

Prix Thèses des Bois

Jeudi 13 Septembre 2018 - 8H30 à 17H00

A l'Université de Limoges - Bâtiment M, Amphithéâtre A
47, avenue Albert Thomas 87060 LIMOGES CEDEX

Programme

- 8h30 :** Accueil des participants - Petit déjeuner
- 8h50 - 9h00 :** Présentation de la journée Thèses des Bois
Christine DELISEE - Bordeaux Sciences Agro ; **Guy COSTA** - Univ Limoges
Vice-Présidents du Conseil Scientifique de Xylofutur
- 9h00 - 9h30 :** Extraction d'oligomères d'hémicelluloses de bois résineux et évaluation de leurs activités prébiotiques
Présentation : Vivien DELOULE - LGP2, Grenoble
Encadrant : Christine CHIRAT
- 9h30 - 10h00 :** Adaptation de l'Eurocode 5 aux feuillus français - Comportement long terme
Présentation Maximin VARNIER - LGC2D - Egletons - Univ. de Limoges
Encadrant : Frédéric DUBOIS
- 10h00 - 10h30 :** Elaboration et évaluation biologique de nouveaux matériaux lignocellulosiques bioactifs
Présentation : Zined KHALDI - Laboratoire PEIREINE - Univ. de Limoges
Encadrant : Rachida ZERROUKI
- 10h30 - 10h40 :** **FLASH TALK POSTERS : 1 candidat**
- **Holm AMARA**, Laboratoire PEIREINE, Université de Limoges
- 10h5 - 11h00 :** **PAUSE**
- 11h00 - 11h30 :** Colorants naturels à base d'écorce de Bois du Gabon
Présentation : Henri MEYO DEGBOEVI - LERMAB - Université de Lorraine
Encadrant : Philippe GERARDIN
- 11h30 - 12h00 :** Étude et contrôle de l'exsudation de la résine dans le bois de Pin Maritime
Présentation : Thomas CABARET - IPREM-XYLOMAT Mt de Marsan - Université de Pau et Pays de l'Adour
Encadrant : Bertrand CHARRIER

- 12h00 - 12h30 :** Régimes de gouvernement des forêts : les Landes de Gascogne entre science et politique
Présentation : **Paul CONCHON** - IRSTEA - Bordeaux
Encadrant : **Caitriana CARTER**
- 12h30 - 13h40 :** **REPAS**
- 13h40 - 13h45 :** **FLASH TALK POSTERS : 1 candidat**
● **Claudiane FLORA**, EcoFoG Guyane
- 13h45 - 14h15 :** Résines phénoliques, biosourcées et ignifuges, destinées à la protection du bois et des composites à base de bois
Présentation : **Pedro DE HOYOS MARTINEZ** - IPREM Mt de Marsan, UPPA et Université du Pays Basque, Donostia St Sebastian -
Encadrants : **Fatima CHARRIER - EL BOUHTOURY et Jalel LABIDI**
- 14h15 - 14h45 :** Influence des propriétés du bois sur le comportement vibratoire des violons et guitares
Présentation : **Romain VIALA** - FEMTO-ST - Université Franche Comté, Besançon
Encadrants : **Vincent PLACET et Scott COGAN**
- 14h45 - 15h15 :** Modélisation du développement architectural, de l'acclimatation au vent dominant et de l'ancrage du système racinaire du pin maritime
Présentation : **Clément SAINT CAST** - BIOGECO et ISPA - INRA, Université de Bordeaux
Encadrant : **Frédéric DANJON**
- 15h15 - 15h30 :** **PAUSE**
- 15h30 - 16h00 :** Le Panneau Isolant Mobile en bois en climat nordique : Optimiser le confort environnemental par l'architecture adaptative
Présentation : **Jon LEFAIVRE** - CIRCERB-GRAP, Université Laval - Québec
Encadrants : **André POTVIN et Claude DEMERS**
- 16h00 - 17h00 :** **DELIBERATION DU JURY**

Jury international

Pierre BLANCHET (Université Laval, CAN)

Loïc COTTEN (Alliance Forêt Bois, Pdt Commission DAS3 Xylofutur)

Henri HUSSON (CRPF Nouvelle Aquitaine)

Philippe GERARDIN (LERMAB Nancy)

Christophe JOURDAIN (Integral Bois System, Pdt Commission DAS1 Xylofutur)

