependent. *Oecologia* 182, 779-788.

Larter M, Pfautsch S, Domec J-C, Trueba S, Nagalingum N, and Delzon S (2017). Aridity drove the evolution of extreme embolism resistance and the radiation of conifer genus *Callitris*. *New Phytologist* 215, 97-112.

Larter M, Brodribb TJ, Pfautsch S, Burrett R, Cochard H, Delzon S (2015). Extreme aridity pushes trees to their physical limits. *Plant Physiology* 168:3.

Sáenz-Romero C, Larter M, González-Muñoz N, Wehenkel C, Blanco-García A, Castellanos-Acuña D, Burrett R, Delzon S (2017). Mexican conifers differ in their capacity to face climate change. *Journal of Plant Hydraulics* 4:003.

**Plateforme  
Génobois**

# Alexandra Le Floch

## LES POLYSACCHARIDES ET LES ELLAGITANINS DU BOIS DE CHÊNE : INFLUENCE SUR LA QUALITÉ SENSORIELLE DES VINS

### *Oak wood polysaccharides and ellagitannins: the impact on sensory quality of wines*

Thèse de doctorat en œnologie sous la direction de Pierre-Louis Teissèdre (Laboratoire d'accueil : Institut des Sciences de la Vigne et du Vin, Université de Bordeaux).

Soutenue le 16-12-2015 à l'Université de Bordeaux.

#### Résumé

La qualité des vins et des eaux de vie dépend de leur vieillissement au contact du bois de chêne. La sélection du bois de chêne et sa maturation constituent des étapes essentielles dans la fabrication de barriques. Dans cette thèse, nous avons étudié l'évolution de la composition chimique du bois de chêne pour quatre stades de séchage : bois frais, 12 mois, 18 mois et 24 mois. L'échantillonnage a été réalisé en prenant en compte trois facteurs de sélection d'intérêt en tonnellerie : l'âge du bois, le type de grain et la classe d'Indice Polyphénolique mesurée par Oakscan®. En plus de la partie extractible (~10%), trois polymères constituent la majeure partie (~90%) du bois de chêne : la cellulose, les hémicelluloses et les lignines. Ces composés sont susceptibles de subir des hydrolyses ou des réactions chimiques au cours des différents processus de tonnellerie et notamment lors de la chauffe, libérant ainsi des composés aromatiques ou certains précurseurs aromatiques ayant un véritable intérêt sensoriel pour le vin vieilli en fût ou en contact avec du bois de chêne. Nous avons pu montrer que les proportions de ces composés évoluent de façon significative au cours du séchage du bois de chêne, soulignant l'incidence des différents facteurs de sélection. Les composés extractibles, lignines, hémicelluloses et cellulose, sont respectivement majoritaires aux stades bois frais, 12 mois, 18 mois et 24 mois de séchage. La mise en place d'un plan d'essai sur un vin de Merlot à partir d'un deuxième échantillonnage de bois de chêne, selon les mêmes modalités que le plan d'essai sur bois, nous a permis d'évaluer l'impact du temps de séchage du bois sur la composition chimique d'un vin élevé au contact de morceaux de bois de chêne. Les résultats ont montré une baisse de près de 8% de teneur en ellagitannins entre les modalités 12 et 24 mois de séchage mais aussi des impacts sur les concentrations en composés volatiles du vin : les aldéhydes furaniques sont corrélés positivement

#### Abstract

*It is widely accepted that alcoholic beverages quality depends on their ageing in premium quality oak wood. Oak wood selection and maturation are essential steps in the course of barrel fabrication. Given the existence of many factors involved in the choice of raw material and in natural seasoning of oak wood, it is very difficult to determine the real impact of seasoning and selection factors on oak wood composition. A sampling was done to study the evolution of oak wood chemical composition during four seasoning steps: non matured, 12 months, 18 months and 24 months. For this sampling, three selection factors were taken into account: age, grain type and the Polyphenolic Index measured by Oakscan®. Besides extractables (~10%), three polymers constitute the main part of oak wood: cellulose, hemicelluloses and lignins. These compounds may undergo hydrolysis or chemical reactions during cooperage processes, especially during heat treatment, which release some aromatic compounds or aromatic precursors having a genuine sensorial interest on wine aged in barrel or in contact with oak products. To date, no studies revealed a link between the proportions of these compounds in oak wood and the chemical and sensorial impact in wines ageing with oak wood. Our study showed that the proportions of these compounds evolved significantly during oak wood seasoning and the results highlighted the impact of selection factors. Respectively, extractables, lignins, hemicelluloses and cellulose proportions were mostly for non-matured, 12 months, 18 months and 24 seasoning months. The development of a test plan with a Merlot wine from a second oak wood sampling, using similar modalities as the previous test plan allowed the evaluation of oak wood seasoning impact on the chemical composition of a wine ageing with oak wood pieces. Results showed a lowering of 8% in ellagitannins content of wine between 12 and 24 months modalities. An impact on volatile composition in*

à des temps de séchage longs (18 et 24 mois), tandis que les aldéhydes phénoliques le sont avec un temps de maturation plus court (12 mois). Sur le même vin de Merlot, des analyses sensorielles ont mis en évidence des différences significatives perçues par notre panel entre les modalités de séchage 12 et 24 mois, tandis que les modalités 18 et 24 mois n'ont pu être distinguées lors de tests triangulaires. Les résultats soulignent la difficulté pour notre panel de dégustateurs de s'accorder sur l'existence d'une différence globale et significative entre les modalités 12 et 24 mois. Cependant, ils contribuent à expliquer les différences mises en évidence lors des tests triangulaires pour certaines modalités de séchage pour les descripteurs grillé/fumé, amertume, astringence, rondeur en bouche et perception sucrée.

*wine has also been established: furanic aldehydes were positively correlated with a long maturation time (18 and 24 months), whereas phenolic aldehydes were positively correlated with a shorter seasoning time (12 months). Our results highlighted also the impact of selection factors on wine chemical composition. Sensorial analysis on this Merlot wine led to significant differences detected by the panel between 12 and 24 seasoning modalities, but not between 18 and 24 months modalities with triangular tests. Sensorial profiles were also established to attempt to associate the differences detected to one or more descriptors. For this test, results highlighted the difficulty for the panel to make a significant difference between 12 and 24 months modalities. However they contribute to explain the differences demonstrated with triangular tests for some seasoning modalities: toasted, bitterness, astringency, roundness and sweet perception.*



#### Publications

Chira K, Zeng L, Le Floch A, Péchamat L, Jourdes M, Teissèdre P-L (2015). Compositional and sensory characterization of grape proanthocyanidins and oak wood ellagitannin. *Tetrahedron* 71, 2999-3006.

Le Floch A, Jourdes M, Teissèdre P-L (2015). Polysaccharides and lignin from oak wood used in cooperage: Composition, interest, assays: A review. *Carbohydrate Research* 417, 94-102.

Michel J, Albertin W, Jourdes M, Le Floch A, Giordanengo T, Mourey N, Teissèdre P-L (2016). Variations in oxygen and ellagitannins, and organoleptic

properties of red wine aged in French oak barrels classified by a near infrared system. *Food Chemistry* 204, 381-390.

Michel J, Jourdes M, Le Floch A, Giordanengo T, Mourey N, Teissèdre P-L (2013). Influence of wood barrels classified by NIRS on the ellagitannin content/composition and on the organoleptic properties of wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61, 11109-11118.

Plateforme  
Génobois

# Albin Lobo

## DES ARBRES POUR LES FORÊTS DU FUTUR – RÉPONSES GÉNÉTIQUES ET PLASTIQUES DES ESPÈCES LIGNEUSES AUX FACTEURS ABIOTIQUES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

*Trees for future forests – Genetic and plastic responses in woody species to abiotic factors of climate change*

**Thèse de doctorat en Géosciences et Gestion des Ressources Naturelles sous la direction de Jon Kehlet Hansen et Erik Dahl Kjær (Université de Copenhague).**

Soutenue le 24-11-2017 à l'Université de Copenhague.

### Abstract

Climate change creates new challenges in forest management. The increase in temperature may in the long run be beneficial for the forests in the northern latitudes, but the high rate at which climate change is predicted to proceed will make adaptation difficult because trees are long living sessile organisms. The aim of the present thesis is therefore to explore genetic resilience and phenotypic plasticity mechanisms that allows trees to adapt and evolve with changing climates. The thesis focus on the abiotic factors associated with climate change, especially raised temperatures and lack of precipitation. Adaptive traits such as phenology which is sensitive to changes in temperature and drought resistance as a response to water scarcity are studied. Quantitative genetics is extensively used in field phenotyping to identify the availability of sufficient genetic variation within species. Other phenotyping techniques such as molecular markers, dendrochronology and assessment of physiological traits are used in order to compliment field phenotyping. The results of the thesis demonstrate that various mechanisms for adaptation to future climatic challenges are present, and that woody species are likely to possess important adaptive potential as response to the potential negative impacts of climate change. Woody species generally possess a variation in phenology among and within populations and possibly a reasonable high ability to change phenology through natural selection. However, given the long rotation age of these tree species and the uncertainty around the pace and effect of climate, it remains an open question if the native populations can respond fast enough. Phenotypic plasticity through

epigenetic regulation of spring phenology is found to be present in a tree species which might act as a faster mechanism in aiding climate change adaptation in trees. Drought resistance varied among the different species belonging to a single genus showing the inherent capacity of native species to overcome water scarcity in severely drought prone regions of the world. More research into the important topic of climate change adaptation is required, and the study demonstrates the importance of establishing and maintaining forest field trials as source of vital information regarding the amount of additive genetic variation and level of local differentiation within species. The results also suggest that wider collaboration among the disciplines of quantitative forest genetics, molecular analysis, dendrochronology, eco physiological and anatomical studies allow increased understanding of the climate change challenge in forests and enable faster identification of species/genotypes suited for future climates.



### Publications

Lobo A, Hansen JK, McKinney LV, Nielsen LR, Kjær ED (2014). Genetic variation in dieback resistance: growth and survival of *Fraxinus excelsior* under the influence of *Hymenoscyphus pseudoalbidus*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 29, 519-526.

Lobo A, McKinney LV, Hansen JK, Kjær ED, Nielsen LR (2015). Genetic variation in dieback resistance in *Fraxinus excelsior* confirmed by progeny inoculation assay. *Forest Pathology* 45, 379-387.

Lobo A, Torres-Ruiz JM, Burlett R, Lemaire C, Parise C, Francioni C, Truffaut L, Tomášková I, Hansen JK, Kjær ED, Kremer A, Delzon S (2018). Assessing inter- and intraspecific variability of xylem vulnerability to embolism in oaks. *Forest Ecology and Management* 424, 53-61.

**Plateforme  
Génobois**

# Alexandre Marchal

## ÉTUDE DE LA VIGUEUR HYBRIDE CHEZ LE MÉLÈZE ET RÔLE DE LA PLASTICITÉ PHÉNOTYPIQUE DANS LA CONSTRUCTION DE L'HÉTÉROSIS

*Larch hybrid vigor and role of the phenotypic plasticity in the construction of heterosis*

**Thèse de doctorat en Ressources génétiques et amélioration des plantes sous la direction de Luc E. Pâques et de Leopoldo Sanchez (Laboratoire d'accueil : Unité AGPF, INRA).**

Soutenue le 30-01-2018 à l'Université d'Orléans.

### Résumé

Le mélèze d'Europe (*Larix decidua*) est traditionnellement exploité pour son bois de qualité. Malheureusement, la culture de cette essence hors de son aire de distribution a été un échec. L'hybridation avec le mélèze du Japon (*L. kaempferi*) est une voie prometteuse, en particulier grâce à l'hétérosis manifesté par cet hybride. Au cours de cette dissertation, nous valorisons les données d'un diallele multi-site intra- et inter-spécifique d'âge avancé. Le premier chapitre présente l'analyse de traits de production et de qualité du bois. Nous confirmons ainsi l'hétérosis pour les traits liés au volume. Cet hétérosis n'entraîne pas de contrepartie en termes de qualité, et se montre stable d'un site à l'autre. Au contraire, d'autres traits ne présentent pas d'hétérosis, mais davantage d'héritabilité. Les performances additives pour ces traits sont stables d'un site à l'autre, et en espèce pure vs. en hybridation. Au cours du deuxième chapitre, nous nous intéressons au rôle de la plasticité phénotypique de traits de formation du bois dans la construction de l'hétérosis. Le mélèze hybride apparaît comme le taxon le plus plastique : tout comme ses espèces parentes, il produit un cerne de croissance étroit en conditions hydriques limitantes, mais sa croissance radiale surpasse celle de ses parents quand l'eau est abondante. Ce deuxième chapitre est également un premier pas vers la compréhension du rôle de la plasticité phénotypique dans la construction de l'architecture de la variance génétique entre la circonférence et la densité des troncs. Cette thèse se termine sur une synthèse, au cours de laquelle nous discutons les retombées de nos résultats pour l'amélioration du mélèze hybride.

### Abstract

*European larch (Larix decidua) has been historically exploited within its natural range for its high quality wood, but the attempt to grow this species outside its native range was a failure. Hybridization with Japanese larch (L. kaempferi) is a promising path, in particular because of the heterosis this hybrid manifests. In this dissertation, we took advantage of an old-enough, multi-site experiment with an inter-/intra-specific mating design. The first chapter presents the analysis of several traits involved in wood quality and productivity. We confirmed heterosis for volume related traits. The heterosis came with no counterpart in wood quality, and it was stable across sites. Contrarily, some other traits showed no heterosis but higher heritabilities, and the additive performances for these traits were stable across sites and in pure species vs. in hybridization. In the second chapter, we investigated the role of phenotypic plasticity of some wood formation traits in the construction of the heterosis. Hybrid larch appeared as the most plastic taxon: it equaled the parental controls in producing narrow growth increments under drought, but it produced the largest rings in favorable water availability conditions. This second chapter was also a first step towards a better understanding of the role of phenotypic plasticity on the construction of the genetic variance architecture between larch stem circumference and density. The dissertation ends with a synthesis in which we discussed the implication of our findings for the breeding of hybrid larch.*



### Publications

Marchal A, Schlichting CD, Gobin R, Balandier P, Millier F, Muñoz F, Pâques LE, Sánchez L (2019). Deciphering hybrid larch reaction norms using random regression. *G3: Genes|Genomes|Genetics* 9, 21.

**Plateforme  
GénoBois**

# Nastasia Merceron

## PROCESSUS ÉCOLOGIQUES ET ÉVOLUTIFS IMPLIQUÉS DANS LE SUCCÈS DE L'INTRODUCTION DE *QUERCUS RUBRA* L. EN EUROPE

*Ecological and evolutionary processes involved in the success of Quercus rubra L. introduction in Europe*

Thèse de doctorat en Ecologie évolutive, fonctionnelle et des communautés, sous la direction d'Antoine Kremer, Annabel Porté et de Arnaud Monty (Laboratoire d'accueil : UMR Biogeco, INRA et Université de Bordeaux).

Soutenue le 28-11-2016 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

Le chêne rouge d'Amérique (*Quercus rubra* L.) est un arbre originaire d'Amérique du Nord et introduit en Europe à partir de la fin du XVII<sup>e</sup> siècle pour l'ornementation et le commerce du bois. Le but de cette thèse est de comprendre les mécanismes écologiques et évolutifs qui contribuent à la dynamique et au succès de l'introduction de *Q. rubra* en Europe. Nous avons montré que cette espèce naturalisée et plantée dans certains pays européens parvient aisément à se développer de façon naturelle dans les forêts de feuillus et de conifères. La dispersion de ses glands est notamment rendue possible par des animaux fouisseurs-disperseurs, tels que les écureuils et les mulots, qui cependant préfèrent les glands du chêne natif *Q. robur*. Lors de l'introduction d'une espèce dans un nouvel environnement, des processus évolutifs sont susceptibles de se produire et d'engendrer des modifications phénotypiques et génétiques au sein des populations introduites. Une analyse comparative de la structure et de la diversité génétique des populations natives et introduites de *Q. rubra* a démontré que seulement deux des trois groupes génétiques de l'aire américaine sont actuellement présents en Europe. Aucun goulot d'étranglement fort n'a été détecté lors de l'introduction des populations en Europe laissant supposer que des introductions multiples ont pu maintenir la diversité génétique dans les populations introduites. Une analyse comparative des traits phénotypiques a permis de montrer que les populations introduites de *Q. rubra* présentent une croissance supérieure par rapport aux populations natives. Une différenciation génétique au sein des populations introduites est en cours pour le trait de débourrement foliaire suggérant une possible évolution adaptative rapide depuis l'introduction.

### Abstract

Northern Red Oak (*Quercus rubra* L.) is a tree native to North America and introduced in Europe at the end of the 17th century as an ornamental and forestry species. The aim of this dissertation is to understand the ecological and evolutionary mechanisms contributing to its dynamics and success in Europe. We demonstrated that this species naturalized and planted in some European countries can easily naturally grow in deciduous and conifer forests. Acorn dispersal away from mother-trees was made possible by scatter-hoarding animals such as squirrels and mice that take away acorns, although the animals still preferred acorns of the native oak *Q. robur*. During species introduction in a new environment, evolutionary processes can occur and lead to phenotypic and genetic changes. A comparative analysis of the genetic structure and diversity of *Q. rubra* populations from the native and introduced ranges demonstrated that only two of the three genetic clusters encountered in North America are currently present in Europe. No strong bottleneck event was detected during the introduction of *Q. rubra* populations in Europe suggesting that multiple introductions could have maintained genetic diversity in introduced populations. A comparative analysis of phenotypic traits showed that introduced populations of *Q. rubra* present a higher growth compared to that of native populations. A genetic differentiation within European populations is ongoing regarding phenology of leaf budburst suggesting a possible rapid adaptive evolution since introduction.



### Publications

Merceron NR, Lamarque LJ, Delzon S, Porté AJ (2016). Killing it softly: Girdling as an efficient eco-friendly method to locally remove invasive *Acer negundo*. *Ecological Restoration* 34, 297-305.

Merceron NR, De Langhe A, Dubois H, Garin O, Gerarts F, Jacquemin F, Balligand B, Otjacques M, Sabbe T, Servranckx M, Wautélet S, Kremer A, Porté AJ, Monty A (2017). Removal of acorns of the alien oak *Quercus rubra* on the ground by scatter-hoarding animals in Belgian forest. *BASE* 21, 127-130.

Merceron NR, Leroy T, Chancerel E, Romero-Severson J, Borkowski DS, Ducouso A, Monty A, Porté AJ, Kremer A (2017). Back to America: tracking the origin of European introduced populations of *Quercus rubra* L. *Génome* 60, 778-790.

Plateforme  
PGTB

# Maxime Nardin

## AJUSTEMENT BIOLOGIQUE DU MÉLÈZE AUX VARIATIONS ENVIRONNEMENTALES LE LONG D'UN GRADIENT ALTITUDINAL : APPROCHE MICRODENSITOMÉTRIQUE DE LA RÉPONSE AU CLIMAT

*Biological adjustment of larch to environmental variations along an altitudinal gradient: a wood microdensity approach of climate*

Thèse de doctorat en Biologie forestière  
sous la direction de Philippe Rozenberg  
et de Luc E. Pâques (Laboratoire d'accueil :  
Unité AGPF, INRA).

Soutenue le 29-11-2013 à l'Université d'Orléans.

### Résumé

La forte variation climatique, notamment de la température qui est associée à la distribution altitudinale de certains peuplements d'arbres forestiers peut induire des pressions de sélection divergentes favorisant l'expression de phénotypes différents en fonction de l'altitude. Cette thèse a pour objectif de déterminer si des adaptations locales existent et peuvent être mises en évidence dans un peuplement de mélèze (*Larix decidua* Mill.) distribué le long d'un gradient altitudinal situé dans les Alpes françaises, à proximité de Briançon. Quatre placettes d'environ 200 mélèzes ont été délimitées à 2300 m, 2000 m, 1700 m et 1350 m d'altitude le long de ce gradient. Une variabilité phénotypique significative a été observée entre ces niveaux altitudinaux pour la plupart des caractères étudiés : circonférence, hauteur de l'arbre, pourcentage d'aubier ainsi que pour toutes les variables microdensitométriques de cernes sauf une (la largeur de cerne). Une analyse de génétique des populations utilisant des marqueurs microsatellites a mis en évidence une faible influence de la dérive génétique sur la diversité génétique et une forte intensité de flux de gènes entre les différents niveaux altitudinaux étudiés. La différenciation génétique inter-altitudes a été estimée à l'aide d'une approche in-situ basée sur les données phénotypiques seules (PST) et comparée à la différenciation observée à l'aide des marqueurs microsatellites (FST). Cette analyse indique que l'hypothèse d'adaptations locales avec l'altitude peut être raisonnablement avancée pour les caractères de hauteur, circon-

### Abstract

*The strong climatic variation, in particular the temperature variation, which is associated with the altitudinal distribution of certain stands of forest trees, can induce different divergent selection pressure favoring altitude-dependent phenotype expression. The aim of the present thesis is to determine if local adaptation exists and can be identified in a European larch stand (*Larix decidua* Mill.) distributed along an altitudinal gradient located in the French Alps near Briançon. four plots of about 200 larches were delimited at 2300 m, 2000 m, 1700 m and 1350 m along this altitudinal gradient. A significant phenotypic variability was observed between these altitudinal levels for most characters studied: circumference, tree height, percentage of sapwood and for all the annual-ring microdensity variables except one (ring width). A population genetics analysis using microsatellite markers showed a small effect of genetic drift on the genetic diversity but an intensive gene flow between the altitudinal levels studied. The inter-altitudinal genetic differentiation was estimated using an in-situ approach based on phenotypic data only (PST) and compared with the differentiation observed by means of microsatellite markers (FST). This analysis indicates that the assumption of local adaptation with altitude can be reasonably proposed for the characters of height, circumference, percentage of sapwood and earlywood density. On the contrary, the local adaptation does not appear to be an acceptable assumption concerning characters such as ring width, ring surface area, latewood width and latewood density.*

férence, pourcentage d'aubier et densité du bois initial. Au contraire, l'adaptation locale n'apparaît pas comme une hypothèse acceptable pour les caractères de largeur de cerne, surface de cerne, largeur du bois final et densité du bois final.



### Publications

Nardin M, Musch B, Rousselle Y, Guérin V, Sanchez L, Rossi J-P, Gerber S, Marin S, Pâques LE, Rozenberg P (2015). *Annals of Forest Science* 72, 517.

Rossi JP, Nardin M, Godefroid M, Ruiz Diaz Bitez M, Sergent AS, Martinez-Meier A, Pâques L, Rozenberg P (2014). *Dissecting the space-time structure of tree-ring datasets using the partial triadic analysis. PLOS ONE* 9(9): e108332.

Plateforme  
Génobois

# Adib Ouayjan

## DENDROÉCOLOGIE ET GÉNÉTIQUE D'UNE POPULATION DE HÊTRE (*FAGUS SYLVATICA*) EN MARGE CHAUDE DE L'AIRE DE RÉPARTITION DE L'ESPÈCE

### *Dendroecology and genetics of a beech (*Fagus sylvatica*) population at the species' warm range margin*

Thèse de doctorat en Écologie évolutive, fonctionnelle et des communautés sous la direction de Arndt Hampe et de Didier Bert (Laboratoire d'accueil : UMR Biogeco, INRA et Université de Bordeaux).

Soutenue le 07-12-2017 à l'Université de Bordeaux.

#### Résumé

Pour les arbres forestiers résidant à des faibles latitudes, en marges chaudes de la distribution de l'espèce, le réchauffement climatique et le stress dû au changement de l'équilibre hydrique devraient entraîner une réduction de la croissance et de la reproduction des arbres, et une augmentation de la mortalité. Ce travail a porté sur la structure démographique et génétique d'une population naturelle de hêtre (*Fagus sylvatica*) située dans un refuge climatique dans le sud-ouest de la France. Cette population persiste depuis la dernière période glaciaire sur les pentes des gorges karstiques d'une rivière, le Ciron (Gironde). L'objectif était de mieux comprendre comment cette population a réussi à persister malgré les changements climatiques importants qui se sont produits et comment elle pourrait répondre au réchauffement climatique en cours. Le premier chapitre de thèse évalue la structure et la diversité génétique de l'ensemble de la population d'arbres adultes ( $n = 932$ ) afin d'inférer son histoire postglaciaire. La population se compose de deux clusters génétiques avec différents niveaux de diversité, suggérant une population locale ancienne qui aurait été successivement colonisée par des génotypes immigrants. Le deuxième chapitre de la thèse étudie le système d'appariement et les mouvements du pollen au sein de la population, en analysant les graines issues d'arbres mères sélectionnées ( $n = 30$ ) tout le long de la population. L'étude montre que les croisements entre proches voisins génétiquement apparentés prédominent, générant une structure génétique spatiale très forte. Ce phénomène permet d'expliquer le brassage lent des deux clusters génétiques

#### Abstract

Modern climate change is expected to cause a decline of forest tree populations that reside at the current low-latitude margin of species' ranges. Warming and a changing water balance stress are expected to result in reduced tree growth and reproduction and increasing mortality. This doctorate thesis investigates the demographic and genetic structure of a natural beech (*Fagus sylvatica*) population located in a climate refugium at the species' xeric range margin in SW France. This population persists on the slopes of a karstic canyon along the Ciron River (Gironde), a place that already harboured beech during the past glacial period. The overall goal of the present thesis is to better understand how this refugial population has managed to persist through past climate changes and how it responds to recent global warming. The first thesis chapter assesses the genetic structure and diversity of the entire adult tree population ( $n = 932$ ) to infer its postglacial history. The study reveals that the stand consists of two genetic clusters with different levels of diversity, which are likely to reflect an ancient local population that is successively being colonized by immigrant genotypes. The second thesis chapter investigates the mating system and patterns of pollen movement within the population by analysing seed progenies from selected mother trees ( $n = 30$ ). It shows that predominant mating between genetically related neighbours has resulted in a very strong spatial genetic structure, a phenomenon that helps explain the observed slow admixture of the two genetic clusters present in the population. The third thesis chapter performs an extensive dendroecological analysis

présents dans la population. Le troisième chapitre de la thèse consiste en une analyse dendroécologique basée sur un tiers de la population adulte de hêtres ( $n = 317$ ), plus 79 chênes pédonculés (*Quercus robur*) échantillonnés pour comparaison. Les études sur les cernes annuels et la modélisation basée sur les projections climatiques révèlent que la croissance du hêtre a été relativement peu affectée par des conditions climatiques de plus en plus sèches. Une forte augmentation de la croissance radiale a été démontrée pour le hêtre entre 1860 et 1920 qui a atteint un plateau plus tard. Ensuite, la croissance a légèrement diminué depuis les années 1980. Cette croissance pourra toutefois se maintenir à l'avenir d'après les scénarios climatiques futurs de la région. En outre, les analyses à des échelles fines, y compris à l'aide d'isotopes, montrent une grande hétérogénéité de performance entre les arbres en terme de croissance et d'efficacité d'utilisation d'eau. Cela s'explique en partie par la topographie locale de la vallée refuge, et pourrait également être influencé, dans une faible mesure, par le génotype des arbres. La combinaison de deux approches (dendroécologie et écologie moléculaire) a permis d'obtenir de meilleures connaissances sur cette population particulière de hêtres dans la vallée du Ciron et sur sa performance dans un environnement abiotique contraignant. Ces données seront précieuses pour la conservation et la gestion de cette population et d'autres populations d'arbres forestiers confrontées à un climat en évolution rapide.

based on a third of the adult beech population ( $n = 317$ ), plus 79 Pedunculate oaks (*Quercus robur*) sampled for comparison. Tree-ring studies and modeling based on climate projections reveal that beech growth has been so far relatively slightly affected in an increasingly xeric climate conditions. A strong increase in radial growth has been shown for beech between 1860 and 1920 that ceased later on. Then growth has declined imperceptibly since the 1980s without showing any accentuated decreasing according to the future climate scenarios data of the region. Fine-scale analyses including carbon stable isotopes show great among-tree heterogeneity in performance (in terms of growth and water use efficiency) that is partly driven by the fine-scale topography of the refugial habitat and might also be influenced to a small extent by the tree genotype. Its combination of dendroecological and molecular ecological research approaches has enabled the thesis to attain important insights into the special character of the Ciron beech population and its performance within a constraining abiotic environment. Such insights represent valuable background information for the conservation and management of this and other refugial forest tree populations in a rapidly changing climate.



#### Publication

Ouayjan A, Hampe A (2018). Extensive sib-mating in a refugial population of beech (*Fagus sylvatica*) growing along a lowland river. *Forest Ecology and Management* 407, 66-74.

Plateforme  
PGTB, Génobois

# Idelette Plazanet

## ETUDE DE LA FORMATION DU DURAMEN CHEZ LE DOUGLAS : APPROCHES BIOCHIMIQUE ET TRANSCRIPTOMIQUE

### *Study of the Douglas-fir heartwood formation: biochemical and transcriptomic approaches*

**Thèse de doctorat en Biosciences de l'environnement et de la santé sous la direction de Guy Costaet de Philippe Label (Laboratoire d'accueil : Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles, Université de Limoges).**

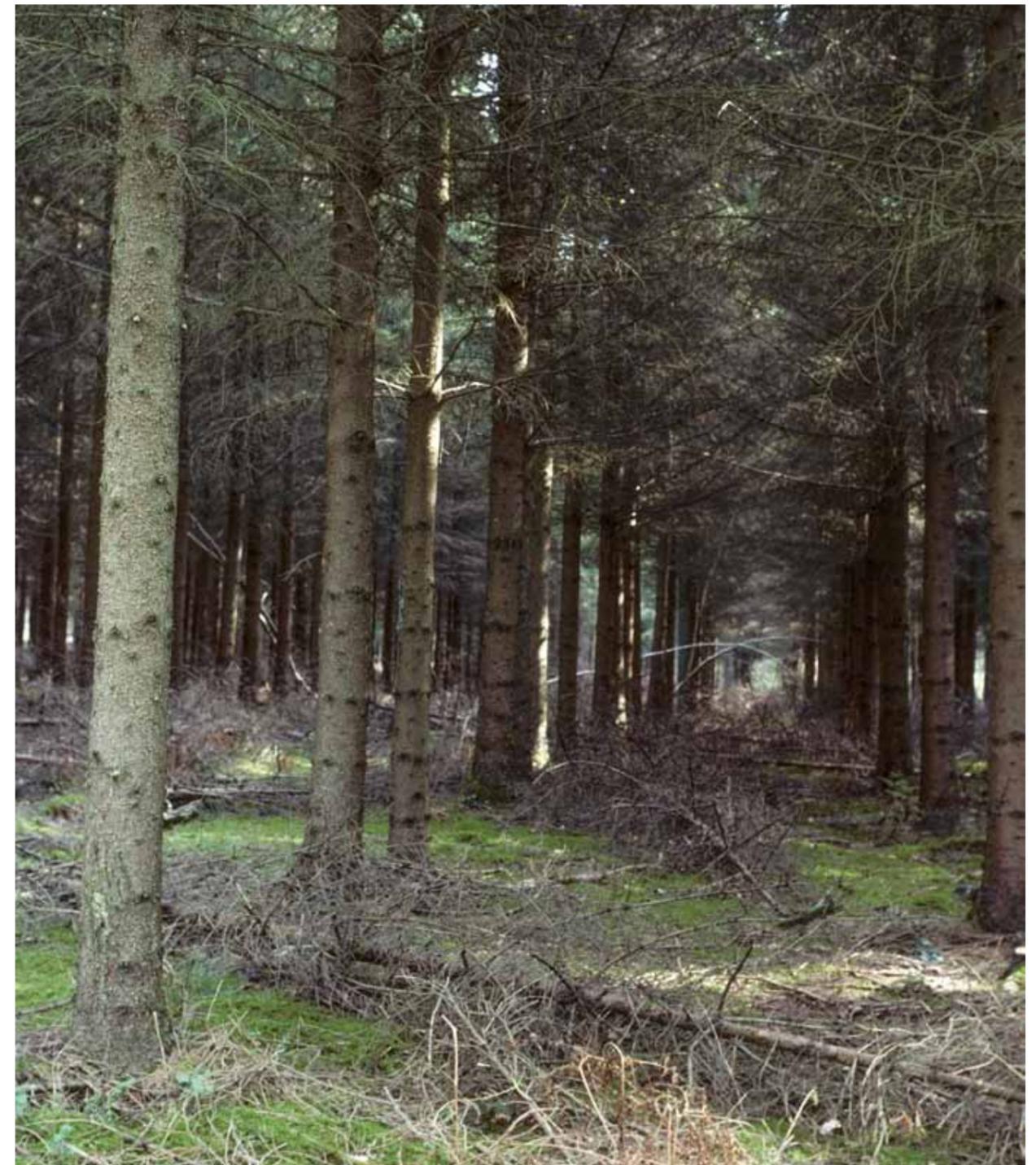
Soutenue le 24-11-2016 à l'Université de Limoges.

#### Résumé

La formation du duramen est un processus physiologique clé impliqué dans la qualité du bois puisqu'il contribue notamment à sa durabilité naturelle. L'objectif de cette thèse est de comprendre les mécanismes mis en jeu lors de la formation du duramen chez le douglas. L'étude a été menée aux niveaux phénotypiques, biochimiques et moléculaires sur plusieurs génotypes de douglas. Des études phénotypiques, il ressort que la proportion de duramen serait sous influence génétique et très peu environnementale, et que l'expansion du bois de cœur se déroule principalement en automne-hiver. Afin de caractériser la composition biochimique du bois, une nouvelle méthode a été développée. Elle repose sur la dissolution du bois dans des liquides ioniques, les solutions obtenues sont ensuite immuno-marquées à l'aide d'anticorps dirigés contre des épitopes de polymères pariétaux. Cette méthode a permis d'observer l'évolution, cerne par cerne, de la composition pariétale du bois de l'aubier externe au cœur du duramen. Certains polymères sont plus abondants dans l'aubier (arabinanes), tandis que d'autres dans le duramen (pectines, xylanes et galactanes). En parallèle, les gènes impliqués dans la formation du duramen ont été étudiés par RNA-Seq à partir de douglas appartenant à un seul génotype et abattus en hiver. Les résultats montrent que des gènes codant des facteurs de transcription, des protéines de défense, des enzymes de la voie de biosynthèse des phénylpropanoïdes et des enzymes impliquées dans le remodelage de la paroi sont surexprimés dans la zone de transition par rapport à l'aubier. Des hormones, l'éthylène et le jasmonate notamment, semblent jouer un rôle important dans la maturation de l'aubier.

#### Abstract

*The heartwood formation is a key physiological process involved in wood quality because it contributes to its natural durability. The goal of this thesis is to understand mechanisms involved in the heartwood formation in douglas fir. This study has been carried out at phenotypic, biochemical and molecular levels from several douglas-fir genotypes. Thanks to phenotypic analysis, we showed that heartwood proportion is probably under genetic control, and little influenced by the environment. In douglas fir, heartwood expansion mainly occurs during autumn and winter. To characterize the biochemical composition of wood, a new method has been developed. The method implies the wood dissolution in ionic liquid, the solution obtained are then analyzed by immunodetection with monoclonal antibodies against plant cell wall glycan epitopes. Thanks to this method, the wood cell wall composition has been studied, ring-by-ring, from the outer sapwood to the inner heartwood. Some polymers are more abundant in the sapwood (arabinans) while others in the heartwood (pectins, xylans and galactans). Then, genes involved in the heartwood formation have been studied by RNA-Seq from trees belonging to one genotype sampled during winter. Results show that genes encoding transcription factors, defence related proteins, enzymes involved in phenylpropanoid biosynthesis and plant cell wall modification are upregulated in transition zone compared to sapwood. Hormones, ethylene and jasmonate especially, seem to play an important role during sapwood maturation.*



#### Publications

Costa G, Plazanet I (2016). Plant cell wall, a challenge for its characterisation. *Advances in Biological Chemistry* 6, 70-105.

Plazanet I, Zerrouki R, Lhernould S, Breton C, Costa G (2015). Direct immunological detection of wood cell wall polysaccharides after microwave-assisted ionic liquid disruption. *Journal of Glycobiology* 4, 1.

Plazanet I, Zerrouki R, Montplaisir D, Gady C, Boens B, Costa G (2018). Effect of ionic liquids on dissolution and identification of wood polysaccharides. *Annals of Glycomics and Lipidomics Research AGL-101*.

**Plateforme  
GénoBois**

# Jeanne Roignant

## BIOLOGIE DE DÉVELOPPEMENT DU BOIS EN RÉPONSE À DES SOLLICITATIONS MÉCANIQUES ENVIRONNEMENTALES

### *Integrative study of wind-induced flexure wood formation*

**Thèse de doctorat en Physiologie et Génétique Moléculaires sous la direction de Bruno Moulia et de Nathalie Leblanc-Fournier (Laboratoire d'accueil : UMR PIAF, INRA-Université Clermont-Auvergne).**

Soutenu(e) le 21-06-2018 à l'Université de Clermont-Ferrand.

#### Résumé

Les arbres ont la capacité de percevoir des sollicitations mécaniques quotidiennes dues au vent et d'acclimater leur croissance et leur développement en conséquence. Ce stress mécanique se traduit essentiellement par des flexions des organes, en particulier des branches et de la tige. Des études antérieures ont montré que la croissance en diamètre du peuplier était stimulée en réponse aux flexions mimant l'effet du vent. Cette augmentation de la croissance s'accompagne d'une modification de la nature du bois mis en place, qui a pu être observé chez quelques conifères et angiospermes, et nommé « bois de flexion ». Mais la caractérisation anatomique de ce bois a été peu approfondie, et les acteurs moléculaires de sa formation n'ont jamais été recherchés. De plus, dans la plupart de ces études les sollicitations mécaniques appliquées à la tige sont des flexions multidirectionnelles et d'intensité non contrôlée. Or, la déformation étant la variable physique perçue par la plante, il est nécessaire de contrôler l'amplitude de la flexion appliquée à la tige. Grâce à un dispositif expérimental original, nous avons appliqué des flexions unidirectionnelles sur de jeunes tiges de peupliers tout en contrôlant l'intensité des déformations appliquées. Cette étude a montré que la perception des déformations s'effectuait à une échelle locale, conduisant à une ovalisation de la tige. Nous avons pu également différencier le bois formé sous des déformations en tension, que nous avons nommé Tensile Flexure Wood, du bois formé sous des déformations en compression, que nous avons nommé Compressive Flexure Wood. Les analyses anatomiques et moléculaires montrent que l'intensité des déformations en valeur absolue ne suffit pas à expliquer toutes les réponses et que le signe (tension ou compression) de ces défor-

#### Abstract

*Trees have the ability to perceive daily mechanical stresses related to wind and to acclimate their growth and development accordingly. Wind essentially results in organs bending, in particular in branches and stem. Previous studies have shown that growth diameter of poplar stem increased in response to bending; mimicking wind mechanical effect. This growth increment goes along with a change in the structure of the wood formed under bending stimulation. This type of reaction wood has been described for some conifers and angiosperms species, and was called «flexure wood». Until now, its anatomical characteristics have been poorly described, and the molecular actors of its formation have never been investigated. In addition, in most of these previous studies the mechanical stresses applied to the stem were bidirectional bendings with an uncontrolled intensity. Because mechanical strains constitute the physical variable perceived by the plant, it appeared necessary to carefully control the bending amplitude applied to the stem. Thanks to an original experimental setup, we applied unidirectional bendings on young poplar stems, while controlling its intensity. This study showed that the strains are perceived at a local scale and that the secondary growth response was also local, leading to stem ovalization. We also distinguished the wood formed under tension we named "Tensile Flexure Wood" from the wood formed under compression we named "Compressive Flexure Wood". The anatomical and molecular analyzes show that the strain intensity in absolute value is not enough to explain all the answers and that the sign (tension or compression) of these strains also plays a role. In trees stimulated by more frequent unidirectional bendings, growth and cell differentiation are modulated even differently,*

mations joue également un rôle. Chez des arbres stimulés par des flexions unidirectionnelles plus fréquentes, la croissance et la différenciation cellulaire sont modulés encore différemment, notamment dans la zone en compression, apportant à la tige un bénéfice adaptatif face aux sollicitations suivantes. Le gène CLE12.2 appartenant à la famille des gènes CLAVATA, gènes impliqués dans les régulations méristématiques, a été montré mécanosensible. Une approche de génomique fonctionnelle du gène CLE12.2 par l'utilisation de plants transgéniques présentant une sous- ou une surexpression du gène nous a permis d'émettre l'hypothèse d'une implication du peptide CLE12.2 dans la régulation des voies de biosynthèse de la paroi cellulaire. Cette étude a permis de mettre en avant la complexité des mécanismes moléculaires impliqués dans la formation du bois et apporte de nouvelles connaissances pour la poursuite des études sur l'acclimatation des arbres au vent.

*especially in the area under compression, bringing to the stem an adaptive benefit to the following solicitations. The CLE12.2 gene, which belongs to the CLAVATA gene family involved in meristematic regulation, has been shown to be mechanosensitive. Functional analysis of the CLE12.2 gene in transgenic plants with under- or overexpression of the gene allowed us to hypothesize that the CLE12.2 peptide is involved in the regulation of the cell-wall biosynthesis pathways. This work highlighted the complexity of the molecular mechanisms involved in wood formation and brings new knowledge for further studies on trees acclimation to wind.*



#### Publication

Roignant J, Badel É, Leblanc-Fournier N, Brunel-Michac N, Ruelle J, Moulia B, Decourteix M (2018). Feeling stretched or compressed? The multiple mechanosensitive responses of wood formation to bending. *Annals of Botany* 121, 1151-1161.

#### Plateforme Génobois

# Manuela Ruiz Diaz Britez

## ADAPTATION DU DOUGLAS (*PSEUDOTSUGA MENZIESII* (MIRB.) FRANCO) AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES : ÉTUDE RÉTROSPECTIVE BASÉE SUR L'ANALYSE DES CERNES

*Adaptation of Douglas-fir (Pseudotsuga menziesii (MIRB.) Franco) to climate change: retrospective study based on annual-ring analysis*

Thèse de doctorat en Sciences forestières  
et du bois sous la direction de Philippe Rozenberg  
(Laboratoire d'accueil : Unité AGPF, INRA).

Soutenue le 20-12-2016 à l'Université de Paris.