Jalel LABIDI (Euskal Herriko Unibertsitatea/Universidad de Pais Vasco)

Sabine LHERNOULD (LCSN Limoges)

Christelle PEDESERT (GASCOGNE FLEXIBLE, Pdte Commission DAS2 Xylofutur)

Hugues PETIT ETIENNE (BoisLim)

Bernard THIBAUT (LMGC Montpellier, GDR Bois)

Présidente du jury : Christine DELISEE (Bordeaux Sciences Agro)

Conférence et Remise des Prix Thèses des Bois 2018

Lundi 24 Septembre 2018 de 15h15 à 15h45

Campus Bordeaux Sciences Agro
Amphi Sylvae, Bâtiment Brémontier
1, Cours du Général de Gaulle 33175 Gradignan

Programme

14h30 - 15h15 ASSEMBLEE GENERALE PUBLIQUE XYLOFUTUR

15h15 - 15h30 : RESTITUTION DES LAUREATS des THESES DES BOIS 2018
Chacun des quatre lauréats expose ses travaux en 180 secondes.

15h30 - 15h45 : REMISE DES PRIX
Par Xylofutur et GDR Bois.

- Attribution des Prix Communications orales et Posters.

15h45 - 17h45 COLLOQUE BAS CARBONE

Extraction d'oligomères d'hémicelluloses de bois résineux et évaluation de leurs activités prébiotiques

Vivien DELOULE - Grenoble-INP LGP2 - vivien.deloule@grenoble-inp.org

Ce projet s'inscrit dans le cadre d'une bioraffinerie lignocellulosique, dont l'objectif est d'extraire les hémicelluloses de copeaux de bois de résineux afin de les valoriser en prébiotiques. Un prébiotique est un substrat, qui, utilisé sélectivement par des micro-organismes, confère un avantage pour la santé de l'hôte. Le corps humain a en effet co-évolué avec une communauté complexe de microorganismes, appelée microbiote, influençant fortement notre santé. Les hémicelluloses, représentant environ 25% de la masse du bois, sont un sous-produit industriel abondant, mais inexploité, de l'industrie de la pâte à papier. Ces hémicelluloses sous forme d'oligomères pourrait être utilisées comme prébiotiques.

Les objectifs de cette thèse étaient tout d'abord d'extraire des oligosaccharides des hémicelluloses de bois résineux, puis de les caractériser. Les prébiotiques candidats ont ensuite été évalués en vue de déterminer leurs effets *in vitro* sur des bactéries anaérobies et enfin *in vivo*, sur le microbiote et le métabolisme des souris.

La première étape a consisté à optimiser l'extraction des oligosaccharides par autohydrolyse, et à sélectionner la méthode de purification la plus appropriée (ultra et nano filtration, traitement au charbon actifs, précipitation dans des solvants). Puis les produits obtenus ont été caractérisés en termes de composition osidique, d'impuretés (acides organiques, produits de dégradation du sucre, lignine), et de degré de polymérisation.

La deuxième étape a démontré la fermentation *in vitro* des oligomères par des bactéries bénéfiques (*Bifidobacterium adolescentis*, *Akkermansia muciniphila* et *Lactobacillus salivarius*) par rapport à une bactérie pathogène (*Escherichia coli* LF82). La fermentation a été suivie via différents indicateurs : croissance bactérienne, production d'acides gras à chaîne courte (SCFA) et épuisement des oligomères dans le milieu de culture. Les cultures ont été réalisées sous atmosphère anaérobie, avec un milieu de culture complété par 10 mg.ml⁻¹ d'oligosaccharides. Les différents substrats hémicellulosiques, comparé à un prébiotique commercial (Fructooligosaccharide, P95, BENEIO-Orafti, Belgique), ont stimulé la croissance de bactéries bénéfiques sans induire de croissance d'*E.coli*. La sélectivité des bactéries envers des oligosaccharides spécifique (influence du degré de polymérisation etc.) a également été étudiée.

La dernière étape a consisté en une expérience *in vivo* avec des souris C57BL/6J saines, pour approfondir l'étude sur l'influence des oligosaccharides d'hémicelluloses sur l'homéostasie intestinale. Huit souris ont servi de témoin avec un régime standard et huit souris ont eu un régime enrichi en hémicelluloses. Une analyse métagénomique de l'ARN ribosomale 16S du contenu caecal a révélé que le microbiote était distinct en fonction du régime alimentaire: les souris du groupe hémicellulose ont montré une augmentation significative des Bacteroidetes et une diminution de la croissance des Firmicutes et des Proteobactéries. Les hémicelluloses ont également augmenté la production des SCFA. Le rapport tryptophane/kynurénine a augmenté ainsi que la sérotonine, et aucune inflammation n'a été détectée.

Toutes ces données tendent à prouver que ces oligosaccharides peuvent modifier le milieu intestinal vers un écosystème plus sain et influence le métabolisme de l'hôte. Grâce à ces résultats très prometteurs, nous avons été sélectionnés par l'incubateur de start-up SATT Linksium pour développer une unité pilote de purification des oligosaccharides d'hémicelluloses. Cela nous permettra d'approfondir les investigations scientifiques et de se rapprocher de l'industrialisation d'oligosaccharides d'hémicelluloses extraits au sein d'une bioraffinerie papetière.

Mots-clés : Autohydrolyse, bioraffinerie, bois résineux, fermentation, hémicelluloses, *in vitro*, modèle animal, microbiote, oligomère, prébiotique.

Adaptation de l'Eurocode 5 aux feuillus français - Comportement long terme

Maximin VARNIER - GC2D -ULimoges - maximin.varnier@unilim.fr

L'Eurocode 5 est la norme de dimensionnement des structures en bois en Europe. Elle propose la vérification d'Etats Limites de résistance (Ultimes) et de confort (en Service) par une approche semi probabiliste. Tous les développements, lois de comportement et valeurs des paramètres ont jusqu'à présent été majoritairement conduits à partir de l'étude des bois de résineux, sans réelle considération des potentielles spécificités des bois de feuillus alors que la ressource forestière française est au deux tiers constituée de feuillus. Cependant, les essences de feuillus proposent de nombreux avantages. Certaines ont un comportement mécanique supérieur aux résineux, et d'autres présentent sont imputrescibles. La prise en compte des déformations différées se fait au travers d'un coefficient nommé k_{def} . Ce dernier traduit une augmentation forfaitaire de la déformation instantanée, en prenant en compte les conditions d'environnement, et la durée de chargement. Il couvre les effets de plusieurs phénomènes mécaniques : viscoélasticité hygro-activée, déformations hygro-thermiques ou encore couplages mécanosorptifs. L'objectif de ces travaux est de montrer si les différences anatomiques, chimiques ou mécaniques des différentes essences de bois provoquent des effets différés notablement différents. Ce travail est une partie du projet ANR EFEUR5, qui étudie particulièrement les principaux bois de feuillus de la ressource forestière française (chêne, hêtre et peuplier) en vue de l'adaptation de l'Eurocode 5.

Pour quantifier les déformations hygro-thermiques, il est nécessaire de disposer d'un modèle de comportement permettant de prédire l'évolution du champs thermo-hydrique tri-dimensionnel au sein d'une poutre en bois de feuillus anisotrope soumise à une ambiance variable (classe de service 2) de température et d'humidité relative. Une approche analytique de la diffusion est utilisée avec les développements nécessaires à la prise en compte des effets induits par les variations de la température et de l'humidité interne. Pour valider ce modèle, et comparer les propriétés de diffusion de chacune des essences, une méthodologie de calibration expérimentale en environnement extérieur est proposée. Ce modèle est ensuite associé à un modèle mécanique intégrant l'ensemble des effets différés dans le bois. L'association de ces deux modèles est utilisée par la suite pour déduire les propriétés mécaniques à long terme. En parallèle, deux bancs d'essais de fluage sur des poutres de dimension d'emploi ont été créés. Ces essais ont été conduits sur les différentes essences de feuillus ainsi que des poutres de Douglas comme référence à l'Eurocode. Des capteurs potentiométriques enregistrent les phénomènes de fluage, de retrait gonflement et de tassement aux appuis au cours des essais. Ainsi ces essais présentent une approche comparative du comportement différé des essences étudiées dans une ambiance extérieure (classe de service 3) et intérieure (classe de service 1).