### Résumé

La réponse des arbres à la sécheresse dépend de leur capacité d'adaptation. Nous avons identifié des proxys facilement mesurables de caractères adaptatifs impliqués dans la résistance à la sécheresse en comparant la microdensité du bois d'individus morts et survivants après la sécheresse de 2003. Les variables les plus discriminantes sont les densités moyennes de segments de haute et basse densité, la proportion du segment de haute densité et le coefficient de variation du segment de haute densité. Les arbres survivants ont toujours une densité plus élevée et des profils généralement plus hétérogènes. Si ces traits sont suffisamment variables génétiquement et héréditaires, alors des arbres plus résistants à la sécheresse pourraient être sélectionnés dans les populations d'amélioration et en forêt. Nos résultats suggèrent qu'une sélection pour la densité du bois du douglas se produit dans des environnements limités en eau. Cette sélection agit dans des directions différentes selon les régions. Nous avons ensuite évalué le potentiel d'adaptation à la sécheresse du douglas introduit en France. Il existe une grande variabilité des estimations d'héritabilité et d'AGCV entre variables, provenances, sites et, dans une faible mesure, entre cernes annuels. La plupart des variables possèdent des héritabilités élevées au moins pour certaines provenances dans certains sites. Les variables de la partie de faible densité du cerne ont des héritabilités et AGCV généralement plus élevées. Les variables de résistance à la sécheresse possédant à la fois une héritabilité et une AGCV élevées pourraient constituer de bons critères de sélection pour la résistance à la sécheresse. Les héritabilités des caractères semblent augmenter avec le caractère favorable

### Abstract

*Forest response to increased drought frequency caused by climatic warming relies on tree adaptive potential. We have identified easy-to-measure proxies of adaptive traits for resistance to drought. We have compared wood microdensity of dead and surviving trees after the 2003 heat wave in France. The most discriminating variables are the mean density of high and low-density segments, high-density proportion and coefficient of variation of the low-density segment. The wood of surviving trees is always denser and more heterogeneous. If these adaptive traits are variable and heritable, then it should be possible to select for improved resistance to drought in the breeding population as well as in natural regeneration. Our results also suggest that directional selection is taking place in water-stressed environments. The direction is variable in different regions. Next, we estimate the evolutionary potential of introduced Douglas-fir populations in France. It differs depending on the magnitude of the genetic variation and on the heritability of the traits. The heritability and the genetic variation are highly variable among provenances, sites and, to a much lower extent, annual rings. Most variables have moderate to high heritability for at least some provenances in some sites. Some traits, especially those for annual rings, tend to have higher heritability and genetic variation. The variables having both high heritability and genetic variation are good candidates for tree breeding. The significant between-site variation indicates that heritability increases with site quality. The estimates are also significantly different among provenances, with a strong provenance  $\times$  site interaction. Conversely there is little variation among annual-rings. In the last part, we take*

du milieu, sauf pour les différences entre cernes. Dans la dernière partie de la thèse, nous avons tenu compte de la variation associée aux cernes de croissance pour étudier les relations entre les estimations annuelles de paramètres génétiques et des variables climatiques et édaphiques. Les estimations d'héritabilité et de variation génétique de la plupart des variables de microdensité sont corrélées significativement avec la plupart des variables environnementales testées. Ces relations significatives sont variables entre caractères, sites et provenances. Les prédicteurs climatiques les plus importants sont la température, l'évapotranspiration, la réserve en eau du sol et le déficit en eau. Les précipitations affectent peu l'estimation des paramètres génétiques. De façon générale, meilleures sont les conditions de croissance, plus élevées sont les estimations.

*advantage of the annual-ring variation to study the relationships between genetic parameters and climatic and soil variables. The heritability and genetic variation estimates of most variables depend on the environment. The relationships are very variable among traits, provenances and sites. The most important predictors are temperature, evapotranspiration, soil water reserve and water deficit, with only a small influence of rainfall. Generally, the better the growing conditions, the higher the estimates.*



### Publications

Rossi JP, Nardin M, Godefroid M, Ruiz Diaz Britez M, Sergent AS, Martinez-Meier A, Pâques L, Rozenberg P (2014). Dissecting the space-time structure of tree-ring datasets using the partial triadic analysis. *PLOS ONE* 9(9): e108332.

Ruiz Diaz Britez M, Sergent A-S, Martinez Meier A, Bréda N, Rozenberg P (2014). Wood density proxies of adaptive traits linked with resistance to drought in Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). *Trees* 28, 1289-1304.

Plateforme  
Génobois

# Morgane Urli

## RÉPONSE DES ARBRES FORESTIERS AUX CHANGEMENTS GLOBAUX : APPROCHES BIOGÉOGRAPHIQUE ET ÉCOPHYSIOLOGIQUE

*Responses of tree species to global change:  
biogeographic and ecophysiological approaches*

Thèse de doctorat en Ecologie évolutive, fonctionnelle et des communautés, sous la direction d'Antoine Kremer et d'Annabel Porté (Laboratoire d'accueil : UMR Biogeco, INRA et Université de Bordeaux).

Soutenue le 15-02-2013 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

Les aires de répartition des arbres pourraient être grandement affectées par le changement climatique. Les résultats d'analyses paléogéographiques ont montré que ces dernières se sont déjà déplacées avec les variations passées du climat. Ces études ont permis de déterminer la direction et la vitesse de migration des espèces, données utilisées actuellement pour générer des prédictions sur l'évolution de l'aire de répartition des espèces forestières en réponse au réchauffement du climat. Cependant, le contexte écologique dans lequel les arbres font face à ces changements est très différent par rapport aux changements climatiques passés : l'augmentation actuelle des températures est plus rapide, les surfaces susceptibles d'être colonisées sont occupées par des écosystèmes très différents et variés (forêts, surfaces agricoles, zones urbaines). Par conséquent, les arbres pourront-ils faire face à la rapidité des changements globaux actuels ? Auront-ils la capacité de migrer pour trouver des conditions plus favorables ou pourront-ils s'adapter et survivre à de nouvelles conditions environnementales ? Dans un premier temps, l'analyse de données historiques (plans d'aménagements de l'Office Nationale des Forêts et Inventaires Forestiers Espagnols) a permis de mettre en évidence des événements de colonisation et d'extirpation et de quantifier la vitesse de migration de populations situées au cœur ou aux marges de leur aire de répartition. Une colonisation massive de *Quercus ilex* dans les dunes boisées atlantiques (limite Nord d'aire de répartition) a été mise en évidence au cours des 130 dernières années, confirmant les tendances prédites par les modèles. Cependant, les vitesses de colonisation de cette espèce restent bien inférieures aux déplacements

### Abstract

*Tree distribution could be highly affected by climate change. Results of paleogeographic studies showed that tree distribution ranges have already shifted with past climate changes. These data are currently used to model the evolution of species distribution in response to global warming. However, the ecological context in which species have to cope with climate change is very different than the past one: the current increase of temperature occurs faster than the past global warming, the areas being likely colonized are covered by various ecosystems (forests, agricultural surfaces, urban areas). So will tree species be able to cope with the current global change? Will they be able to migrate to find more favourable conditions or to survive to drier environmental conditions? Firstly, the analysis of historical data (French National Forest Office and Spanish National Forest Inventories) allowed determining colonization and extirpation events, and quantifying migration rates of tree species populations situated at the edges or the core of their distribution range. We evidenced that *Quercus ilex* has substantially colonized new areas at its northern margin during the last 130 years, confirming the model trends. However, the colonization rates of *Q. ilex* are much lower than the shift of its bioclimate predicted by bioclimatic models. Species located at their rear edge showed higher upward shifts than other species located at the core of their range. To conclude, our results showed that global change have already impacted tree distribution although a time-lag between forest species migration responses and their bioclimate shift. Water stress is the main factor explaining tree dieback when water is limited and so particularly at the warm limit of tree*

de son bioclimat estimés à partir de modèles de niche. Les espèces localisées en limite Sud d'aire de répartition présentent des remontées altitudinales plus importantes que pour celles situées au cœur de leur aire. En conclusion, nos résultats montrent que les changements globaux ont déjà impactés la répartition des arbres malgré l'existence d'un décalage temporel entre les réponses migratoires des espèces forestières et le déplacement de leur bioclimat. Le stress hydrique est le facteur prépondérant pouvant expliquer le dépérissement des arbres dans un milieu dont la disponibilité en eau est limitée, notamment en marge chaude d'aire de répartition. Nous avons, par conséquent, étudié la résistance à la sécheresse et ses mécanismes chez les plusieurs espèces d'Angiospermes. Nos résultats montrent qu'un seuil de 90% d'embolie mène à des dommages physiologiques irréversibles de la plante et à la mort par déshydratation. Ce seuil est considérablement plus élevé que celui précédemment observé chez les conifères. L'étude du fonctionnement hydraulique d'espèces de chênes co-occurentes nous a permis de montrer que la survie de *Q. robur* pourrait être menacée dans les forêts atlantiques dans un contexte de sécheresses de plus en plus intenses car il y a des taux d'embolie native élevés. Au contraire, *Q. ilex* présente des taux d'embolie négligeables sur ce même site d'étude. Les vitesses réelles de migrations constituent des données empiriques essentielles qui nous renseignent sur les capacités migratoires effectives des arbres. Elles pourront être intégrées dans les modèles de répartition, tout comme les seuils d'embolie induisant la mort des arbres.

### Publications

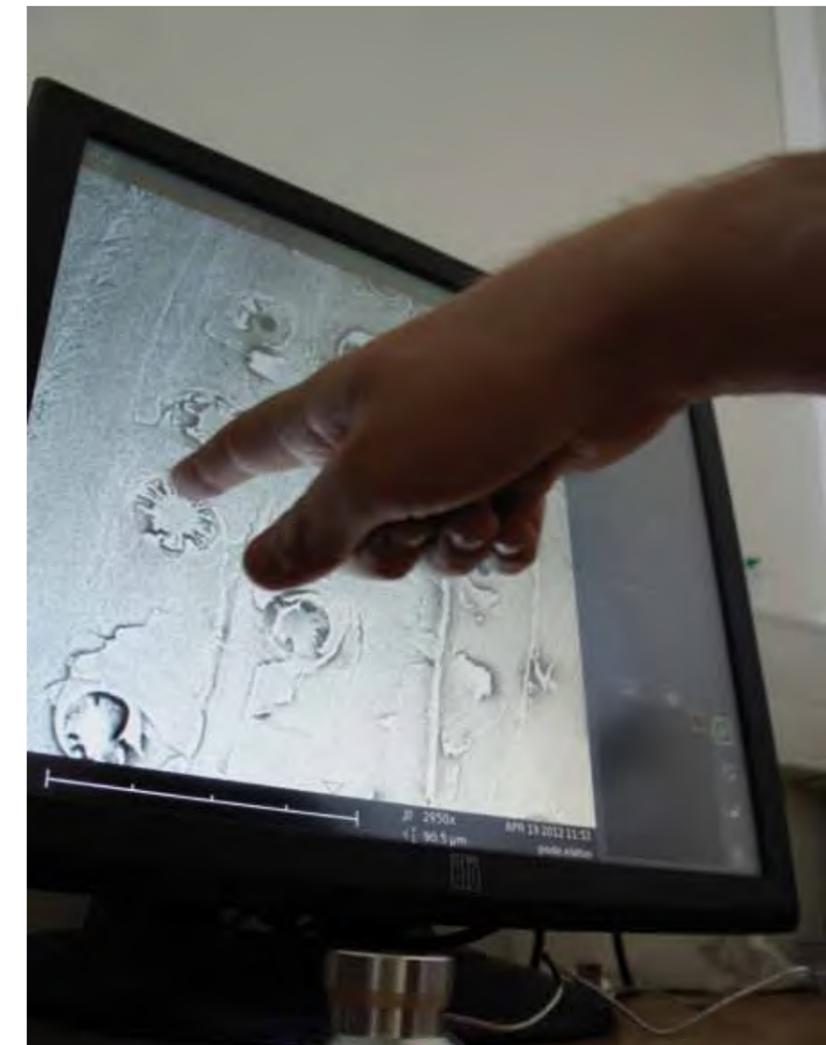
Delzon S, Urli M, Samalens J-C, Lamy J-B, Lischke H, Sin F, Zimmermann NE, Porté AJ (2013). Field evidence of colonisation by Holm oak at the northern margin of its distribution range during the Anthropocene period. *PLoS ONE* 8, e80443.

Urli M, Porté AJ, Cochard H, Guengant Y, Burrett R, Delzon S (2013). Xylem embolism threshold for catastrophic hydraulic failure in angiosperm trees. *Tree Physiology* 33, 672–683.

Urli M, Delzon S, Eyermann A, Couallier V, Garcia Valdés R, Zavala MA, Porté AJ (2014). Inferring shifts in tree species distribution using asymmetric distribution curves: a case study in the Iberian mountains. *Journal of Vegetation Science* 25, 147–159.

Urli M, Lamy J-B, Sin F, Burrett R, Delzon S, Porté AJ (2014). The high vulnerability of *Quercus robur* to drought at its southern margin paves the way for *Quercus ilex*. *Plant Ecology* 216, 177–187.

*species distribution range. Therefore, we studied drought resistance and its mechanisms in angiosperm tree species. Our results showed that embolism threshold of 90% leads to irreversible damages and tree death by dehydration. This threshold is considerably higher than the observed in Conifers. The study of hydraulic functioning of co-occurring oaks showed that the survival of *Q. robur* could be threatened in the context of increasing drought in the Atlantic forests because of its functioning at high levels of embolism. On the contrary, *Q. ilex* presented negligible levels of embolism in the same study area. The migration rates form primordial empirical data that give us information about tree effective migration abilities. They could be integrated within vegetation distribution models as well as embolism thresholds leading to tree mortality.*



# Stefanie Wagner

## L'HISTOIRE DU MÉLÈZE D'EUROPE (*LARIX DECIDUA* MILL.)

### *History of the European larch (Larix decidua Mill.)*

**Thèse de doctorat en Ecologie évolutive, fonctionnelle et des communautés sous la direction de Rémy Petit, Sophie Gerber et Thomas Litt (Laboratoire d'accueil : UMR Biogeco, INRA et Université de Bordeaux).**

Soutenue le 24-07-2013 à l'Université de Bordeaux, en co-tutelle avec l'Université de Bonn..

#### Résumé

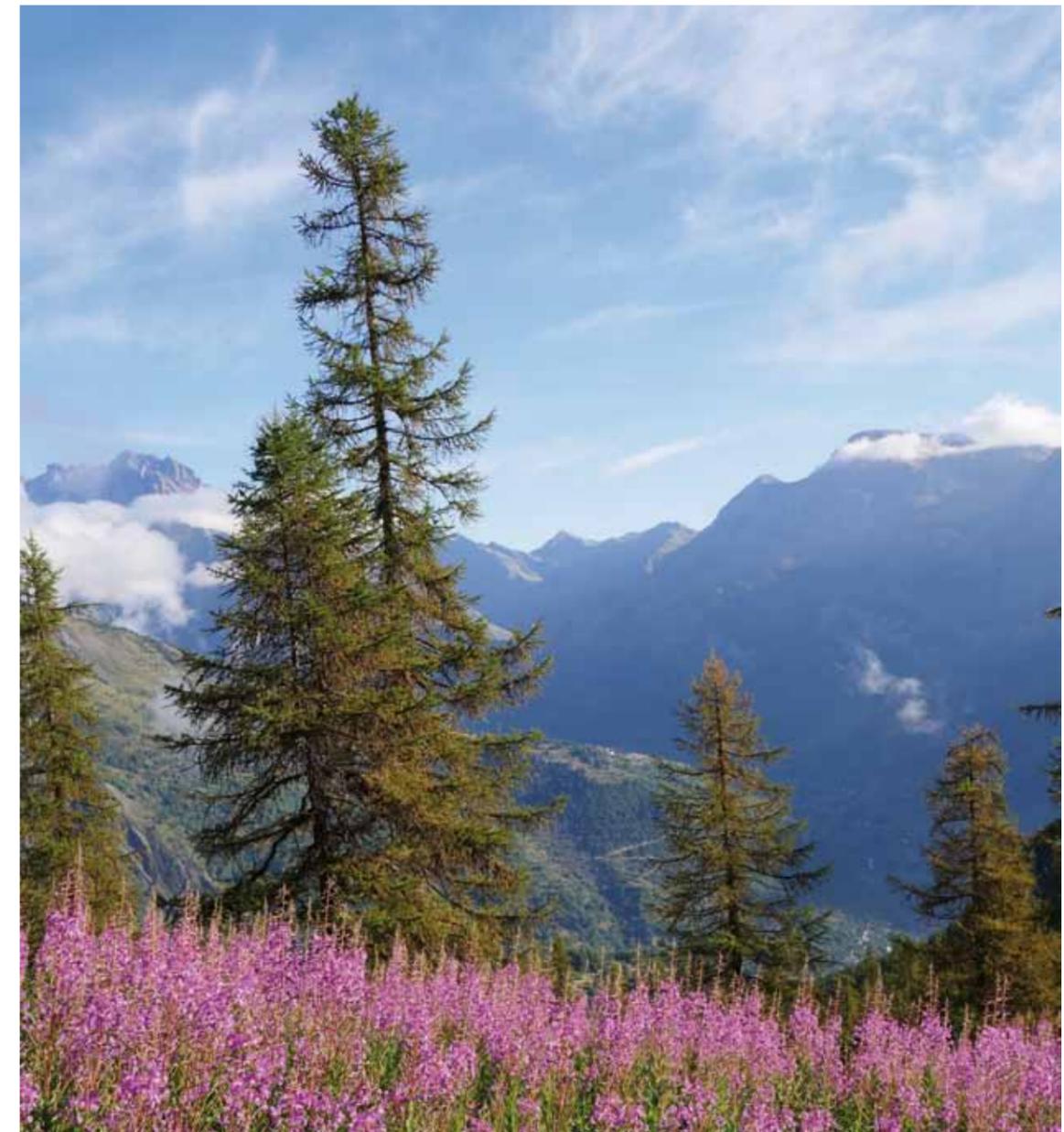
Je me suis intéressée aux conséquences sur les populations de mélèze d'Europe (*Larix decidua* Mill) des changements climatiques passés mais aussi des translocations par les humains, en intégrant des données paléocologiques et génétiques. Une telle étude rétrospective permet d'évaluer les conséquences possibles des changements globaux. Les conséquences sur les forêts de plantations récentes ou d'événements climatiques brusques de la dernière période glaciaire ont été rarement étudiés. J'ai utilisé des reconstructions précises de la dynamique de végétation depuis le dernier épisode interglaciaire/glaciaire (130 000 ans). Pour l'analyse génétique, j'ai mis au point des microsatellites très polymorphes avec lesquels j'ai analysé un échantillon de 45 populations provenant de l'ensemble de l'aire de répartition actuelle du mélèze. J'ai analysé ces données de polymorphisme génétique nucléaire et des données de polymorphisme mitochondrial afin d'établir des cartes de référence de la diversité génétique naturelle permettant de distinguer la signature de translocations récentes. Les résultats montrent que le mélèze a été massivement planté, créant des mélanges entre des populations locales et d'autres issues de l'ensemble de l'aire de répartition. Les événements de translocation sont particulièrement fréquents en Pologne, en Slovaquie et au Tchéquie, où le mélèze est réparti de façon plus fragmentée que dans les Alpes. Ainsi, certaines des populations de mélèzes apparaissent sérieusement menacées par les translocations. Le mélèze a peu changé d'aire de distribution pendant le dernier cycle interglaciaire/glaciaire. L'amplitude de répartition de l'espèce a été maximale pendant le premier interstade Weichsélien (87 000 – 109 000 ans) quand le mélèze a contribué à établir les forêts boréales des plaines européennes du nord et du centre. Les réponses aux événements climatiques brefs (événements Dansgaard-Oeschger et Heinrich) ont été extrêmement

#### Abstract

*This thesis focuses on the consequences of past climate and anthropogenic changes on populations of the European larch by integrating palaeoecological and genetic data. Such retrospective approaches help evaluate possible impacts of ongoing changes. Previous studies had focused mostly on postglacial recolonization. Effects of more rapid changes on forests, including those caused by recent plantations or by abrupt climatic events, have been largely neglected. In this study high resolution genetic data and precise vegetation records correlated with high-resolution climate records of the last interglacial/glacial cycle (130,000 years) were used to document long-term and short-term events that impacted the history of European larch. For the genetic analysis, highly informative nuclear markers (microsatellites) were designed and applied on a range-wide sample of 45 modern larch populations. Together with mitochondrial DNA population data, this helped identify recent translocations. The results show that larch was planted extensively, generating admixture between native and non-native populations originating from across the range. Translocation events were particularly frequent in Poland, Slovakia and the Czech Republic where larch has a more scattered distribution compared to the Alps. Some genetically original populations are threatened by translocations. The palaeoecological results show that larch persisted close to its modern distribution throughout the last interglacial/glacial cycle but that its range was highly dynamic and in equilibrium with both long-term and short-term climate events, in line with the pioneer character of the species. The species range was most widespread during the first early Weichselian interstadial when larch built boreal forests in the north-central European lowlands (87,000 – 109,000 years ago). Responses to short-term climate events (Dansgaard-Oeschger*

rapides. Sept refuges correspondant aux derniers maxima glaciaires ont été identifiés en utilisant les données fossiles et génétiques. Notre approche nous a permis d'identifier des voies de recolonisation et de mettre en évidence des cas d'admixture entre lignées différentes, illustrant la puissance de l'approche consistant à associer la génétique des populations et la paléocologie.

*cycles, Heinrich Events) were extremely rapid. Seven Last Glacial Maximum (LGM) refuges were detected using fossils and genetic data. This made it possible to identify recolonization pathways and concomitant introgression and homogenisation, highlighting the power of the joint population genetic and palaeoecological perspective.*



#### Publications

Wagner S, Gerber S, Petit RJ (2012). Two highly informative dinucleotide SSR multiplexes for the conifer *Larix decidua* (European larch). *Molecular Ecology Resources* 12, 717-725.

Wagner S, Liepelt S, Gerber S, Petit RJ (2015). Within-range translocations and their consequences in European larch. *PLoS ONE* 10, e0127516.

Wagner S, Litt T, Sánchez-Gómez M-F, Petit RJ (2015). History of *Larix decidua* Mill. (European larch) since 130 ka. *Quaternary Science Reviews* 124, 224-247.

#### Prix

Cette thèse a reçu lors de la journée Thèse des Bois 2014 le prix Jean Lesbats/ Xylofutur 2014.

#### Plateforme PGTB

# Qiuchi (Océane) Wan

## DIVERGENCE ÉVOLUTIVE DANS LE GENRE *PLATYCARYA* (JUGLANDACEAE) ET SES IMPLICATIONS POUR LA DYNAMIQUE PASSÉE DE CET ARBRE FORESTIER EN CHINE SUBTROPICALE

*Genetic divergence within the monotypic tree genus Platycarya (Juglandaceae) and its implications for species' past dynamics in subtropical China*

Thèse de doctorat sous la direction de Zhuo Zheng (Laboratoires d'accueil : School of Earth Science and Geological Engineering, Université Sun Yat-sen, et UMR Biogeco, INRA et Université de Bordeaux).

Soutenue en novembre 2016 à l'Université Sun Yat-sen de Guangzhou (Chine).

### Résumé

L'Asie orientale subtropicale est caractérisée par une très grande richesse botanique souvent attribuée à la spéciation allopatrique dans cette région accidentée dont le climat est resté relativement stable durant le Quaternaire. Cette thèse a porté sur le genre *Platycarya*, largement distribué en Asie subtropicale, et s'est intéressée aux conséquences de la stabilité climatique passée de la région sur l'histoire évolutive de l'espèce. Le genre *Platycarya* a une taxonomie controversée: bien qu'actuellement considéré comme étant monotypique, deux espèces avaient été décrites à l'origine, *Platycarya strobilacea* et *P. longipes*. Des données issues de modèles de niche climatique et de l'analyse de pollen fossiles et d'ADN chloroplastique ont été intégrées avec des données d'ADN génomique pour chacune des deux espèces. En particulier, des séquences d'espaces intergénomiques de l'ADNcp (*psbA-trnH* et *trnL-F*, incluant une séquence génique partielle de *trnL*) et des marqueurs nucléaires ont été utilisées. Ceux-ci incluent des séquences de l'espaceur intergénomique (ITS1–5.8S–ITS2) de l'ADN ribosomique et des SNP (single nucleotide polymorphisms) répartis sur tout le génome. Les marqueurs nucléaires ont permis de mettre en évidence une divergence génétique forte entre les deux espèces, confirmant leur réalité. Cette divergence entre espèces est associée à une divergence intraspécifique impor-

### Abstract

Subtropical East Asia harbours a large plant diversity that is often attributed to allopatric speciation in this topographically complex region characterized by a relative climate stability. Here, we use observations of *Platycarya*, a widespread subtropical Asian tree genus, to explore the consequences of past climate stability on species' evolutionary history in subtropical China. This genus has a controversial taxonomy: while it is now prevalently treated as monotypic, two species have been originally described, *Platycarya strobilacea* and *P. longipes*. Previous information from species distribution models, fossil pollen data and genetic data based on chloroplast DNA (cpDNA) were integrated with newly obtained genetic data from the two putative species. We used both cpDNA (*psbA-trnH* and *trnL-F* intergenic spacers, including a partial *trnL* gene sequence) and nuclear markers. The latter included sequences of the internal transcribed spacer region (ITS1–5.8S–ITS2) of the nuclear ribosomal DNA and random genomic single nucleotide polymorphisms. Using these nuclear genetic markers, we found interspecific genetic divergence fitting with the 'two species' scenario and geographically structured intraspecific variation. Using cpDNA markers, we also found geographically structured intraspecific variation. Despite deep inter- and intraspecific genetic divergence, we detected genetic admixture in southwest China. Overall, our

tante, retrouvée également avec les marqueurs chloroplastiques. Malgré la forte divergence entre espèces et entre régions au sein des espèces, des cas d'échanges entre espèces sont évidents dans le sud-ouest de la Chine. Ces résultats soutiennent l'hypothèse de spéciation allopatrique combiné à une dynamique évolutive complexe aboutissant à un contact secondaire entre les taxons nouvellement formés.

*findings of genetic divergence within Platycarya support the hypothesis of allopatric speciation. However, episodes of population interconnection were identified, at least in southwest China, suggesting that the genus has had a dynamic population history.*



### Publications

Wan Q, Zheng Z, Huang K, Guichoux E, Petit RJ (2017). Genetic divergence within the monotypic tree genus *Platycarya* (Juglandaceae) and its implications for species' past dynamics in subtropical China. *Tree genetics & genomes* 13(4), 73.

Wan Q, Zheng Z, Benito-Garzon M, Petit RJ (2018). Inconsistent interspecific and intraspecific differentiation of climate envelopes in a subtropical tree. *Journal of Plant Ecology* 12, 176–185.

Plateforme  
PGTB

# LISTE DES THÈSES EN COURS

## XYLOMIC

Clément Cuello

**VERS L'ÉLABORATION D'UN MODÈLE DE CONSTRUCTION DES PAROIS SECONDAIRES DES FIBRES DE BOIS DE PEUPLIER**

Thèse débutée le 01-10-2017 sous la direction d'Annabelle Déjardin à l'UMR BioForA.

Plateforme  
GénoBois



Tania FORT

**ÉCOLOGIE FONCTIONNELLE DES COMMUNAUTÉS MICROBIENNES D'ARBRES FORESTIERS**

Thèse débutée le 19-09-2016 sous la direction de Corinne Vacher à l'UMR Biogeco.

Plateforme  
PGTB

Agathe HUREL

**GÉNOMIQUE ÉCOLOGIQUE DE L'ADAPTATION LOCALE CHEZ LE PIN MARITIME**

Thèse débutée le 22-11-2016 sous la direction de Christophe Plomion et Santiago Gonzalez-Martinez à l'UMR Biogeco.

Plateforme  
PGTB

Arthur DEMENE

**ÉVOLUTION DES GÉNOMES ET MODES DE REPRODUCTION DE *CRYPTHONECTRIA PARASITICA*, L'AGENT CAUSAL DU CHANCRE DU CHÂTAIGNIER, DANS LE CONTEXTE D'UNE DOUBLE INTRODUCTION EN EUROPE**

Thèse débutée le 05-10-2016 sous la direction de Cyril Dutech à l'UMR Biogeco.

Plateforme  
PGTB

Clément LARUE

**POLLINISATION ET PRODUCTION FRUITIÈRE CHEZ LE CHÂTAIGNIER**

Thèse débutée le 29-05-2018 sous la direction de Rémy Petit à l'UMR Biogeco.

Plateforme  
PGTB



Iris LE RONCE

**DÉTERMINISME ENVIRONNEMENTAL DE LA REPRODUCTION PAR MASTING DES ARBRES ET IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE : LE CAS DU CHÊNE VERT**

Thèse débutée en 2018 sous la direction d'Isabelle Chuine et de Samuel Venner au CEFE-CNRS.

Plateforme  
GénoBois

Marylise MARCHAND

**BARRIÈRE ÉCOLOGIQUE À LA DISSÉMINATION DE L'ENCRE DU CHÂTAIGNIER**

Thèse débutée le 12-10-2018 sous la direction de Cécile Robin à l'UMR Biogeco.

Plateforme  
PGTB

## Charlie PAUVERT

*Learning microbial networks from NGS data: application to biocontrol*

Thèse débutée le 05-10-2016 sous la direction de Corinne Vacher à l'UMR Biogeco.

Plateforme  
PGTB

## Yanjun SONG

*Adaptation to drought and hydraulic traits*

Thèse débutée en 2019 sous la direction de Lourens Poorter à l'Université de Wageningen.

Plateforme  
Génobois

## Sylvain SCHMITT

**GÉNOMIQUE ÉCOLOGIQUE DE L'EXPLOITATION DE NICHE ET LA PERFORMANCE INDIVIDUELLE CHEZ LES ARBRES FORESTIERS TROPICAUX**

Thèse débutée le 14-09-2017 sous la direction de Myriam Heuertz et Bruno Herault à l'UMR Biogeco.

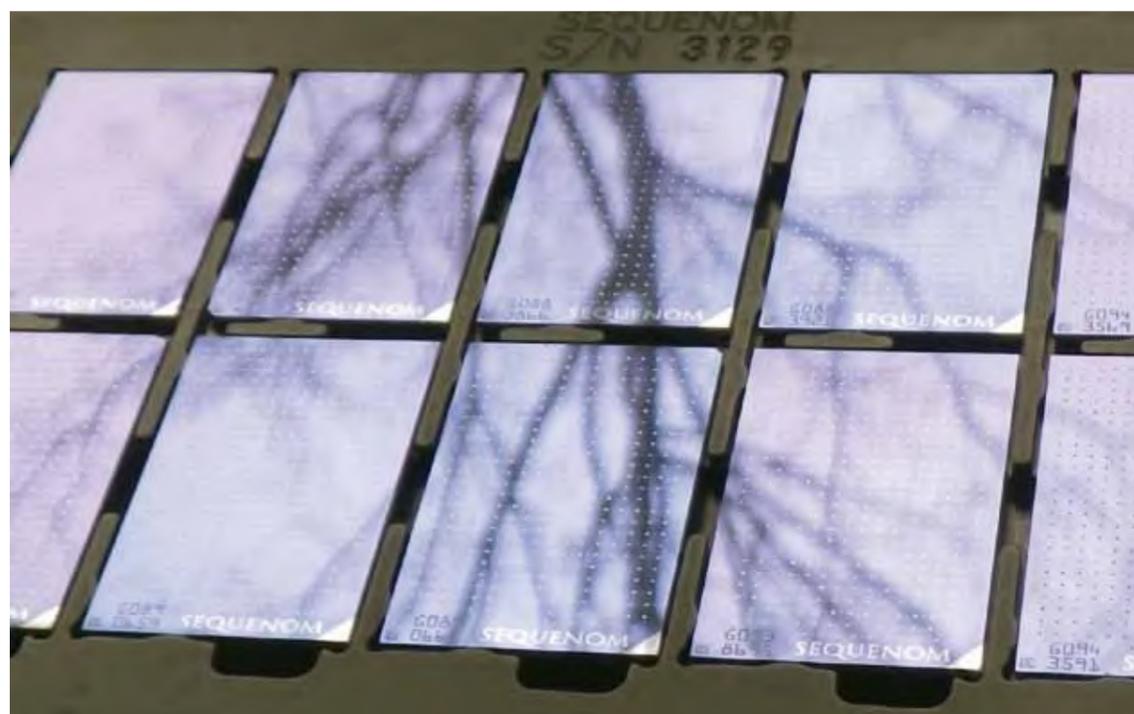
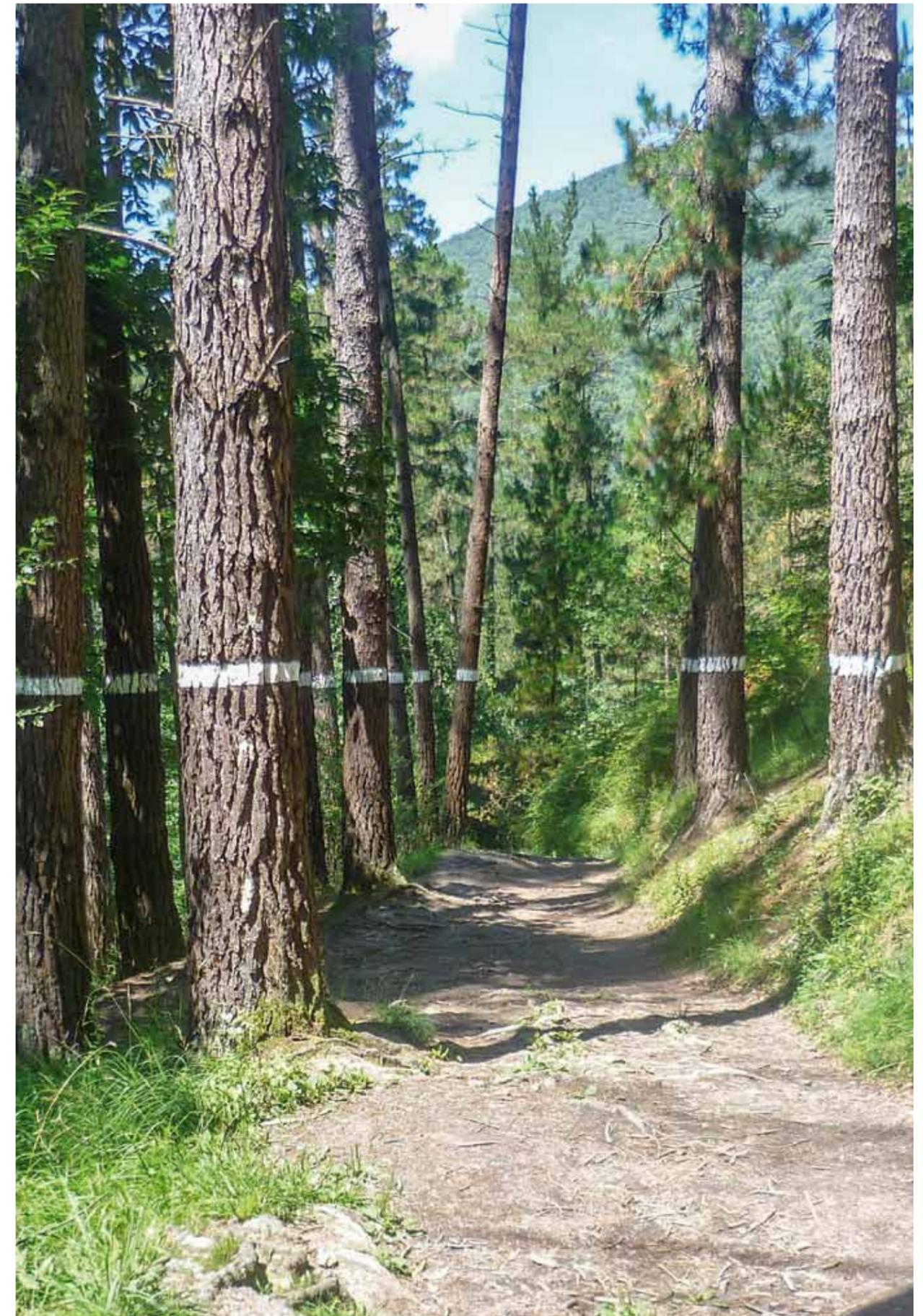
Plateforme  
PGTB

## Elena VALDES CORRECHE

**EFFETS DE LA STRUCTURE GÉNÉTIQUE DES PEUPELEMENTS SPONTANÉS DE CHÊNES SUR LA STRUCTURE DES COMMUNAUTÉS D'INSECTES ET LES DÉGÂTS ASSOCIÉS**

Thèse débutée le 16-02-2017 sous la direction de Arndt Hampe et Bastien Castagneyrol à l'UMR Biogeco.

Plateforme  
PGTB



# XYLOPLATE

## INGÉNIERIE AVANCÉE DU BOIS

**DÉVELOPPEMENT D'UNE MÉTHODE D'OPTIMISATION MULTIOBJECTIF POUR LA CONSTRUCTION BOIS : PRISE EN COMPTE DU CONFORT DES USAGERS, DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET DE LA SÉCURITÉ DE L'OUVRAGE** 124  
*Development of a multiobjective optimisation method for timber building: consideration of user comfort, environmental impact and structural safety*

**ÉTUDE DES OUVRAGES MAÇONNÉS EN PIERRE PAR LA MÉTHODE DES ÉLÉMENTS DISCRETS : CARACTÉRISATION ET MODÉLISATION DU COMPORTEMENT COHÉSIF DES JOINTS** 126  
*Study of stone masonry building with discrete element method: characterization and modeling of themortar joints cohesive behavior*

**INSTABILITÉS DES ÉLÉMENTS DE STRUCTURES EN BOIS EN ZONES SISMQUES (FLAMBEMENT, TORSION)** 128  
*Instability of wood-based structure components in seismic zones*

**DÉVELOPPEMENT D'UN NOUVEAU ÉCO-BÉTON À BASE DE SOL ET FIBRES VÉGÉTALES : ÉTUDE DU COMPORTEMENT MÉCANIQUE ET DE DURABILITÉ** 130  
*Development of a new eco-concrete based on soil and plant fibers: study of mechanical behavior and durability*

**COMPORTEMENT HYDROMÉCANIQUE D'ASSEMBLAGES BOIS COLLÉS À L'ÉTAT VERT : APPROCHES EXPÉRIMENTALE ET NUMÉRIQUE** 132  
*Hydromechanical behavior of green-glued laminated timbers*

**DÉVELOPPEMENT D'UN MODÈLE THERMOMÉCANIQUE DU COMPORTEMENT SOUS AGRESSIONS THERMIQUES DE MATÉRIAUX CELLULOSIQUES : APPLICATION À L'ÉTUDE DE RÉSISTANCE AU FEU DE PANNEAUX DE BLOC-PORTE EN AGGLOMÉRÉ DE BOIS** 134  
*Development of a thermomechanical model on behaviour of cellulosebased materials under high temperature*

**MODÉLISATION DE L'ENDOMMAGEMENT D'UN COMPOSITE 3D CARBONE/CARBONE : COMPORTEMENT À TEMPÉRATURE AMBIANTE** 136  
*Damage modeling of a 3D carbon/carbon composite: behavior at room temperature*

**ÉTUDE DE LA RUPTURE QUASI-FRAGILE D'UN BÉTON À L'ÉCHELLE MÉSCOSCOPIQUE : ASPECTS EXPÉRIMENTAUX ET MODÉLISATION** 138  
*Study of quasibrittle fracture of concrete at mesoscale: experimental aspects and modelling*

**UNE MODÉLISATION DE LA RÉSISTANCE EN FLEXION DU PIN MARITIME UTILISÉ EN CONSTRUCTION** 140  
*A modeling of timber bending strength in maritime pine*

**CARACTÉRISATION DU COMPORTEMENT DES ASSEMBLAGES PAR GOUJONS COLLÉS DANS LES STRUCTURES BOIS** 142  
*Characterisation of the behaviour of glued bolt joints in wooden structures*

**DÉVELOPPEMENT DE CONTREPLAQUÉS POUR LA CONSTRUCTION NAVALE : CARACTÉRISATION MULTIÉCHELLE ET COMPRÉHENSION DES PHÉNOMÈNES DE COLLAGE DU PIN MARITIME À L'ÉTAT VERT** 144  
*Plywood manufacture for the shipbuilding industry: multi-scale characterisation and understanding of wet maritime pine adhesion phenomena*

**CLASSIFICATION MULTICRITÈRE ET COLLAGE STRUCTURAL D'ESSENCES DE BOIS DU BASSIN DU CONGO, LIMITANT L'IMPACT SUR LA BIODIVERSITÉ** 146  
*Clustering for preservation of endangered timber species: application to the Congo basin forest*

**SIMULATION DE LA PROPAGATION DE FISSURES DANS UN MATÉRIAU QUASI-FRAGILE SOUMIS À DES VARIATIONS D'HUMIDITÉ RELATIVE SELON UNE APPROCHE DE ZONE COHÉSIVE : APPLICATION AU BOIS** 148  
*Simulation of time-dependent crack propagation in a quasi-brittle material under relative humidity variations based on cohesive zone approach: application to wood*

**FISSURATION EN MODES MIXTES DANS LE BOIS : DIAGNOSTIC ET ÉVALUATION DES MÉTHODES DE RENFORCEMENT LOCAL** 150  
*Cracking in mixed mode in wood: diagnosis and evaluation of reinforcement methods*

**SIMULATION DE LA PROPAGATION DE FISSURES DANS UN MATÉRIAU QUASI-FRAGILE SOUMIS À DES VARIATIONS D'HUMIDITÉ RELATIVE SELON UNE APPROCHE DE ZONE COHÉSIVE : APPLICATION AU BOIS** 152  
*Simulation of time-dependent crack propagation in a quasi-brittle material under relative humidity variations based on cohesive zone approach: application to wood*

**ÉTUDE DU COMPORTEMENT À LONG TERME DE SYSTÈMES D'ASSEMBLAGES PAR GOUJONS COLLÉS EN CONDITIONS CLIMATIQUES VARIABLES** 154  
*Study of the long term behavior of glued-in rod connections in variable climate conditions*

**FORMULATION ET CARACTÉRISATION PHYSIQUE D'UN BÉTON LÉGER DE MOUSSE ET À BASE D'ARGILE : VALORISATION DES SÉDIMENTS FINS DE DRAGAGE** 156  
*Mix design method and physics characterization of lightweight air-foam concrete using clay: valorization for dredged thin sediments*

**LISTE DES THÈSES EN COURS** 158



# Stéphanie Armand Decker

## DÉVELOPPEMENT D'UNE MÉTHODE D'OPTIMISATION MULTIOBJECTIF POUR LA CONSTRUCTION BOIS : PRISE EN COMPTE DU CONFORT DES USAGERS, DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET DE LA SÉCURITÉ DE L'OUVRAGE

*Development of a multiobjective optimisation method for timber building: consideration of user comfort, environmental impact and structural safety*

**Thèse de doctorat sous la direction de Frédéric Bos (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux).**

Soutenue le 22-09-2015 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

Les pays industrialisés cherchent aujourd'hui à réduire leur consommation d'énergie et à utiliser des matières premières de substitution, notamment renouvelables dont le bois fait partie. Pour promouvoir son usage, le développement de méthodes favorisant son recours dans les systèmes constructifs pour la construction multiétage est nécessaire. La conception d'un bâtiment est multicritère. Des objectifs contradictoires sont à optimiser simultanément. Des solutions de compromis Pareto-optimaux sont par exemple recherchées entre l'atteinte des meilleures performances d'usage et la limitation de l'impact environnemental du bâtiment. Ces travaux portent ainsi sur le développement d'une méthode d'optimisation multiobjectif de systèmes constructifs bois adaptés au multiétage. Des objectifs de maximisation du confort vibratoire des planchers et de minimisation des besoins de chauffage, d'inconfort thermique, de potentiel de réchauffement climatique et d'énergie grise sont pris en compte. La méthode repose sur un algorithme d'optimisation multiobjectif par essai particulaire capable de proposer un ensemble de solutions non-dominées constituant le front de Pareto. L'espace des solutions est contraint par des exigences réglementaires nécessaires à la sécurité de l'ouvrage. L'ensemble des fonctions-objectif est modélisé sous forme de fonctions analytiques. Les sorties d'intérêt

### Abstract

*Industrialised countries are seeking to reduce their energy consumption and to use alternative raw materials, including renewables such as wood. To promote its use, multi-storey timber constructive systems need the development of new design methods. Building required a multicriteria design where conflicting objectives must be optimised simultaneously. Research solutions have to achieve the best Pareto-compromise between use performance and environmental impact of the building. This work aims to develop a multiobjective optimisation method of timber multi-storey building. The objectives of maximising floor vibration comfort and minimising heating needs, thermal discomfort, global warming potential and embodied energy are taken into account. A multi-objective particle swarm optimization algorithm is used to obtain a set of non-dominated solutions which is the Pareto front. The solution space is constrained by regulatory requirements necessary for the safety of the structure. All objective-functions are modelled as analytic functions. Dynamic thermal simulation model outputs are replaced by metamodels. The developed method is implemented on a case study. The results offer a great diversity in a panel of 20 000 optimal solutions. These results provide a basis for discussion between the different actors of a construction project.*

du modèle de simulation thermique dynamique sont substituées par des métamodèles. La méthode développée est mise en oeuvre sur un cas d'étude. Les résultats obtenus offrent une grande diversité dans un panel de 20000 solutions optimales. Ces résultats constituent un support de discussion entre les différents acteurs d'un projet de construction.