Mots-clés : Couplage thermo-hydrique, Comportement différé, Diffusion thermo-hydrique, Feuillus, Hygro-verrou, Viscoélasticité

Élaboration et évaluation biologique de nouveaux matériaux lignocellulosiques bioactifs

Zineb KHALDI - PEIRENE U.Limoges - zineb.khaldi@unilim.fr

Les contaminations microbiennes de surfaces constituent un problème majeur rencontré dans plusieurs domaines tel que les domaines hospitalier ou alimentaire. Cette contamination consiste en l'adhésion de bactéries pathogènes qui peuvent former des biofilms. Ces derniers contribuent à l'émergence de résistances de certaines souches bactériennes aux traitements antimicrobiens conventionnels, et sont responsables de près de 65 à 80 % des infections nosocomiales.

Pour répondre aux problèmes de contamination des surfaces, ce projet porte sur l'élaboration et l'évaluation biologique de nouveaux supports antibactériens à base de fibres de pâte à papier. Ce projet s'inscrit dans le cadre de la chaire d'excellence internationale « Ressources forestières et usages du bois » en partenariat avec le centre de recherche sur les matériaux lignocellulosiques de l'UQTR au Québec.

Notre étude a débuté par l'élaboration de surfaces bioactives par greffage de biocides naturels tel que des composés d'huiles essentielles puis s'est focalisée sur l'élaboration de nouveaux papiers antibactériens à partir de support et de molécules inactifs. L'originalité réside dans le fait que le support n'acquière le potentiel antibactérien qu'après greffage et formation du lien 1,2,3-triazole conduisant au motif aryle triazole actif.

Les matériaux 1,2,3-triazolés ont été élaborés par action de molécules aromatiques azidées différemment substituées, sur les fibres de pâte kraft propargylée (Figure 1). La propargylation de la pâte kraft a été réalisée en utilisant un procédé simple, dans l'eau, sans agitation, par simple imbibition.

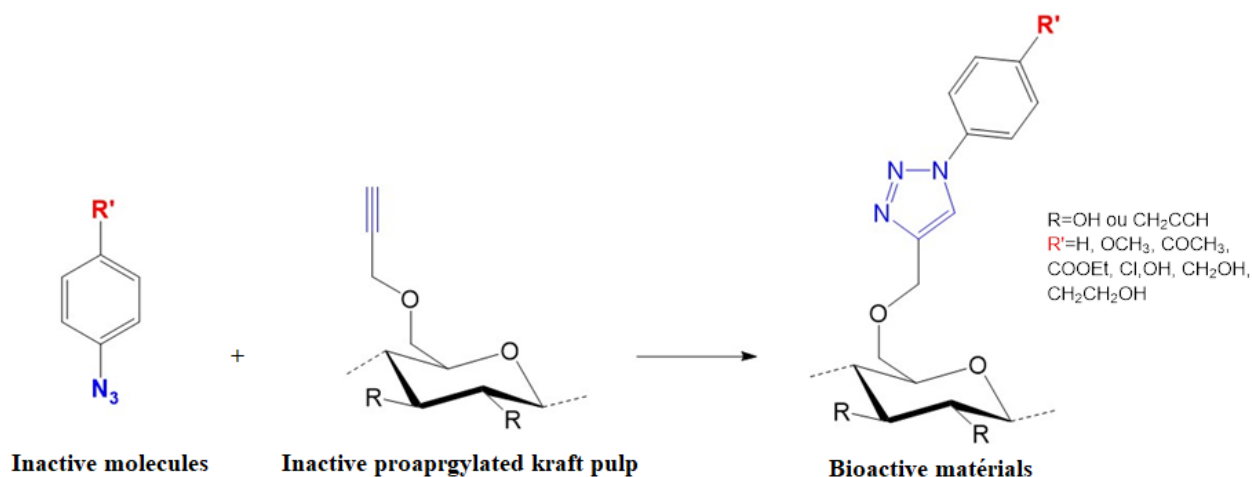


Figure 1 : Greffage des molécules azidées sur les fibres de pâte kraft propargylée

Le greffage a été réalisé par une réaction de cycloaddition appartenant au concept de « Click Chemistry ». Le triazole formé possède une stabilité à l'hydrolyse, et aux conditions oxydatives et réductrices, ainsi qu'une résistance à la dégradation métabolique.

Les matériaux obtenus sont caractérisés, les degrés de substitutions déterminés et des tests microbiologiques réalisés sur deux souches bactériennes E. coli et S. aureus.