### Publication

Armand Decker S, Ndiaye A, Brangeon B, Sempey A, Galimard P, Pauly M, Lagiere P, Bos F (2014). **Design of multi-story timber building using multi-objective particle swarm optimization.** *World Conference of Timber Engineering*, Québec City, Canada.

Armand Decker S, Ndiaye A, Sempey A, Galimard P, Pauly M, Lagiere P, Bos F (2014). **Modelling and simulation to design multi-storey timber building using multi-objective particle swarm optimisation.** *International Workshop on Simulation for Energy, Sustainable Development & Environment*, Bordeaux, France.

Armand Decker S, Garnesson T, Galimard P, Ndiaye A, Sempey A, Lagiere P, Bos F (2015). **Optimisation multi-objectif de planchers intermédiaires bois tenant compte d'objectifs mécaniques et environnementaux.** *33<sup>e</sup> Rencontres Universitaires de Génie Civil*, Anglet, France.

Garnesson T, Galimard P, Armand Decker S, Coureau J-L, Pauly M (2016). **Multifunction timber wall design for high loads: use of reinforced CLT thin panel.** *World Conference of Timber Engineering*, Vienna, Austria.

**Plateforme  
XYLOPLATE**

# Marie Bisoffi-Sauve

## ÉTUDE DES OUVRAGES MAÇONNÉS EN PIERRE PAR LA MÉTHODE DES ÉLÉMENTS DISCRETS : CARACTÉRISATION ET MODÉLISATION DU COMPORTEMENT COHÉSIF DES JOINTS

*Study of stone masonry building with discrete element method: Characterization and modeling of the mortar joints cohesive behavior*

**Thèse de doctorat sous la direction  
de Stéphane Morel (Laboratoire d'accueil : Institut  
de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux).**

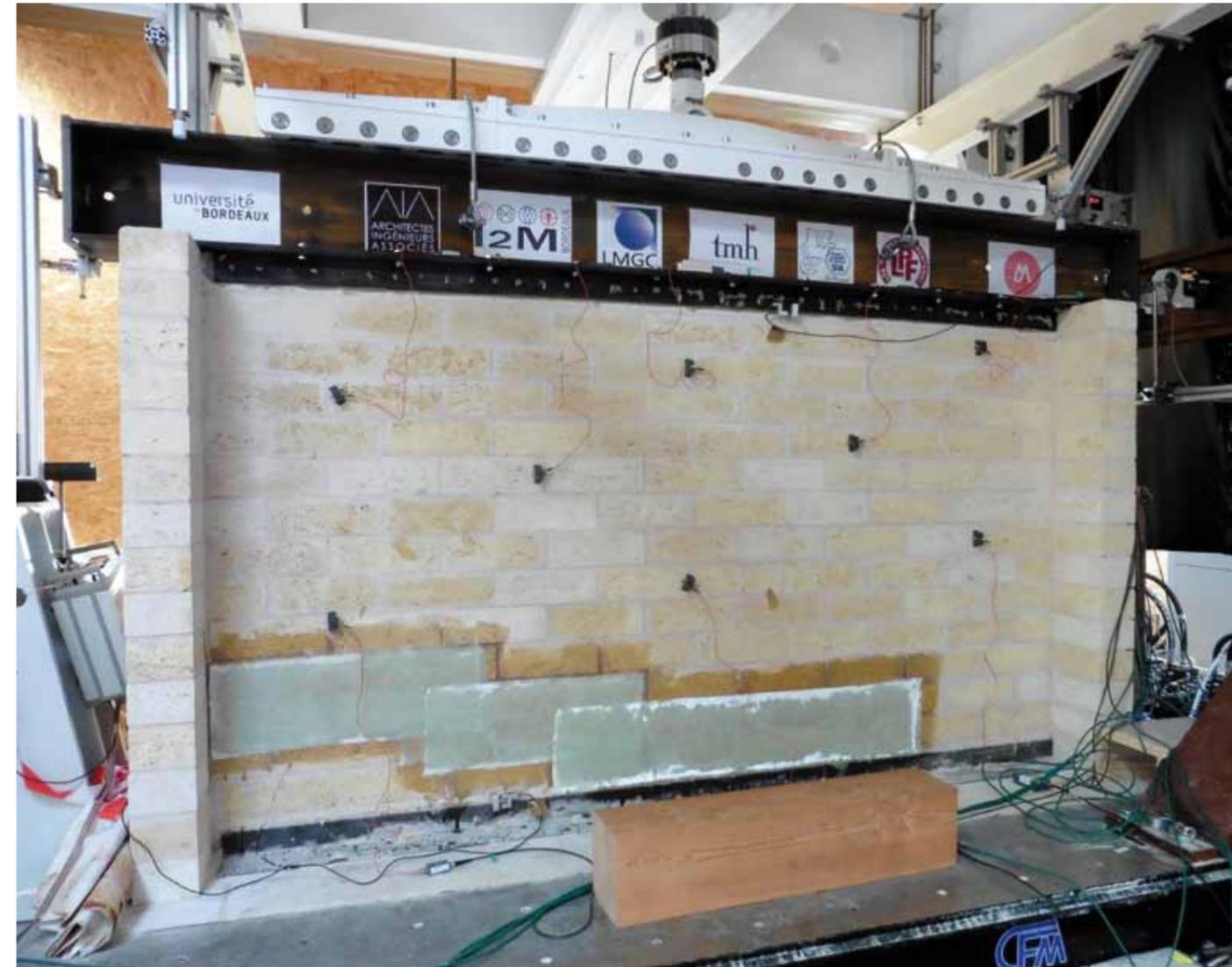
Soutenue le 13-06-2016 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

Bien que la maçonnerie en pierre soit une technique de construction ancestrale, le comportement mécanique de ce type de construction reste encore aujourd'hui méconnu. En conséquence, la réglementation concernant ces ouvrages est restrictive et considère des marges de sécurité importantes, qui conduisent à un surdimensionnement de ce type de structure. Ce projet de recherche vise à développer un code de calcul adapté à l'étude de structures maçonnées, utilisable en bureau d'études afin d'aider les ingénieurs qui ne possèdent pas d'outils adaptés aux ouvrages maçonnés sur lesquels s'appuyer. Le logiciel de calcul aux éléments discrets LMGC90 a été choisi pour sa capacité à représenter le caractère discontinu de la maçonnerie. Une loi d'interface cohésive en mode mixte (I+II) a été mise au point afin de prendre en compte l'endommagement progressif et la dissipation d'énergie associés au comportement quasi-fragile des joints de mortier. Un protocole expérimental permettant d'estimer l'ensemble des paramètres cohésifs et frictionnels des joints de mortier a également été mis au point. Le modèle numérique proposé est confronté à deux essais expérimentaux menés sur des murs sollicités en cisaillement sous deux conditions aux limites différentes. L'analyse des résultats obtenus met en avant l'insuffisance de la loi de Mode II proposée à décrire précisément le comportement en cisaillement dans certains cas. Des voies

### Abstract

Stone masonry is an age-old constructive technique, nevertheless the mechanical behavior of this type of construction is still misunderstood. Consequently, standards for masonry structural design are very conservative and over estimate design of this kind of structures. Moreover, engineers cannot rely on suitable design code to assess masonry buildings. This research project aims to develop a design code suitable for structural masonry design to help engineers. Discrete element code LMGC90 was picked for its capacity to take into account masonry discontinuities. A mixed mode I+II cohesive interface law is established in order to consider progressive damage and energy dissipation associated to quasi-brittle behaviour of mortar joints. An experimental procedure was also carried out to estimate the whole cohesive and frictional parameters of mortar joints. The proposed numerical model is confronted to two experimental tests on shear masonry walls under two different boundary conditions. The results of the analysis shows that the developed model fails at reproducing precisely the shear behaviour especially when the normal stress to the joint strongly increases during the test. Thus we discuss on the Mode II law, and more specifically on the separation of frictional and cohesive behaviours which must be responsible for the deficient results.



d'amélioration concernant la modélisation sont donc proposées, comprenant notamment l'étude précise du couplage entre l'endommagement (comportement cohésif) et le comportement frictionnel des joints sollicités en cisaillement.

### Publications

Bisoffi-Sauve M (2016). Étude des ouvrages maçonnés en pierre par la méthode des éléments discrets - Caractérisation et modélisation du comportement cohésif des joints. 34<sup>e</sup> Rencontres Universitaires de Génie Civil, Liège, Belgique.

Bisoffi-Sauve M, Morel S, Dubois F (2019). Modelling mixed mode fracture of mortar joints in masonry buildings. *Engineering Structures* 182, 316-330.

**Plateforme  
XYLOPLATE**

# Faouzi Bouras

## INSTABILITÉS DES ÉLÉMENTS DE STRUCTURES EN BOIS EN ZONES SISMIQUES (FLAMBEMENT, TORSION)

*Instability of wood-based structure components in seismic zones*

**Thèse de doctorat sous la direction de Zahreddine Nafa et Myriam Chaplain (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux).**

Soutenue le 09-06-2016 à l'Université de Bordeaux en cotutelle avec l'Université du 8 mai 1945 (Guelma, Algérie).

### Résumé

Le présent travail portait sur l'étude expérimentale et la modélisation du comportement d'éléments structuraux en bois soumis à des chargements cycliques entraînant une instabilité : flambement ou déversement. Les éléments structuraux étudiés représentent des poteaux ou poutres en lamellé collé, LVL ou en bois massif (épicéa). Ce travail s'intègre dans une démarche permettant de mieux dimensionner les structures en bois en zone sismique. Des essais de torsions ont été réalisés sur des éprouvettes de section rectangulaire encastées en tête et en pied avec une possibilité de glissement en tête afin d'éviter le gauchissement, ceux de flambement sont réalisés sur des éprouvettes bi-articulées (fig. 1). Le signal du chargement cyclique, en déplacement (cas du post-flambement), en force (près-flambement) ou en couple (torsion), était triangulaire à divers niveaux et amplitudes, la fréquence était de l'ordre de 1 Hz. Un paramètre d'endommagement a été déterminé en analysant la dégradation de la rigidité ou l'évolution de « l'écoulement » de la déformation angulaire ou de la force avec le temps (fig. 2). Les résultats des essais ont permis d'étudier l'influence du niveau et de l'amplitude du chargement sur l'endommagement et la durée de vie et de proposer une modélisation de l'endommagement. Sur la figure 3 sont représentées les prévisions du modèle pour les deux campagnes d'essais de torsions cycliques, une sur du LVL à fréquence constante (1Hz) l'autre sur du lamellé collé à fréquence variable. Les observations expérimentales sont assez bien respectées.

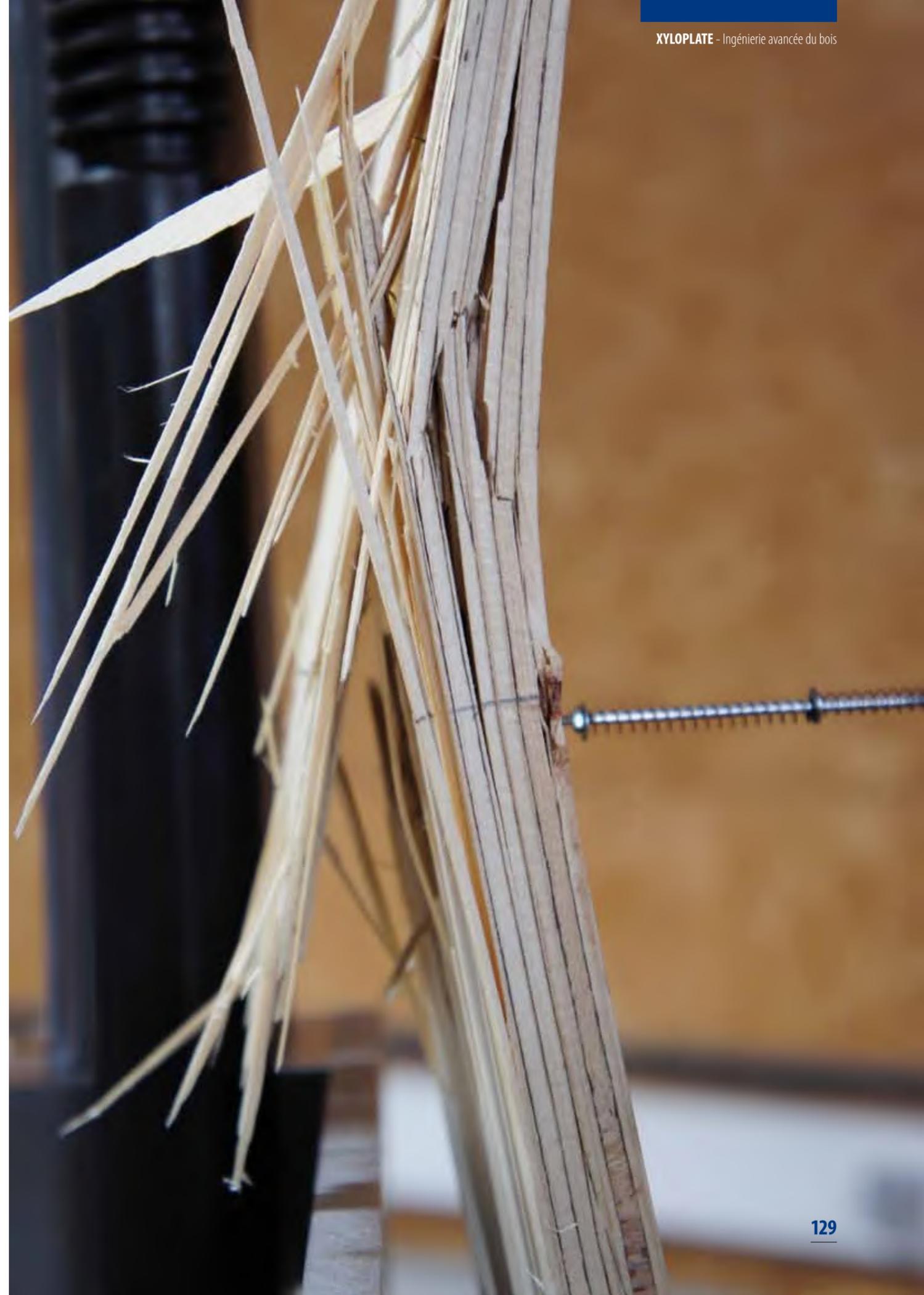
### Abstract

*The present study deals with experiments study and modeling of the behavior of structural wood elements subjected to cyclic loading leading to instability: buckling or spilling. The structural elements studied represent columns or glued laminated beams, LVL or solid wood (spruce). This work is part of an approach to better dimension wooden structures in seismic zones. Torsion tests were carried out on specimens of rectangular section embedded at the head and at the foot with a possibility of sliding at the head in order to avoid buckling, those of buckling are carried out on double-articulated specimens. The signal of cyclic loading, displacements (post-buckling), force (near-buckling) or torque (torsion), was triangular at various levels and magnitudes, the frequency was of the order of 1 Hz. The damage parameter was determined by analyzing the degradation of the stiffness or the evolution of the «flow» of the angular deformation or of the force with time. It is possible to study the influence of the level and the amplitude of the load on the damage and the lifetime and to propose a modeling of the damage. The model can predict for the two cyclic torsion test campaigns, one on the LVL at constant frequency (1 hz) and the other one on variable-frequency glued laminate. Experimental observations are fairly well respected.*

### Publications

Bouras F, Chaplain M, Nafa Z, Breyse D (2014). **Experimental behaviour of wood columns under cyclic buckling: choice of damage parameters.** *European Journal of Environmental and Civil Engineering* 19, 290-304.

Bouras F, Chaplain M, Nafa Z, Breyse D, Tran TNH (2012). **Experimental behavior of wood columns under extreme loading cyclic buckling.** *World Conference on Timber Engineering, Auckland, Nouvelle-Zélande.*



# Duc Chinh Ngo

## DÉVELOPPEMENT D'UN NOUVEAU ÉCO-BÉTON À BASE DE SOL ET FIBRES VÉGÉTALES : ÉTUDE DU COMPORTEMENT MÉCANIQUE ET DE DURABILITÉ

*Development of a new eco-concrete based on soil and plant fibers: study of mechanical behavior and durability*

Thèse de doctorat sous la direction de Nadia Sayouri et Mehdi Sbartaï (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux).

Soutenue le 12-12-2017 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

La conception écologique des structures et le développement durable jouent un rôle important dans l'industrie de la construction. Les matériaux écologiques de construction tels que le béton de terre, contenant une proportion de divers composants écologiques, sont de grande importance aujourd'hui. L'objectif de la production de ce béton est de réduire la consommation de ciment et donc la production de CO<sub>2</sub>, de fournir des solutions pour éviter l'épuisement des ressources naturelles comme les granulats et de réduire la consommation d'énergie dans le processus de production. Ces dernières années, de nombreux efforts ont été réalisés dans le domaine de la construction pour remplacer le béton traditionnel par des matériaux alternatifs tels que le béton contenant une forte proportion de divers composants écologiques appelés « vert » en maintenant des propriétés acceptables pour l'application souhaitée. Par exemple, les constructions réalisées à partir de la terre crue sont intéressantes considérant leurs meilleures propriétés thermiques et acoustiques par rapport à un béton ordinaire. Cependant, des recherches additionnelles sont nécessaires pour mieux comprendre leurs propriétés mécaniques et leur durabilité. Cette étude vise à optimiser la composition d'un nouveau béton écologique constitué de sols locaux. Plusieurs mélanges composés de différentes proportions de sols argileux, de sols sableux et de faible quantité de ciment, de chaux et de fibres de chanvre ont été testés. La minéralogie et la composition chimique du sol argileux ont été étu-

### Abstract

*The ecological design of structures and the sustainable development is nowadays of high importance in the construction industry. Thus, alternative building materials such as soil concrete containing a proportion of various ecological components are of high importance nowadays. The aim of producing ecological concrete is to reduce the consumption of cement and thus the CO<sub>2</sub> production, to provide alternatives to the impoverishment of resources and to reduce the energy consumption in the production process. In recent years, many changes have been observed in the construction methods with the aim to replace traditional concrete by alternative construction materials such as concrete containing a high proportion of various ecological component called «green» while maintaining acceptable properties for the desired application. For instance, constructions made of cost effective raw soils are of real interest since the thermal and acoustic properties are more important than that of ordinary concrete. However, more researches are needed in order to have a better understanding of their mechanical properties and their durability. This study aims to optimize the composition of a new ecological concrete constituted of upgraded excavated soil. Several soil concrete mixtures, composed of different proportions of clayey soil, sandy soil and small quantities of cement, lime and hemp fibers have been tested. The mineralogy and chemical composition of clayey soil was studied by X-ray diffraction (XRD) analysis, and by Environmental Scanning Electron Microscopy (ESEM) coupled with the*



diées par analyse des résultats obtenus par diffraction des rayons X (XRD) et par Microscopie à balayage électronique (ESEM) associée à la spectrométrie dispersive énergétique des rayons X (EDS). Le compactage des mélanges de béton de terre a été réalisé par vibration, comme dans le cas d'un béton ordinaire, pour obtenir l'ouvrabilité requise sur les chantiers de construction. Des essais de compression ont été effectués sur des éprouvettes d'âges différents et conservées dans différentes conditions de cure. La technique non destructive des ultrasons a été utilisée pour suivre le durcissement du béton de terre en fonction des conditions de cure. Les propriétés de transfert de ce béton ont été aussi étudiées en réalisant des essais de perméabilité, de porosité à l'eau, de porosimétrie à mercure et des essais d'absorption d'eau. La carbonatation de ce béton a été également évaluée. La durabilité du béton de terre a été examinée en suivant les déformations différées et plus particulièrement le retrait endogène et de dessiccation ainsi que le fluage en flexion.

*X-Ray Energy Dispersive Spectrometry (EDS).*

*The casting of the concrete mixtures has been realized by vibration, as ordinary concrete, to obtain the required workability on construction sites. Compression tests have been carried out on samples at different curing time and conditions. The ultrasonic non-destructive technique has been used for monitoring the hardening of soil concrete in function of the curing conditions. As soil concrete presents important volumetric change that can cause the infiltration of water and impact their durability, an experimental investigation on autogenous and drying shrinkage is reported. Water porosity and water absorption tests have been also carried out to evaluate the transfer property of the porous material. The carbonation of this concrete was also evaluated. The durability of the soil concrete was examined by following the deferred deformations and more particularly the endogenous shrinkage and desiccation as well as the flexural creep.*

# Boris Clouet

## COMPORTEMENT HYDROMÉCANIQUE D'ASSEMBLAGES BOIS COLLÉS À L'ÉTAT VERT : APPROCHES EXPÉRIMENTALE ET NUMÉRIQUE

*Hydromechanical behavior of green-glued laminated timbers*

**Thèse de doctorat sous la direction de Michel Danis (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux).**

Soutenue le 26-05-2014 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

La formulation de nouveaux adhésifs durant les dernières décennies a permis de développer des procédés de collage innovants pour l'industrie du bois. Dans cette optique, le collage du bois à l'état vert permet de créer une chaîne d'élaboration de matériaux techniques, sans ruptures de charges dans le processus industriel grâce à un séchage en fin de cycle. Or le collage implique un retrait empêché des assemblages au cours du séchage, induisant un développement de contraintes. À ce jour, de nombreuses études numériques portant sur le comportement du bois collé soumis à des variations hydriques ont été effectuées, sans pour autant avoir été mises en relation avec des études expérimentales. L'extension récente des techniques de corrélation d'images permet d'effectuer des mesures de champs sans contact, particulièrement adaptées à un matériau hygrosopique tel que le bois. L'objectif de la thèse est d'appréhender par des approches expérimentale et numérique les contraintes hydromécaniques qui peuvent survenir dans des assemblages contrecollés. Une expérimentation, permettant de mesurer les champs durant le séchage a été mise en place. Le modèle numérique retenu est un modèle élastique orthotrope, permettant de prendre en compte la morphologie du matériau bois. Nous pouvons identifier les paramètres gouvernant les mécanismes d'endommagement du joint de colle et proposer des conditions de mise en œuvre optimisant la tenue de l'assemblage au séchage.

### Abstract

*The development of new adhesives during the last decades has implied radically changes in the sawmill industry. The gluing of unseasoned wood, called green gluing, allows a new order in the process of engineered wood products, thanks to the final position of the drying step. Nevertheless, the jointing prevents the free shrinkage of wood during the mass transfer, involving a stress development. Nowadays, numerous drying models have been developed to predict the deformations and stresses of wood, but few have been confirmed by experimental tests. For an organic material such as wood, the measurement of hygromechanical properties will be more efficient if there is no interaction between the material and the measurement system. One of the most promising experimental techniques for this kind of issue is noncontact optical measurement based on Digital Image Correlation principles. The objective of this study is to evaluate by experimental and numerical solutions the stress development in green-glued wood laminated timber subjected to drying conditions. An experimental method has been set up and the results allow to validate a numerical finite elements model. The model which has been chosen is an orthotropic elastic model, able to describe the morphology of the wood material. This study allows to identify the parameters governing the damage of the interface. This approach leads to suggest some preconizations in order to optimize the behavior of product during the drying procedure.*

### Publications

Clouet B, Pommier R, Danis M (2014). **New composite timbers: full-field analysis of adhesive behavior.** *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design* 49, 155–160.

## Guillaume Cueff

### DÉVELOPPEMENT D'UN MODÈLE THERMOMÉCANIQUE DU COMPORTEMENT SOUS AGRESSIONS THERMIQUES DE MATÉRIAUX CELLULOSIQUES : APPLICATION À L'ÉTUDE DE RÉSISTANCE AU FEU DE PANNEAUX DE BLOC-PORTE EN AGGLOMÉRÉ DE BOIS

*Development of a thermomechanical model on behaviour of cellulosebased materials under high temperature*

Thèse de doctorat sous la direction de Denys Breyse, Jean-Christophe Mindeguia et Gildas Auguin (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux).

Soutenue le 16-12-2014 à l'Université de Bordeaux.

#### Résumé

Dans le cadre de la sécurité incendie, les produits industriels destinés au marché de la construction doivent être soumis à des essais de résistance au feu standardisés. En particulier, des critères de température limite à ne pas dépasser sont à satisfaire en face non exposée des produits. De plus, une attention est à apporter aux déformations hors plan de l'élément testé. Ces essais de résistance au feu peuvent être contraignants et coûteux pour les industriels ce qui peut freiner leur démarche de Recherche et Développement. À ce titre, un programme de recherche a été lancé par la société EFECTIS France, laboratoire agréé en résistance au feu, en collaboration avec le laboratoire I2M de l'Université de Bordeaux, dont l'objectif est de mettre au point un outil de simulation numérique d'essais de résistance au feu (four virtuel) appliqué à un bloc-porte en bois et produits dérivés (panneaux de particules et panneaux de fibres). Le modèle thermomécanique développé prend en compte l'évolution des propriétés thermiques et mécaniques du matériau en fonction de l'avancement des réactions de vaporisation et de pyrolyse ainsi que l'impact de ces réactions en termes d'énergies consommées et fournies. Ce modèle s'appuie notamment sur diffé-

#### Abstract

*In the context of fire safety, industrial products used in the building construction market have to satisfy to standard fire resistance tests. In particular, a temperature criterion must be satisfied on the unexposed side of the product and attention should be given to the deformation of the product during fire. These tests are restrictive and costly for manufacturers which can slow down their R&D program. In this context, a research program was initiated by the company EFECTIS France in collaboration with the laboratory I2M from the University of Bordeaux whose main objective is to develop a numerical thermomechanical model for simulating a fire resistance test (virtual furnace) on a fire door composed of wood and wood-based materials (particles and fibres boards). Thermomechanical model takes into account the variation of thermal and mechanical properties as a function of vaporization and pyrolysis reactions. Energy impacts of those reactions are also included in the model. The numerical model involves experimental data to complete material properties needed for its utilisation. To achieve this, different experimental programs were carried out, in particular measurements using digital*

*rents programmes expérimentaux, comportant entre autre de la mesure de champ par corrélation d'images, dans le but de mesurer les données nécessaires à son bon fonctionnement. En se basant sur le calcul du champ de température et sur l'estimation des déformations thermiques du bloc-porte coupe-feu, le modèle permet d'évaluer les performances au feu du produit.*

*image correlation. Based on simulated temperature field and estimation of the global bending of the fire door, the model allows evaluating fire performances of the product.*



#### Publications

Cueff G, Mindeguia JC, Dréan V, Breyse D, Auguin G (2018). Experimental and numerical study of the thermomechanical behaviour of wood-based panels exposed to fire. *Construction and Building Materials* 160, 668-678.

Cueff G, Mindeguia JC, Dréan V, Breyse D, Auguin G (2016). Development of a thermomechanical model on behaviour of cellulose based material under fire resistance tests. *14th International Conference and Exhibition on Fire Science and Engineering*, Royal Holloway College, Nr Windsor, United Kingdom.

Mindeguia JC, Cueff G, Dréan V, Auguin G (2018). Simulation of charring depth of timber structures when exposed to non-standard fire curves. *Journal of Structural Fire Engineering* 9, 63-76.

Plateforme  
XYLOPLATE

# Alexia Este

## MODÉLISATION DE L'ENDOMMAGEMENT D'UN COMPOSITE 3D CARBONE/CARBONE : COMPORTEMENT À TEMPÉRATURE AMBIANTE

*Damage modeling of a 3D carbon/carbon composite: behavior at room temperature*

**Thèse de doctorat sous la direction de Stéphane Morel et Eric Martin (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux)..**

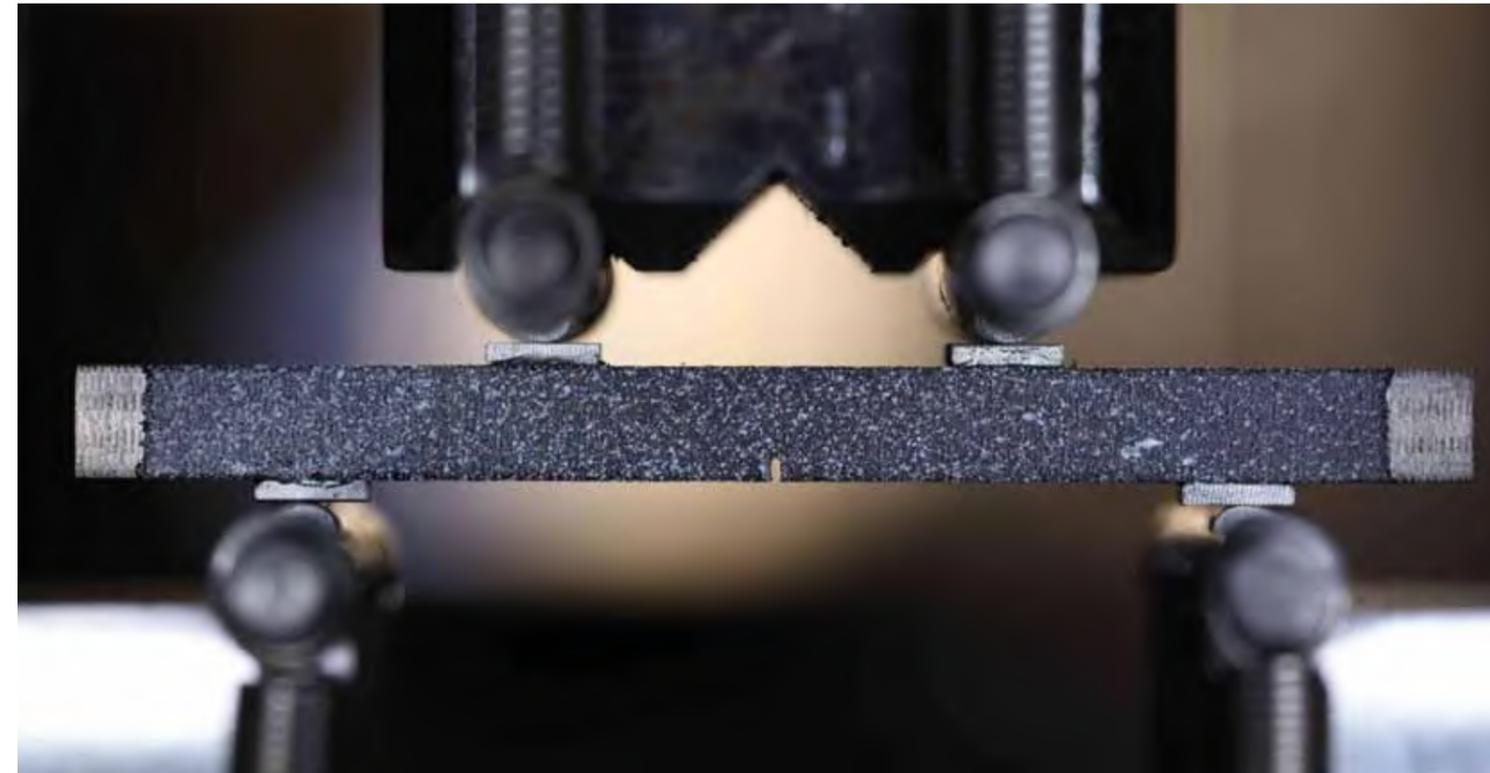
Thèse soutenue le 30-01-2018 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

Les composites 3D C/C sont utilisés dans l'industrie aérospatiale ou nucléaire pour leurs très bonnes propriétés mécaniques à haute température. Afin d'assurer une intégrité optimale des structures, la connaissance du comportement mécanique du composite, et plus particulièrement de ses mécanismes de rupture, est essentielle. Dans ce but, ce travail présente une modélisation de l'endommagement d'un composite 3D C/C à température ambiante. Pour cela, une approche de modélisation à l'échelle mésoscopique a été adoptée. A cette échelle, le composite 3D C/C présente deux types de constituants : les baguettes de fibres de carbone et la matrice carbonée. Le comportement de chacun de ces méso-constituants est modélisé par une loi de comportement élastique endommageable (isotrope pour la matrice, orthotrope pour les baguettes) nécessitant un nombre de paramètres restreint. L'identification de ces paramètres repose sur des données expérimentales tirées de travaux antérieurs ainsi que celles issues d'une campagne expérimentale, menée durant la thèse, visant à compléter la connaissance du comportement mécanique du composite 3D C/C à l'échelle mésoscopique. Par ailleurs, des essais macroscopiques ont été réalisés afin de valider le modèle développé. Les réponses expérimentales d'essais de flexion 4 points et de flexion 3 points sont notamment bien reproduites par le méso-modèle.

### Abstract

*3D C/C composites are commonly employed in aerospace industry due to their outstanding mechanical properties at high temperatures. In order to ensure the integrity of structures, knowledge of the composite mechanical behaviour and fracture mechanisms is crucial. For this purpose, damage modeling of a 3D C/C composite, at room temperature, is proposed in which a meso-scale approach is considered. At this description scale, 3D C/C composites are made of two materials : carbon fibers yarns and carbon matrix. Each material behavior is modeled by an elastic damage law (isotropic for matrix, orthotropic for yarns) with a limited number of parameters. The parameters identification process is based on experimental data obtained from previous work and from an experimental campaign carried out through this thesis work. This campaign aimed to a greater understanding of the material mechanical behavior at mesoscopic scale. Furthermore, experimental tests were carried out to validate the composite modeling. It is shown that experimental responses obtained from four-point and three-point bending tests are particularly well described from the proposed mesoscopic model.*



### Publication

Este A., Toson B., Saliba J., El Yagoubi J., Mindeguia J.C., Martin E., Morel S., (2016). A New Approach to Simulate Interface Damage in Brittle Matrix Composites. 21st European Conference on Fracture, Catania, Italie, 20-24 juin.

**Plateforme**  
**XYLOPLATE**

# Alexandre Gangnant

## ÉTUDE DE LA RUPTURE QUASI-FRAGILE D'UN BÉTON À L'ÉCHELLE MÉSCOSCOPIQUE : ASPECTS EXPÉRIMENTAUX ET MODÉLISATION

*Study of quasibrittle fracture of concrete at mesoscale: experimental aspects and modelling*

Thèse de doctorat sous la direction de Stéphane Morel (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux).

Soutenue le 09-12-2016 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

Le béton présente une rupture quasi-fragile du fait de la présence d'une zone d'élaboration de la rupture principalement microfissurée et de taille conséquente, se développant en avant du front de fissure. L'objectif de ces travaux consiste à mettre en évidence le processus d'évolution de la zone d'élaboration et l'étendue de cette dernière, et ce, sur la base d'une campagne d'essai Wedge Splitting suivie de simulations numériques aux éléments-finis utilisant le modèle d'endommagement isotrope de Fichant – La Borderie à l'échelle mésoscopique. Expérimentalement, les courbes de résistance obtenues dans le cadre de la Mécanique Linéaire Élastique de la Rupture équivalente attestent d'un phénomène de confinement précoce de la zone d'élaboration manifestement lié à la géométrie testée et aux propriétés du béton étudié. Les simulations numériques obtenues sur la base du modèle d'endommagement sont en accord avec les résultats expérimentaux et conduisent également à soupçonner ce phénomène de confinement. Par la suite, la simulation numérique est à nouveau utilisée sur cette même géométrie de spécimen mais en réduisant les propriétés de rupture de la matrice cimentaire afin de diminuer la taille de la zone d'élaboration. Les résultats de cette nouvelle simulation montrent un développement libre de la zone d'élaboration suivie d'une propagation auto-similaire de la fissure principale attestée par la présence d'un régime plateau de la courbe de résistance correspondante. Une analyse détaillée du champ d'endommagement puis du champ d'énergie restituée est réalisée et permet de mettre en évidence un critère de développement de la zone d'élaboration fondée sur une valeur maximale du taux local de restitution d'énergie d'endommagement.

### Abstract

Concrete exhibits a quasibrittle fracture due to the existence of a large fracture process zone (FPZ), mainly microcracked, which develops ahead of the crack front. The aim of the current work consists in highlighting the FPZ development and its extent. For that purpose, an experimental campaign using Wedge Splitting Test was carried out and followed by finite element simulation using Fichant – La Borderie isotropic damage model acting at the mesoscale of concrete. Experimental analysis exhibits that by the use from Resistance curves estimated in the framework of equivalent Linear Elastic Fracture Mechanics, the used geometry combined to the studied concrete properties are subjected to a confinement of FPZ. Numerical simulations achieved by the damage model are in agreement with experimental results and also seem to show FPZ confinement. There after, numerical simulations are used again on the same specimen geometry but by decreasing fracture properties of cementitious matrix, in order to minimize the FPZ size. Numerical results exhibit that the FPZ was now freely developed and followed by a self-similar propagation of the main crack as shown by the existence of a "plateau" value on the corresponding Resistance curve. A numerical analysis is performed and leads to the proposition of a FPZ development criteria based on a maximal value of the local damage energy release rate.



### Publications

Gangnant A (2016). Modélisation de la rupture quasi fragile du béton à l'échelle mésoscopique. 34<sup>e</sup> Rencontres Universitaires de Génie Civil, Liège, Belgique.

Gangnant A, Morel S (2013). Estimation des propriétés de rupture des matériaux quasi-fragiles béton et mortier : essais de rupture par Wedge Splitting Test. 31<sup>e</sup> Rencontres Universitaires de Génie Civil, Cachan, France.

Gangnant A, Morel S (2013). Rupture quasifragile des bétons et mortiers. MLER équivalente et courbe-R. 21<sup>e</sup> Congrès Français de Mécanique, Bordeaux, France.

Gangnant A, Morel S, La Borderie C, Saliba J (2015). Modélisation de la rupture quasifragile du béton à l'échelle mésoscopique. 33<sup>e</sup> Rencontres Universitaires de Génie Civil, Anglet, France.

Gangnant A, Saliba J, Laborderie C, Morel S (2016). Modeling of the quasi-brittle fracture of concrete at meso-scale: Effect of classes of aggregates on global and local behavior. *Cement and Concrete Research* 89, 35–44.

Plateforme  
XYLOPLATE

# Cécile Grazide

## UNE MODÉLISATION DE LA RÉSISTANCE EN FLEXION DU PIN MARITIME UTILISÉ EN CONSTRUCTION

*A modeling of timber bending strength in maritime pine*

**Thèse de doctorat sous la direction de Stéphane Morel (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux).**

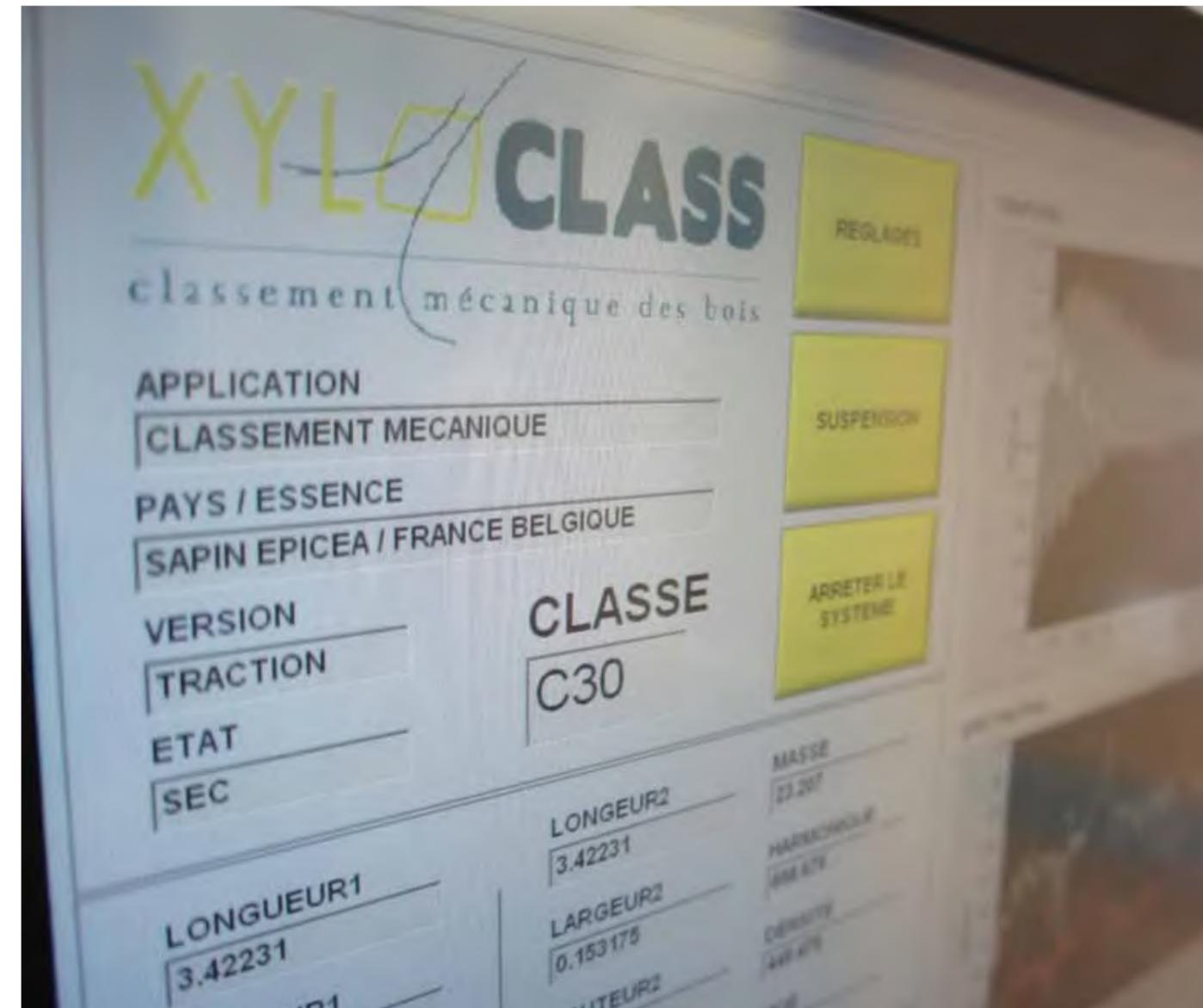
Soutenu(e) le 02-12-2014 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

Dans le cas du bois massif, les résistances en flexion et en traction peuvent être altérées par la présence de défauts. Les nœuds et la distorsion du fil qui en découle, sont les causes de la diminution du rendement mécanique des sections de poutres de structure. À ce jour, l'effet de ces défauts sur la perte de résistance de l'élément de structure ne peut être quantifié avec exactitude. Le classement mécanique du bois de structure n'est alors pas optimal et ne permet pas de valoriser les éléments de fortes résistances. La présente étude a pour objectif d'étudier l'influence de la nodosité sur le rendement mécanique de poutres en Pin Maritime dans le but d'améliorer son classement mécanique. Cette étude s'appuie sur une base de données recensant les propriétés mécaniques et physiques de poutres de grandes dimensions ainsi que les propriétés géométriques des nœuds présents sur ces éléments. Différents outils statistiques sont utilisés afin de définir les variables explicatives et leurs pouvoirs prédictifs sur la résistance mécanique de ces composants structurels. De ces analyses, il ressort que certaines caractéristiques propres aux nœuds sont significatives et permettent d'améliorer la prédiction de la résistance. Des modélisations éléments finis de tronçons de poutres présentant un nœud sont proposées pour justifier la présence de ces paramètres dans les modèles prédictifs et afin de compléter cette base de données par des propriétés mécaniques. Ces modélisations numériques, accompagnées d'un critère de ruine, permettent d'établir des courbes de performances mécaniques en présence d'un nœud. Ces données numériques sont comparées aux résultats expérimentaux afin de vérifier la fiabilité de l'approche proposée.