Après 24h de contact, les matériaux portant les substituants $R'=\text{CH}_2\text{OH}$ et $R'=\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$, présentent une activité bactériostatique vis-à-vis de *E. coli*. Pour *S. aureus*, on observe dans le cas des substituants $R'=\text{OCH}_3$ et $R'=\text{COCH}_3$, une activité bactériostatique et dans le cas du substituant $R'=\text{COOEt}$, un effet bactéricide. Une étude de l'activité en fonction du temps (7jours) montre qu'après 96h, les cinq matériaux ($R'=\text{CH}_2\text{OH}$, $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$, OCH_3 , COCH_3) présentent une activité sur les deux souches. Ces matériaux bloquent donc la croissance bactérienne empêchant ainsi la formation des biofilms.

Un effet de synergie a été démontré grâce à l'activité bactéricide obtenu sur des mélanges de deux matériaux, l'un ayant une activité bactériostatique contre *E. coli* et inactif contre *S. aureus* et l'autre ayant une activité bactériostatique contre *S. aureus* et inactif contre *E. coli*.

Les résultats obtenus nous ont poussé à réaliser le transfert sur les fibres de pâte thermomécanique. Elle contient tous les composants du bois. Les matériaux obtenus présentent une meilleure activité. Puisque dans ce cas on observe après 24h, un effet bactéricide dans le cas des substituants $R'=\text{CH}_2\text{OH}$ et $R'=\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ vis-à-vis de *E. coli* et dans le cas des substituants $R'=\text{OCH}_3$, $R'=\text{COCH}_3$ et $R'=\text{COOEt}$ vis-à-vis de *S. aureus*.

Le transfert sur le bois est en cours de réalisation.

Les matériaux antibactériens élaborés lors de cette étude, ont été obtenu en utilisant des méthodes simples et facilement transférable. Le transfert sur le bois élargira le champ d'applications de ce type de matériaux.

Mots-clés : Valorisation de la biomasse, Fibres lignocellulosiques, Matériaux bioactifs, 1,2,3-triazoles.

Réponse des embryons somatiques et des plantules de sapin de Douglas au stress de l'Aluminium et l'impact du couvert végétal sur l'acidité du sol et la biodisponibilité de l'aluminium.

Holm AMARA - PEIRENE U. Limoges - holm.amara@unilim.fr

Le développement des plantes est affecté par leur exposition aux métaux lourds (HM). Notamment, l'Aluminium (Al) peut devenir nocif dans des conditions de sol définies : l'Al voit sa spéciation modifiée dans un sol acide et devient soluble à $\text{pH} < 5,5$.

Par conséquent, dans les sols acides, l'Al est libéré dans la solution du sol principalement sous forme cationique Al^{3+} . Absorbé par les racines, l'Al peut induire une altération de la nutrition minérale et une inhibition du développement racinaire et/ou un stress oxydatif.

La plupart des études portant sur la toxicité aluminique concernent des plantes herbacées telles que le riz et le maïs. Le présent travail a pour objectif d'étudier la toxicité d'Al chez un arbre conifère : le sapin Douglas (*Pseudotsuga menziesii*), les plantations de conifères contribuant à l'acidification du sol et à la libération de Al dans la solution du sol.

Afin d'évaluer l'effet de l'Al, nous avons adopté deux approches. Premièrement, 11 sols de plantation de différentes parcelles ont été collectés de la pépinière Peyrat-le-Château et analysés pour déterminer le pH, la capacité d'échange cationique (chlorure de cobaltihexamine) et la biodisponibilité de l'Al (spectroscopie d'absorption atomique AAS). Les sols sélectionnés sont utilisés pour cultiver des graines de Douglas sous serre et étudier la réponse des plantules (2 mois) à l'exposition ou pas à un sol acide riche en Al. Deuxièmement, des expériences sont réalisées *in vitro* sous conditions contrôlées. Des embryons somatiques (ES) de Douglas sont utilisés : germés sur un milieu de culture ($\text{pH } 5,8$) sans ou en présence de Al (jusqu'à 1 mM d' AlCl_3). En plus des mesures biométriques, la distribution d'Al dans les compartiments (racines, tige et aiguilles) a été déterminée par AAS.

Ensuite, une approche pour étudier les mécanismes de tolérance chez le Douglas est en cours, en dosant les activités des enzymes impliquées dans la réponse au stress aluminique.

Les sols de plantation des résineux, particulièrement le Douglas et le pin sylvestre, ont montré une biodisponibilité élevée de l'Al ($> 10 \text{ meq.}100 \text{ g}^{-1} \text{ MS}$) et un pH acide ($\text{pH } 5,3$) par rapport aux sols des feuillus ($< 8 \text{ meq.}100 \text{ g}^{-1} \text{ MS}$). Alors que le substrat horticole a montré la plus faible libération de Al ($3,5 \text{ meq Al.}100 \text{ g}^{-1} \text{ MS}$, $\text{pH } 6,1$).

Les mesures biométriques dans les différents compartiments des ES (racines, tige et aiguilles) des ES germés âgés de 8 semaines ont montré que la croissance ne semblait pas être affectée par la présence d'Al dans le milieu (jusqu'à 1 mM). Les résultats de l'AAS ont montré que l'Al a été absorbé par les racines et transporté aux épines en passant par les tiges.

En conclusion, nous avons montré que les ES de Douglas, sont capables de supporter la toxicité d'Al jusqu'à 1 mM. Il est à noter que d'autres espèces végétales sont incapables de résister à cette concentration. Aussi, les sols naturels sur lesquels des conifères ont été cultivés pendant des années, libèrent plus d'Al. Les sols de plantation de Douglas et de pin sylvestre sont donc sélectionnés pour cultiver de jeunes sapins de Douglas et des semis tandis que le substrat horticole servira de contrôle. Les prochaines expériences viseront à déterminer la stratégie développée par le sapin de Douglas pour tolérer l'Al, notamment la rétention d'Al dans la paroi cellulaire.

Mots-clés : Sapin de Douglas, stress aluminique, sols acides, embryons somatiques, plantules

Colorants naturels à base d'écorce de Bois du Gabon

Henri MEYO DEGBOEVI - LERMAB - henri.meyo-degboevi@univ-lorraine.fr

Les colorants sont largement utilisés dans les imprimeries, les produits alimentaires, cosmétiques et cliniques, mais surtout dans les industries textiles. Leur stabilité chimique, leur facilité de synthèse et les variétés de couleurs disponibles sont des éléments importants pour le choix de ces derniers. La production mondiale de colorants est estimée à plus de 800 000 tonnes par an, constituées principalement de colorants azoïques représentant 60-70 % du total (Mansour et Al. 2011). Cependant, les colorants peuvent être à l'origine de pollutions importantes lorsqu'ils sont libérés dans l'environnement lors des différentes étapes du cycle de vie d'un produit (production, utilisation, élimination). Les colorants azoïques sont également considérés comme cancérigènes par les organismes de réglementations européens et américains, justifiant la recherche d'alternatives moins toxiques et plus respectueuses de l'environnement. Déjà largement utilisé dans le domaine du textile, l'utilisation de nouveaux colorants naturels pourrait constituer une piste de première importance pour remédier aux problèmes précédents. Il est alors essentiel de réaliser une comparaison valable du cycle de vie des teintures chimiques et des teintures naturelles.

Le Gabon est situé de part et d'autre de l'équateur, sur la côte ouest de l'Afrique centrale. Appartenant à la zone CEMAC (Communauté Economique et Monétaire de l'Afrique Centrale), le Gabon a pris la résolution de valoriser au mieux les bois extraits de ses forêts (Bassin du Congo: la transformation du bois face à de lourds défis 2013). Ainsi en 2010, les autorités gabonaises ont décidé l'interdiction de l'exportation des grumes de bois issues des forêts gabonaises dans le but d'effectuer d'abord localement leur première transformation et d'exporter des produits finis à plus haute valeur ajoutée. La création de plusieurs unités de transformation de bois sur l'ensemble du territoire, a engendré en parallèle la production importante de déchets (écorces, chutes de bois) qui sont au centre de nos travaux dans le cadre de la valorisation des molécules extractibles présentes dans les écorces en vue de l'obtention de solutions colorantes naturelles. Cette étude consiste à faire une extraction par macération de poudres d'écorces dans de l'eau ou des solutions alcalines (NaOH 0.1N et 0.5N), puis d'utiliser ces solutions pour teindre du coton industriel. Différentes mesures sont effectuées pour évaluer la coloration obtenue, la fixation du colorant et le comportement dans le temps des différents colorants obtenus.