### Abstract

*The bending and tensile strengths of timber can be reduced by the presence of heterogeneities. The knots and the local slope of grain in the surrounding area are the most relevant. Nowadays, the effect of knots reduces the stiffness and the strength of structural elements. The Timber grading is not optimized and does not promote the strongest beams for a timber engineering use. The goal of this study is to evaluate the influence of knots on the bending strength of beams in Maritime Pine, order to improve their timber grading. This work is focused on a database, which takes into account the mechanical and the physical properties of beams and specific geometrical parameters relative to knots detected in elements. Several statistical tools like neural networks are used to define the explanatory variables and their predictive powers of the bending strength. From these analyses, it is shown that some variables characterizing the knots are pertinent and allow the improvement of the prediction of the strength. To justify the presence of these variables in the predictive equations, finite element simulations of single knot are proposed. These numerical computations associated to a fracture criterion allow the establishment of strength performance curves due to the presence of knot in an elementary loaded volume (tension and bending configurations). These numerical data are compared to the experimental results in the aim to verify the reliability of the finite element approach.*



### Publications

Grazide C, Cointe A, Coureau J-L, Morel S (2012). **The influence of heterogeneities of timber on the bending strength.** *World Conference on Timber Engineering*, Auckland, New-Zealand.

Grazide C, Cointe A, Coureau J-L, Morel S, Dumail J-F (2015). **Wood heterogeneities and failure load of timber structural elements: a statistical approach.** *Wood Sci Technol* 49, 421-440.

Grazide C, Coureau J-L, Cointe A, Morel S (2018). **Mechanical performance curves for the strength grading of maritime pine.** *European Journal of Wood and Wood Products* 76, 877-888.



# Julie Lartigau

## CARACTÉRISATION DU COMPORTEMENT DES ASSEMBLAGES PAR GOUJONS COLLÉS DANS LES STRUCTURES BOIS

*Characterisation of the behaviour of glued bolt joints in wooden structures*

**Thèse de doctorat sous la direction de Stéphane Morel (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux).**

Soutenue le 12-07-2013 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

L'utilisation des goujons collés dans les structures bois répond au souci de conservation du bâti et de discrétion de l'intervention. A ce jour, plusieurs procédés de caractérisation et de dimensionnement sont disponibles, sans pour autant donner un socle commun à l'évaluation de la résistance des assemblages collés. L'utilisation des goujons collés suscite des interrogations concernant leur tenue au feu. Bien que le matériau bois entourant les tiges de renforcement soit isolant, il est nécessaire de fournir de plus amples estimations concernant la tenue mécanique des polymères pour différentes températures que l'on pourrait trouver au sein d'une liaison au cours d'un incendie. La présente étude permet de coupler méthodes expérimentales et simulations numériques, afin d'appréhender les mécanismes gouvernant la rupture de ces assemblages. La caractérisation expérimentale permet d'estimer les propriétés mécaniques locales des assemblages suivant divers paramètres (les longueurs de scellement, l'orientation du fil du bois, l'essence de bois, ou encore la température d'exposition), ainsi que les propriétés intrinsèques aux matériaux constitutifs. Cette base de données expérimentale est indispensable pour l'ajustement du modèle aux éléments finis en élasticité linéaire. L'approche numérique met en évidence une présence importante de contraintes normales en tête de collage, avant l'apparition de contraintes de cisaillement. Les outils de la Mécanique Linéaire Élastique de la Rupture équivalente permettent d'établir des courbes de résistance liées à chaque mode de ruine (mode I et mode II). Enfin, afin de décrire précisément le processus complet de rupture de ces assemblages, un critère de rupture en mode mixte (mode I et mode II) est utilisé. Une formulation analytique permettant d'estimer la charge au pic est proposée et permettra la réalisation d'abaques de dimensionnement des assemblages par goujons collés, utilisables en bureau d'études.

### Abstract

*Glued-in-rods lead to overcome the use of traditional bolted connections, preserve a large part of original timber and offer aesthetic benefits (since the repair is hidden in the cross sections of the members). Despite previous research programs in many countries, some design rules, predicting the axial strength of such connections, are available, but a common criterion is still lacking. However, the durability of this process according to fluctuating temperature is not well known. During fire exposure, connections are not directly in contact with flames, since they are isolated by surrounding wood. The current study combines experiments with finite element computations, in order to lead to a better knowledge about their mechanical and fracture behaviors. An important experimental campaign is carried out on such connections and provides the influence of various parameters, such as the anchorage length, the rod-to-grain angle, the specie of wood or the temperature exposure, on their mechanical behaviors. Moreover, the inherent mechanical properties of the rod and the adhesives used are also studied. The finite element modeling reproduces the experimental configuration, and reveals significant tensile stresses in comparison with shear stresses. Within the framework of equivalent linear elastic fracture mechanics, R-curves in mode I and mode II can be estimated for each specimen. Finally, a fracture criterion in mixed mode is used to describe the complete fracture process of glued-in rods. An analytical formulation is then proposed and allows the evaluation of peak load of each specimen. This approach leads to realize design tables, usable by design offices.*



### Publications

Coureau J-L, Galimard P, Cointe A, Lartigau J, Morel S (2016). **Resistance curves and wood variability: Application of glued-in-rod.** *International Journal of Adhesion and Adhesives* 70, 1-9.

Lartigau J, Coureau J-L, Morel S, Galimard P, Maurin E (2012). **Effect of temperature on the load bearing capacity of glued-in rods.** *World Conference on Timber Engineering*, Auckland, New-Zealand.

Lartigau J, Coureau J-L, Morel S, Galimard P, Maurin E (2015). **Mixed mode fracture of glued-in rods in timber structures. A new approach based on equivalent LEFM.** *International Journal of Fracture* 192, 71-86.

Lartigau J, Coureau J-L, Morel S, Galimard P, Maurin E (2015). **Effect of temperature on the mechanical performance of glued-in rods in timber structures.** *International Journal of Adhesion and Adhesives* 57, 79-84.

Lartigau J, Coureau J-L, Morel S, Maurin E, Galimard P (2013). **Analyse et modélisation du processus de rupture des assemblages bois par goujons collés.** *21<sup>e</sup> Congrès Français de Mécanique*, Bordeaux, France.

**Plateforme  
XYLOPLATE**

# Anne Lavalette

## DÉVELOPPEMENT DE CONTREPLAQUÉS POUR LA CONSTRUCTION NAVALE : CARACTÉRISATION MULTIÉCHELLE ET COMPRÉHENSION DES PHÉNOMÈNES DE COLLAGE DU PIN MARITIME À L'ÉTAT VERT

*Plywood manufacture for the shipbuilding industry: multi-scale characterisation and understanding of wet maritime pine adhesion phenomena*

**Thèse de doctorat sous la direction de Michel Danis et Christine Délisée (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux).**

Soutenue le 04-12-2013 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

L'objectif de cette thèse est de développer des panneaux de contreplaqué collés à l'état vert à destination des coques et de l'agencement de bateaux. La technologie du moulage sous vide est choisie pour former des panneaux constitués de plis de pin Maritime déroulés non séchés et collés à l'aide d'un adhésif polyuréthane. Une étude approfondie a été réalisée dans le but de fixer les paramètres de collage permettant aux contreplaqués de répondre aux exigences requises dans la construction navale. L'influence des paramètres de fabrication du panneau sur ses propriétés mécaniques est déterminée à partir d'un plan d'expériences. La teneur en eau et le grammage d'adhésif appliqué sont particulièrement étudiés. Le comportement mécanique des différents échantillons de contreplaqué a été caractérisé grâce à des tests normalisés de cisaillement et des tests de flexion. Des mesures de mouillabilité ainsi que des observations microscopiques des joints ont permis de mieux comprendre les résultats mécaniques, et d'expliquer les phénomènes physico-chimiques mis en jeu. Le matériau retenu à partir de cette étude est mis en œuvre dans un démonstrateur, pour validation du procédé utilisé.

### Abstract

The subject of this work is the manufacturing of green-glued plywood panels for the interior and the plating of a ship. The vacuum-moulding process is chosen to produce panels by assembling maritime pine veneers in the wet state with polyurethane adhesive. A study has been done to fix the parameters for gluing so that the manufactured plywood can answer to the mechanical characteristics required by the shipbuilding sector. The effect of several gluing parameters on the panel's mechanical properties is determined by an experimental design method. The wood moisture content when gluing and the amount of adhesive applied are mainly studied. The plywood panels' mechanical characterisations are realised using standardised shear tests and bending tests. In addition to the mechanical tests, wettability measures and bond lines microscopic observations provide a better understanding of the physico-chemical phenomena of green wood gluing. The material defined in this study is implemented in a boat hull prototype.

### Publications

Lavalette A, Cointe A, Pommier R, Danis M, Délisée C, Legrand G (2016). Experimental design to determine the manufacturing parameters of a green-glued plywood panel. *European Journal of Wood and Wood Products* 74, 543-551.

Lavalette A, Pommier R, Danis M, Castera P (2012). Tension-shear (TS) failure criterion for a wood composite designed for shipbuilding applications. *World Conference on Timber Engineering*, Auckland, New-Zealand.

Lavalette A, Danis M, Pommier R, Elbez G, Cointe A, Délisée C (2013). Analyse de l'influence des paramètres de collage d'un contreplaqué à l'état vert sur ses propriétés mécaniques. *21<sup>e</sup> Congrès Français de Mécanique*, Bordeaux, France.



# René Oum Lissouck

## CLASSIFICATION MULTICRITÈRE ET COLLAGE STRUCTURAL D'ESSENCES DE BOIS DU BASSIN DU CONGO, LIMITANT L'IMPACT SUR LA BIODIVERSITÉ

*Clustering for preservation of endangered timber species: application to the Congo Basin forest*

Thèse de doctorat sous la direction de Denys Breysse (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux)

Soutenue le 02-06-2014 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

Le bassin forestier du Congo constitue l'une des zones les plus riches de la biodiversité sur la planète. Ce formidable potentiel est en danger de régression du fait de la coupe intensive et hyper sélective d'un nombre limité d'essences. L'objectif de la thèse est de contribuer dans une démarche de développement durable, à la conservation de ce patrimoine en développant des outils pour la gestion forestière, comme des solutions de valorisation en bois d'ingénierie. Une analyse multicritère permet de hiérarchiser les choix d'essences intéressantes pour être exploitées et valorisées en bois d'ingénierie. Les critères retenus intègrent les aspects écologiques, d'ingénierie du bois et d'utilisation alternative de la ressource ligneuse. Les résultats montrent qu'une trentaine d'essences peuvent répondre aux préoccupations parfois conflictuelles des acteurs économiques et de la biodiversité, avec un compromis satisfaisant. L'identification de la proximité technologique des essences est ensuite investiguée sur la base de leurs propriétés physiques et mécaniques nécessaires à la valorisation en Bois Lamellé- Collé (BLC). Les essences peuvent être regroupées autour des espèces emblématiques au travers de 6 familles homogènes et distinctes. L'effet des incertitudes des propriétés sur le regroupement permet de l'affiner. La position des essences dans leur famille permet d'échantillonner et de classer mécaniquement les bois de structure. Enfin, des collages sont réalisés à l'état vert (ou ressuyés) sur des éprouvettes de laboratoire et sous forme de BLC en grandeur d'emploi. Même si l'essai normalisé de durabilité des joints de colle fait apparaître de très bons résultats pour certains substrats ligneux,

### Abstract

*The Congo Basin forest is one of the richest areas of biodiversity on the planet. This great potential is endangered due to the intensive and selective harvesting of a limited number of timber species. The aim of this work is to contribute through sustainable development, to the conservation of the species richness by developing tools for forest management, such as timber engineering solutions. A multi-criteria analysis is realized and shows that forest species can be ranged according their interest level related to their use and potential value in the timber engineering sector. The analysis includes ecological criteria, timber engineering and alternative uses' criteria. The results show that thirty species may respond to sometimes conflicting concerns of economic actors and biodiversity, with a satisfactory threshold. The identification of technological proximity between species is then investigated on the basis of their physical and mechanical properties, needed in the case of glulam. The species can be grouped through 6 distinct and homogeneous clusters. The effect of uncertainty on the clustering properties can refine it. The position of the species in their clusters can sample and mechanically classify wood structure. Finally, green gluing is carried out on laboratory specimens and full size glulams. The durability test show very good results for some timber species. However, this test is not designed for very hard and dense woods for which results could not meet the requirements. The results of shear tests carried out on glue joints meet European standards requirements. The mechanical behavior of dried glulam in bending is linked to the the behavior of external lamellae. This behavior also fits with clusteringsolutions of technological proximity.*

il peut être contesté sur des bois durs et denses où les résultats sont plus variables. Les résultats d'essais de cisaillement du joint de colle satisfont aux exigences normatives européennes. La tenue des BLC mono ou multi essences, sollicités en flexion quatre points après séchage, correspond au bois massif de référence. Un bon accord est observé entre les classifications élaborées et le comportement physico-mécanique des bois collés.



### Publications

Njungab E, Oum Lissouck R, Ntede Nga H, Labrugère C, Pommier R, Ayina-Ohandja LM, Noah Mgamveng J (2013). Green gluing of tropical wood Part III: X-Ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) analysis of Frake and Ayous green wood's Glue line. 21<sup>e</sup> Congrès Français de Mécanique, Bordeaux, France.

Oum Lissouck R, Pommier R, Taillandier F, Mvogo JK, Breysse D, Ohandja LMA (2018). A decision support tool approach based on the Electre TRI-B method for the valorisation of tropical timbers from the Congo Basin: an application for glulam products. *Southern Forests: a Journal of Forest Science* 80, 361-371.

Oum Lissouck R, R Pommier, D Breysse, LM Ayina Ohandja, R Dong A Mansié (2016). Clustering for preservation of endangered timber species from the Congo Basin. *Journal of Tropical Forest Science* 28, 78-94.

Plateforme  
XYLOPLATE

# Ngoc Anh Phan

## SIMULATION DE LA PROPAGATION DE FISSURES DANS UN MATÉRIAU QUASI-FRAGILE SOUMIS À DES VARIATIONS D'HUMIDITÉ RELATIVE SELON UNE APPROCHE DE ZONE COHÉSIVE : APPLICATION AU BOIS

*Simulation of time-dependent crack propagation in a quasi-brittle material under relative humidity variations based on cohesive zone approach: application to wood*

**Thèse de doctorat sous la direction de Stéphane Morel (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux).**

Soutenue le 20-01-2016 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

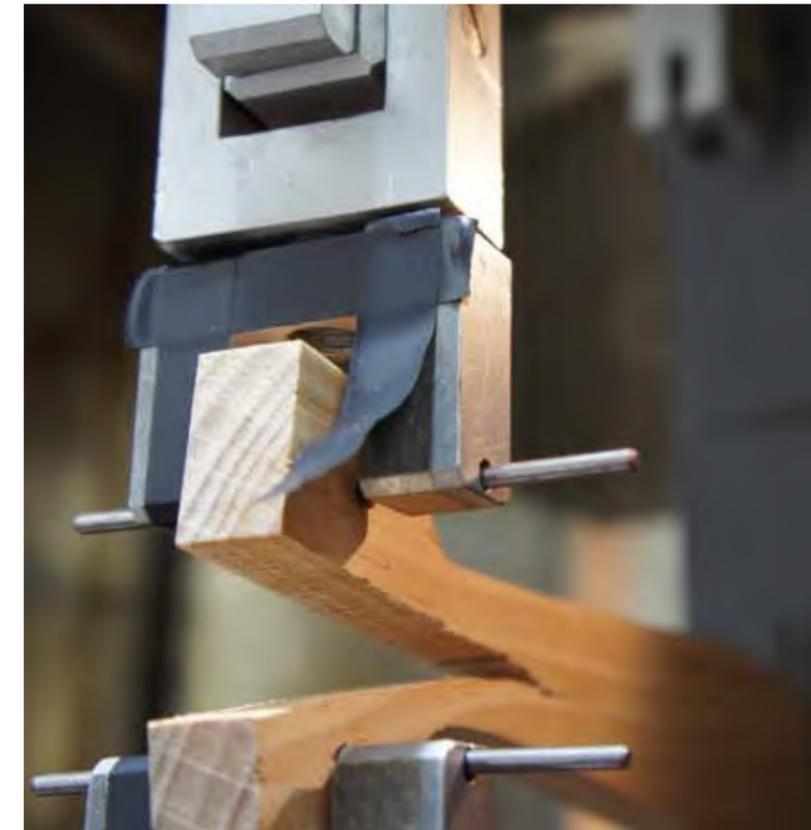
Cette thèse est consacrée à la simulation du comportement à la rupture de bois sous des chargements à long terme et sous des conditions d'Humidité Relatives (HR) de l'air variables. Il est connu que le bois est un matériau fortement hygroscopique, ses propriétés mécaniques et de rupture sont en effet très dépendantes de sa teneur en eau. En outre, la stabilité d'une fissure existante dans un élément structural peut être fortement influencée par les variations, en particulier brusques, d'humidité relative qui peut conduire à la rupture inattendue de l'élément. L'approche thermodynamique proposée intègre l'effet de mécanosorption dans l'expression analytique de la déformation, en découplant les déformations mécaniques et celles dues au comportement mécanosorptif du matériau. En outre, la rupture quasi-fragile du matériau bois est traduite par un modèle de zone cohésive dont les paramètres sont fonction de la teneur en eau afin de simuler l'effet de l'humidité sur les propriétés de rupture. Sur cette base, une formulation incrémentale permet l'intégration de l'effet des variations soudaines d'humidité relative (autrement dit, le choc hydrique) sur la zone d'élaboration (zone cohésive) en introduisant un champ de contraintes supplémentaires le long de cette zone. Fonction de la variation de HR, ce champ de contraintes supplémentaires dépend de l'état de contrainte et de l'ouverture de la fissure le long de la zone cohésive, mais également de l'humidité

### Abstract

*This thesis is dedicated to the simulation of the fracture behavior of wood under long-term loading and variable relative humidity conditions. Indeed, wood is well-known to be a highly hygroscopic material in so far as its mechanical and fracture properties are very dependent of moisture. Moreover, the stability of an existent crack in a structural element can be strongly affected by the sudden variations of relative humidity (RH) and can lead to an expected failure of the element. The thermodynamic approach proposed in this thesis includes the mechano-sorptive effect in the analytical expression of the deformation, by operating a decoupling of the strain in a mechanical part and a mechano-sorptive part in material. Moreover, the quasi-brittle fracture of wood is here simulated from a cohesive zone model whose cohesive parameters are functions of the moisture in order to mimic the moisture-dependent character of the fracture properties. On this basis, an increment formulation allows the integration of the effect of sudden RH variations on the fracture process zone (cohesive zone) by introducing an additional stress field along this zone. As a function of the RH variation, this additional stress field depends on not only the stress state and the crack opening along the cohesive zone but also the material moisture ahead of the zone (undamaged material). In the finite element analysis, an algorithmic tangent operator is used to solve the*

en pointe de fissure (matériau non endommagé). Dans l'analyse par éléments finis, un opérateur tangent algorithmique est utilisé pour résoudre le problème non linéaire en combinant le modèle de mécanosorption et le modèle de zone cohésive et en intégrant l'effet du choc hydrique. La simulation du comportement d'une éprouvette entaillée soumise à un chargement constant et à des variations cycliques de HR montre un fort couplage entre le comportement mécanosorptif et l'effet du choc hydrique HR sur la zone d'élaboration. Ce couplage entraîne une augmentation de la propagation des fissures et conduit à une fissuration plus précoce par rapport à celle obtenue à partir du modèle de mécanosorption seul ou à partir du modèle de zone cohésive en intégrant l'effet des variations soudaines de HR. En outre, le couplage entre le modèle mécanosorptif et le modèle de zone cohésive en intégrant l'effet du choc hydrique montre l'intérêt d'une telle approche numérique pour décrire le comportement complexe des éléments de charpente en bois soumis à des conditions climatiques variables, comportement qui ne peut être prédit par une simple superposition des deux modélisations.

*non-linear problem combining mechano-sorptive model and cohesive zone model including the effect of sudden RH variations. The simulation of a notched structural element submitted to a constant load and cyclic RH variations exhibits a strong coupling between the mechano-sorptive behavior and the effect of the RH variations on the fracture process zone (FPZ). This coupling results*



*in an increase of the crack propagation kinetic and leads to a precocious failure compared to those obtained from the mechano-sorptive model or from the effect of sudden RH variations on the FPZ. Moreover, the coupling between the mechano-sorptive model and the effect of sudden RH variations on the FPZ which cannot be predicted by a simple superposition of both effects, showing the interest of such a numerical approach in order to describe the complex behavior of wood structural elements submitted to variable climatic conditions.*

### Publications

Chaplain M, Morel S, Phan NA (2016). Mixed-mode fracture in a quasi-brittle material: R-curve and fracture criterion – Application to wood. *Engineering Fracture Mechanics* 156, 96-113.

Chaplain M, Coureau J-L, Morel S, Phan NA (2017). Influence of moisture content on mode I fracture process of Pinus pinaster: evolution of micro-cracking and crack-bridging energies highlighted by bilinear softening in cohesive zone model. *Wood Science and Technology* 51, 1051-1066.

Phan NA, Chaplain M, Morel S, Coureau J-L (2016). Crack propagation in maritime pine beams under humidity variations: cohesive crack method. *World Conference of Timber Engineering*, Vienna, Austria.

Phan NA (2016). Construction en bois : adaptation aux changements climatiques ? Effet des variations de l'humidité relative sur l'évolution de fissuration. *33<sup>e</sup> Rencontres Universitaires de Génie Civil*, Anglet, France.

Phan NA, Chaplain M, Morel S (2018). Simulation of crack propagation in mode I of wood by integrating the rapid variation of moisture content into a new cohesive zone model. *12<sup>e</sup> Colloque National en Calcul des Structures*, Giens, France.

# Edouard Sorin

## FISSURATION EN MODES MIXTES DANS LE BOIS : DIAGNOSTIC ET ÉVALUATION DES MÉTHODES DE RENFORCEMENT LOCAL

*Cracking in mixed mode in wood:  
diagnosis and evaluation of reinforcement methods*

**Thèse de doctorat sous la direction de Jean-Luc  
Coureau (Laboratoire d'accueil : Institut de  
Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux)..**

Soutenue le 30-11-2018 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

Cette thèse s'effectue au sein de l'université de Bordeaux. Ce projet concerne la construction en bois et en particulier la compréhension des phénomènes à l'origine des fissures dans les structures bois. L'un des objectifs étant de concevoir des méthodes efficaces de renforcement local pour les éléments de structure. Pour cela, l'étude se décompose en plusieurs étapes, la compréhension des phénomènes mis en jeu dans la création des fissures sur des bois de construction. Ce travail s'orientera sur la modélisation de fissure en mode mixte, la recherche de solution de renforcement avec compréhension fine de l'impact de types de renforts sur la propagation de la fissure. Cette étude sera accompagnée d'une campagne d'essais, afin de vérifier l'efficacité des renforcements choisis et d'identifier l'impact de l'effet d'échelle sur les modèles de prédiction. Des essais de grandes dimensions seront donc réalisés pour mieux appréhender les effets de groupes et les effets d'échelle sur du matériau d'emploi. On vise ensuite à définir des outils prédictifs de la résistance des systèmes renforcés et de moyens de contrôles pour les Plans d'Assurance Qualité.

### Abstract

*The purpose of reinforcing assemblies and structural elements in wood is to overcome the resistance limits of the material, by transferring greater efforts in areas which can lead to premature cracking in structures. The reinforcements used can be made of steel, composite materials or wood. Their hook can be mechanical (screwed bodies) or by adhesion (structural bonding like glued-in rods for example). In both cases, the transfer of solicitations remains poorly known, and the effect of the beginning and the deflection of crack are not well apprehended. In engineering techniques, the wood resistance in the reinforced area is neglected, which is in line with the precautionary principle. Currently, the scientific investigations are interested in the resistance of those kind of techniques without considering the interactions between the quasi-brittle behavior of the wood and the reinforcements which govern the gain in mechanical performance. However, these solutions can lead to a failure caused by the progressive splitting of the wood and the anchor loss of the reinforcement. So it seems accurate to propose predictions of the short-term strength for splitting of reinforced and unreinforced beams, which can be used to further exploration of the long-term failure mechanism. That is why, in this study, a global prediction model of the ultimate strength of structural components subjected to splitting, reinforced and unreinforced ones, was developed. It considers the quasi-brittle behavior of the wood and crack propagation in mixed mode, using a mixing law established on the R-curves. The relevance of this modeling was then compared to the current dimensioning methods of the Eurocodes 5, for notched beams, with experimental campaigns conducted at different scales.*



### Publications

Sorin E, Coureau J-L, Chaplain M, Morel S, Lanata F, Cointe A, Galimard P (2018). Design of wooden notched beams using R-curves in mixed mode failure: Application to maritime pine. World Conference of Timber Engineering, Séoul, Corée, 20-23 août.

Sorin E, Coureau J-L, Chaplain M, Lanata F, Cointe A, Galimard P (2017). Comparaison des propriétés de rupture du Pin Maritime et de l'Epicéa en mode I et II purs : un protocole d'essai. 35<sup>e</sup> Rencontres Universitaires de Génie Civil, Nantes, France.

Sorin E, Lanata F, Boudaud C (2016). Behaviour of timber structures under variable environment through long-term monitoring. World Conference of Timber Engineering, Vienna, Austria..

**Plateforme  
XYLOPLATE**

# Mathieu Verdet

## ÉTUDE DU COMPORTEMENT À LONG TERME DE SYSTÈMES D'ASSEMBLAGES PAR GOUJONS COLLÉS EN CONDITIONS CLIMATIQUES VARIABLES

*Study of the long term behavior of glued-in rod connections in variable climate conditions*

**Thèse de doctorat sous la direction de Christine Délisée et Alexander Salenikovitch (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux).**

Soutenue le 13-12-2016 à l'Université de Bordeaux en cotutelle avec l'Université Laval (Québec, Canada).

### Résumé

La technique des goujons collés dans les structures bois allie performances mécaniques et esthétique. Elle répond au besoin de conservation du bâti pour le domaine de la rénovation et au besoin d'assemblages de plus en plus rigides et résistants en construction neuve avec l'avènement des structures bois de grandes ampleurs et l'arrivée de nouveaux produits tels que le bois lamellé croisé (CLT). De nombreuses études de caractérisation mécanique ont été menées au cours de ces 35 dernières années. L'enquête menée auprès des professionnels et experts en vue de l'introduction de cette technique dans l'Eurocode 5 a néanmoins révélé des attentes et lacunes particulières vis-à-vis des connaissances sur le comportement des assemblages multi-tiges, le choix des adhésifs, le comportement à long terme du collage et les techniques de contrôle qualité. Les travaux de cette thèse, menés en collaboration entre l'université de Bordeaux et l'Université Laval (Québec, Canada), ont pour objectif d'apporter des réponses sur le comportement mécanique des adhésifs, et assemblages sous sollicitation thermique et d'initier les développements sur le comportement à long terme et les assemblages multi-tiges. Les principaux résultats sont issus de travaux expérimentaux et numériques valorisés sous la forme d'articles scientifiques. Les essais mécaniques dynamiques menés sur une colle polyuréthane (PUR) et une résine époxy (EPX) entre 30°C et 120°C mettent en avant des différences importantes de raideur et de dégradations entre les deux adhésifs. Exposés à la chaleur, les assemblages sont eux aussi affectés avec des

### Abstract

*Glued-in rods have successfully been used for connections or reinforcement of timber structures. With the development of tall and large timber buildings and new products such as Cross Laminated Timber (CLT), there is an increasing need for connections that provide high stiffness and strength. Timber connections using glued in rods have a general aesthetic appeal, and take advantage of the structural adhesives that provide a high stiffness and load capacity. During the last 30 years, multiple applications have been developed for renovation and new construction. In parallel, numerous investigations have characterized the mechanical performance of these connections, but harmonized design rules are not available. A lack of knowledge on the multiple-rod connections, on the choice of adhesives, on long-term effects and on the control of quality is identified by a recent study and must be investigated before a new submission to Eurocode 5. This thesis is performed in the framework of collaboration between Université de Bordeaux (France) and Université Laval (Canada). Objectives are focused on the mechanical performance of adhesives and glued-in rod connections under elevated temperature, on the development of creep tests and the investigations of multiple-rod connections. This study combines experimental and finite element modelling results, which are presented in the form of scientific articles. A Dynamic Mechanical Analysis (DMA) on one polyurethane (PUR) and one epoxy (EPX) adhesives followed by static tensile tests on the connections with small-diameter steel glued-in rods have been conducted at different temperatures. High differences in stiffness are*

perdes de raideur et de résistance dès 40°C, en amont de la température de transition vitreuse et de la dégradation des adhésifs. Amené à suivre le régime de température extérieur, l'assemblage doit par sa conception être isolé afin de prévenir les risques aux états limites de service (ELS) et aux états limites ultimes (ELU). Très peu de données sont disponibles dans la littérature sur le comportement à long terme des assemblages goujons collés. L'étude du fluage ajoute une dimension temporelle aux problématiques de raideur. La base de données expérimentale collectée dans ces travaux repose sur 12 campagnes d'essais de 1 à 2 mois en conditions climatiques régulées en température et humidité relative, ou variables (service classe 1). Chargement et climat influent sur le glissement, mais aussi sur la durée de vie. Si des disparités sont présentes entre EPX et PUR, les études menées à 20°C et 50°C révèlent à nouveau l'importance de prendre en considération la température, notamment aux ELS. L'étude en régime variable illustre de son côté la sensibilité du système aux variations de température et d'humidité. L'étude de la répartition des efforts en fonction de la raideur des goujons est choisie comme fil conducteur pour investiguer le passage vers des éléments multi-tiges. Un modèle 3D mono-tige aux éléments finis est tout d'abord développé pour prendre en compte l'orthotropie du bois et regarder l'influence du centre de moelle jusqu'à présent négligée. Par la suite ce modèle est étendu aux configurations multi-tiges afin de simuler différentes configurations d'essais. Un prototype d'essai de caractérisation mécanique des assemblages multi-tiges est finalement présenté.

### Publications

Verdet M, Salenikovitch A, Cointe A, Coureau J-L, Galimard P, Toro WM, Blanchet P, Delisée C (2016). Mechanical performance of polyurethane and epoxy adhesives in connections with glued-in rods at elevated temperatures. *BioResources* 11, 8200–8214.

Verdet M, Coureau J-L, Cointe A, Salenikovitch A, Galimard P, Delisée C, Munoz Toro W (2017). Creep performance of glued-in rod joints in controlled and variable climate conditions. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 75, 47-56.

*observed between the two adhesives. Glued-in rod connections with the EPX and PUR adhesives demonstrate significant losses of stiffness and resistance beyond 40°C, before the glass transition temperature of the adhesive. Following the outside temperature, connections must be insulated to prevent excessive slip and risk of failure at the Serviceability Limits State (SLS) and at the Ultimate Limit States (ULS). Few data on the long-term effects are available in the literature. In this work, 12 campaigns of creep tests, adding time effects to previous work, have been performed. Glued-in rod connections were tested during one to two months in a conditioning room where temperature and relative humidity were controlled or in a room with a variable climate representative of service class 1. Disparities were observed between EPX and PUR. Creep tests conducted at 20°C and 50°C revealed an important role of the temperature, particularly for SLS. Creep tests in variable climate illustrated the sensibility of connections to the temperature and humidity variations. The stiffness and stress distribution in multiple-rod connections were investigated. First, a 3D model was developed to observe the influence of the wood orthotropy on the stiffness and stress distribution in a connection with a single rod. Then, the model was extended to multiple-rod connections to simulate different loads and boundary conditions. Finally, a prototype of a connection with multiple glued-in rods was tested.*



**Plateforme  
XYLOPLATE**

# Agnès Zambon

## FORMULATION ET CARACTÉRISATION PHYSIQUE D'UN BÉTON LÉGER DE MOUSSE ET À BASE D'ARGILE : VALORISATION DES SÉDIMENTS FINS DE DRAGAGE

*Mix design method and physics characterization  
of lightweight air-foam concrete using clay:  
valorization for dredged thin sediments*

Thèse de doctorat sous la direction de Nadia Saiyouri et Zoubir Mehdi Sbartai (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux).

Soutenue le 06-12-2018 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

Une réutilisation des sédiments issus du dragage en tant que matière première dans la fabrication d'un béton directement sur le site du dragage est une voie de valorisation économique et écologique. La présente étude a pour but de valoriser la partie fine des sédiments qui ne trouve pas de solutions de valorisation efficaces. En effet la structure en feuillet de l'argile la rend sensible aux conditions hydriques et lui confère une importante capacité de rétention des polluants. Afin d'optimiser les volumes à valoriser, le béton est envisagé en substitution totale des granulats par la fraction fine des sédiments. Les résultats apportés par la littérature tendent à privilégier une application en remblai tels que le remplissage entre deux rideaux de palplanches, un remblaiement géotechnique ou de carrières. Un procédé d'incorporation d'une mousse à base de protéine animale lors de la fabrication du béton est utilisé dans le cadre de cette étude pour alléger le matériau (densité comprise entre 1,1 et 1,3). Ce type de matériau fait donc partie de la catégorie des bétons légers de mousse plus communément appelée LWFC (LightWeight Foamed Concrete). Dans cette étude le matériau est désigné par le sigle BAMS (Béton Allégé par l'incorporation d'une Mousse et à base de Sédiments). L'étude a été réalisée sur un sol modèle constitué de 80% de bentonite et de 20% de sable correcteur de diamètre 0,125 mm. La méthode de formulation est basée sur la limite de liquidité du sol afin de prendre en compte l'absorption de l'eau. La caractérisation du BAMS se scinde en trois parties ; La première partie correspond à la caracté-

### Abstract

*A re-use of dredged sediments as raw material in the process of making of concrete directly on the site of the dredging is an interesting valorization as regards economy and environment. The present study aims at valuing the thin particles of sediments because they create a problem in the valorization of dredged sediments. Indeed, the layer structure of the clay makes it prone to react to humidity conditions and confers it an important capacity to retain polluting agents. To optimize the valued volumes, a total substitution of aggregates in the concrete by the thin particles of sediments is envisaged. The results from the literature tend to favor an application in embankment such as the filling between two sheet pile walls, a geotechnical embankment, a quarry embankment. An incorporation of an air-foam made of animal protein during the making of the concrete is used to reduce the density of the material (density between 1.1 and 1.3). This material is classified in the category of lightweight foam concrete called by the English abbreviation LWFC (LightWeight Foamed Concrete). In this study the material is named BAMS acronym for "Béton Allégé par l'incorporation d'une Mousse et à base de Sédiments". The study was realized with a model soil composed of 80% of bentonite clay and 20% of calibrated sand (diameter 0.125 mm). The mix design method is based on the liquidity limit of the soil considering its swelling. The characterization of the BAMS is split into three parts. The first part corresponds to the characterization of the fresh state of the BAMS. It highlights the optimi-*

sation à l'état frais du BAMS. Elle met en exergue une optimisation de l'abaissement de la densité à partir d'une certaine quantité d'eau apportée par rapport à la limite de liquidité du sol. L'allègement du matériau par l'incorporation d'une mousse modifie les propriétés du matériau à l'état frais ; elle améliore la fluidité et retarde la prise du ciment. La deuxième partie correspond à la caractérisation mécanique du BAMS ; l'eau apportée pour optimiser l'allègement du matériau impacte la résistance mécanique qui est jugée acceptable à partir de 0,5 MPa. Celle-ci peut être améliorée en augmentant la quantité de ciment qui doit cependant rester faible pour rentabiliser la voie de valorisation. Il y a donc un compromis inévitable entre résistance mécanique et densité. Les combinaisons (densité ; résistance mécanique) possibles et les paramètres de formulations permettant de les atteindre ont été étudiés. Des essais non-destructifs sont effectués afin de contrôler la résistance mécanique in situ. L'étude du retrait linéaire indique une variation dimensionnelle importante du BAMS de l'ordre du cm/m qui peut être divisé par 100 avec une cure humide. La troisième partie correspond à la durabilité par l'étude des propriétés de transfert du BAMS dont les résultats mettent en avant une accessibilité partielle du réseau poreux créée par la mousse incorporée. Le relargage des polluants dans les sédiments est évalué par un essai de lixiviation effectué sur un sol modèle pollué artificiellement (cas non-immersible). Cet essai permet de valider l'efficacité de leur inertage par le traitement au ciment et l'utilisation du matériau sans impact environnemental selon le critère PH14.

*zation of the reduction of the density from a quantity of added water with regard to the liquidity limit of the soil. The incorporation of airfoam modifies the characteristics of the fresh state of the material. It improves the workability and delays the setting of cement. The second part corresponds to the mechanical characterization of the BAMS. The added water which optimizes the reduction of the density impacts the mechanical resistance which has to be over 0.5 MPa. There is thus an inevitable compromise between mechanical resistance and density. The possible combinations and their mix design to get them have been studied. Non-destructive tests are done to simply check the mechanical performances on construction site. The study of the linear shrinkage highlights an important variation of the dimension of the BAMS. This can be limited by a wet cure. The third part corresponds to the durability by the study of the transfer properties of the BAMS. The results highlight a limited accessibility of the porous network. The release of polluting agents in sediments is estimated by a lixiviation test realized on BAMS made with a model soil artificially polluted (non immersible case). From the results we can conclude on the efficiency of the inerting of polluting agents by the cement treatment and therefore the use of the material is allowed without having an impact on environment (PH14).*



### Publication

Zambon A, Saiyouri N, Sbartai ZM, Duplaine H (2016). Formulation et caractérisation d'un béton allégé à base de sédiments marins. 34<sup>e</sup> Rencontres Universitaires de Génie Civil, Liège, Belgique.

Plateforme  
XYLOPLATE

# LISTE DES THÈSES EN COURS

## XYLOPLATE

Raoul ADJOVI LOKO

**ÉLABORATION DE COMPOSITES STRUCTURAUX  
BOIS LAMELLÉ COLLÉ : PANACHAGE DE  
PERFORMANCES ET D'ESSENCES**

Thèse débutée le 09-05-2016 sous la direction de  
Jean-Luc Coureau et Gérard Léopold Gbadigui  
Aïsse (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique  
et d'Ingénierie de Bordeaux).

Plateforme  
XYLOPLATE

Benjamin CROQUELOIS

**RÉSISTANCE MÉCANIQUE DES COMPRIMÉS  
PHARMACEUTIQUES : APPROCHE  
EXPÉRIMENTALE ET NUMÉRIQUE PAR LA  
MÉCANIQUE DE LA RUPTURE**

Thèse débutée le 01-09-2016 sous la  
direction de Vincent Mazel (Laboratoire d'accueil :  
Institut de Mécanique et d'Ingénierie de  
Bordeaux).

Plateforme  
XYLOPLATE



Clément FLEURY

**COMPORTEMENT THERMO-MÉCANIQUE DES ASSEMBLAGES PAR GOUJONS COLLÉS**

Thèse débutée le 01-10-2018 sous la direction de Jean-Luc Coureau et Pierre Blanchet (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux).