Mots-clés : colorants, biomolécules, écorce, extractibles

Étude et contrôle de l'exsudation de la résine dans le bois de Pin Maritime

Thomas CABARET - IPREM-Xylomat UPPA - thomas.cabaret@univ-pau.fr

Le fort taux de résine dans le bois de Pin Maritime peut entraîner des défauts lorsque ce dernier est utilisé comme bardage extérieur. La chaleur provenant des rayons du soleil peut en effet liquéfier la résine se trouvant à l'intérieur des planches. La résine peut ainsi sortir des planches sous forme de coulures et créer des dommages esthétiques importants. C'est un problème de qualité du bois de pin maritime auquel le projet FIXAPIN souhaite apporter une réponse. Le projet est financé par la région Nouvelle Aquitaine et le réseau Xylomat, en partenariat avec de nombreux industriels du secteur dont le groupe Gascogne Bois.

La résine est constituée d'environ 70% de colophane (phase solide) et 30% d'essence de térébenthine (phase liquide) et certaines planches de duramen peuvent présenter un taux de résine supérieur à 10%. La résine permet à l'arbre de se protéger contre les attaques extérieures de type champignons ou insectes pouvant intervenir lors d'une éventuelle blessure. L'objectif de ce projet est de fixer la résine dans les planches de bois. Les études se sont concentrées sur l'optimisation des températures du cycle de séchage du bois. Le but est d'augmenter la température du point de ramollissement des composés résiniques à une température supérieure à la température maximum de surface d'un bardage. Cette dernière peut atteindre une valeur d'environ 60°C pour un bardage sans peinture dans certaines conditions estivales.

Les études se sont tout d'abord concentrées sur les propriétés thermiques de certains composés de la résine en fonction de leurs températures de séchage ou d'un traitement thermique. À l'aide d'outils d'analyse thermique de type DSC (Differential Scanning Calorimetry), TMA (ThermoMechanical Analysis) et TGA (ThermoGravimetric Analysis), la température de ramollissement de la colophane en fonction de son passé thermique a pu être étudiée. Cette température est initialement d'environ 40 °C et peut augmenter à l'aide d'un traitement thermique jusqu'à une température supérieure à 60 °C. Les possibles interactions entre essence de térébenthine et colophane ont également été étudiées, ce mélange pourrait se comporter comme un gel et empêcher, dans certaines conditions, toutes évaporations possibles de l'essence de térébenthine après séchage. L'essence de térébenthine résiduelle après séchage diminue considérablement la température de ramollissement de l'ensemble. Des analyses physico-chimique ont également été réalisées sur des échantillons de résine séchés/traités thermiquement à différentes températures permettant ainsi d'expliquer les variations des propriétés thermiques observées. Des outils d'analyse chromatographique ont permis de mettre en évidence des modifications chimiques de type déhydrogénations, isomérisations et oxydations. Des analyses structurales ont également pu démontrer la présence ou non de cristallinité.

Les résultats obtenus sur la résine ont pu être transférés au bois brut et validé à l'aide d'une insolation permettant de recréer des conditions thermiques extérieures. Ces résultats originaux vont nous permettre de mieux adapter les cycles de séchages du bois de pin maritime en milieu industriel.

Mots-clés : Exsudation, pin maritime, résine, séchage, qualité du bois

Régimes de gouvernement des forêts : les Landes de Gascogne entre science et politique

Paul CONCHON - IRSTEA Bordeaux - paul.conchon@irstea.fr

La gestion forestière dans les Landes de Gascogne peut être décrite comme un régime de gouvernement très particulier, ancré dans des relations étroites entre les institutions scientifiques et les représentants du secteur privé, et priorisant la production de bois sur d'autres fonctions potentielles de la forêt. En intégrant de nouvelles disciplines scientifiques et innovations technologiques, les priorités, acteurs et pratiques qui composent la gestion forestières sont restées constantes. Du point de vue de la sociologie politique, ce régime sculpte le gouvernement des forêts dans les Landes de Gascogne et au-delà, et souffre peu d'opposition à l'échelle locale et nationale. Nous le désignons comme un régime de gouvernement en « business as usual », en cela qu'il remplit une fonction de normalisation et de naturalisation des choix de gouvernement. Il crée également les conditions sociales pour que se développe un ensemble de valeurs reposant sur l'utilité socio-économique des forêts.