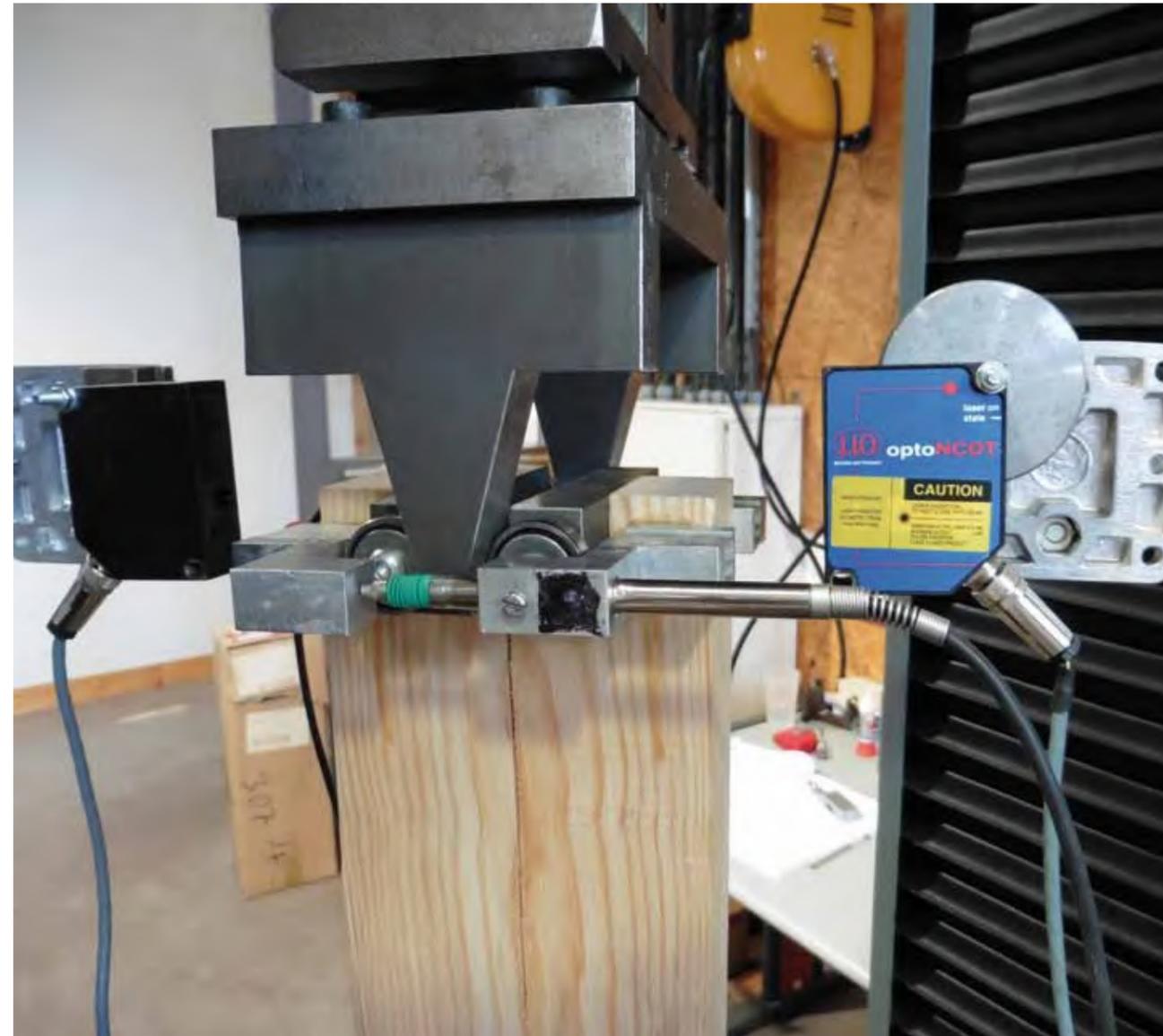
Plateforme  
XYLOPLATE

Nathalie KOUTA

**COMPORTEMENT MÉCANIQUE ET CARACTÉRISATION-DURABILITÉ DE NOUVEAUX MATÉRIAUX À BASE D'ARGILE/ SÉDIMENTS (GÉOMATÉRIAUX BIO-SOURCÉS).**

Thèse débutée le 01-10-2017 sous la direction de Nadia Sayouri (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux).

Plateforme  
XYLOPLATE



Yann SOUSSEAU

**LOIS DE SIMILITUDE ET MODÉLISATION DU COMPORTEMENT MÉCANIQUE DES BÂTIMENTS BOIS MULTI-NIVEAUX**

Thèse débutée le 01-10-2018 sous la direction de Mohammed Elachachi (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux).

Plateforme  
XYLOPLATE



Valentin MAKOMRA

**ANALYSE MULTICRITÈRE ET CARACTÉRISATION STRUCTURALE DES PRODUITS D'INGÉNIEURIE DES BOIS TROPICAUX DU BASSIN DE CONGO : CAS DE PANNEAUX DE CONTRE-PLAQUÉS**

Thèse débutée le 04-09-2015 sous la direction de Denis Breyse et Régis Pommier (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux).

Plateforme  
XYLOPLATE

Cédric PEREZ

**COMPORTEMENT DIFFÉRÉ À LA FISSURATION D'ÉLÉMENTS DE STRUCTURE EN BOIS SOUS CHARGEMENTS MÉCANIQUES ET ENVIRONNEMENTS VARIABLES**

Thèse débutée le 01-12-2016 sous la direction de Stéphane Morel (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux).

Plateforme  
XYLOPLATE

Peng SHUANG

**DÉVELOPPEMENT D'OUTILS D'ÉVALUATION DES OUVRAGES MAÇONNÉS - APPORT DU CONTRÔLE NON DÉSTRUCTIF**

Thèse débutée le 01-09-2017 sous la direction de Mehdi Sbartai (Laboratoire d'accueil: Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux).

Plateforme  
XYLOPLATE

Vincent VENZAL

**MODÉLISATION DU COMPORTEMENT DES OUVRAGES MAÇONNÉS EN PIERRE. ASPECTS EXPÉRIMENTAUX - MODÉLISATION DISCRÈTE - MODÉLISATION CONTINUE**

Thèse débutée le 01-09-2016 sous la direction de Stéphane Morel (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux).

Plateforme  
XYLOPLATE

# XYLOMAT

## PRODUITS COMPOSITES À BASE DE BOIS

### IDENTIFICATION ET ÉVALUATION DES DIFFÉRENTS TYPES ET NIVEAUX DES CONTAMINANTS CHIMIQUES DANS LE BOIS RECYCLÉ 162

*Identification and assessment of types and levels of chemical contamination in recycled wood*

### L'EXUDATION DE LA RÉSINE DANS LE BOIS DE PIN MARITIME (PINUS PINASTER) : ÉTUDE ET MISE EN PLACE D'UN SYSTÈME DE PRÉVENTION 164

*The exudation of resin in maritime pine wood (Pinus pinaster): study and implementation of a prevention system*

### ÉTUDE DE L'EXTRACTION DE TANINS D'ÉCORCE DE PIN MARITIME POUR L'ÉLABORATION DE COLLES TANIN-LIGNOSULFONATE 166

*Study of maritime pine bark extraction for the preparation of tannin-lignosulfonate adhesives*

### FRACTIONNEMENT DE DÉCHETS DE PANNEAUX DE BOIS MDF POST-CONSOMMATION PAR VOIE CHIMIQUE POUR LA RÉALISATION DE MATÉRIAUX BIOSOURCÉS À HAUTE VALEUR AJOUTÉE 168

*Fractionation of post-consumer MDF waste by chemical treatments for the extraction of high-value biosourced materials*

### ANALYSE, MODÉLISATION ET SIMULATION DE LA COUPE ORTHOGONALE DU BOIS VERT EN VUE DE SON APPLICATION AU FRAISAGE PAR CANTER 170

*Analysis, modeling and simulation of green wood orthogonal cutting process for milling with chipper-canter application*

### FAISABILITÉ DU DÉROULAGE DU BOIS ASSISTÉ PAR INFRAROUGE 172

*Feasibility of wood peeling assisted*

### PROTECTION À FAIBLE IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES CONTREPLAQUÉS AVEC DES ASSOCIATIONS TANNINS-BORE 174

*Preservation of plywood against biological attack with low environmental impact using tannin-boron preservative*

### DÉVELOPPEMENT DE BIO-COMPOSITES À BASE DE FIBRES VÉGÉTALES ET DE COLLES ÉCOLOGIQUES 176

*Development of plant fibers and ecological adhesives bio-based composites*

### ASSOCIATIONS TANINS-BORE POUR DES PRODUITS DE PROTECTION DU BOIS À FAIBLE IMPACT ENVIRONNEMENTAL 178

*Tannins-boron networks for long-term and low-environmental impact wood preservatives*

### ÉTUDE DU COMPORTEMENT MÉCANIQUE DE MATÉRIAUX ISOLANTS À BASE DE FIBRES DE BOIS : CARACTÉRISATION À PARTIR DE TECHNIQUES D'IMAGERIE NON DESTRUCTIVES 180

*Study of compression behavior of wood-based fiberboard: characterization from non-destructive image techniques*

### REPRÉSENTATION DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES EN VUE DE LEUR TRANSFERT VERS L'INDUSTRIE : APPLICATION À LA VALORISATION DES PRODUITS À BASE DE BOIS EN FIN DE VIE 182

*Representation of scientific knowledge in order to transfer it to industry*

### ÉTUDE DE SOLUTIONS COMPOSITES BIO-SOURCÉES RESPECTEUSES DE L'ENVIRONNEMENT POUR DES APPLICATIONS DANS LE DOMAINE DE L'AVIATION LÉGÈRE 184

*A study of eco-friendly bio-based composites for applications in light aircraft*

### VALORISATION DES LIGNINES ET DES TANINS AU TRAVERS DE MATÉRIAUX POREUX 186

*Valorization of lignins and tannins through porous materials*

### FORMULATION ET CARACTÉRISATION DE RÉSINES THERMO-DURCISSABLES BIO-SOURCÉES POUR L'INDUSTRIE DU BOIS 188

*Formulation and characterization of bio-based thermoset resins in the wood industry*

### ANALYSE ET MODÉLISATION DE LA FRAGMENTATION DES PLAQUETTES DE BOIS VERT PAR FRAISAGE (CANTER) 190

*Green wood milling analysis and modelisation*

### MESURE DES FISSURES DE DÉROULAGE ET DES ÉTATS DE SURFACE DES PLACAGES DE BOIS À CROISSANCE RAPIDES ; ÉTUDE ET MODÉLISATION DE L'IMPACT DES PROPRIÉTÉS DES PLACAGES SUR LES PERFORMANCES DES LVL DE BOIS À CROISSANCE RAPIDE 192

*Characteristics of lathe check and surface roughness of fast growing wood veneers and their performance on laminated veneer lumber*

### MISE AU POINT DE MÉLANGES COLLANTS ÉCOLOGIQUES À PARTIR DES ÉCORCES D'ACACIA MOLLISSIMA DU MAROC 194

*Elaboration of ecological adhesives from moroccan bark of acacia mollissima*

### AMÉLIORATION DES CARACTÉRISTIQUES DES PANNEAUX DE FIBRES À BASE DE BOIS ET DE RÉDUCTION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX GRÂCE À LA STRATIFICATION DE LEUR STRUCTURE 196

*The development new layer fibreboard products with enhanced properties whilst minimizing their environmental impact*

### LISTE DES THÈSES EN COURS 198



# Mohamed Amine Bouslamti

## IDENTIFICATION ET ÉVALUATION DES DIFFÉRENTS TYPES ET NIVEAUX DES CONTAMINANTS CHIMIQUES DANS LE BOIS RECYCLÉ

*Identification and assessment of types and levels of chemical contamination in recycled wood*

**Thèse de doctorat en Science pour l'ingénieur sous la direction de Mark Irle et Christophe Belloncle (Laboratoire d'accueil : ESB - LIMBHA Nantes).**

Soutenue le 02-04-2012 à l'École Centrale de Nantes.

### Résumé

La première partie de ce travail est l'étude de la disponibilité et de l'utilisation des ressources de bois recyclé. 16 millions de tonnes de résidus de bois sont récupérés chaque année dans les entreprises ou les points de collectes (déchèteries). Seuls moins de 14% de cette matière première sont recyclés, en partie en raison d'un tri insuffisamment sélectif car souvent uniquement visuel. En effet les réglementations imposent le rejet de certaines ressources en raison de contaminations, volontaires ou involontaires, par des produits de préservation, peintures, etc. Il est évident que l'augmentation de la valorisation des déchets bois passe par une analyse systématique des niveaux de contaminants chimiques. Les Normes Européennes DD CEN/TS 14778-1 et DD CEN/TS 14780 :2005 décrivent des protocoles de réduction d'un gisement de bois recyclé de plusieurs centaines de tonnes à un échantillon représentatif de l'ordre de quelques dizaines de kilogrammes. Une étape de broyage est ensuite nécessaire afin de réduire les tailles moyennes des particules d'une dizaine de centimètre jusqu'à une limite supérieure de 500 µm pour extraire les produits chimiques et en mesurer les concentrations. Cette étape de préparation et d'analyse est relativement coûteuse car réalisée sur plus d'une dizaine de kilogrammes. L'élaboration d'un protocole robuste d'analyse de cet échantillon est donc importante. La méthodologie retenue a consisté à simuler un échantillon de bois recyclé à partir d'un mélange de particules propres et imprégnées (traitement de préservation par des sels métalliques) de répartition granulométrique connue, et à appliquer différents protocoles de prélèvement et d'extraction. L'analyse chimique a également fait l'objet de comparaison de méthodes et d'analyses statistiques. Si des techniques classiques d'analyse

### Abstract

*The first part of this thesis is a market study of the availability of recycled wood. Each year, in France, 16 million tons of wood waste are collected by specialist companies and waste reception centres. Less than 14% of this is recycled, partially because regulations do not allow highly contaminated wood resources and also because of inadequate sorting techniques, which are often limited to visual assessment. Clearly, recycled wood should be analysed chemically. European standards DD CEN/TS 14778-1:2005 and DD CEN/TS 14780:2005 describe how to obtain samples weighing tens of kg from stockpiles of hundreds of tons. The particles in the sample, often with a top size of several centimetres, must be ground to a fine flour of less than 500 µm. It is impractical to grind the whole sample and so a robust protocol which permits sub-sampling without introducing bias is necessary. A model sample of recycled wood was created using clean particles impregnated with different metals. Different sub-sampling protocols were applied to this model. The samples were analysed chemically in order to see differences via statistical analysis. Standard wet chemistry methods and analyses (ICP-AES and AAS) were used to measure metal contents. In addition, a potentially non-destructive technique based on Fourier Transform Near Infrared Spectroscopy (FT-NIRS) was used to characterize and to predict the presence of metals in wood samples. Multivariate statistical techniques permit the discrimination between particles containing different metals or organic preservatives. It is demonstrated that the level of contamination, particularly with copper slats, can be determined by comparing observations with a database of spectra obtained from known samples (PLS modelling).*

en solution (ICP-AES et AAS) ont été retenues pour l'élaboration du protocole, une étude par spectroscopie proche infra-rouge à transformée de Fourier (SPIR-TF) a été étudiée afin de promouvoir une technologie plus rapide et potentiellement non destructive. Une méthode d'analyse statistique multivariée des spectres proche infrarouge a mis en évidence la discrimination entre des bois traités avec des produits organiques et des sels métalliques mais aussi entre les sels eux même. Les niveaux de contamination, en particulier des sels de cuivre, sont évalués par modélisation et comparaison avec une base de données spectrale d'échantillons contaminés connus (modèle PLS).



### Publications

Bouslamti A., Belloncle, C., Irle M.A., Salvador V., Bondu M. and Caron B. (2012). Why Simulate a Sample of Recycled Wood, Maderas. *Ciencia y tecnología* 14(2):2012.

Bouslamti M.A., Belloncle, C., Irle M.A., Salvador V., Bondu M. and Caron B., Qannari E.M., (2013). Classification of wood materials using Fourier transform near infrared spectroscopy and multivariate analysis, *International Wood Products Journal* 4, 116-121.

Kinata, E., Loubar, K; Paraschiv, M., Bouslamti, A., Belloncle, C., Tazerout, M., (2013). Slow pyrolysis of CCB-treated wood for energy recovery: Influence of chromium, copper and boron on pyrolysis process and optimization, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 104, 210-217

# Thomas Cabaret

## L'EXSUDATION DE LA RÉSINE DANS LE BOIS DE PIN MARITIME (*PINUS PINASTER*): ÉTUDE ET MISE EN PLACE D'UN SYSTÈME DE PRÉVENTION

*The exudation of resin in maritime pine wood (Pinus pinaster): study and implementation of a prevention system*

**Thèse de doctorat en Physico-Chimie des Matériaux sous la direction de Bertrand Charrier (Laboratoire d'accueil : IPREM Mont-de-Marsan).**

Soutenue le 07-12-2018 à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour.

### Résumé

Les travaux réalisés lors de cette thèse s'effectuent dans le cadre du projet FIXAPIN. Ce projet, financé par la région Nouvelle Aquitaine, est mené en collaboration avec différentes entreprises (Gascogne Bois, Bardage Bois Neoclin, Lesbats Scieries d'Aquitaine, Scierie Labadie et FPBOIS) spécialisées dans le domaine du sciage du bois de pin maritime et l'Institut technologique FCBA. L'objectif du projet est de limiter voire d'empêcher l'exsudation de la résine généralement observée sur la surface des planches de bois de pin maritime utilisées en extérieur comme bardage. L'exsudation de la résine est un frein important à l'utilisation de ce bois en extérieur et ces recherches s'inscrivent dans une démarche d'amélioration continue de la qualité des produits de la filière du pin maritime. Le bois de pin maritime peut présenter un taux de résine supérieur à 10 % de sa masse. La résine est constituée d'environ 70 % de colophane (fraction solide) et de 30 % d'essence de térébenthine (fraction liquide et volatile). À la suite d'essais préliminaires, les recherches réalisées lors de cette thèse se sont concentrées sur l'optimisation du cycle de séchage du bois afin de fixer la résine dans les planches. Les propriétés thermiques de la résine associée à des analyses physico-chimiques ont été étudiées afin de mettre en place des procédures de séchage optimisées ayant pour but d'augmenter la température de ramollissement de la résine à un seuil supérieur à la température maximum atteignable par un bardage extérieur. Les résultats ont permis de démontrer l'efficacité d'un séchage/traitement thermique du bois à haute température (> 120 °C) permettant d'envisager la poursuite de ces travaux aux échelles pilotes puis indus-

### Abstract

*The work realised in the context of this thesis is carried out within the FIXAPIN project. This project, funded by the Nouvelle Aquitaine council, is carried out in collaboration with several companies (Gascogne Bois, Bardage Bois Neoclin, Lesbats Scieries d'Aquitaine, Scierie Labadie and FPBOIS) specialized in the sawing of maritime pine wood and the FCBA Technological Institute. The aim of the project is to limit or even to prevent the exudation of the resin generally observed on the surface of maritime pine wood boards used outdoors as wood siding. The resin exudation is a major constraint to the external use of this wood and this research project is part of a continuous improvement process of the maritime pine products quality. Maritime pine wood can have a resin amount greater than 10% of its mass. The resin consists approximately of 70% rosin (solid fraction) and 30% turpentine (liquid and volatile fraction). Based on preliminary tests, the research carried out during this thesis focused on optimizing the wood drying process in order to fix the resin in the wood boards. The thermal properties of the resin associated with physico-chemical analyses were studied in order to implement optimized drying procedures to increase the resin softening temperature to a threshold higher than the maximum temperature attainable by an exterior siding. The results have demonstrated the effectiveness of drying / heat treatment of wood at high temperature (> 120 °C) to allow the pursuit of this work at pilot than industrial scales. Furthermore, long drying at low temperatures (<60 °C) may also be a promising approach regarding the wood drying process in traditional kilns.*

trielles. De plus, des séchages longs à basse température (< 60 °C) peuvent également représenter une voie prometteuse concernant le séchage du bois en séchoir traditionnel.



### Prix / Award

Prix du meilleur poster du GDR3544 sciences du bois, 21-23 novembre 2017, Nantes

1<sup>er</sup> prix du concours « La thèse de mon parrain » de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour

### Publications

Cabaret, T., Boulicaud, B., Chatet, E., Charrier, B. (2018). Study of rosin softening point through thermal treatment for a better understanding of maritime pine exudation. *Eur. J. Wood Wood Prod.* 76, 1453–1459.

Cabaret, Thomas, Gardere, Y., Frances, M., Leroyer, L., Charrier, B. (2019). Measuring interactions between rosin and turpentine during the drying process for a better understanding of exudation in maritime pine wood used as outdoor siding. *Ind. Crops Prod.* 130, 325–331.

Cabaret, T., Harfouche, N., Leroyer, L., Ledeuil, J.-B., Martinez, H., Charrier, B. (2019). A study of the physico-chemical properties of dried maritime pine resin to better understand the exudation process. *Holzforschung*.

Cabaret, T., Mariet, F., Li, K., Leroyer, L., Charrier, B. (2019). High temperature drying effect against resin exudation for maritime pine wood used as outdoor siding. *Eur. J. Wood Wood Prod.* 77, 673–680.

**Plateforme**  
XYLOMAT - IPREM Mont-de-Marsan

# Lucie Chupin

## ÉTUDE DE L'EXTRACTION DE TANINS D'ÉCORCE DE PIN MARITIME POUR L'ÉLABORATION DE COLLES TANIN-LIGNOSULFONATE

*Study of maritime pine bark extraction for the preparation of tannin-lignosulfonate adhesives*

**Thèse de doctorat en Chimie des polymères sous la direction de Bertrand Charrier et Fatima Charrier El Bouhtoury (Laboratoire d'accueil : IPREM Mont-de-Marsan).**

Soutenue le 07-11-2014 à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour.

### Résumé

Cette étude a deux objectifs principaux : l'extraction de tanins condensés d'écorces de pin maritime et la formulation de colles tanin-lignosulfonate. Deux méthodes d'extraction ont été étudiées. La première est une extraction à l'eau chaude ; c'est une technique simple, peu coûteuse, sans solvant. La deuxième est une extraction assistée par micro-ondes ; c'est une technique innovante, rapide et peu consommatrice en solvant. L'optimisation des conditions d'extraction à l'eau chaude a été réalisée. Les extraits ont été caractérisés par des dosages colorimétriques, leur réactivité au formaldéhyde, par infrarouge à transformée de Fourier (IRTF), par chromatographie en phase liquide à haute pression, par 1H RMN et 2D HSQC RMN. L'impact de la granulométrie sur l'extraction de polyphénols et particulièrement de tanins condensés par extraction assistée par micro-ondes a été étudié pour la première fois. Les deux types d'extraction ont été comparés. L'extraction assistée par micro-ondes a un rendement en extractibles inférieur à l'extraction à l'eau chaude. Mais elle extrait plus de tanins condensés, de flavonoïdes simples et plus de sucres. Quelle que soit la méthode d'extraction, les tanins condensés majoritaires extraits de l'écorce de pin maritime sont de la catéchine, de l'épicatéchine, de l'épicatéchine gallate et de l'epigallocatechine. Des colles tanin-lignosulfonate ont été produites en utilisant l'hexaméthylènetetramine comme durcisseur. Dans un premier temps, des tanins de mimosa ont été utilisés avec des lignosulfonates de sodium et des lignosulfonates d'ammonium. Les ligno-

### Abstract

*This study has two main objectives: the extraction of condensed tannins from maritime pine bark and the preparation of tannin-lignosulfonate adhesives. Two extraction methods were studied. The first is hot water extraction which is a simple, cheap method without the use of an organic solvent. The second is microwave-assisted extraction which is a fast, innovative method using only a small amount of solvent. Optimum extraction conditions were determined for hot water extraction. The extracts were characterised by their reaction to formaldehyde and by using colorimetric tests, Fourier Transformed Infrared spectroscopy (FTIR), high pressure liquid chromatography, 1H NMR and heteronuclear single quantum correlation 2D NMR. The two types of extraction were compared. It was found that microwave-assisted extraction produced a lower yield of extractibles than the hot water method but that it produced more condensed tannins, simple flavonoids and sugars. The condensed tannins extracted from maritime pine bark are catechin, epicatechin, epicatechin gallate and epigallocatechin, whatever the extraction method used. Tannin-lignosulfonate adhesives were produced using hexamethylenetetramine as a hardener. First, mimosa tannins were used with sodium lignosulfonates and ammonium lignosulfonates. The lignosulfonates underwent two glyoxal treatments which were compared using thermogravimetric analysis (TGA), differential scanning calorimetry (DSC), and by determining the thermal and mechanical properties of the adhesives and of the particle*

sulfonates ont subi deux traitements au glyoxal qui ont été comparés par analyse thermogravimétrique (ATG), par calorimétrie différentielle à balayage (DSC), par les propriétés thermiques et mécaniques de colles et de panneaux de particules avec des lignosulfonates ayant subi les deux traitements ont également été étudiées. L'optimisation du ratio tanin de mimosa-lignosulfonate glyoxalé a été menée et les propriétés thermiques des colles mesurées. L'optimisation des conditions de pressage de panneaux de particules a été réalisée. Des panneaux de particules avec de bonnes performances mécaniques ont été fabriqués. Des colles à base de tanins d'écorce de pin maritime et de lignosulfonates ont été réalisées avec 40% de tanins et 60% de lignosulfonates. Ces colles ont été caractérisées par IRTF, analyse thermomécanique, ATG et DSC. Ces colles sont rentrées dans la fabrication de panneaux de particules. Les émissions de formaldéhyde et la cohésion interne des panneaux ont été mesurées et comparées à des panneaux encollés avec une colle tanin de mimosa-lignosulfonate et une résine urée-formaldéhyde. Grâce à ces résultats, il a été possible de montrer que les panneaux de particules fabriqués à partir de colles bio-sourcées n'émettaient pas de formaldéhyde.

*boards made using the lignosulfonates resulting from the two treatments. The optimum mimosa tannin-glyoxalated lignosulfonate ratio was determined and the thermal properties of the adhesives were measured. The optimum conditions of pressing the particle boards were determined. Particle boards which recorded a good mechanical performance were produced. Adhesives using maritime pine bark tannins and lignosulfonates were prepared with 40% tannins and 60% lignosulfonates. These adhesives were characterised using FTIR, thermomechanical analysis, TGA and DSC. These adhesives were used to produce particle boards. The emission of formaldehyde and the internal bond of the boards were measured and compared to those of boards made with a mimosa tannin-lignosulfonate adhesive and to those of boards made with a urea-formaldehyde resin. Thanks to these results, we were able to produce particleboards with bio-based adhesives that didn't emit formaldehyde.*



### Prix

Ron Cokroft Award from the International Research Group on Wood Preservation (USA, June 2014)

### Publications

Chupin L., Maunu S.L., Reynaud S., Pizzi S., Charrier B., Charrier-El Bouhtoury F. (2015). Microwave assisted extraction of maritime pine (*Pinus pinaster*) bark: Impact of particle size and characterization. *Industrial Crops and Products*, 142-149.

Chupin L., Charrier B., Pizzi A., Perdomo A., Charrier-El Bouhtoury F. (2015). Study of thermal durability properties of tannin-lignosulfonate adhesives. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 119, 1577-1585.

### Plateforme

XYLOMAT - IPREM Mont-de-Marsan

# Laetitia Couret

## FRACTIONNEMENT DE DÉCHETS DE PANNEAUX DE BOIS MDF POST-CONSOMMATION PAR VOIE CHIMIQUE POUR LA RÉALISATION DE MATÉRIAUX BIOSOURCÉS À HAUTE VALEUR AJOUTÉE

*Fractionation of post-consumer MDF waste by chemical treatments for the extraction of high-value biosourced materials*

Thèse de doctorat en Génie des procédés sous la direction de Mark Irle, Bernard Cathala et Christophe Belloncle (Laboratoire d'accueil : ESB - LIMBHA Nantes).

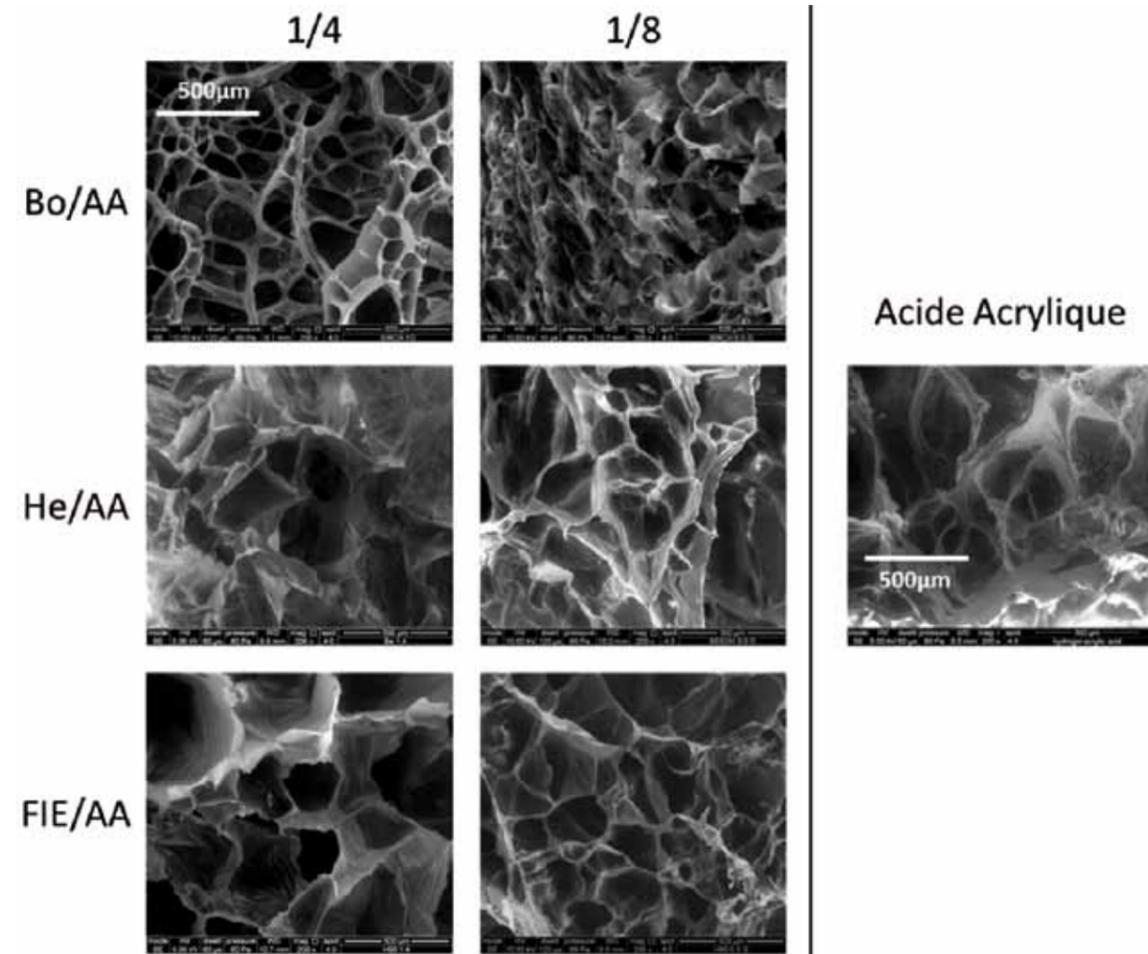
Soutenue le 09-10-2017 à l'Ecole Centrale de Nantes.

### Résumé

Les panneaux de bois MDF (Medium-Density Fiberboard), principalement utilisés dans le secteur de l'ameublement, génèrent une quantité annuelle mondiale de déchets estimée à 40 millions de m<sup>3</sup>. Actuellement, aucune méthode viable ne permet leur recyclage du fait de la présence de contaminants de type résine ou finitions (peinture, laminé, plastique). Ces déchets, constitués de bois à hauteur de 85-90 %, représentent cependant une source de matière lignocellulosique non négligeable. Afin de transformer cette ressource inexploitée, en matériaux à haute valeur ajoutée, un procédé de fractionnement combinant traitement alcalin et délignification a permis la séparation des hémicelluloses et lignines, amenant à l'isolement de la cellulose. En premier lieu, cette méthode a été utilisée pour l'extraction de nanocelluloses, à savoir des nanocristaux de cellulose par hydrolyse acide et des nanofibrilles de cellulose par délamination mécanique. Les nanocristaux de cellulose extraits des déchets ont montré des caractéristiques semblables à ceux obtenus avec des fibres de bois vierges. Ensuite, la fraction riche en hémicelluloses isolée par un traitement alcalin à partir des déchets MDF, a été purifiée puis précipitée à l'éthanol permettant l'isolement d'une fraction hémicellulosique, ultérieurement intégrée à la préparation d'hydrogels à base d'acide acrylique. Les hydrogels présentent des caractéristiques similaires qu'ils soient élaborés avec la fraction issue des déchets ou fabriqués à base de xylanes commerciaux de hêtre. L'évaluation de la capacité de ces déchets à être recyclés ouvrirait une voie de conversion en une nouvelle ressource de produits à forte valeur ajoutée.

### Abstract

Wood-based medium-density fiberboards (MDF) are principally used for furniture and fittings and are produced in great volumes around the world. The annual quantity of MDF waste generated world-wide is estimated to be over 40 million m<sup>3</sup>. Currently, there is no viable way to transform MDF into useful products due to the presence of contaminants such as resins and finishes (paint, varnish, laminated or plastic). This type of waste, composed of approximately 85-90 % of wood, represents a significant source of lignocellulosic material. This thesis describes research on transforming this under-utilized resource into high valued materials via a fractionation process. An alkali treatment followed by a delignification step, allows the extraction of hemicelluloses and lignin respectively, leading to the isolation of pure cellulose. This cellulose was converted to nanocelluloses in the form of nanocrystals by acidhydrolysis and nanofibrils by mechanical fibrillation. The cellulose nanocrystals obtained from waste MDF is shown to have similar characteristics to those obtained from virgin wood fibers. The hemicelluloses-rich fraction obtained by an alkali treatment from MDF waste was purified, precipitated by ethanol and then further used in the preparation of acrylic acid based hydrogels. The hydrogels generated had similar characteristics to those made from commercial beech xylans. This research clearly demonstrates the technical feasibility to convert MDF waste into high value added products, opening a new conversion route to recycle them.



### Publications

Couret, L., Irle, M.A., Belloncle, C. and Cathala, B. (2017). Extraction of cellulose nanocrystals from post-consumer wood fiberboard waste., *Cellulose* 24: 2125.

Irle, M., Privat, F., Couret, L., Belloncle, C., Deroubaix, G., Bonnin, E. and Cathala, B. (2018). Advanced recycling of post-consumer solid wood and MDF, *Wood Materials Science and Engineering*, 14:1, 19-23.

Plateforme  
XYLOMAT - LIMBHA

# Rémi Curti

## ANALYSE, MODÉLISATION ET SIMULATION DE LA COUPE ORTHOGONALE DU BOIS VERT EN VUE DE SON APPLICATION AU FRAISAGE PAR CANTER

*Analysis, modeling and simulation of green wood orthogonal cutting process for milling with chipper-canter application*

**Thèse de doctorat en Génie mécanique – procédés de fabrication, sous la direction Robert Collet, Philippe Lorong, co-encadrement de Louis Denaud (Laboratoire d'accueil : Laboratoire bourguignon des matériaux et procédés, Arts-et-Métiers ParisTech Cluny).**

Soutenue le 06-11-2018 à Arts-et-Métiers ParisTech.

### Résumé

Lors de la première transformation du bois en scierie, les grumes sont surfacées ou équarries par des têtes de fraisages appelées slabber ou canter. Sous leur action, le copeau de bois est fragmenté en plaquettes dont la valorisation est un enjeu majeur de la filière. Débouché le plus rémunérateur de cette ressource, l'industrie de la pâte à papier impose des critères dimensionnels aux plaquettes approvisionnées notamment concernant leur épaisseur. L'objectif de l'étude est donc d'améliorer la compréhension des mécanismes mis en jeu par la coupe du bois, dans une configuration simplifiée de coupe orthogonale, afin d'optimiser la granulométrie des plaquettes produites. Une campagne expérimentale de coupe sur machine-outil à commande numérique a été réalisée sur du hêtre vert afin de déterminer les mécanismes principaux actionnés. Un modèle mécanique simplifié du comportement dynamique du bois vert est déterminé, ceci afin de développer un modèle numérique du bois vert par la Méthode des Eléments Discrets (DEM) en vue de simuler sa coupe. Une étude préliminaire pour déterminer la capacité de la méthode à modéliser à l'échelle mésoscopique des milieux fortement orthotropes a été réalisée. Sa capacité et ses limites démontrées, la démarche de calibration du modèle numérique a été élaborée et le modèle sollicité et configuration de coupe orthogonale numérique. Les premières simulations présentent des résultats encourageants.

### Abstract

*When entering sawmills, logs are faced into cants by the mean of chippercanters. During this machining, the ribbon produced is split into small chips whose proper valorization is a high economic stake for the industry. The paper maker industry, which is the most worthwhile chips supplier, is strongly concerned by dimensional criteria of the chips for their process optimization, especially toward their thickness. The objective of this work is to improve the comprehension of cutting and fragmentation mechanisms, in a simplified orthogonal cutting configuration, to provide cutting rules to optimize the produced chips geometry. An experimental campaign dedicated to green beech cutting on a computer numerical command machining center is done to study those mechanisms. A simple mechanical model is derived, in order to develop a Discrete Element Method (DEM) model of the material to simulate cutting operations. A preliminary study dedicated to prove the capability of DEM to model a wood-like orthotropic continuous media is presented. The numerical model is then calibrated and cutting simulations are designed to copy the experimental conditions. First results are encouraging.*



### Publications

Curti R, Girardon S, Pot G, Lorong P (2019). How to model orthotropic materials by the Discrete Element Method (DEM): Random sphere packing or regular cubic arrangement? *Computational Particle Mechanics* 6, 145–155.

Curti R, Marcon B, Denaud L, Collet R (2018). Effect of grain direction on cutting forces and chip geometry during green beech wood machining. *BioResources* 13, 5491–5503.

Goli G, Curti R, Marcon B, Scippa A, Campatelli G, Furferi R, Denaud L (2018). Specific cutting forces of isotropic and orthotropic engineered wood products by round shape machining. *Materials* 11 (12): 2575.

**Plateforme**  
XYLOMAT - LABOMAP

# Anna Duplex

## FAISABILITÉ DU DÉROULAGE DU BOIS ASSISTÉ PAR INFRAROUGE

### *Feasibility of wood peeling assisted*

**Thèse de doctorat en Génie mécanique - procédés de fabrication sous la direction de Jean-Christophe Batsale et de Mark Hughes (Laboratoire d'accueil : Laboratoire bourguignon des matériaux et procédés, Arts-et-Métiers ParisTech Cluny).**

Soutenue le 13-12-2013 à Paris ENSAM.

#### Résumé

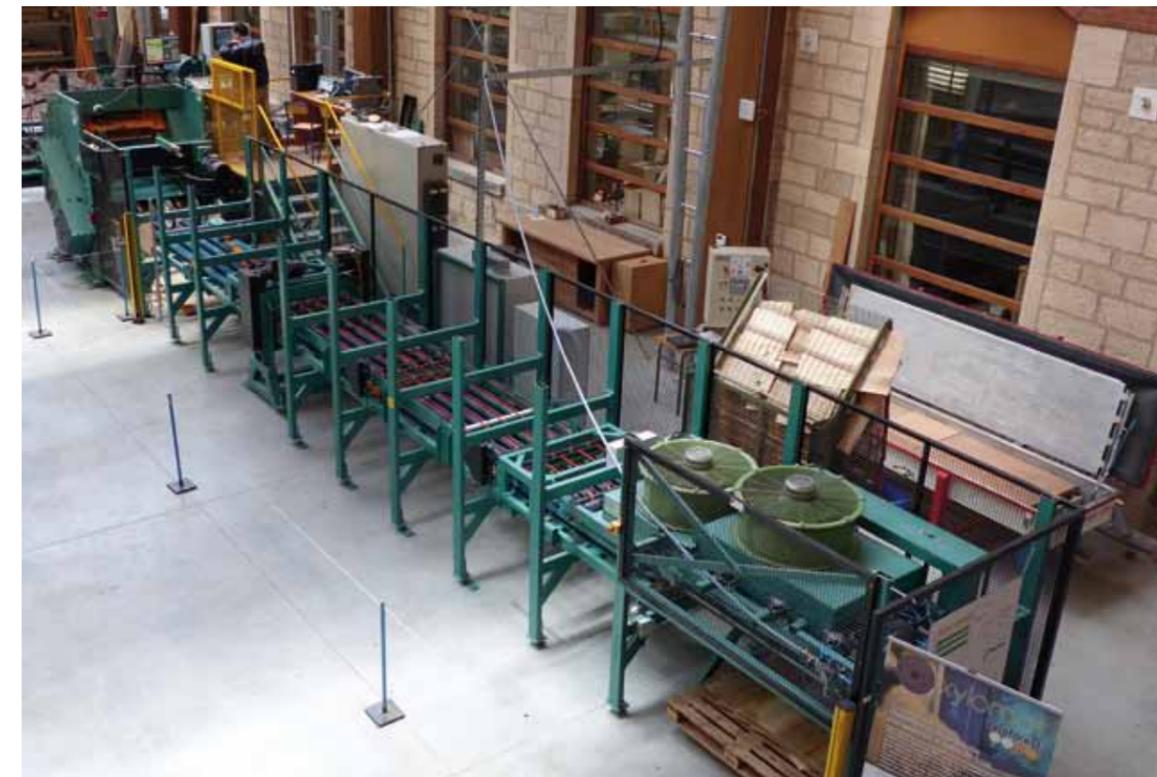
Le déroulage permet de transformer un billon en un ruban continu de bois vert (de 0.6 à plus de 3 mm d'épaisseur) appelé "placage". La production de placages joue un rôle important dans l'industrie du bois car les placages servent de base d'un grand nombre de produits industriels (ex : Parallel Strand Lumbers (PSL), Laminated Veneer Lumber (LVL), contreplaqués, emballages légers, etc.) parmi les plus utilisés dans l'industrie du bois. Pour certaines essences, ce procédé exige un pré-traitement, appelé « l'étuvage » qui consiste à chauffer au préalable le bois vert (saturé en eau) par immersion dans l'eau ou dans la vapeur d'eau chaude afin de lui conférer une déformabilité remarquable tout en diminuant les efforts de coupe. Cette pratique présente cependant de nombreux inconvénients industriels et environnementaux (fentes à cœur, faible rendement, dépense énergétique importante, pollution des eaux, fentes à cœur, traitement immobilisant des stocks de bois importants pour des longues périodes,...). L'objectif de cette étude est de développer une innovation majeure pour les industries du déroulage et du tranchage, visant à remplacer les pratiques d'étuvage par une technologie de chauffe embarquée sur les machines de production. La technologie de chauffe par rayonnement infrarouge a été retenue pour sa facilité de mise en place sur la machine (panneaux rayonnants peu encombrants) et sa rapidité à atteindre des températures source élevées pouvant ainsi suivre les cadences de déroulage rapides exigées par les industriels (de 1 à 5 m.s-1). Cette nouvelle technologie utilisant les infrarouges pour chauffer le bois vert avant le déroulage serait une innovation majeure pour les industries impliquées dans la fabrication du contreplaqué, LVL, etc. Pour ce faire, l'étude a été conduite en quatre temps: -Elaboration d'un modèle

#### Abstract

*In the wood-products industry 'peeling' is the process of converting a log into a continuous thin ribbon of green wood (from 0.6 to more than 3 mm thickness) termed veneer. Veneers are mainly used for manufacturing light weight packaging and Engineer Wood Products (EWP) such as plywood, Laminated Veneer Lumber (LVL) and Parallel Strand Lumbers (PSL). These three latter EWPs manufactured from veneers glued and pressed together, are amongst the most used wood products. That is the reason why the production of veneer plays an important role in the wood-products industry. For certain species, the peeling process requires the prior heating of round green-wood to temperatures ranging from 30 to 90 °C. This treatment is necessary to increase wood deformability, to reduce the severity of lathe checking in the veneers and to reduce cutting forces. It is usually done by immersion in hot water or by steam treatment. However it has many disadvantages amongst which are the duration of treatment (12 to 72 hours), the washing out of polyphenolic extractives - which causes water pollution and can affect wood's natural durability - low yield and energy losses. The goal of this PhD thesis was to develop a heating system embedded on the peeling lathe to circumvent many of these disadvantages. Infrared technology appears to be the most promising solution because of the ease of integration into the peeling process and of the power it offers, enabling the required heating temperatures to be achieved quickly and follow the highly demanding peeling speeds in use in the industry (from 1 to 5 m.s-1). This new technology, using radiant energy to heat green-wood prior to peeling, would be a major innovation for the industries involved in the production of plywood, Laminated Veneer Lumber (LVL), etc. The plan to achieve this goal consisted of: - Creating a model*

numérique permettant la simulation de la chauffe de bois ronds déroulés avec différents paramètres du bois (humidité, propriétés thermiques), -Caractérisations thermique et optique du bois vert (en termes de profondeur de pénétration et de capacité d'absorption des rayonnements infrarouge) pour alimenter le modèle, - Validation du modèle par des essais de déroulage avec chauffe embarquée. L'apport majeur de cette étude est d'avoir démontré que la pénétration des rayonnements infrarouge dans le bois se limite à quelques dizaines de micromètres. La propagation de la chaleur jusqu'au plan de coupe situé à quelques millimètres sous la surface s'effectue donc par conduction, mode de transfert de chaleur lent dans le cas du bois aux propriétés isolantes remarquables. La chauffe embarquée semble donc inadaptée face aux cadences de déroulage imposées par le contexte industriel. L'utilisation d'une telle technologie dans le cas du tranchage reste à étudier et en particulier l'impact de l'absence d'étuvage par immersion sur la qualité des placages (couleur, état de surface).

*of infrared heat transfer in green wood while peeling it, with the characteristics of wood (moisture content, thermal properties) being amongst the input variables, - Investigating the thermal and optical characteristics of green wood (in terms of penetration depth and infrared absorption by green wood) to feed the model, - Validating the model with experimental peeling tests assisted by an infrared heating system. One of the main outputs of this study was to demonstrate that the penetration depth of infrared radiation into green wood is limited to several tenths of micrometers. Heat transfer into green wood up to the cutting plane (located several millimeters underneath the surface) is by conduction, which is slow due to the insulating properties of wood. Heating green wood with infrared radiation is therefore unable to match the highly demanding peeling rates in use in the industry today. However, the use of an embedded heating system in the case of slicing and the potential impact on improving veneer quality (colour, surface quality) remain open for further research.*



#### Publication

Duplex A, Batsale JC, Kusiak A, Hughes M, Denaud LE (2014). Experimental validation of green wood peeling assisted by IR heating—some considerations of the analytical system design. *Holzforschung* 68, 957-964.

#### Plateforme

XYLOMAT - LABOMAP

# Davood Efhamisisi

## PROTECTION À FAIBLE IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES CONTREPLAQUÉS AVEC DES ASSOCIATIONS TANNINS-BORE

### *Preservation of plywood against biological attack with low environmental impact using tannin-boron preservative*

**Thèse de doctorat en Mécanique et génie civil sous la direction de Marie-France Thévenon, Antonio Pizzi et Ali-Naghi Karimi (Laboratoire d'accueil : Unité de recherche BioWooEB).**

Soutenue le 21-09-2015 à l'Université de Montpellier en cotutelle avec l'Université de Téhéran (Iran).

#### Résumé

Une étude expérimentale a été menée afin de protéger des attaques biologiques des contreplaqués faits d'essences non durables (hêtre et peuplier), et ce, avec un faible impact environnemental. Des produits de protection à base de tannins et de bore, nouvellement développés afin de réduire le lessivage du bore, ont été sélectionnés pour ce but. Ce système a été utilisé pour protéger les contreplaqués selon deux approches : (1) au niveau de la colle pour remplacer les adhésives à base de formaldéhyde et coller les plis, (2) en traitement des plis avec des formulations plus diluées, les plis étant collés avec des adhésifs mélamine-urée-formaldéhyde. Les données expérimentales de cette thèse peuvent être classées en trois grands groupes : essais chimiques et thermomécaniques des colles tannin-bore, mesure des propriétés physiques et mécaniques, de la résistance biologique avant et après vieillissement des différents panneaux. Les essais chimiques sur les colles tannin/hexamine ont montré que l'addition de bore sous forme d'acide borique peut contribuer à plus de liaisons inter-flavonoïdes et à ouvrir les cycles pyranes ce qui accélère les réactions de polymérisation. Des analyses thermomécaniques sur les colles contenant des tannins de mimosa et de quebracho ont confirmé que l'addition d'acide borique (1) abaissait le temps et la température de prise, et (2) augmentait les valeurs du module d'élasticité de la colle. L'addition d'une quantité optimale d'acide borique dans la colle à base de tannin augmente les propriétés physiques et la résistance au cisaillement. Une charge excessive d'acide borique (10%) dans la colle est la cause de pertes de propriétés mécaniques et physiques. Bien qu'en faible

#### Abstract

An experimental investigation was conducted to protect plywood panels made of perishable wood species (beech and poplar) against biological attacks with low environmental impact. The newly developed tannin-boron preservative which was proposed to reduce the leaching of borates was selected for this purpose. This system was used to protect plywood with two approaches: (1) in the glue line to replace formaldehyde based adhesives and gluing wood veneers, (2) pretreatment of wood veneers with the diluted formulations and bonded with melamine-urea-formaldehyde resin. The research data in this thesis were obtained from three main groups of experiments: chemicals and thermomechanical testing on the tannin-boron resin, measuring physical and mechanical properties, and different biological tests before and after leaching processes. The chemicals testing on the tannin/hexamine adhesive showed that the addition of boron, in the form of boric acid, can contribute more inter-flavonoid linkages and the opening of pyran rings which leads to the acceleration of polymerization reactions. Thermomechanical analysis on the adhesives of mimosa and quebracho tannins confirmed that the addition of boric acid (1) lowered time and temperature of hardening, (2) and increased modulus of elasticity values of the adhesive. The addition of optimal boric acid into the tannin adhesive upgraded physical properties and tensile shear strength. An excess loading of boric acid (10%) in the glue line caused imperfect physical and mechanical features. Despite the low uptake of boric acid but its addition into the tannin glue provided effective resistance against fungal attack even after mild leaching test accor-

quantité, l'introduction de l'acide borique dans la colle de tannin amène une protection efficace contre l'attaque fongique, même après un lessivage selon l'EN 1250-2. Les résultats des essais termites montrent que l'acide borique contenu dans la colle cause le plus faible taux de survie des insectes et de perte de masse, mais présentent un fort degré d'attaque selon une cotation visuelle. Aucune amélioration n'a été obtenue lors d'un essai de choix après lessivage. Les contreplaqués faits de plis traités par des solutions tannin-bore ont montré des résistances au cisaillement plus faibles, mais toujours dans les gammes requises pour des applications en atmosphère humide. Des résultats satisfaisants ont été obtenus par les réseaux polymères de tannins, même après un lessivage sévère, vis-à-vis de l'attaque fongique. Les contreplaqués faits de plis traités à l'acide borique seul ont présenté une sensibilité importante à l'attaque biologique après un lessivage. Les résultats des essais termites ont montré un faible taux de survie des insectes et de perte de masse, même après un lessivage sévère, pour les contreplaqués avec des plis traités par des systèmes tannin-bore. Les résultats d'un essai de choix a montré que les termites préféraient se nourrir des témoins quand l'alternative proposée était des échantillons traités avec des systèmes tannin-bore.

ding to the EN 1250-2. The results of termites test showed that increase in the boric acid content of the adhesive caused the lower survival rate and the weight loss but samples underwent the high level of attack. No improvement against termite attack was obtained after leaching by a choice feeding test. The plywoods made of pretreated veneers by tannin-boron solutions showed partially lower tensile shear strength but still in the range of standards requirements for the humid applications. The satisfactory results were obtained even after severe leaching test against fungal attack with a strong polymeric network of tannin. The control plywoods made of pretreated veneers with boric acid alone solutions presented significant sensitivity against biological attack after leaching test. The results of termite tests showed the lower survival rate and the weight loss even after severe leaching test for the plywoods made of pretreated veneers with tannin-boron systems. The results of choice feeding test showed that termites preferred feeding from the controls when alternative samples were treated with the tannin-boron system. In general the evidence from this study suggests that tannin-boron system can significantly slow down the leaching of boron and it rendered high potential to preserve plywood.



# Saad Houda

## DÉVELOPPEMENT DE BIO-COMPOSITES À BASE DE FIBRES VÉGÉTALES ET DE COLLES ÉCOLOGIQUES

### *Development of plant fibers and ecological adhesives bio-based composites*

**Thèse de doctorat en Chimie sous la direction de Bertrand Charrier et de Fatima Charrier El Bouhtoury (Laboratoire d'accueil : IPREM Mont-de-Marsan).**

Soutenue le 19-12-2013 à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour.

#### Résumé

L'intégration des fibres naturelles cellulosiques de plantes annuelles ou de résidus agricoles ou agro-industriels dans l'élaboration de matériaux de structures composites et le développement de nouveaux liants biosourcés sont aujourd'hui un domaine de recherche d'intérêt croissant. La thèse s'est déroulée dans le cadre du programme « Eco-panneaux », dont les deux objectifs principaux furent tout d'abord de valoriser les fibres végétales d'origine tunisienne comme l'alfa, le jonc et les folioles de palme et ensuite d'évaluer le potentiel des espèces végétales tunisiennes dont les écorces sont riches en tannins (fruit de grenade, racines du sumac et tronc de pin d'Alep). Les études de caractérisation des fibres ont montré que leurs masses volumiques sont inférieures à 1. Le calcul du point de saturation des fibres (FSP) montre des valeurs majoritairement comprises entre 60 et 100 %. Nous avons également pu caractériser la cinétique d'imprégnation d'eau pour chacune des fibres. L'imprégnation se stabilise après 24 h d'immersion. Riches en minéraux (concentrations supérieures à 1 %), les fibres ont montré des teneurs en cellulose, en lignines et en hémicellulose comparables à celles généralement rencontrées avec les fibres de bois. L'analyse thermogravimétrique (ATG) a permis de constater que les matrices végétales étudiées sont thermiquement stables pour des températures inférieures à 200°C. Le dosage colorimétrique pour étudier la composition en polyphénols des matrices tannifères, l'analyse infrarouge et l'étude structurale de l'extrait des tanins, ainsi que le calcul du « Stiasny number », montrent la forte teneur de l'écorce de grenade en tanins hydrolysables et la richesse des écorces du tronc de pin d'Alep et des racines du sumac en tanins condensés. L'étude des

#### Abstract

*The integration of natural cellulosic fibers from annual plants and agricultural residues and agro-industrial materials in the development of composite structures and the development of new bio-based adhesives, are now a research field with growing interest. The thesis was conducted within the framework of «Eco-panels» program, which its two main objectives were firstly, to enhance plant fibers of Tunisian origin as alfa, rush and palm leaflets and then to evaluate the potential of Tunisian plant species whose bark is rich in tannins (pomegranate fruit, sumac roots and Aleppo pine trunk). The characterization studies of fibers showed that their densities are less than 1. The calculation of the fiber saturation point (FSP) shows values mostly between 60 and 100 %. We were also able to characterize the impregnation kinetics of water for each of these fibers. The impregnation stabilizes after 24 h of immersion. Rich in minerals (concentrations greater than 1 %), the fibers showed levels of cellulose, lignin and hemicellulose comparable to those generally encountered with wood fibers. The thermogravimetric analysis (TGA) shows that the plant matrices are thermally stable for temperatures below 200 °C. The colorimetric assay of the polyphenolic composition of tanniferous matrices, the infrared analysis and the structural study of the tannins extract, as well as the calculation of «Stiasny number» show the high content in hydrolysable tannins for pomegranate barks and richness of Aleppo pine trunk barks and sumac roots barks in condensed tannins. The study by TGA of the thermal properties of tannins extracts shows that Aleppo pine and sumac tannins are thermally more stable than those of pomegranate. The formulation made from hexamine and Aleppo pine tannins has the greatest elasticity modu-*

propriétés thermiques des extraits de tanins par ATG montre que les tanins de pin d'Alep et du sumac sont thermiquement plus stables que ceux de la grenade. La colle formulée à partir d'hexamine et de tanins de pin d'Alep présente un module d'élasticité élevé. Alors que la colle à base de tanins de grenade forme le réseau le moins dense. Ces résultats ont été confirmés par l'étude de la résistance au cisaillement. L'étude réalisée sur les composites fibres-plâtre (mise en œuvre et caractérisation physico mécanique des composites) a montré que les fibres locales pourraient constituer une alternative aux fibres d'importation utilisées actuellement. Une première caractérisation de la conductivité thermique des panneaux isolants élaborés à partir des fibres locales et de colles de tanins montre une conductivité thermique moyenne de 0,106w/K.m.

*lus. While the formulation prepared from pomegranate tannins forms the least dense network. These results were confirmed by the study of the shear strength. The study conducted on fiber-plaster composites (implementation and physico-mechanical characterization of composites) showed that local fiber could be an alternative to imported fibers used currently. A first characterization of the thermal conductivity of insulation panels made from local plant fibers and tannins adhesives shows an average conductivity of 0,106 W / Km.*



#### Publications

Saad H., Khoukh, A., Ayed, N., Charrier, B., and Charrier-El Bouhtoury, F. (2014). Characterization of Tunisian Aleppo pine tannins for a potential use in wood adhesive formulation. *Industrial Crops and Products* 61, 517–525.

Saad H, Pizzi, A., Charrier, B., Ayed, N., Rode, K., and Charrier, F. (2015). Valorization of Tunisian Pomegranate Peel Tannins in Green Adhesives Formulation. *Journal of Renewable Materials* 3, 34–43.

#### Plateforme

XYLOMAT - IPREM Mont-de-Marsan

Jinbo Hu

## ASSOCIATIONS TANINS-BORE POUR DES PRODUITS DE PROTECTION DU BOIS À FAIBLE IMPACT ENVIRONNEMENTAL

### *Tannins-boron networks for long-term and low-environmental impact wood preservatives*

**Thèse de doctorat en Mécanique et génie civil sous la direction de Marie-France Thévenon, Antonio Pizzi et Gianluca Tondi (Laboratoire d'accueil : Unité de Recherche BioWooEB).**

Soutenue le 01-09-2015 à l'Université de Montpellier.

#### Résumé

Étant donné son origine, le bois reste biodégradable et a besoin d'être protégé contre les agents abiotiques et biotiques afin d'avoir une longue durée de service. Les associations entre les tanins et l'acide borique peuvent être considérées comme un traitement innovant et respectueux de l'environnement. Ces formulations aqueuses de tanins et d'acide borique augmentent la rémanence du bore dans le bois traité. De plus, le bore est partiellement fixé au réseau polymère de tanins autocondensés dans le bois et garde suffisamment de mobilité pour garder son efficacité biologique. Ces associations ont été testées pour une application en extérieur, au-dessus et dans le sol, et pour leurs propriétés ignifugeantes. Une première formulation de tannin-hexamine et acide borique a montré une efficacité certaine face aux dégradations biologiques et au feu. Le comportement au vieillissement naturel et artificiel, au lessivage à l'échelle du laboratoire, ainsi que l'efficacité biologique résultante, de bois traité par ces associations a été étudié. Les résultats montrent que ces trois vieillissements mènent à des performances biologiques différentes, toutes liées à la teneur en bore résiduelle. Une formulation tannin-bore dite améliorée, contenant du  $\epsilon$ -caprolactame pour rendre le réseau polymère plus flexible (et éviter les craquelures comme dans la première formulation) a été étudiée pour les mécanismes chimiques mis en jeu, la résistance biologique au-dessus et dans le sol, et la résistance au feu. Le polymère à base de tannin acquiert une structure plus élastique après incorporation de  $\epsilon$ -caprolactame, comme démontré par des analyses FT-IR. La résistance biologique du bois traité procure une résistance à long terme en extérieur, même dans le

#### Abstract

*Due to its origins, wood remains biodegradable and needs to be protected against abiotic and biotic agents for a long service life. Tannin-boron associations can be considered as an innovative preservative formulation and environmentally-friendly treatment. These waterborne associations of tannins and boric acid increase the permanence of boron in the wood. Furthermore, boric acid is partly fixed to the network of autocondensed tannin in the wood and keeps sufficient mobility to maintain its biological action. These associations have been investigated for their outdoor applications, both above and in-ground, as well as for their ability for fire protection. An original formulation of tannin-hexamine and boric acid, has shown efficiency against biological attack and fire degradation. The natural and artificial weathering behaviour, and laboratory scale leaching, of such treated wood have been investigated, and followed by biological tests. The results showed that the weatherrings led to different performances, always linked with the amount of remaining boron. An advanced tannin-boron formulation including  $\epsilon$ -caprolactam to make the polymer network more flexible (and avoiding cracks as noticed for the original formulation) was studied for the chemical mechanisms, biological resistance above and in-ground, fire retardancy. The tannin polymer acquires a more elastic structure after adding  $\epsilon$ -caprolactam, as seen with FT-IR analyses. The biological resistance of the treated wood provided a long lasting protection against degradation in outdoor exposures, and even in ground contact. However, fire retardant effect of this advanced tannin-boron preservative was negatively influenced with comparison to the original tannin-boron formula-*

sol. L'effet de protection au feu est moins intéressant que pour la première formulation, mais reste tout de même plus important que pour le témoin. Afin d'améliorer l'efficacité des associations entre bore et tanins, l'élaboration de bois contenant un polymère nano-composite (Wood Tannin NanoComposite, WTNC) utilisant tanins, acide borique et montmorillonite a été étudiée. Des analyses FT-IR et XRD ont permis d'identifier des nanoparticules d'argiles dans le WTNC. Par ailleurs, des traces de montmorillonite dans les parois du bois ont été observées en microscopie électronique à balayage. Par comparaison avec des témoins, la résistance à la compression du WTNC est plus importante, l'absorption d'eau et l'aptitude au collage du WTNC dépend de l'essence utilisée (pin sylvestre vs. Hêtre), la stabilité dimensionnelle du WTNC est légèrement abaissée et sa mouillabilité significativement réduite. La résistance à l'attaque de champignons et termites est améliorée dans des proportions variables selon que l'on utilise du pin sylvestre ou du hêtre. Les performances anti-feu des WTNC sont affectées différemment en fonction de l'essence de bois utilisée et des paramètres considérés. Cette étude analyse aussi les impacts environnementaux de la production de produit de préservation tannin-bore (pour la première formulation) et compare aussi les impacts du berceau à la tombe dans le cadre d'une analyse de cycle de vie de bois traité par cette formulation, en comparaison avec 2 formulations industrielles et du béton. Il apparaît que même si ces associations tannin-bore peuvent être encore étudiées plus avant et plus finement du point de vue chimique, pour leurs performances biologiques (vis-à-vis d'insectes coléoptères, essais de champ avec des termites, moisissures...), ainsi que pour leur profil éco-toxicologique, elles ont montré de réelles améliorations du bois dans les domaines de la résistance biologique et de la résistance au feu.

*tion, but still better than control. In order to improve the associations between boron and tannin for wood protection, the conception of wood polymer nanocomposite using tannin, boric acid and montmorillonite tentatively carried out. The analyses of FT-IR and XRD have investigated to identify nanoclay in Wood Tannin Nanocomposite (WTNC). Meanwhile, the trace of montmorillonite in wood cell is also captured by SEM. By comparison with control, compression strengths of WTNC samples increase; water absorption and gluing ability of WTNC depend on the wood species used (Scot Pine vs. Beech); dimensional stability of WTNC is slightly decreased, and wettability was significantly decreased. Fungal and termite resistance of WTNC are improved to different extents if Scots pine or beech samples are used. Fire performances of WTNC is affected differently depending on the wood species used and the parameters considered. This study also analyses the environmental impacts of producing tannin-boron (TB) preservative (the original formulation) and comparatively introduces the cradle-to-grave life cycle environmental impacts (LCA) of TB-treated timber as landscaping materials, compared with 2 industrial formulations and concrete. Even if all these tannin-boron association systems developed still need to be improved for some point of their chemistry, biological performances (coleoptera insects, field tests with termites, molds...), as well as for their eco-toxicological profile, they have shown to improve the biological and fire resistance of the wood.*



Ngoc Huyen Tran Thi

## ÉTUDE DU COMPORTEMENT MÉCANIQUE DE MATÉRIAUX ISOLANTS À BASE DE FIBRES DE BOIS : CARACTÉRISATION À PARTIR DE TECHNIQUES D'IMAGERIE NON DESTRUCTIVES

*Study of compression behavior of wood-based fiberboard: characterization from non-destructive image techniques*

**Thèse de doctorat en Mécanique, sous la direction de Christine Delisee et de Pascal Doumalin (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux).**

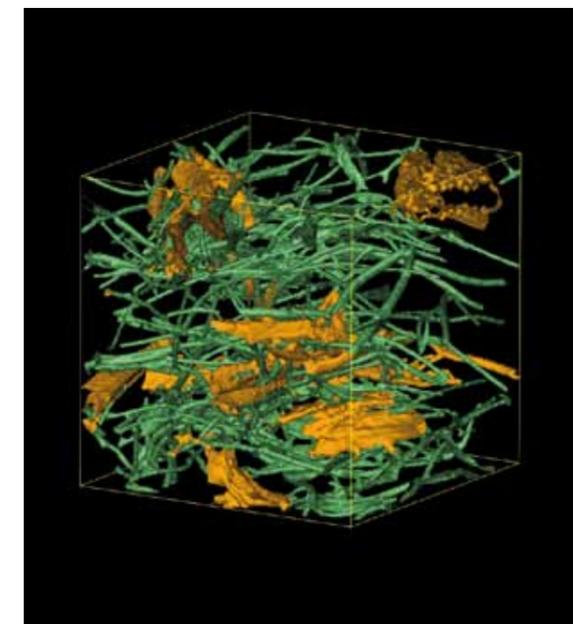
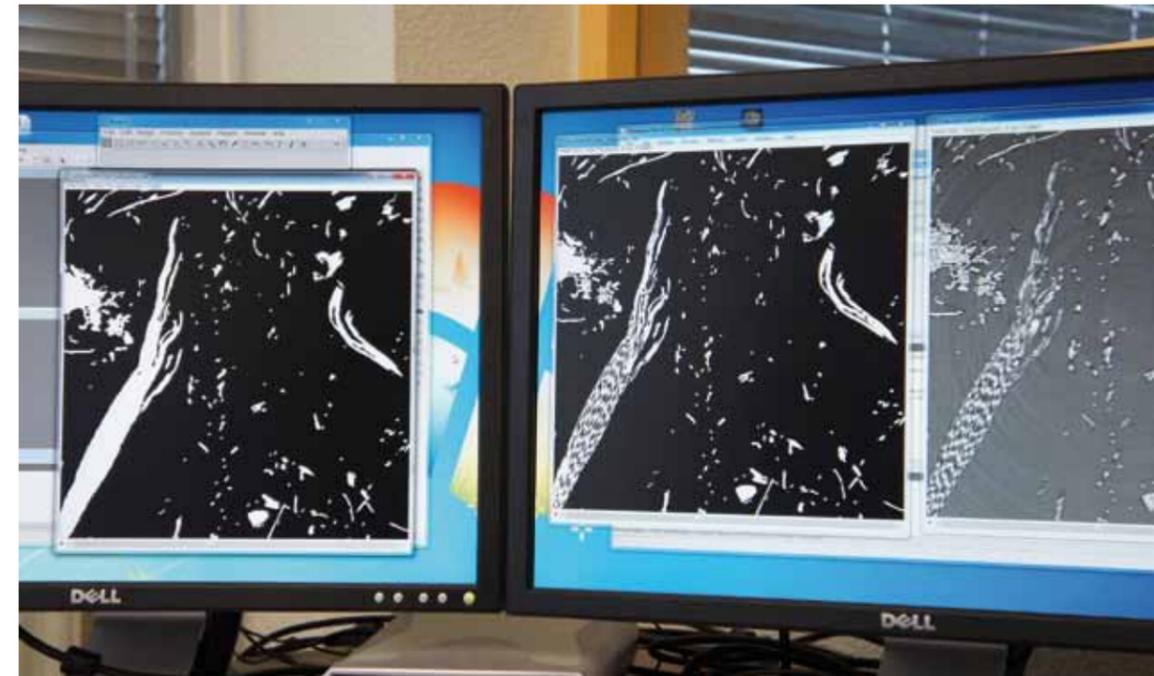
Soutenue le 03-12-2012 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

La thèse a pour but de caractériser les propriétés mécaniques de matériaux à base de fibres de bois en relation avec leur microstructure complexe. Ce type de matériau est hétérogène à différentes échelles : à l'échelle microscopique de la fibre, à l'échelle mésoscopique du réseau des fibres et à l'échelle macroscopique du matériau. Pour observer ces hétérogénéités, différents moyens expérimentaux de caractérisation sont utilisés, notamment la microtomographie aux rayons X et la corrélation d'images volumiques. Ces deux techniques permettent à la fois de numériser les différentes fibres à l'échelle microscopique dans le volume, et d'obtenir le champ tridimensionnel de déformation à coeur. Comme résultats, le matériau étudié montre un comportement non-linéaire avec une déformation résiduelle et un effet d'hystérésis en charge/décharge, qui suit le modèle de Van-Wyk. A l'échelle microscopique, le champ de déformation 3D fortement hétérogène est intimement lié aux porosités locales.

### Abstract

*This thesis aims at characterizing the mechanical properties of wood-based fibrous material in relation with the intrinsic properties of fibers and the complex architecture of random fibrous assembly. This material, whose characteristics strongly depend on its configuration, is heterogeneous at different scales: microscopic scale of individual fibers, mesoscopic scale of fiber assembly and macroscopic scale of material. To observe these heterogeneities, different experimental characterization methods are used, especially X-ray microtomography and Digital Volume Correlation. These techniques allow us to visualize and digitize the spatial position of different phases of material at microscopic scale and the full 3D strain field inside the material. The results are: the material shows a non-linear mechanical behavior with hysteresis and residual deformation respecting Van Wyk's model. At microscopic scale, the 3D strain field is strongly heterogeneous and related to local porosities.*



# Aymen Jmal

## REPRÉSENTATION DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES EN VUE DE LEUR TRANSFERT VERS L'INDUSTRIE : APPLICATION À LA VALORISATION DES PRODUITS À BASE DE BOIS EN FIN DE VIE

*Representation of scientific knowledge in order to transfer it to industry*

**Thèse de doctorat en Génie des procédés sous la direction de Mark Irle, Amadou Ndiaye et Franck Michaud (Laboratoire d'accueil : ESB - LIMBHA Nantes).**

Soutenue le 19-02-2013 à l'École Centrale de Nantes..

### Résumé

La thèse s'intéresse au transfert de connaissances scientifiques en valorisation des produits à base de bois en fin de vie vers les acteurs de la filière bois. La question de recherche est : Comment transférer les connaissances scientifiques (recueil et représentation des connaissances) sur la valorisation des produits à base de bois en fin de vie pour qu'elles puissent être assimilées et utilisées par les acteurs de la filière bois ? Le recueil des connaissances a combiné des séances d'interview de spécialistes avec l'acquisition des connaissances à partir d'articles scientifiques. Les connaissances recueillies ont été reformulées afin de faciliter leur transfert vers les acteurs de la filière bois : les concepts pertinents, relations d'influence entre les concepts et résultats scientifiques ont été respectivement représentés via des cartes conceptuelles, graphes d'influence, et fiches de connaissances. Un modèle canonique de cartes conceptuelles a été proposé afin de permettre une représentation homogène des concepts. La transmission, l'assimilation et l'utilisation potentielle des connaissances à transférer ont été traitées comme suit : La transmission a été proposée via un livre électronique (hypermédia) de connaissances, l'assimilation a été prise en compte via la reformulation des connaissances et une représentation graphique des connaissances suivant une carte conceptuelle canonique et un format prédéfini de fiches. L'utilisation potentielle des connaissances transférées a été renforcée par la représentation des leviers d'action sur les concepts du domaine sous forme de graphes d'influence. Les performances de transfert à partir du livre

### Abstract

*This thesis focuses on the transfer of scientific knowledge on recovered wood to practitioners of the wood sector. The research question is: how to transfer the scientific knowledge (collect and representation of knowledge and the transmission medium) on the recovered wood so that they may assimilate and used by non-scientific personnel of the wood sector ? Knowledge was first collected through interviews with specialists in the re-use of recovered wood and combined with acquisition of knowledge from scientific publications. The collected knowledge was then reformulated to facilitate its transfer to practitioners in the wood sector. The relevant concepts, the influences between concepts and relevant scientific results were respectively represented via concept maps, influence graphs, and knowledge sheets. A canonical model of concept maps is proposed to enable a homogeneous representation of concepts. Transmission, assimilation and potential utilization of knowledge transfer were treated as follows : The transmission is proposed via an electronic (hypermedia) knowledge-book, the assimilation (absorption) has been taken into account through the reformulation of knowledge and a graphical representation of knowledge following a canonical concept map and sheets with a predefined format and The potential use of the transferred knowledge is facilitated by the representation of the action levers on the domain concepts in the form of influence graphs. The efficiency of knowledge transfer via the knowledge book has been evaluated according to the degree of understanding of the book content, the cognitive load of the user during use*

ont été évaluées en fonction du degré de compréhension du contenu du livre, la charge cognitive de l'utilisateur au cours de l'utilisation du livre de connaissances et sa désorientation. L'expérience a montré que la forme canonique développée est intuitive ; et, tout comme la navigation dans le livre, n'occasionne pas de désorientation ou surcharge cognitive de l'utilisateur. Les résultats obtenus montrent, au sein de la filière bois, tout l'intérêt de la représentation proposée pour le transfert de connaissances scientifiques vers des professionnels.

*of the knowledge-book and the disorientation it caused. The experience has shown that the developed canonical form is intuitive and, like navigation in the book, does not cause disorientation or cognitive over load to the user. This promotes the assimilation and the use of the knowledge-book content. The obtained results indicate that the representation of relevant knowledge in a knowledge-book should facilitate for the transfer of scientific knowledge to professionals in the wood sector.*



### Publication

Jmal A., Michaud F., Irle M., Ndiaye A. (2011). Structuring and representation of scientific knowledge for a transfer through an electronic knowledge book, *IEEE International Conference on Service-Oriented Computing and Applications (SOCA 2011)*, 1-7.

**Plateforme**  
XYLOMAT - LIMBHA

# Benjamin Masseteau

## ÉTUDE DE SOLUTIONS COMPOSITES BIO-SOURCÉES RESPECTEUSES DE L'ENVIRONNEMENT POUR DES APPLICATIONS DANS LE DOMAINE DE L'AVIATION LÉGÈRE

*A study of eco-friendly bio-based composites for applications in light aircraft*

**Thèse de doctorat en Mécanique des solides,  
des matériaux, des structures et des surfaces sous  
la direction de Mark Irle et Franck Michaud  
(Laboratoire d'accueil : ESB - LIMBHA Nantes).**

Soutenue le 12-12-2012 à l'École Centrale de Nantes..

### Résumé

Le but de ces travaux est de faire progresser la connaissance sur les composites bio-sourcés afin de les qualifier comme une alternative crédible et d'avenir aux composites synthétiques, démarche appuyée sur l'exemple d'un avion de voltige présentant un cahier des charges sévère. L'utilisation de matériaux sandwich (fibres de lin/liège/époxy) ne peut être validée vis-à-vis des normes aéronautiques, que si certains verrous scientifiques et technologiques sont levés. C'est pourquoi ce travail a un double objectif : technologique par l'évaluation des possibilités d'utilisation offerte par un bio-composite dans le CRICRI, et scientifique, par l'étude des paramètres prédominants dans l'établissement d'une part, de leurs propriétés mécaniques, et d'autre part dans l'origine de leurs variabilités. L'humidité des fibres et la porosité des bio-composites se sont avérés être les principaux paramètres à maîtriser pour optimiser les propriétés mécaniques des bio-composites et pour limiter leurs variabilités. D'un point de vue technologique, l'utilisation de bio-composites dans l'aviation légère semble être principalement limitée par leur faible tenue en fatigue. La biodégradabilité et la variabilité des bio-composites n'ont pas été pénalisantes, car d'une part l'utilisation d'une barrière physique, et d'autre part le choix d'une méthode de mise en œuvre appropriée, permettent de limiter fortement ces deux aspects. Une analyse environnementale comparative a enfin montré que l'utilisation du bio-composite n'induit pas un gain environnemental. Les impacts environnementaux, générés par le bio-composite ont été approfondis et révèlent que la matrice époxy, la mise en œuvre et la production du tissu de lin, en sont les principaux responsables.

### Abstract

*The main objective of this research is to study the potential of using a bio-composite in the wings of a small acrobatic aircraft: the CRICRI. The use of sandwich materials (flax fibers/cork/epoxy matrix) for aeronautical uses cannot unless certain scientific and technological barriers are lifted. That is why this work has two aspects: a technological evaluation of the use of a bio-composite in the wings of the CRICRI, and a scientific evaluation of the dominant parameters affecting the mechanical properties of the bio-composite and the identification of the origin of the variation in these properties. The moisture content of fibers and the porosity of bio-composites are shown to be the main parameters and must be controlled in order to optimize the mechanical properties and limit their variation. From a technological point of view, the use of bio-composites in the light aircraft seems to be mainly limited by their weak behavior in fatigue. The biodegradability and the variability of bio-composites are not limiting factors, because on the one hand, the obligatory use of a physical barrier will limit biodegradability, and on the other hand, the choice of an appropriate process will limit the variation to acceptable levels. A comparative environmental analysis showed that the use of the bio-composite does not provide an environmental gain. The environmental impacts generated by the bio-composite were analyzed more precisely and the epoxy matrix, the process and the production of the flax fabric, have the greatest environmental impacts.*



### Publication

Masseteau, B., Michaud, F., Irle, M., Roy, A., and Alise, G. (2014). An evaluation of the effects of moisture content on the modulus of elasticity of a unidirectional flax fiber composite. *Journal of Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 60, 32-37.

**Plateforme  
XYLOMAT - LIMBHA**

# Juliette Merle

## VALORISATION DES LIGNINES ET DES TANINS AU TRAVERS DE MATÉRIAUX POREUX

### Valorization of lignins and tannins through porous materials

**Thèse de doctorat sous la direction Fatima Charrier  
El-Bouhtoury (Laboratoire d'accueil : IPREM  
Mont-de-Marsan).**

Soutenue le 15-12-2016 à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour.

#### Résumé

Le développement de matériaux issus de matières premières renouvelables et l'utilisation à cette fin de procédés d'élaboration respectueux de l'environnement et peu énergivores est l'un des enjeux majeurs aujourd'hui. Parmi les matériaux couvrant un grand nombre d'applications dans divers domaines il y a les mousses polymères, qui justifient d'un regain d'intérêt depuis quelques années, en partie dû au développement des mousses dites « vertes ». En effet, la pollution de la planète, causées par une utilisation intensive de plastique, a fortement contribué à sensibiliser la société actuelle aux problèmes environnementaux et la France a alors fait le choix de développer des plastiques de spécialité dont les bioplastiques (PlasticsEurope, 2015). Afin de développer des matériaux plus « verts », la biomasse lignocellulosique, renouvelable et disponible, est une alternative crédible aux ressources fossiles pour répondre au besoin en mousses biosourcées. Dans ce contexte, le bois est un matériau de choix car il contient des composés polymérisables que sont les tanins ainsi que des polymères dont la lignine. Cette dernière est disponible à l'échelle industrielle où elle représente un déchet lors de la fabrication de la pâte à papier. Ce travail s'inscrit donc dans une volonté de réduire l'utilisation de produits dérivés du pétrole ou du gaz de schiste grâce à ces composés naturels issus du bois (tanins et lignines). Cette volonté de produire des polymères plus propres est déjà présente au sein du laboratoire depuis plusieurs années au travers de recherches sur des adhésifs à base de tanin et de lignine (Chupin et al., 2015; Saad et al., 2014). C'est donc naturellement que nous avons décidé de développer des matériaux poreux, à base de divers tanins (hydrolysables et condensés) et lignines (lignosulfonate, lignine Kraft ou lignine soda), en éliminant ou limitant l'utilisation

#### Abstract

*The development of materials from renewable raw materials and the use for the purpose of developing environmentally friendly and energy efficient processes is one of the major challenges today. Among the materials covering a wide range of applications in various fields there is the polymeric foams, demonstrating a renewed interest in recent years, partly due to the development of «green» foams. Indeed, the pollution of the planet, caused by intensive use of plastic has greatly contributed to raise the current society to environmental problems and France made the choice to develop specialty plastics such as bioplastics (PlasticsEurope, 2015). To develop «greener» materials, lignocellulosic biomass, renewable and available, is a credible alternative to fossil resources to meet the need for bio-based foams. In this context, the wood is a material of interest because it contains polymerizable compounds that are tannins as well as polymers such as lignin. The latter is available on an industrial scale it represents a waste in the manufacture of papermaking pulp. This work is therefore a desire to reduce the use of products derived from petroleum or shale gas through these natural compounds derived from wood (tannins and lignins). This commitment to produce cleaner polymers was already present in the laboratory for several years through research based on adhesives based on tannin and lignin (Chupin et al., 2015; Saad et al., 2014). It was therefore natural to decide to develop porous materials based on tannins and lignins without using chemicals such as bulking agents, isocyanates, formaldehyde or epoxy. This thesis is in this context of green, biobased products. A first phase involved the formulation of insulating foam from local bio-based products. The raw materials were thus hydrolysable and condensed tannins and a lignosulfonate, a waste from a*

de produits chimiques tels que des agents gonflant, les isocyanates, le formaldéhyde ou encore les époxy. Une première phase a consisté à formuler des mousses isolantes à partir de produits biosourcés locaux. Les matières premières utilisées ont donc été des tanins hydrolysables et condensés ainsi qu'une lignosulfonate, déchet d'une entreprise se trouvant dans la région. Une fois le matériau réalisé il a été caractérisé pour une application potentielle dans le domaine de l'isolation thermique des bâtiments, c'est-à-dire : caractérisations morphologiques, des propriétés mécaniques en compression et des propriétés thermiques (Merle et al., 2016a). Les résultats de cette première phase étant prometteurs nous avons voulu aller un peu plus loin dans le recyclage des déchets industriels et avons formulé un matériau à base de liqueur noire issue du procédé Kraft. Cette dernière est un déchet important si l'on considère que 1,3 milliards de tonnes de liqueur noire sont produites chaque année et seulement 20% sont utilisées, pour produire de l'énergie (Tran and Vakkilainen, 2009). Encore une fois les résultats ont été concluants (Merle et al., 2016b), aussi bien au niveau thermique qu'au niveau des propriétés mécaniques. Une dernière phase du projet a l'élaboration de matériaux poreux à partir de différentes lignines : lignosulfonate, lignine Kraft et la lignine soda. Cette phase avait pour but de connaître l'apport de chaque lignine dans les matériaux poreux et de diversifier les matières premières.

*company located in the region. Once the material produced, it was characterized for potential application in the field of thermal insulation of buildings: morphological characterizations, mechanical compression properties and thermal properties (Merle et al., 2016a). The results of this first phase were promising and we wanted to go a little further in recycling industrial waste by developing a Kraft black liquor based material. The latter is an important waste when you consider that 1.3 billion tons of black liquor are produced each year and about 20% are used to produce energy (Tran and Vakkilainen, 2009). Again the results were conclusive (Merle et al., 2016b), both in terms of thermal and mechanical properties. A final phase of the project was the development of porous materials from different lignins: lignosulfonate, Kraft lignin and Soda lignin. This phase was to have a better understanding of the contribution of each lignin in porous materials and to diversify raw materials.*



#### Prix

Prix 2016 de la Chaire de la valorisation de la chimie du Pin Maritime de la fondation Bordeaux Université-Solvay

#### Publications

Merle, J., Birot, M., Deleuze, H., Mitterer, C., Carré, H., Charrier - El Bouhtoury, F., (2016). **New biobased foams from wood byproducts.** *Mater. Des.* 91, 186–192.

Merle, J., Birot, M., Deleuze, H., Trinsoutrot, P., Carré, H., Huyette, Q., Bouhtoury, F.C.- El, (2016). **Valorization of Kraft black liquor and tannins via porous material production.** *Arab. J. Chem.*

#### Plateforme

XYLOMAT - IPREM Mont-de-Marsan

# Coralie Motillon

## FORMULATION ET CARACTÉRISATION DE RÉSINES THERMODURCISSABLES BIO-SOURCÉES POUR L'INDUSTRIE DU BOIS

*Formulation and characterization of bio-based thermoset resins in the wood industry*

**Thèse de doctorat en Physique et Chimie des polymères, sous la direction de Ahmed Allal (Laboratoire d'accueil : IPREM Mont-de-Marsan).**

Soutenue le 18-12-2013 à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour.

### Résumé

Les travaux présentés dans ce manuscrit sont consacrés à l'étude et à l'élaboration de résines de collage bio-sourcées pour remplacer les résines Urée-Formol (UF) d'origine pétrochimique, sources de formaldéhyde, utilisées actuellement dans l'industrie panneautière. Les résines étudiées dans le cadre de cette thèse sont formulées à partir de ressources locales (dextrines issues d'amidon de maïs et tanins d'écorces de pin maritime) et doivent respecter certaines contraintes industrielles. Pour répondre à ces contraintes, les travaux de recherche présentés dans ce mémoire vont de la compréhension structurale des mélanges des produits de base jusqu'à la fabrication de panneaux à l'échelle du laboratoire, en passant par la formulation et la réticulation des différentes résines thermosettables. Ces travaux montrent qu'il est nécessaire de travailler en milieu alcalin pour solubiliser les tanins. Dans cette situation, les mélanges tanins/dextrines donnent des suspensions colloïdales. Les fractions massiques en tanins et en dextrines permettant d'obtenir des paramètres respectant le cahier des charges varient de 0 à 40%. La réticulation de ces mélanges par l'épichlorohydrine a permis l'obtention de colles thermosettables insolubles dans l'eau ayant une bonne stabilité dimensionnelle à sec, mais un pouvoir gonflant plus ou moins important selon la formulation. Les propriétés adhésives, mécaniques et thermiques de ces matériaux ont été caractérisées et ont permis de sélectionner des formulations de colles ayant les meilleures performances thermomécaniques. Enfin, tout en respectant un protocole industriel, des composites ont été fabriqués à partir de ces colles et des particules de bois. Il a été montré que les panneaux de particules obtenus ont des performances mécaniques équivalentes à ceux fabriqués avec des colles UF.

### Abstract

*This work aims to substitute resins based on formaldehyde as UF by "green" thermosetting adhesives based on natural and renewable local products, in the wood composite industry. The resins studied in this thesis are made from local resources (dextrins from corn starch and tannins from maritime pine barks) and must respect certain industrial requirements. To meet these industrial constraints, the research work of this manuscript deals with studies ranging from the structural understanding of basic product mixtures, up to the characterization of the properties of panels manufactured in the lab, including the formulation and reticulation of resins. These studies show that it is necessary to work in an alkaline medium to solubilize the tannins. In this situation, the tannins / dextrin mixtures give colloidal suspensions. The mass fractions in tannins and dextrins allowing to obtain parameters respecting the specifications vary from 0 to 40%. The epichlorohydrin has been used as hardener to cross-link these resins. Thermosetting materials with good dimensional stability have been obtained. However the resin swelling depends on the composition of the formulation. Adhesive, mechanical and thermal properties of these materials were characterized. Thus, adhesive formulations with the best thermomechanical performances have been selected. Finally, composites have been made from these adhesives and wood particles, respecting an industrial procedure. It has been shown that these panels and those obtained with UF adhesives have equivalent mechanical performances.*



### Publication

Motillon C, Schmitt C, Grassl B, Khoukha A, Pellerin V, Uhart A, Dupin J-C, Charrier F, Pizzi A, Allal A (2014). The pH sensitive colloidal and chemical structure of tannins from barks of maritime pine in water. *J Colloid Sci Biotechnol* 3, 343-350.

### Plateforme

XYLOMAT - IPREM Mont-de-Marsan

# Renaud Pfeiffer

## ANALYSE ET MODÉLISATION DE LA FRAGMENTATION DES PLAQUETTES DE BOIS VERT PAR FRAISAGE (CANTER)

*Green wood milling analysis and modelisation*

**Thèse de doctorat en Génie mécanique - procédés de fabrication, sous la direction de Philippe Lorong, Robert Collet et de Louis Etienne Denaud (Laboratoire d'accueil : Laboratoire bourguignon des matériaux et procédés, Arts-et-Métiers ParisTech Cluny).**

Soutenue le 03-11-2015 à Paris, ENSAM.

### Résumé

En scierie, les billons sont surfacés à l'aide de têtes de fraisage (slabber ou canter). Le copeau formé durant cette opération d'usinage se fragmente en particules nommées plaquettes, destinées à alimenter différentes filières (pâte à papier, panneaux et énergie). Leur valorisation en pâte à papier, qui représente le débouché le plus rémunérateur pour ces produits connexes, impose de respecter une granulométrie bien définie. Cette maîtrise dimensionnelle passe par une meilleure connaissance des mécanismes de fragmentation du copeau. Dans cet objectif, nous avons réalisé une campagne d'essais de coupe orthogonale sur bois vert afin d'étudier les paramètres influents sur les dimensions des plaquettes et de définir des zones de bonne fragmentation. Les résultats de cette étude seront utilisés comme indicateurs pour comparer les simulations numériques de la fragmentation avec la réalité. Afin d'aider les concepteurs de machine-outil à mieux concevoir leur outillage, nous avons développé un slabber entièrement paramétrable. Grâce à ce modèle, nous avons pu étudier l'effet des paramètres géométriques et cinématiques des slabbers sur certaines grandeurs essentielles en usinage. La simulation numérique de la fragmentation du copeau de bois vert doit permettre de prédire les dimensions des plaquettes formées. Pour cela, il est nécessaire de d'utiliser une méthode prenant en compte les spécificités de la coupe du bois. Ici la pertinence de la Méthode des Eléments Discrets (DEM) est étudiée. Enfin pour réaliser des simulations quantitatives, le comportement du bois vert en compression dans des conditions dynamiques est étudié.

### Abstract

*In sawmills, logs are faced with conical rough milling cutters (slabber or canter heads). The chips produced during this operation are segmented in small chips, consisting of raw material for different sectors (pulp paper, particleboards and energy). Their valuation of paper pulp, which is the most remunerative outlet for these related products, requires a respect of defined particle size. This dimensional control requires a better knowledge of the chip fragmentation mechanisms. To this end, we conducted an experimental campaign of orthogonal cutting for green wood in order to study the influential parameters on chips dimensions and to define good chipping areas. The results of this study will be used as indicators to compare numerical simulations of fragmentation with reality. To help machine tool designers to better design their equipment, we have developed a fully customizable slabber. With this model, we studied the effect of slabber geometric and kinematic parameters on certain key variables in machining. Numerical simulation of the fragmentation of green wood chips should help to predict the size of chips formed. To this aim it is necessary to use a method taking into account the specificities of wood cutting. Here the relevance of the Discrete Elements Method (DEM) is studied. Finally to achieve quantitative simulations, the behavior of green wood in compression under dynamic conditions is studied.*

### Publication

Pfeiffer R, Lorong P, Ranc N (2015). Simulation of green wood milling with discrete element method. 22<sup>e</sup> Séminaire International Usinage Bois (IWMS 2015), Juin 2015, Québec, Canada, pp.57-72.



# Istie Rahayu

## MESURE DES FISSURES DE DÉROULAGE ET DES ÉTATS DE SURFACE DES PLACAGES DE BOIS À CROISSANCE RAPIDES ; ÉTUDE ET MODÉLISATION DE L'IMPACT DES PROPRIÉTÉS DES PLACAGES SUR LES PERFORMANCES DES LVL DE BOIS À CROISSANCE RAPIDE

*Characteristics of lathe check and surface roughness of fast growing wood veneers and their performance on laminated veneer lumber*

**Thèse de doctorat en Génie mécanique - procédés de fabrication, sous la direction de Rémy Marchal et Wavan Darmawan (Laboratoire d'accueil : Laboratoire bourguignon des matériaux et procédés, Arts-et-Métiers ParisTech Cluny).**

Soutenue le 24-08-2016 à Arts-et-Métiers ParisTech.

### Résumé

Pour répondre à la demande croissante de bois et pour préserver les forêts primaires, les méthodes de sylviculture les plus dynamiques ont été privilégiées de manière générale sur la planète. Les objectifs de la recherche étaient 1) déterminer le point de démarcation/ âge de transition entre le bois juvénile et le bois mature sur sengon (*Falcataria moluccana*), jabon (*Anthocephalus cadamba* Miq.), peuplier (*Populus* sp) et douglas (*Pseudotsuga menziesii*); 2) analyser l'effet de la juvénilité sur une fissuration cyclique, la rugosité et de mouillage; 3) analyser l'effet de la fissuration cyclique et juvénilité sur la résistance à l'adhérence de la colle et les propriétés mécaniques du LVL en flexion; et 4) appliquer un nouveau modèle analytique pour estimer la variation du module d'élasticité du lamibois (sengon et jabon) depuis la moelle vers l'écorce. A partir de la longueur des fibres, le point de démarcation entre le bois juvénile et le bois mature ont été estimés. Pour les essences sengon and jabon, les placages obtenus à partir du cœur des arbres, réputés juvéniles, sont plus fissurés plus rugueux et avec une haute mouillabilité comparativement à ceux obtenus à partir du bois près de l'écorce (plus mature). Une phase d'étuvage préliminaire des bois dans un bain d'eau chaude à 75°C

### Abstract

*The development of plantation and community forest to meet wood demand in society has produced fast growing wood species. The research objectives were 1) to determine demarcation point/transition age between juvenile and mature wood on sengon (*Falcataria moluccana*), jabon (*Anthocephalus cadamba* Miq.), poplar (*Populus* sp) and douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*); 2) to analyze the effect of juvenility on lathe check, surface roughness and wettability; 3) to analyze the effect of lathe check and juvenility on glue bond strength and laminated veneer lumber (LVL) bending properties; and 4) to apply a new analytical model to determine the variation of specific MOE LVL values of sengon and jabon from pith to bark. Based on fiber length trait, the demarcation point between juvenile and mature wood were approximately at segmented rings 17th (sengon) and at segmented ring 24th (jabon). While, transition age of poplar cultivars and douglas-fir, transition age happened approximately at 12 years old and 18 years old, respectively. The results showed that wood near pith on sengon and jabon resulted veneers with higher lathe check, rougher surface and high wettability, while wood near bark resulted veneers with lower lathe check, smoother surface and low*



pendant 4 heures a permis d'améliorer sensiblement la qualité des placages en diminuant la fissuration, la rugosité et s'accompagne d'une augmentation de la mouillabilité. La résistance à l'adhérence de la colle, et les modules élastiques et de rupture spécifiques (SMOE et SMOR) du LVL (jabon et sengon) diminuent à mesure que la fréquence de fissure augmente ou en partant de l'écorce vers la moelle. L'avantage de l'utilisation de placages en peuplier de bois mature a été prouvé avec une amélioration de 15 à 20% en moyenne pour les propriétés mécaniques, pour un poids de panneau comparable. Pour le douglas, l'utilisation de placages de bois mature dans la constitution des panneaux de LVL permet également d'améliorer les performances en flexion (de 7 à 22 % sur le MOR). Le modèle analytique a été utilisé afin de prédire les variations du module élastique allant de la moelle à l'écorce. Il permet à partir d'un grand nombre de combinaisons d'estimer le potentiel issu d'une ressource donnée. Pour le contexte de l'étude qui représente bien le potentiel sylvicole de l'Indonésie, la proportion de bois juvénile étant quasi-totale (100%), l'action de trier les placages n'est pas apparue comme pertinente.

*wettability. Glue bond strength, Specific MOE (SMOE) and Specific MOR (Modulus of Rupture) of sengon and jabon LVL were decreased as the frequency of lathe check increased or those strength values increased from pith to bark. The advantage of using poplar veneers from mature wood was proved with an improvement of 15 to 20% on average for mechanical properties, while for douglas-fir, was 7 to 22%. An analytical model was used to predict the variation of the LVL mechanical characteristics using different scenarios. According to the context of this study assumed to be close to the Indonesian resource there is no need to sort veneers since most of the tree is juvenile wood for logs no older than 7.*

### Publications

Denaud L, Girardon S, Pot G, Rahayu I (2016). Modelling the effects of wood cambial age on the effective modulus of elasticity of poplar laminated veneer lumber. *Annals of Forest Sciences* 73, 615–624.

Darmawan W, Denaud L, Marchal R, Nugroho N, Rahayu I, Ruelle J (2016). The effect of juvenility and veneer thickness on bending strength of Douglas-fir laminated veneer lumber. *Indian Academy of Wood Science* 13, 64–72.

**Plateforme**  
XYLOMAT - LABOMAP

# Naima Rhazi

## MISE AU POINT DE MÉLANGES COLLANTS ÉCOLOGIQUES À PARTIR DES ÉCORCES D'ACACIA MOLLISSIMA DU MAROC

### *Elaboration of ecological adhesives from Moroccan bark of Acacia mollissima*

**Thèse de doctorat en Chimie, sous la direction de Fatima Charrier El Bouhtoury (Laboratoire d'accueil : IPREM Mont-de-Marsan).**

Soutenue le 29-12-2015 à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour.

#### Résumé

Cette étude présente une dimension économique, sociale et environnementale très importante. Elle rentre dans le cadre du projet Franco-Marocain PHC Toubkal (Ecopama, Volubilis 2012). Son objectif majeur est de valoriser les écorces Marocaine d'Acacia mollissima par une extraction verte permettant l'obtention des produits réactifs, des tanins condensés, qui seront utilisés dans le collage des panneaux de contreplaqués. Trois méthodes d'extraction ont été étudiées. Deux sont conventionnelles, une macération et une infusion ; ces deux techniques d'extraction sont simples, peu coûteuses. La troisième est une extraction assistée par micro-ondes ; c'est une technique innovante, rapide et peu consommatrice en solvant. La méthodologie des plans d'expériences est utilisée dans cette étude pour déterminer les facteurs les plus significatifs pour l'amélioration du rendement d'extraction des tanins condensés, optimiser les conditions d'extractions, réduire la proportion de solvant utilisé ainsi que le temps d'extraction. L'impact des conditions d'extraction et des méthodes d'extraction sur la teneur des tanins condensés sont étudiés pour la première fois pour les écorces d'Acacia mollissima du Maroc. Les extraits ont été caractérisés par des dosages colorimétriques, par des analyses structurales et thermiques. Les trois méthodes d'extraction ont été comparées. La teneur des extractibles est affectée par la proportion de solvant utilisé et le temps d'extraction. L'extraction assistée par micro-onde présente des teneurs en tanins condensés supérieure à l'extraction par des méthodes conventionnelles mais la teneur en sucre extraits est aussi élevée. Des formulations de colles à base de tanin et de lignosulfonate ont été élaborées en utilisant l'hexamine comme durcisseur. La colle biosourcée et ses constituants ont été caractérisés par analyse thermogravimétrique (ATG), et par calorimétrie différentielle à balayage (DSC). Les propriétés thermomécaniques et mécaniques des colles élaborées

#### Abstract

*This study has an important economical, social and environmental dimension. It was conducted within the framework Franco-Moroccan PHC Toubkal «Ecopama, Volubilis 2012». The desire to enhance Moroccan bark of Acacia mollissima by the use of green extraction and also to obtain reagent products, condensed tannins, was the main objective of this study. These tannins will be used in the bonding of plywood panels. Three extraction methods were studied. Two are conventional, maceration and infusion; witch is simple and cheap extraction method. The third is microwave assisted extraction which is a fast, innovative method using a small amount of solvent. The experimental design methodology was used to identify the significant factors to improve yield extraction of condensed tannins, to optimize extraction process, to reduce solvent proportion and time extraction. The impact of extraction conditions and extraction process contents extracted from Moroccan bark of Acacia mollissima. The extracts were characterized using colorimetric assays, structural and thermal analysis. The three types of extraction were compared. The extractibles contents were affected by solvent proportion and also time extraction. Microwave assisted extraction produced a higher condensed tannins than the conventional method but in the other hand the sugars extracted is more important. Tannin-lignosulfonate adhesives were produced using hexamine as a hardener. The biobased adhesive formulations and their compounds were compared using thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC) and by determining the thermal and mechanical properties of the adhesives. Optimal tannin-glyoxalated lignosulfonates ratio and pressing conditions of plywood panels were measured. The resistance of plywood panels to the cold and hot water was improved*

sont évaluées. L'optimisation des conditions de pressage des panneaux de contreplaqués, ainsi que le ratio tanin-lignosulfonate glyoxalé, ont été réalisées. La résistance des panneaux à l'eau froide et chaude est améliorée par l'addition de la résine époxy aux formulations de colle. Les propriétés mécaniques des panneaux de contreplaqués encollés ont été évalués par des tests normatifs et ont été comparés à celle des résines synthétiques commerciales (urée formaldéhyde et phénol formaldéhyde). La qualité de collage des panneaux élaborés a été évaluée. Les différentes colles présentent des caractéristiques physiques et thermiques satisfaisantes et acceptables pour les industries de collage des panneaux de bois. Des panneaux de contreplaqués avec de bonnes performances mécaniques et une excellente résistance à l'eau froide et bouillante ont été fabriqués. Ces colles présentent une qualité de collage qui se rapproche de celle des résines phénol-formaldéhyde, et peuvent être utilisées avec succès, pour une application industrielle des panneaux de contreplaqués, en milieu sec, humide et extérieur.

*by the addition of epoxy resin in adhesive formulations. Mechanical properties of plywood panels made with tannin-lignosulfonates-epoxy adhesives were evaluated using normative standard and compared to those of panels made with a commercial resins (urea formaldehyde and phenol formaldehyde). The bonding quality of plywood panels elaborated was evaluated. The various adhesives elaborated have satisfactory and acceptable physical and thermal characteristics for bonding panels used in wood industries. Plywood panels with good mechanical performance, good resistance to cold water and to boiling water, were produced. The bonding quality of the adhesives elaborated in laboratory scale presented approximate proprieties than the phenol-formaldehyde resins which can use with successfully in dry, wet and exterior industrial application of plywood panels.*



#### Publications

Rhazi Naima, M. Oumam, H. Hannache, A. Sesbou, B. Charrier, A. Pizzi, F. Charrier – El Bouhtoury (2015). Comparison of the impact of different extraction methods on polyphenols yields and tannins extracted from Moroccan Acacia mollissima barks. *Industrial Crops and Products* 70, 245-252.

Rhazi Naima, M. Oumam, A. Sesbou, H. Hannache, F. Charrier – El Bouhtoury (2017). Physico-mechanical properties of plywood bonded with ecological adhesives from Acacia mollissima tannins and lignosulfonates. *Eur. Phys. J. Appl. Phys.* 78: 34813.

#### Plateforme

XYLOMAT - IPREM Mont-de-Marsan

Elena Tikhonova

## AMÉLIORATION DES CARACTÉRISTIQUES DES PANNEAUX DE FIBRES À BASE DE BOIS ET DE RÉDUCTION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX GRÂCE À LA STRATIFICATION DE LEUR STRUCTURE

*The development new layer fibreboard products with enhanced properties whilst minimizing their environmental impact*

**Thèse de doctorat en Mécanique des solides, des matériaux, des structures et des surfaces sous la direction de Mark Irle (Laboratoire d'accueil : ESB LIMBHA Nantes).**

Soutenue le 30-01-2014 à l'Ecole Centrale de Nantes.

### Résumé

Ce travail est une étude exploratoire sur la possibilité de réaliser une production de panneaux de fibres via la stratification de leur structure pour améliorer leurs propriétés et réduire leurs impacts environnementaux. Ce concept de stratification est considéré ici comme la production des matelas multicouches avant le pressage, inspirée des solutions mises en place dans le cas des panneaux de particules et OSB. Trois concepts de stratification dans l'épaisseur des panneaux ont été considérés avec : la variation de la taille des fibres entre strates, l'introduction de fibres alternatives (les rejets papetiers) et le traitement des fibres avec les enzymes. La réduction de la taille des fibres a montré l'amélioration des propriétés des panneaux. Pour limiter la consommation d'énergie requise pour leur production, le fractionnement d'une production type de fibres a été proposé comme un moyen efficace pour les obtenir. Les rejets papetiers ont été considérés comme fibres alternatives aux fibres vierges afin de réduire l'énergie au défilage. La limite de l'introduction de 10 – 50 % a été fixée, selon les applications, pour maintenir suffisantes les propriétés mécaniques. L'utilisation des fibres traitées par les enzymes pour la couche de la surface permet d'améliorer leur hydrophobicité. La couche inférieure est composée de fibres sans traitement pour maintenir les propriétés mécaniques. La structure multicouche des panneaux a été analysée d'un point de vue théorique et un modèle mathématique a été développé pour prédire le module de

### Abstract

*The thesis investigates new layered fibreboard products with enhanced properties whilst minimizing their environmental impact. A review of literature revealed that layering technique, understood in term of producing multi-layered mattresses before pressing, brings many benefits in case of several types of wood-based panels, notably OSB and particleboard. Three main concepts to change layers through the fibreboard thickness were considered in the current study: effect of fibre size; effect of fibre origin and fibre pre-treatment with the enzymes. The smallest fibres were found to improve board performances when placed in outer layers, while the largest fibres are applied in the core. Fibre fractionation was suggested as an efficient way to separate the fibres by size and reduce energy consumption during their production. Paper rejects were investigated as an alternative fibre source. The substitution level could vary as 10 – 50 % and depends on final requirements to the boards. Fibre pre-treatment with enzymes was suggested for the top layer of the boards to increase its hydrophobicity and maintain mechanical resistance due to the bottom layer composed of untreated fibre. The multi-layer structure was analysed theoretically and a structural model was developed to predict MOR of the boards as a function of raw material properties. The final products showed 7 % of energy efficiency increase, 16 % reduced carbon footprint and up to 20 % raw material saving.*

rupture des panneaux en fonction des caractéristiques de la matière première. Les produits finaux optimisés ont montré une augmentation de l'efficacité énergétique du procédé de 7 %, une réduction de l'impact environnemental de 16% et jusqu'à 20% de matière première.



### Publications

Irle, M.A., Tikhonova, E. and Lecourt, M. (2015). Rethinking fibreboard, *Wood Based Panels International* 35, 47-8.

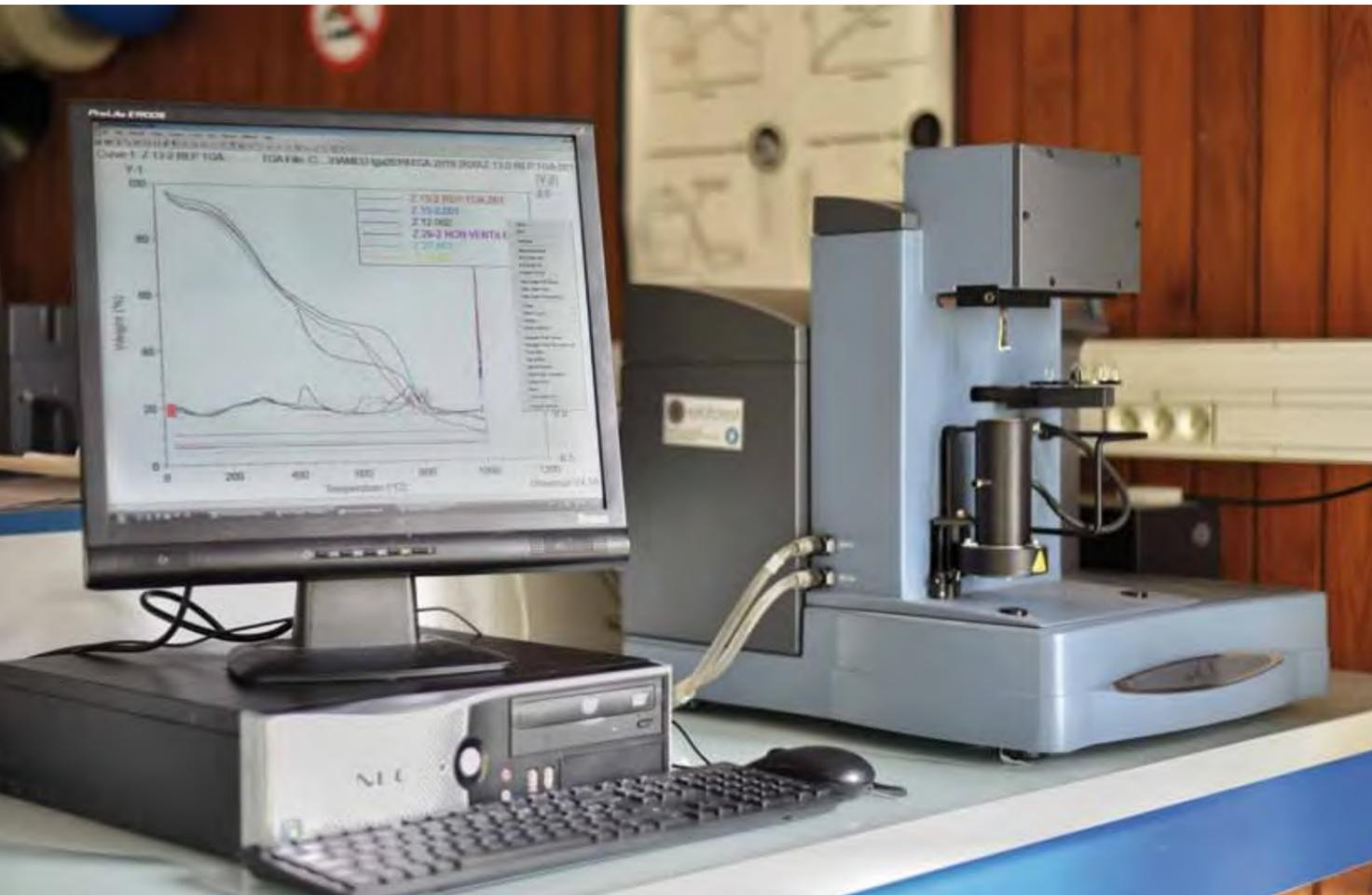
Tikhonova, E., Lecourt, M. and Irle, M.A. (2014). The potential of partial substitution of the wood fibre in hardboards with reject fibres from the paper recycling industry. *Eur. J. Wood Prod.* 72, 177-184.

Tikhonova, E., Irle, M.A. and Lecourt, M. (2014). Revisiting hardboard properties from the fiber sorting point of view, *Holzforschung*, 69, 627-632.

**Plateforme**  
XYLOMAT - LIMBHA

# LISTE DES THÈSES EN COURS

## XYLOMAT



Arsene BIKORO

**ÉTUDE ET VALORISATION DES COPRODUITS DE LA TRANSFORMATION INDUSTRIELLE DE L'ACAJOU**

Thèse débutée le 01-12-2016 sous la direction de Bertrand Charrier et Florent Eyma (Laboratoire d'accueil : IPREM Mont-de-Marsan).

Plateforme  
XYLOMAT - IPREM Mont-de-Marsan

Julia BUCHNER

**HOW DO BIOTIC AND ABIOTIC FACTORS COMBINE TO AFFECT THE WEATHERING OF WOOD SURFACES IN USE CLASS 3?**

Thèse débutée le 01-10-2016 sous la direction de Mark Irlé, Christophe Belloncle et Franck Michaud (Laboratoire d'accueil : LIMBHA).

Plateforme  
XYLOMAT - LIMBHA Nantes

Morandise BURINI

**DÉVELOPPEMENT DE LA TECHNOLOGIE PROCHE INFRAROUGE POUR LA MESURE DE LA QUALITÉ DU BOIS ET DE SES PRODUITS EXTRACTIBLES. APPLICATION À LA RÉSINE DE PIN MARITIME**

Thèse débutée le 01-12-2018 sous la direction de Bertrand Charrier (Laboratoire d'accueil : IPREM Mont-de-Marsan).

Plateforme  
XYLOMAT - IPREM Mont-de-Marsan

Robin DURIOT

**DÉVELOPPEMENT DE PRODUITS LAMELLÉS ISSUS DU DÉROULAGE DE DOUGLAS POUR DES PONTS ET AUTRES SOLUTIONS CONSTRUCTIVES MIXTES BOIS-BÉTON COLLÉS**

Thèse débutée le 01-12-2018 sous la direction de Robert Collet, Guillaume Pot et Stéphane Girardon (Laboratoire d'accueil : LABOMAP-Cluny).

Plateforme  
XYLOMAT - LABOMAP-Cluny

Peguy ENGOZOGHO

**ÉTUDE ET VALORISATION DES COPRODUITS DE LA TRANSFORMATION INDUSTRIELLE DE L'OKOUMÉ**

Thèse débutée le 01-12-2016 sous la direction de Bertrand Charrier (Laboratoire d'accueil : IPREM Mont-de-Marsan).

Plateforme  
XYLOMAT - IPREM Mont-de-Marsan



Manon FRANCES

**ÉTUDE DE LA MISE AU POINT D'UN VERNIS INDUSTRIEL À BASE DE COLOPHANE ET D'HUILE VÉGÉTALE**

Thèse débutée le 01-11-2016 sous la direction de Bertrand Charrier (Laboratoire d'accueil : IPREM Mont-de-Marsan).

Plateforme  
XYLOMAT - IPREM Mont-de-Marsan

## Rémy FRAYSSHINES

**MODÉLISATION DES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DE PANNEAUX DE LVL DE GROS BOIS DE DOUGLAS INTÉGRANT LES DONNÉES SYLVICOLES ET LES PARAMÈTRES DU PROCÉDÉ DE DÉROULAGE**

Thèse débutée le 15-11-2017 sous la direction de Robert Collet, Louis Denaud et Stéphane Girardon (Laboratoire d'accueil : LABOMAP-Cluny).

Plateforme  
XYLOMAT - LABOMAP-Cluny

## Hamed ISSAOUI

**ÉTUDE ET DÉVELOPPEMENT DE MOUSSES À BASE DE TANINS ET DE DÉRIVÉS DE LIGNINE**

Thèse débutée le 01-06-2018 sous la direction de Fatima Charrier El Bouhtoury (Laboratoire d'accueil : IPREM Mont-de-Marsan).

Plateforme  
XYLOMAT - IPREM Mont-de-Marsan

## Tanveer MUNIR

**BOIS ET HYGIÈNE HOSPITALIÈRE : COMPATIBILITÉ BACTÉRIENNE ET ANTIFONGIQUE**

Thèse débutée le 01-10-2018 sous la direction de Mark Irle, Christophe Belloncle et Michel Federighi (Laboratoire d'accueil : LIMBHA)

Plateforme  
XYLOMAT - LIMBHA Nantes

## François PRIVAT

**FAISABILITÉ DU RECYCLAGE EN BOUCLE FERMÉE DES DÉCHETS POST-CONSOMMATEURS EN BOIS MASSIF**

Thèse débutée le 01-10-2014 sous la direction de Mark Irle, Christophe Belloncle, Gérard Deroubaix (Laboratoire d'accueil : ESB - LIMBHA Nantes).

Plateforme  
XYLOMAT - LIMBHA Nantes

## Pierre VIGNON

**ÉCOCONCEPTION ET OPTIMISATION DE MATÉRIAUX COMPOSITES À BASE DE FIBRES DE BOIS**

Thèse débutée le 01-11-2014 sous la direction de Christine Delisee et Jérôme Moreau (Laboratoire d'accueil : Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux).

Plateforme  
XYLOMAT - I2M Bordeaux



# XYLOCHEM

## CHIMIE ET BIO-RAFFINERIE DU BOIS

### PRÉPARATION D'OLIGOMÈRES DE CELLULOSE PAR DÉPOLYMÉRISATION POUR LA SYNTHÈSE DE NOUVEAUX COMPOSÉS AMPHIPHILES BIO-SOURCÉS 204

*Cellulose oligomers preparation by depolymerisation for the synthesis of new bio-based amphiphilic compounds*

### FONCTIONNALISATION CHIMIQUE DES NANOCRISTAUX DE CELLULOSE PAR ACYLATION AVEC LES ESTERS DE VINYLE : IMPACT SUR LES PROPRIÉTÉS DE REVÊTEMENTS CHARGÉS EN NANOCELLULOSE 206

*Chemical functionalization of cellulose nanocrystals (cnc) by acylation with vinyl esters: impact on the properties of coatings filled with nanocellulose*

### VALORISATION DES XYLANES DU BOIS : VERS LA SYNTHÈSE DE COPOLYMÈRES AMPHIPHILES BIO-SOURCÉS 208

*Valorization of an industrial alkaline lignin: towards the development of new bio-based aromatic building units from lignin*

### VALORISATION D'UNE LIGNINE ALCALINE INDUSTRIELLE : VERS LE DÉVELOPPEMENT DE NOUVEAUX SYNTHONS ET OLIGOMÈRES BIO-SOURCÉS ISSUS DE LA LIGNINE 210

*Valorization of an industrial alkaline lignin: towards the development of new bio-based aromatic building units from lignin*

### ACYLATION DES NANOCELLULOSES EN MILIEU AQUEUX PAR TRANSESTÉRIFICATION DES ESTERS DE VINYLE ET UTILISATION COMME CHARGE DANS LE CAOUTCHOUC NATUREL 212

*Acylation of nanocelluloses in aqueous media by transesterification of vinyl esters and utilization as filler in natural rubber*

### APPORT DE LA RMN DIFFUSIONNELLE À L'ÉTUDE DES SYSTÈMES POLYMÈRES : EXTRÉMITÉS DE CHAÎNE, CONTRÔLE DES ARCHITECTURES ET AUTO-ASSEMBLAGE 214

*Contribution of dosy nmr to the study of polymer systems : chain ends groups, control architectures and self-assembly*

### DIMÈRES D'ACIDES RÉSINIQUES ET DE DÉRIVÉS DE LA LIGNINE : NOUVEAUX PRÉCURSEURS POUR LA SYNTHÈSE DE POLYMÈRES BIO-SOURCÉS 216

*Resinic acid and lignin derivative dimers: new precursors for the synthesis of biobased polymers*

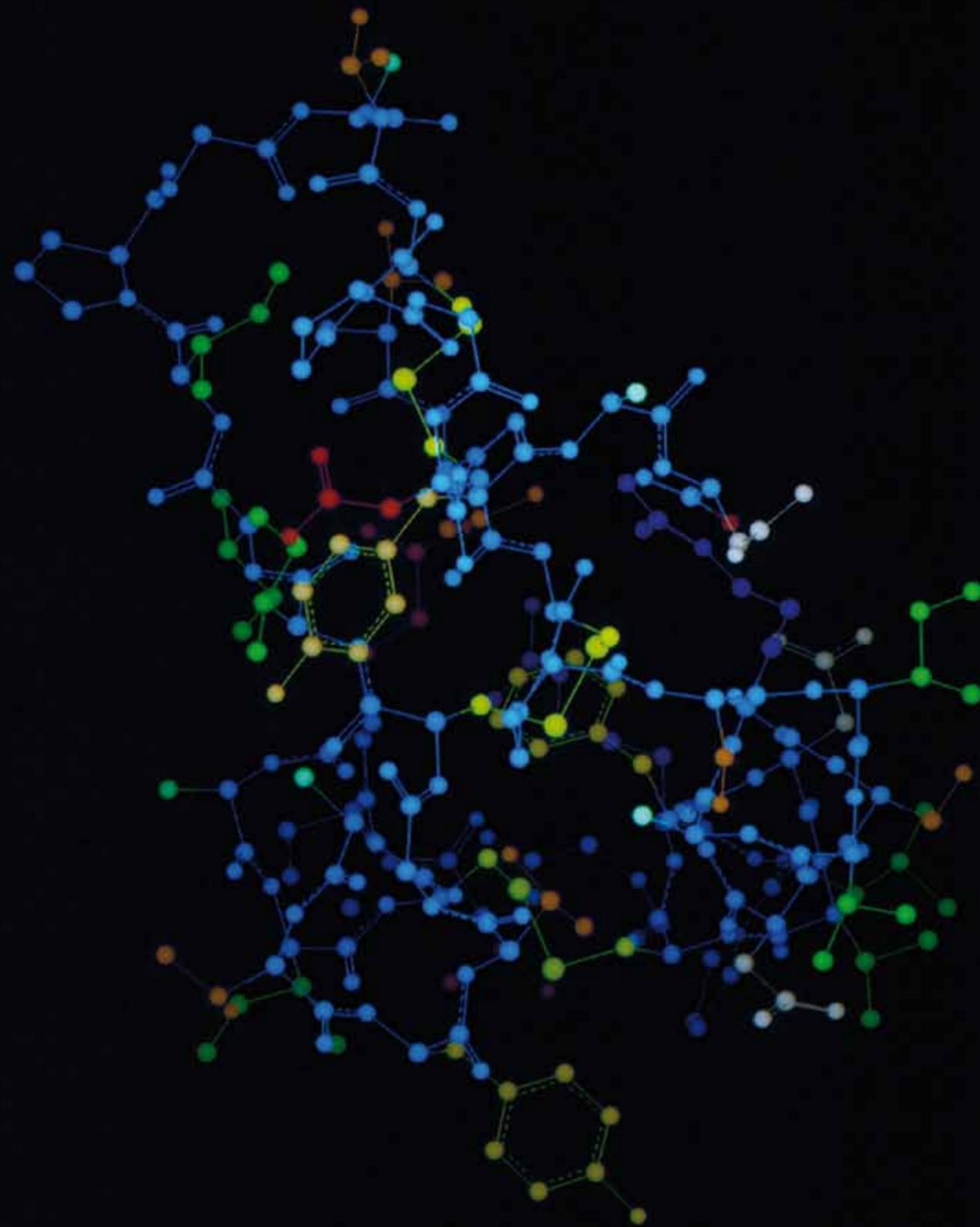
### CARACTÉRISATION ET IMPACT DES DIFFÉRENTES FRACTIONS D'UNE BIOMASSE LIGNOCELLULOSIQUE POUR AMÉLIORER LES PRÉTRAITEMENTS FAVORISANT SA MÉTHANISATION : UTILISATION DE LA PAILLE DE BLÉ COMME BIOMASSE LIGNOCELLULOSIQUE D'ÉTUDE 218

*Caracterisation and impact of different fractions of lignocellulosic biomass for improving pretreatments and futher methanisation: use of wheat straw as case study of lignocellulosic feedstock*

### FRAGMENTATION ENZYMATIQUE DE LA LIGNINE POUR L'OBTENTION DE SYNTHONS PHÉNOLIQUES 220

*Enzymatic depolymerization of lignin for the production of fine aromatic chemicals*

### LISTE DES THÈSES EN COURS 222



Elise Billes

## PRÉPARATION D'OLIGOMÈRES DE CELLULOSE PAR DÉPOLYMÉRISATION POUR LA SYNTHÈSE DE NOUVEAUX COMPOSÉS AMPHIPHILES BIO-SOURCÉS

*Cellulose oligomers preparation by depolymerisation for the synthesis of new bio-based amphiphilic compounds*

Thèse de doctorat en Physico-Chimie des Polymères sous la direction de Stéphane Grelier, Véronique Coma et Frédéric Peruch (Laboratoire d'accueil : LCPO).

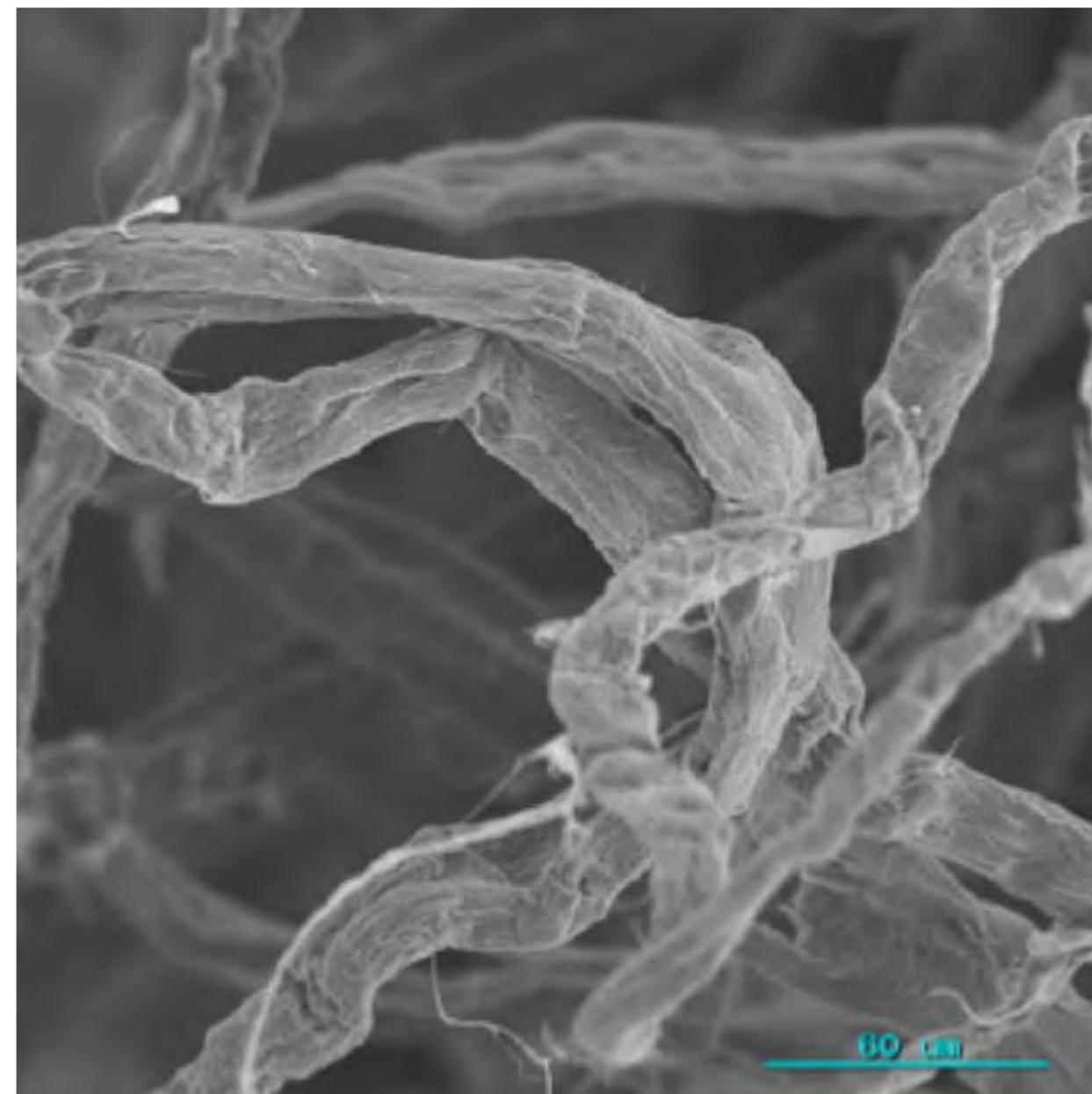
Soutenue le 20-11-2015 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

Le but de cette thèse est de produire des oligomères de cellulose de dispersité faible. Pour ce faire, deux méthodes ont été imaginées : la méthode « fishing » où des oligomères de cellulose sont obtenus par hydrolyse acide puis sont séparés par solubilisation sélective dans une phase organique à l'aide d'un polymère synthétique. Le ratio des tailles du polymère synthétique et des oligomères de cellulose sera responsable de la sélectivité. La méthode « masking » où des portions de cellulose de la taille des futurs oligomères sont protégées par un polymère synthétique lors d'une hydrolyse enzymatique. Dans les deux cas, les polymères synthétiques contiennent des acides boroniques qui permettent une interaction réversible avec les sucres. Malgré de nombreuses tentatives, ces deux méthodes n'ont pas été couronnées de succès. Pour la première, le procédé n'était pas sélectif. Pour la seconde, le polymère permettant une interaction tout au long de la chaîne de cellulose n'a pas pu être synthétisé. La dispersité des oligomères obtenus par hydrolyse acide (degré de polymérisation (DP) de 1 à 12) a cependant pu être réduite de façon satisfaisante en solubilisant les DP les plus faibles dans le méthanol. Enfin, la fraction insoluble dans le méthanol, après fonctionnalisation de l'extrémité réductrice par un groupement azide, a été couplée à un acide stéarique fonctionnalisé alcyne par chimie « click ». L'auto-assemblage de ce nouveau composé amphiphile a été étudié dans l'eau, la CMC a été mesurée à 100 mg.L<sup>-1</sup>. Les objets observés sont sphériques, de taille homogène avec un diamètre moyen de 140 nm ce qui indique une morphologie en vésicule.

### Abstract

The purpose of this study is to produce uniform cellulose oligomers. In this frame, two methods were considered: for the "fishing" method, the oligomers obtained by acidic hydrolysis of cellulose are separated by selective solubilisation in an organic phase thanks to a synthetic polymer. The size ratio between the synthetic polymer and the cellulose oligomer would be responsible for the selectivity. For the "masking" method, parts of cellulose backbone having the size of the future oligomers are protected with a synthetic polymer during an enzymatic hydrolysis. In both cases, the synthetic polymers contain boronic acid groups that interact reversibly with saccharides. Despite various attempts, these two methods were not crowned with success. The first one was eventually not selective. For the second one, the polymer allowing an interaction all along the cellulose backbone could not be synthesised. The dispersity of the oligomers obtained by acidic hydrolysis (polymerisation degree (DP) from 1 to 12) was satisfactorily decreased by solubilising the smaller DP in methanol. To finish, the methanol-insoluble fraction was functionalised at the reducing end with an azide group. It was then coupled to an alkyne-functionalised stearic acid by click chemistry. The self-assembly of this new amphiphilic compound was studied in water, the CMC was measured at 100 mg.L<sup>-1</sup>. The particles formed were spherical, homogeneous and had an average diameter of 140 nm, which indicate a vesicle morphology.



### Publication

Billes E, Onwukamike KN, Coma V, Grelier S, Peruch F (2016). Cellulose oligomers production and separation for the synthesis of new fully bio-based amphiphilic compounds. *Carbohydrate Polymers* 154, 121-128.

Plateforme  
LCPO

## Jérémie Brand

### FONCTIONNALISATION CHIMIQUE DES NANOCRISTAUX DE CELLULOSE PAR ACYLATION AVEC LES ESTERS DE VINYLE : IMPACT SUR LES PROPRIÉTÉS DE REVÊTEMENTS CHARGÉS EN NANOCCELLULOSE

*Chemical functionalization of cellulose nanocrystals (CNC) by acylation with vinyl esters: impact on the properties of coatings filled with nanocellulose*

**Thèse de doctorat en Physico-Chimie des Polymères sous la direction de Gilles Sèbe (Laboratoire d'accueil : LCPO).**

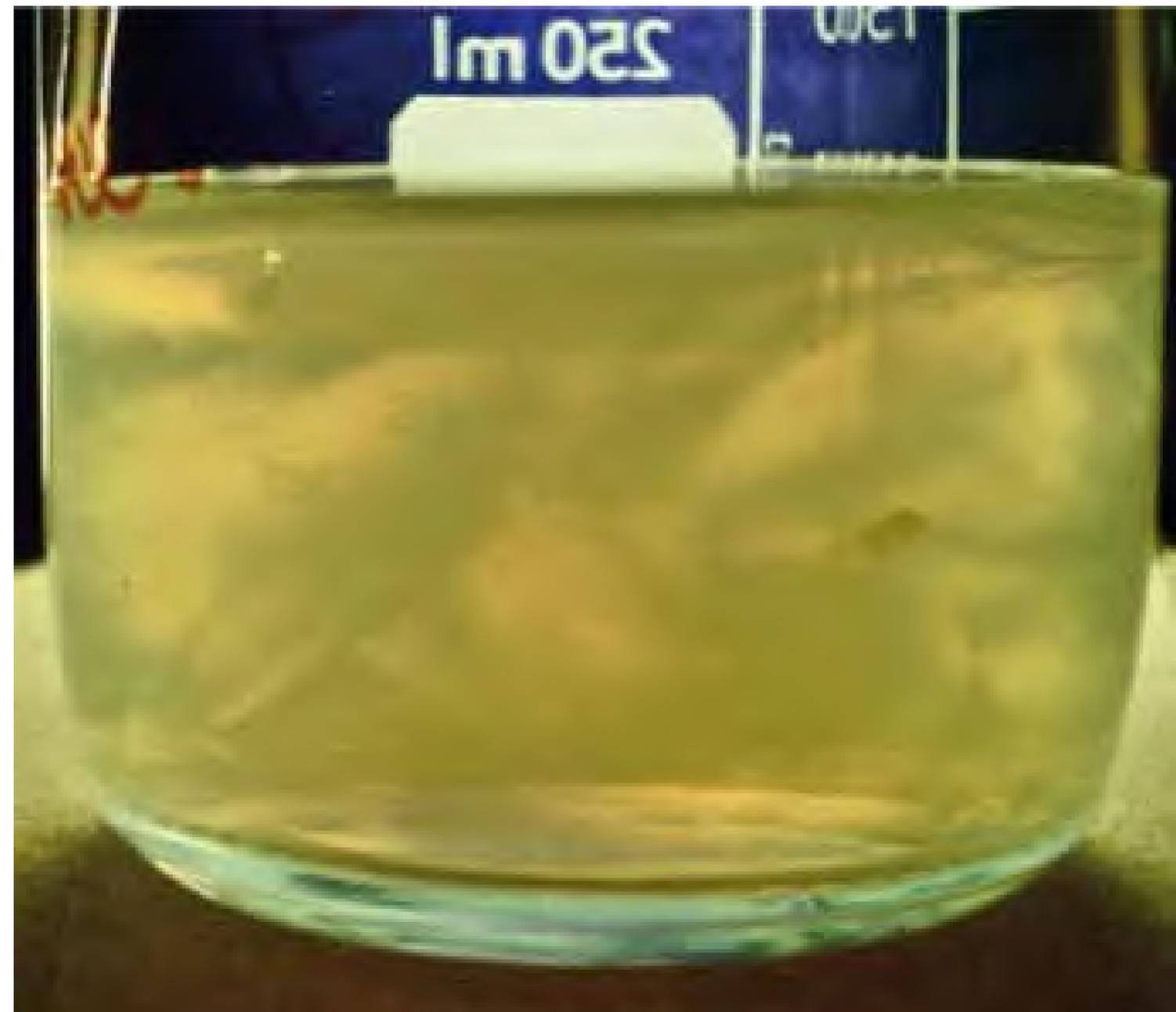
Soutenue le 18-11-2016 à l'Université de Bordeaux.

#### Résumé

Ce travail de thèse a pour objectif d'élaborer de nouveaux revêtements composites en utilisant les nanocristaux de cellulose (NCC) comme additifs biosourcés. Pour pallier au problème d'incompatibilité entre les charges hydrophiles et les matrices hydrophobes, une méthode simple à partir des esters de vinyle a été développée pour fonctionnaliser la surface des NCC. Une étude préliminaire réalisée à partir de l'acétate de vinyle utilisé comme réactif modèle, a d'abord permis d'optimiser les conditions de réaction. Ce protocole expérimental a ensuite été étendu à d'autres esters de vinyle fonctionnels, confirmant le caractère polyvalent de la méthode. Les NCC non modifiés et acétylés ont été dispersés dans des matrices acryliques (latex) ou polyuréthane (réticulable), afin d'étudier leur impact sur les performances mécaniques et barrières des composites. Une amélioration des propriétés mécaniques et barrières à l'oxygène a pu être observée dans certains cas, mais l'acétylation de surface des NCC n'a pas conduit à de meilleures performances. Une solution bicouche constituée d'un film 100 % NCC acétylés recouvert de polymère a alors été envisagée et a d'augmenter fortement les propriétés barrières à l'oxygène des différents matériaux. Certains NCC fonctionnalisés ont également été dispersés dans une matrice polydiméthylsiloxane, potentiellement utilisable comme revêtement protecteur pour l'aérospatial. Une amélioration notable de la stabilité thermique et optique sous irradiations UV dans des conditions géostationnaires a alors été observée.

#### Abstract

The objective of this research work consist in the elaboration of novel composite coatings using cellulose nanocrystals (CNC) as biobased additives. To palliate the problem of incompatibility between the hydrophilic filler and the hydrophobic matrices, a simple method based on vinyl esters was developed to functionalize the CNC surface. A preliminary study performed with vinyl acetate selected as model reactant first allowed optimizing the reaction conditions. This experimental protocol was subsequently extended to other functional vinyl esters to confirm the versatility of the method. The unmodified and acetylated CNC were dispersed in acrylic polymers (latex) or polyurethane (cross-linked resin) matrices, to study their impact on the mechanical and barrier performances of the composites. An improvement of the mechanical and barrier properties could be observed in some cases, but the CNC acetylation did not improve further the performances. A bi-layer approach consisting in a film of 100 % of acetylated CNC coated with the polymer was then envisaged, and allowed increasing significantly the oxygen barrier properties of the different resins. Some of the functionalized CNC were incorporated into a polydimethylsiloxane matrix, for a potential use as protective aerospace coating. A significant improvement in thermal stability and in optical stability under UV irradiation in geostationary conditions was then observed.



#### Publications

Planes M, Brand J, Lewandowski S, Remaury S, Solé S et al. (2016). Improvement of the thermal and optical performances of protective polydimethylsiloxane space coatings with cellulose nanocrystal additives. *ACS Applied Materials & Interfaces* 8, 28030–28039.

Brand J, Pecastaings G, Sèbe G (2017). A versatile method for the surface tailoring of cellulose nanocrystal building blocks by acylation with functional vinyl esters. *Carbohydrate Polymers* 169, 189–197.

**Plateforme  
LCPO**

# Maud Chemin

## VALORISATION DES XYLANES DU BOIS : VERS LA SYNTHÈSE DE COPOLYMÈRES AMPHIPHILES BIO-SOURCÉS

### *Wood xylans value-creation: towards the synthesis of amphiphilic bio-based copolymers*

Thèse de doctorat en Physico-Chimie des Polymères sous la direction de Henri Cramail et de Stéphane Grelier (Laboratoire d'accueil : LCPO).

Soutenue le 19-12-2014 à l'Université de Bordeaux.

#### Résumé

La thèse présentée propose une nouvelle voie de valorisation des xylanes du bois par l'élaboration de nouveaux polymères bio-sourcés et amphiphiles. Après une caractérisation complète de xylanes issus du bois de hêtre, l'hydrolyse acide en milieu dilué a été optimisée afin d'obtenir des xylo-oligosaccharides d'environ 6 unités xylose par chaîne avec une seule unité acide méthylglucuronique positionnée à l'extrémité non réductrice de la chaîne. En parallèle, l'étude de l'oxydation au periodate de sodium de ces xylanes a été effectuée pour permettre l'introduction d'un nombre contrôlé de fonctions aldéhyde le long de la chaîne. La fonction aldéhyde de l'extrémité réductrice des oligomères de xylane a ensuite été fonctionnalisée par un groupement allyle ou azote pour permettre leur couplage à des dérivés d'acide gras par 'chimie click'. Les oligomères amphiphiles ainsi obtenus ont ensuite été étudiés pour leurs propriétés tensioactives et d'auto-assemblage. Ils présentent de bonnes propriétés de mouillage, comparables à celles du Tween®80. Les objets issus de l'auto-assemblage de ces oligomères amphiphiles ont été analysés par DLS et TEM. Ils s'auto-assemblent aussi bien dans le chloroforme que dans l'eau. Les objets formés sont sphériques et de taille micellaire ( $d \leq 50$  nm). Ces objets ont tendance à s'associer pour former des agrégats, surtout dans le chloroforme. Ces agrégats sont régis par des interactions assez faibles pour être éliminés par dilution. Ils peuvent également être éliminés par simple filtration. Finalement, ce travail de thèse aura abouti à la synthèse de composés amphiphiles totalement bio-sourcés, à partir de xylanes, coproduits potentiels de l'industrie papetière. Grâce à leurs propriétés tensioactives, les

#### Abstract

*This thesis work aims to add value to xylans by designing new bio-based amphiphilic polymers. Beechwood xylans were first fully characterized before their acidic hydrolysis. The hydrolysis conditions were optimized in order to obtain well-defined xylooligosaccharides, oligomeric chains of about six xylose units that have only one methylglucuronic acid unit positioned at the non-reductive chain end. Periodate oxidation of xylans was also studied in order to form new aldehyde groups within the xylan backbone in a controlled manner. The xylooligomers were then functionalized from their reductive end with an azide or an allyl group, providing the ability to couple these oligomers to fatty acid derivatives using 'click chemistry'. The obtained amphiphilic oligomers were finally studied according to their surfactant and self-assembly properties. Their wetting properties were found to be very good, comparable to those found with Tween®80. Moreover, they self-assembled in both chloroform and water, where their structures were characterized via DLS and TEM. The resulting particles formed had a spherical micellar morphology, with a  $d \leq 50$  nm. However, it was found that the particles had a tendency to form large aggregates, particularly in chloroform. The aggregates could be easily removed, either by filtration or by dilution of the sample, as the forces that govern the aggregation are low enough to allow dissociation with increasing solvent volume. As previously mentioned, this thesis work led to the synthesis of bio-based amphiphilic oligomers starting from xylans, which are a potential byproduct in the paper/pulp industry. Thanks to their surfactant properties, numerous applications can be*

applications envisageables pour ces tensioactifs 'verts' sont nombreuses. De plus, leur caractère biocompatible et leur auto-assemblage en solution aqueuse en font de bons candidats pour l'encapsulation et la vectorisation de principes actifs.

*found for such a 'green' surfactant. Their biocompatibility added with their self-assembly nature in aqueous media makes them an attractive molecule for active substance delivery applications.*



#### Publications

Chemin M., Rakotoveloa, A., Ham-Pichavant, F., Chollet, G., da Silva Perez, D., Petit-Conil, M., Cramail, H., and Grelier, S. (2015a). *Synthesis and characterization of functionalized 4-O-methylglucuronoxylan derivatives.* *Holzforchung* 69, 713-720.

Chemin M., Wirotius, A.-L., Ham-Pichavant, F., Chollet, G., Da Silva Perez, D., Petit-Conil, M., Cramail, H., and Grelier, S. (2015b). *Well-defined oligosaccharides by mild acidic hydrolysis of hemicelluloses.* *European Polymer Journal* 66, 190-197.

Chemin M., Rakotoveloa, A., Ham-Pichavant, F., Chollet, G., Perez, D.D.S., Petit-Conil, M., Cramail, H., and Grelier, S. (2016). *Periodate oxidation of 4-O-methylglucuronoxylans: influence of the reaction conditions.* *Carbohydrate Polymers* 142, 45-50.

Plateforme  
LCPO

Olivia Condassamy

## VALORISATION D'UNE LIGNINE ALCALINE INDUSTRIELLE : VERS LE DÉVELOPPEMENT DE NOUVEAUX SYNTHONS ET OLIGOMÈRES BIO-SOURCÉS ISSUS DE LA LIGNINE

*Valorization of an industrial alkaline lignin:  
towards the development of new bio-based  
aromatic building units from lignin*

**Thèse de doctorat en Physico-Chimie des  
Polymères sous la direction de Stéphane Grelier  
et Henri Cramail (Laboratoire d'accueil : LCPO).**

Soutenue le 01-12-2015 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

La première partie de ce projet a consisté à isoler la lignine à partir de liqueurs industrielles et à la purifier pour s'affranchir des sucres, des minéraux et autres constituants. Pour cela, un protocole efficace en trois étapes a été proposé pour obtenir des échantillons de lignine avec une pureté satisfaisante (95%) et pour récupérer 68% de la lignine initialement présente dans la liqueur alcaline de départ. La lignine alcaline purifiée a ensuite été caractérisée d'un point de vue moléculaire et par analyses thermiques. L'élucidation de la structure de la lignine alcaline a permis d'appréhender sa fonctionnalisation par oxydation. Les analyses par chromatographie d'exclusion stérique de la lignine après oxydation ont montré une diminution de la masse molaire confirmant ainsi le clivage. Trois fractions différentes ont été isolées après l'oxydation de la lignine selon le solvant d'extraction ; d'une part des oligomères (plus ou moins fonctionnalisés) et d'autre part des molécules aromatiques (dont 15% de vanilline). Ce travail de thèse aura abouti à la synthèse de composés aromatiques à haute valeur ajoutée (vanilline) et d'oligomères de lignine fonctionnalisés par des fonctions acide carboxylique. Les applications envisageables de ces « polyacides » issus de lignine sont nombreuses pour la formation de nouveaux polymères bio-sourcés tels que des polyesters, polyamides ou encore polyuréthanes.

### Abstract

*A valorization of alkaline lignin from an industrial pulping liquor has been proposed for this project. Before considering any chemical modification or potential applications, the lignin structure has been elucidated. An efficient three-steps protocol for extraction and purification of lignin from industrial liquor has been established. This protocol leads to high purity sample of lignin (95%) and allows the recovery (68%) of the lignin initially present in the alkaline liquor. Alkaline lignin has been characterized utilizing analytical methods and thermogravimetric analysis. This precise structure elucidation was critical for proceeding to chemical modification of alkaline lignin. Chemical modification of alkaline lignin has been done by oxidation in alkaline media. Three major oxidized products have been isolated depending on the extraction solvent: oligomers bearing carboxylic groups and aromatic molecules. This thesis work led to the synthesis of value-added bio-sourced chemicals and functionalized oligomers. The polyacids from lignin obtained should be studied to form new biobased polymers such as polyesters, polyamids or polyurethanes.*

**Plateforme  
LCPO**



# Benjamin Dhuiege

## ACYLATION DES NANOCCELLULOSES EN MILIEU AQUEUX PAR TRANSESTÉRIFICATION DES ESTERS DE VINYLE ET UTILISATION COMME CHARGE DANS LE CAOUTCHOUC NATUREL

*Acylation of nanocelluloses in aqueous media by transesterification of vinyl esters and utilization as filler in natural rubber*

Thèse de doctorat en Physico-Chimie des Polymères sous la direction de Gilles Sèbe (Laboratoire d'accueil : LCPO).

Soutenue le 11-07-2017 à l'Université de Bordeaux..

### Résumé

Ce travail de thèse a pour objectif d'élaborer de nouveaux matériaux composites (élastomères, adhésifs) en utilisant les nanocelluloses (NCC et NFC) comme renforts mécaniques biosourcés. Une méthode de fonctionnalisation des nanocelluloses en conditions aqueuses a d'abord été développée, dans le but ultime d'améliorer leur compatibilité avec les matrices polymères. La réaction, basée sur la transestérification des esters de vinyle, a été optimisée à partir de l'acétate de vinyle utilisé comme réactif modèle. Le greffage en conditions basiques s'est avéré efficace, mais a également conduit à la formation de poly(acétate de vinyle) (PVAc) comme produit secondaire. Pour pallier à ce problème, un deuxième protocole en conditions neutres a également été développé, mais des rendements moins bons ont été obtenus dans ce cas. Les nanocelluloses non modifiées et acétylées ont ensuite été dispersés dans une matrice caoutchouc naturel (NR) afin d'étudier l'impact de cette charge sur les performances thermomécaniques du matériau cru ou vulcanisé. Une amélioration des propriétés mécaniques a pu être observée en présence de NCC ou NFC, mais l'acétylation des nanoparticules n'a pas conduit à de meilleures performances. Enfin, une valorisation du PVAc produit lors de l'acétylation des nanocelluloses en conditions aqueuses basiques a été proposée. La dispersion des NCC acétylés dans le PVAc polymérisé in-situ a en effet permis de produire des composites aux propriétés améliorées. L'utilisation ultérieure de ces composites comme charge (mélange-maître) dans des matrices NR ou EVA a été discutée.

### Abstract

The objective of this research work consists in the elaboration of novel composite materials (elastomers, adhesives) using nanocelluloses (CNC and NFC) as biobased reinforcing fillers. A method allowing the functionalization of nanocelluloses in aqueous conditions was first developed, with the aim of ultimately improving their compatibility with polymer matrices. The reaction, based on the transesterification of vinyl esters, was optimized with vinyl acetate selected as model reactant. The grafting performed in basic aqueous conditions was efficient, but also led to the formation of poly(vinyl acetate) as a by-product. To limit this problem, a second protocol in neutral aqueous conditions was also developed, but lower yields were obtained in that case. The unmodified and acetylated nanocelluloses were then dispersed in a natural rubber matrix (NR), to study the impact of this filler on the thermomechanical performances of the crude and vulcanized material. An improvement of the mechanical properties was observed in the presence of NCC or NFC, but the acetylation of the nanoparticles did not enhance further the performances. Finally, a valorization of the PVAc produced during the acetylation of the nanocelluloses in basic aqueous conditions was proposed. The dispersion of the acetylated NCC in the PVAc polymerized in-situ indeed led to the production of composites with improved properties. The subsequent utilization of these composites as filler (master batch) in NR or EVA matrices was discussed.



### Publications

Sebe G, Simon A, Dhuiege B, Faure C (2019). Cu<sup>2+</sup>-loaded cellulose microbeads applied to the direct patterning of metallic surfaces from colloidal using a fast and convenient process. *Carbohydr Polym* 207, 492-501.

Dhuiege B, Pecastaings G, Sebe G (2019). A Sustainable approach for the direct functionalization of cellulose nanocrystals dispersed in water by transesterification of vinyl acetate. *ACS Sustain Chem Eng* 7, 187-196.

Plateforme  
LCPO

# Abdelouahed Khoukh

## APPORT DE LA RMN DIFFUSIONNELLE À L'ÉTUDE DES SYSTÈMES POLYMÈRES : EXTRÉMITÉS DE CHAÎNE, CONTRÔLE DES ARCHITECTURES ET AUTO-ASSEMBLAGE

*Contribution of DOSY NMR to the study of polymer systems: Chain ends groups, control architectures and self-assembly*

Thèse de doctorat en Physico-Chimie des Polymères sous la direction de Laurent Billon (Laboratoire d'accueil : IPREM).

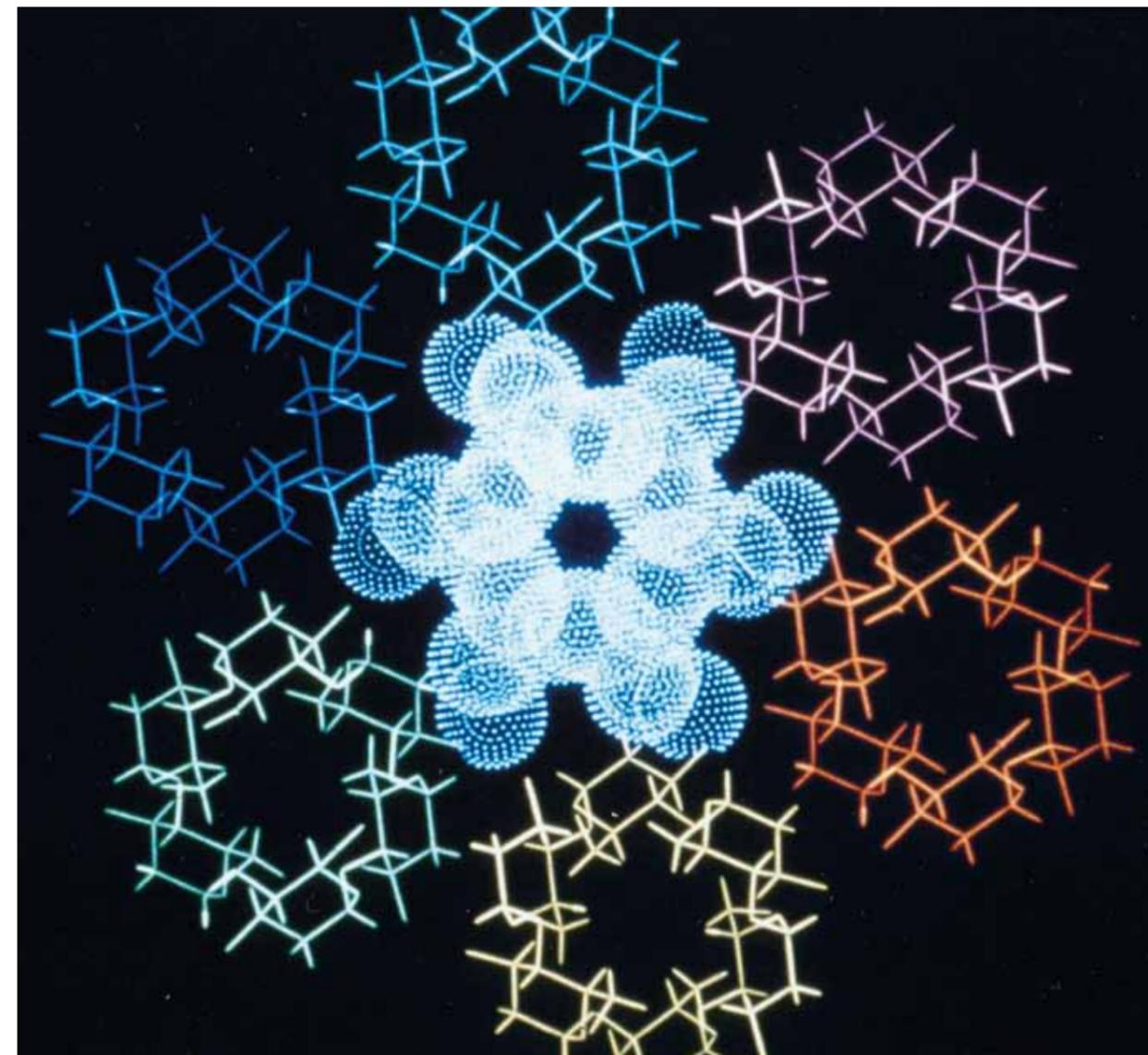
Soutenue le 19-12-2014 à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour.

### Résumé

La Résonance Magnétique Nucléaire RMN DOSY (Diffusion Ordered Spectroscopy) 1H est une technique permettant de mesurer les coefficients de diffusion des espèces en solution. Elle permet ainsi d'obtenir des informations structurales de par sa dimension RMN conventionnelle mais également des informations physico-chimiques telles que la taille de la (macro)molécule ou encore la formation d'agrégats. L'objectif de ces travaux a été d'examiner comment les méthodes de RMN (RMN 1D, 2D et DOSY), permettent de fournir des informations sur la caractérisation des matériaux polymères. La première partie de ce travail souligne l'intérêt de la RMN pour la caractérisation de la microstructure de quelques matériaux polymères en s'attardant plus particulièrement sur l'exploration de leurs extrémités de chaînes. La RMN s'est en effet révélée très performante pour établir le lien entre extrémité de chaîne et méthode de polymérisation appliquée. Le deuxième volet de ces travaux concerne l'étude de quelques architectures complexes (type dibloc et tribloc) et la mise en évidence du caractère contrôlé d'une copolymérisation radicalaire grâce à la RMN diffusionnelle. Nous avons également vu comment déterminer la masse moyenne en poids (Mw) par une simple mesure du coefficient d'autodiffusion. Finalement, l'ensemble des travaux présentés dans ce manuscrit a été valorisé grâce à l'étude des interactions par RMN diffusionnelle. Plus particulièrement la RMN DOSY 1H a permis d'observer des phénomènes de micellisation, d'agrégation, d'encapsulation et de relargage de molécules de principe actif.

### Abstract

*Diffusion Ordered Spectroscopic Nuclear Magnetic Resonance (DOSY NMR 1H) makes it possible to determine physicochemical data such diffusion coefficients. While typical NMR data on the structure of molecules can be obtained, this technique also permits determinations of the physicochemical characteristics, such as molecular sizes or aggregate formation. The objective of this work was to examine how various NMR methodologies, specifically, 1 and 2 dimensional DOSY NMR, can be applied to the characterization of polymers. The first part of the manuscript relates the NMR characterization of some polymeric materials with a special interest in chain-end groups. In particular, we demonstrate the relationships between chain-ends and the polymerization methods employed. In a second part, the potential of the DOSY technique is used to determine controlled features of a radical polymerization resulting in di- and triblock architectures. Molecular weights are also determined by self-diffusion coefficient measurements. The results presented herein demonstrate that diffusional NMR can be effectively employed to understand interactions in polymeric structures. Indeed, DOSY 1H-NMR provides new interesting results concerning micellization, aggregation, encapsulation phenomena and the release of active molecules.*



### Publication

Etchenausia, L., Khoukh A., Deniau Lejeune, E., and Save, M. (2017). RAFT/MADIX emulsion copolymerization of vinyl acetate and N-vinylcaprolactam: towards waterborne physically crosslinked thermoresponsive particles. *Polym. Chem.* 8, 2244–2256.

Plateforme  
IPREM

# Audrey Llevot

## DIMÈRES D'ACIDES RÉSINIQUES ET DE DÉRIVÉS DE LA LIGNINE : NOUVEAUX PRÉCURSEURS POUR LA SYNTHÈSE DE POLYMÈRES BIO-SOURCÉS

*Resinic acid and lignin derivative dimers: new precursors for the synthesis of biobased polymers*

Thèse de doctorat en Physico-Chimie des Polymères sous la direction de Henri Cramail, Stéphane Carlotti et de Stéphane Grelier (Laboratoire d'accueil : LCPO).

Soutenue le 10-12-2014 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

Ces travaux de thèse traitent de l'utilisation d'une molécule polycyclique, l'acide abiétique, issu de la colophane, et de dérivés phénoliques potentiellement dérivés de la lignine, pour la synthèse de polymères rigides bio-sourcés. Dans les deux cas, des monomères symétriques et difonctionnels sont élaborés par réaction de dimérisation des précurseurs bio-sourcés puis testés en polymérisation. D'une part, les dimères de l'acide abiétique obtenus par un mécanisme cationique possèdent des structures mal définies qui compliquent leur polymérisation. Ces dimères ont alors été estérifiés avec de l'undécénol afin d'obtenir un composé bis-insaturé qui est ensuite polymérisé par ADMET. D'autre part, un procédé de dimérisation de molécules phénoliques, potentiellement issues de la lignine, a été développé par voie enzymatique utilisant une laccase. L'avantage majeur de ce procédé 'vert' réside dans la séparation très simple entre le monomère, soluble, et son dimère, insoluble. Ces dimères ont ensuite été modifiés chimiquement afin de constituer une bio-plateforme de composés biphenyles fonctionnels. Ces composés ont été utilisés pour la synthèse de polyesters, polyamides et résines époxy qui présentent des propriétés thermiques et thermomécaniques remarquables.

### Abstract

*The aim of this thesis is to investigate new biobased rigid synthons for the synthesis of polymers with high thermomechanical properties. A polycyclic biobased molecule, i.e resinic acids, and phenolic compounds potentially derived from lignin, such as vanillin were selected. Both classes of substrates were dimerized in order to get difunctional symmetric synthons. On the one hand, abietic acid dimers synthesized via a cationic mechanism presented an ill-defined structure. To avoid reactivity issues, dimers with reactive terminal double bonds were successfully synthesized by esterification of abietic acid dimers with undecanol and polymerized by ADMET methodology. On the other hand, we developed a "green" process to dimerize phenolic compounds derived from lignin in large quantity and high yield via enzymatic catalysis using a laccase. The main advantage of this method is that the phenolic monomer is soluble in the reaction medium while the dimer precipitates. After chemical modifications of the dimers, we built a functional bio-platform of biphenyl derivatives. The latter were then used for the synthesis of polyesters, polyamides and epoxy resins which exhibited remarkable thermal and thermomechanical properties.*



### Publications

Llevot A., Grau, E., Carlotti, S., Grelier, S., and Cramail, H. (2015a). ADMET polymerization of bio-based biphenyl compounds. *Polym. Chem.* 6, 7693-7700.

Llevot A., Grau, E., Carlotti, S., Grelier, S., and Cramail, H. (2015b). Selective laccase-catalyzed dimerization of phenolic compounds derived from lignin: Towards original symmetrical bio-based (bis) aromatic monomers. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 125, 34-41.

Llevot A., Grau, E., Carlotti, S., Grelier, S., and Cramail, H. (2015c). Renewable (semi)aromatic polyesters from symmetrical vanillin-based dimers. *Polymer Chemistry* 6, 6058-6066.

Llevot A., Grau, E., Carlotti, S., Grelier, S., and Cramail, H. (2015d). Dimerization of abietic acid for the design of renewable polymers by ADMET. *European Polymer Journal* 67, 409-417.

Plateforme  
LCPO

# Vincent Nordmann

## CARACTÉRISATION ET IMPACT DES DIFFÉRENTES FRACTIONS D'UNE BIOMASSE LIGNOCELLULOSIQUE POUR AMÉLIORER LES PRÉTRAITEMENTS FAVORISANT SA MÉTHANISATION : UTILISATION DE LA PAILLE DE BLÉ COMME BIOMASSE LIGNOCELLULOSIQUE D'ÉTUDE

*Characterisation and impact of different fractions of lignocellulosic biomass for improving pretreatments and further methanisation: use of wheat straw as case study of lignocellulosic feedstock.*

Thèse de doctorat en Chimie Organique sous la direction de Stéphane Grelier et de Frédérique Ham-Pichavant.

Soutenue le 16-12-2013 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

La méthanisation est un processus biologique de transformation des matières organiques libérant principalement du méthane et du dioxyde de carbone. Cette technologie connaît un essor important pour la production de biométhane, source d'énergie renouvelable. Elle présente cependant des rendements de dégradation faibles lorsque de la biomasse lignocellulosique est utilisée comme matière première. Pour optimiser son rendement, la paille de blé a été sélectionnée comme biomasse représentative et l'impact sur la méthanisation de chacune des fractions (extractibles, hémicelluloses, cellulose et lignine) a été évalué. Une biomasse de synthèse a été construite à partir des constituants purs de la paille de blé afin d'évaluer l'impact des interactions lignine-holocellulose. Le potentiel de méthanisation de différentes molécules phénoliques, provenant de la dégradation de la lignine, a été déterminé. Elles inhibent la méthanisation à l'exception de trois d'entre elles qui présentent un rendement de méthanisation élevé : les acides vanillique, l'acide férulique et le syringaldéhyde. Différents prétraitements physiques (le chauffage par échangeur thermique ou par irradiation aux micro-ondes ainsi que

### Abstract

Methanization or anaerobic digestion is a biological process to transform organic matter into a gas mixture composed by a majority of methane and carbon dioxide. This technology is developing rapidly for the production of biomethane as renewable energy source. However this biotechnological route has low performances when lignocellulosic biomass is used as raw material. Wheat straw has been chosen as typical biomass and the role of each lignocellulosic fraction (extractives, cellulose, hemicelluloses and lignin) has been determined on the performance of anaerobic digestion. A synthetic biomass has been built with different pure constituents of the wheat straw to assess the impact of holocellulose-lignin interactions on methanization. Then methane potential of various lignin degradation products (phenolic molecules) has been studied. Majority of them have been shown an inhibitory effect but three of them have been converted to methane: ferulic and vanillic acids and syringaldehyde. Various physical pretreatments (heating, microwave irradiation, sonication and refining) and chemical pretreatments (sodium hydroxide, ammonia and ozone) have been selected to prepare the biomass to anaerobic



la sonication et le raffinage papetier) et chimique (la soude, l'ammoniaque et l'ozone) ont ensuite été sélectionnés, et leurs impacts sur la composition de la paille et sa méthanisation ont été mesurés. Les meilleurs rendements de méthanisation ont été obtenus suite à l'exposition aux micro-ondes en présence de soude.

*digestion and their impacts on wheat straw composition have been evaluated. The best methanization yield has been obtained after pretreatments by sodium hydroxide heating by microwave irradiation.*

# Alex Rakotoveloa

## FRAGMENTATION ENZYMATIQUE DE LA LIGNINE POUR L'OBTENTION DE SYNTHONS PHÉNOLIQUES

*Enzymatic depolymerization of lignin  
for the production of fine aromatic chemicals*

**Thèse de doctorat en Physico-Chimie des  
Polymères sous la direction de Stéphane  
Grelier et de Frédéric Peruch (Laboratoire  
d'accueil : LCPO).**

Soutenue le 21-11-2016 à l'Université de Bordeaux.

### Résumé

Ces travaux de thèse visent à valoriser la lignine, biopolymère aromatique le plus abondant sur terre. Pour cela, la dépolymérisation oxydante de la lignine par voie enzymatique a été explorée afin d'obtenir des synthons aromatiques fonctionnalisés. La laccase et le système laccase médiateur (LMS) ont été sélectionnés comme système enzymatique. Dans une première partie, les paramètres réactionnels (choix du médiateurs, température, co-solvant...) de fonctionnement optimal du LMS ont été déterminés notamment via l'utilisation de molécules modèles de lignine. Ces conditions optimales ont été directement appliquées pour l'oxydation d'une lignine organosolv issue d'une plante herbacée. Une étape de fractionnement organique a été conduite sur la lignine avant oxydation afin d'éliminer les populations à l'origine de réactions de couplage. La lignine a ensuite été oxydée par le LMS en milieu biphasique, puis traitée au peroxyde d'hydrogène. Ce procédé en trois étapes a permis de générer des composés aromatiques monomères à trimères (mis en évidence par chromatographies SEC, HPLC, GC et LC-MS) et a été appliqué avec succès à une seconde lignine issue de conifère. Dans les deux cas, des rendements élevés ont été constatés comparés à ceux obtenus dans la littérature. Après isolation, les composés aromatiques produits pourraient trouver des applications comme précurseurs dans les industries de la chimie fine et des polymères.

### Abstract

*This work aims at valorizing lignin, the most abundant aromatic biopolymer on earth. For that purpose, an enzymatic approach for the oxidative depolymerization of lignin was investigated in order to obtain fine chemicals. Laccase and the laccase-mediator system (LMS) were selected for the enzymatic oxidation. In the first part, optimal conditions (type of mediator, temperature, co-solvent...) were determined especially by studying reactions on lignin model molecules. These conditions were applied for the oxidation of an organosolv grass lignin. Prior to the oxidation, an organic fractionation was conducted on the lignin in order to remove the population responsible for radical coupling. Then, the lignin was oxidized by the LMS in a biphasic medium followed by a mild hydrogen peroxide treatment. This three-step process allowed the production of monomeric to trimeric aromatic compounds (as shown by SEC, HPLC, GC and LC-MS) and was successfully applied to a different organosolv lignin coming from hardwood. High yield were obtained in both cases as compared with literature results. After isolation, the obtained aromatic molecules could be of interest as precursors for the fine chemistry and polymer industries.*

### Publications

Chemin M, Rakotoveloa A, Ham-Pichavant F, Chollet G, da Silva Perez D, Petit-Conil M, Cramail H, Grelier S (2015). **Synthesis and characterization of functionalized 4-O-methylglucuronoxylan derivatives.** *Holzforschung* 69, 713-720.

Chemin M, Rakotoveloa A, Ham-Pichavant F, Chollet G, Perez DDS, Petit-Conil M, Cramail H, Grelier S (2016). **Periodate oxidation of 4-O-methylglucuronoxylans: influence of the reaction conditions.** *Carbohydrate Polymers* 142, 45-50.



## LISTE DES THÈSES EN COURS

**XYLOCHEM**

Martin CAMUS

**ÉLABORATION OF LIGNIN BASED SYSTEMS EXHIBING SURFACTANT AND ANTIOXIDANT PROPERTIES**

Thèse débutée le 01-06-2016 sous la direction de Henri Cramail, Frédérique Ham-Pichavant, Etienne Grau et Stéphane Grelier (Laboratoire d'accueil : LCPO).

Plateforme  
LCPO

Thibaut CASTAGNET

**POLYMÈRES ACRYLIQUES À BASE DE TERPÈNES COMME NOUVELLE CLASSE DE COPOLYMÈRES À BLOCS NANOSÉGRÉGÉS FONCTIONNELS**

Thèse débutée le 01-10-2018 sous la direction de Laurent Billon (Laboratoire d'accueil : IPREM).

Plateforme  
IPREM

Alexandre HAUCK

**IGNIFUGATION & ENSIMAGE DE FIBRES DE CARBONE À BASE DE RESSOURCES LIGNO-CELLULOSIQUES**

Thèse débutée le 01-01-2017 sous la direction de Laurent Billon et Christophe Derail (Laboratoire d'accueil : IPREM).

Plateforme  
IPREM



Erwan LE GOUE

**DÉVELOPPEMENT DE PAPIERS À HAUTE VALEUR AJOUTÉE POUR USAGES SPÉCIFIQUES**

Thèse débutée le 02-05-2016 sous la direction de Véronique Coma, Frédérique Ham-Pichavant et Stéphane Grelier (Laboratoire d'accueil : LCPO).

Plateforme  
LCPO

Jérémy MEHATS

**POLYMÉRISATION *IN-SITU* DE DÉRIVÉS TERPÉNIQUES DANS LE BOIS**

Thèse débutée le 01-03-2017 sous la direction de Etienne Grau et Stéphane Grelier (Laboratoire d'accueil : LCPO).

Plateforme  
LCPO

Sairong Mam NOPPALIT

**TERPENES-BASED ALL ACRYLIC POLYMERS AS A NEW CLASS OF FUNCTIONAL MATERIAL**

Thèse débutée le 01-01-2016 sous la direction de Laurent BILLON (Laboratoire d'accueil : IPREM).

Plateforme  
IPREM



Pauline VINCENT

**RECOVERY POLYHYDROXYACIDS FROM CHEMICAL PULPING FOR THE SYNTHESIS OF BIOBASED SURFACTANTS**

Thèse débutée le 01-02-2017 sous la direction de Henri Cramail, Frédérique Ham-Pichavant, Etienne Grau et Stéphane Grelier (Laboratoire d'accueil : LCPO).

Plateforme  
LCPO

**RÉDACTEURS** Christine Delisée, Richard Emeyriat, Olivier Lepais, Sylvain Delzon, Nathalie Boizot, Françoise Laurans, Laurent Billon, Pierre Trichet, Rémy Petit, Jean-François Trontin, Gilles Pilate, Frédérique Pichavant, Jean-Luc Coureau, Bertrand Charrier, Patrick Pastuszka, Stéphane Grelier et Communication Inra Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux.

**PHOTOGRAPHIES** A. Girard, G. Pracros, J. Moreau, C. Délisée, L. Harvengt, S. Grelier, R. Petit, T. Sanson, R. Emeyriat, D. Bert, A. Ducousso, I. Van Halder, X. Capdevielle, N. Boizot, M. Rubini, B. Charrier, J.L. Coureau, P. Trichet, F.T.P. Guedes, A. Guiguet, W. Lakhal, K. Eliášová, A. Šećerović, M. Vidal, C. Cuello, M. Martin, A. Spratt (Unsplash), J. Wimmerlin (Unsplash) et Plateformes XYLOFOREST

**CONCEPTION GRAPHIQUE** Fred Briand **IMPRESSION** BLF Impression

© XYLOFOREST - 2019

**PHOTO DE COUVERTURE** Bois peint d'Oma, dans la réserve de la biosphère d'Urdaibai, près de Bilbao (Pays Basque espagnol). Cette œuvre vivante, magnifique exemple de land art, créée en 1984 par le sculpteur et peintre Agustín Ibarrola, est un espace magique où la nature se conjugue à l'art. Les recherches sur la forêt et le bois, matériau vivant, sont, à l'instar du land art, l'occasion de porter un regard nouveau sur notre environnement naturel et culturel. Photo R. Petit.

9 ans de recherche  
sur les plateformes  
Xyloforest

*9 years of research  
on the Xyloforest  
technical facilities*



Inra Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux  
71, avenue Edouard Bourlaux  
CS 20032  
33882 Villenave d'Ornon Cedex

Tél. : +33 (0)5 57 12 23 00  
[www.bordeaux-aquitaine.inra.fr](http://www.bordeaux-aquitaine.inra.fr)  
@Inra\_BdxAqui