Ce régime fait toutefois face à un paysage écologique, économique et politique en profond changement. Les croissantes interconnexions entre écosystèmes ont permis à de nombreuses espèces de gagner accès aux forêts du sud-ouest français, où elles sont dans certains cas perçues comme des menaces. De même, les effets du changement climatique devraient peser lourdement sur le rythme d'occurrences d'événements extrêmes, mettant à rude épreuve les systèmes existants. Le changement est également palpable à un niveau international où nous assistons à la croissance et l'extension de la portée du droit et des normes environnementales. Enfin, de nouveaux usages ont changés la nature et l'ampleur de la demande en bois, invitant à la mise en place de nouvelles réglementations. En affectant le système socio-écologique des Landes de Gascogne, ces tendances mettent la gestion forestière traditionnelle de celui-ci sous pression.

Nous cherchons à déterminer si, réagissant à cette pression, des acteurs ont créé les conditions du changement en construisant d'autres régimes de gouvernement qui puissent contester l'hégémonie du régime en « business as usual ». Nous portons une attention particulière à des régimes fondés sur une approche écosystémique. Pour cela, et en gardant à l'esprit l'importance particulière des relations entre science et politique dans la gestion des forêts des Landes de Gascogne, nous avons analysé les pratiques d'associations entre science et politique. Nous observons que le régime en « business as usual » fait face à des alternatives émergentes, particulièrement lorsque de nouveaux acteurs s'impliquent dans la gestion forestière et amènent avec eux de nouvelles pratiques d'association entre science et politique. Inversement, les acteurs portant dans leur pratiques le régime en « business as usual » tendent vers l'adoption de postures très défensives à l'égard de toute intervention extérieure, menant un travail de fortification entre ce qu'ils perçoivent comme étant pertinent pour la foresterie et ce qui ne l'est pas. Le « sens commun forestier » qui en découle lie la légitimité des acteurs de la gestion forestière à leur investissement dans l'économie de la dite forêt.

Nous appuyons notre raisonnement sur des données qualitatives acquises au travers de trois cas d'études, conduits dans le cadre du projet ECOGOV (Labex COTE) et portant sur les objets suivants : le redéploiement de la certification forestière, la récolte des souches forestières, et les réponses au Nématode du Pin.

Mots-clés : Gouvernement des forêts, pratiques, écosystème, régimes, Landes de Gascogne

Origine et prédiction de la variabilité de la durabilité naturelle de *Dicorynia guianensis* Amsh.

Claudiane FLORA - UMR EcoFoG - marie-france.thevenon@cirad.fr

L'Angélique (*Dicorynia guianensis* Amsh.) est une espèce forestière de Guyane très exploitée pour son bois mais ce dernier peut parfois présenter une durabilité naturelle variable, dont les conséquences peuvent être dommageables pour l'utilisateur. Dans le cadre de cette thèse nous avons souhaité, dans un premier temps, comprendre l'origine de la durabilité naturelle du duramen de l'Angélique afin d'appréhender sa variabilité pour tendre vers un usage rationnel du matériau bois. Nous avons également voulu garantir à l'utilisateur un matériau bois en adéquation avec ses propriétés technologiques par le biais de la prédiction de la durabilité naturelle à l'aide d'outils spectroscopiques (moyen et proche infrarouge). Pour cela, nous avons sélectionné un échantillonnage constitué par 15 angéliques représentatives de la variabilité de la durabilité naturelle. Les individus sont classés de moyennement durables à très durables. Nous nous sommes intéressés au rôle des extractibles et de la lignine. Les différents résultats mettent en évidence que les facteurs de durabilité naturelle, notamment les biomarqueurs chimiques, considérés dans le cas de ces travaux, ne suffisent pas à expliquer la variabilité de la durabilité et qu'il importe de prendre en compte l'histoire de vie l'arbre, c'est à dire son ontogénie. Les résultats révèlent également la potentialité des méthodes spectroscopiques pour prédire la durabilité naturelle de l'Angélique. Ces résultats sont très encourageants et laisse sous-tendre, une utilisation potentielle de cet outil par la filière bois. Néanmoins, il s'avère nécessaire d'élargir l'échantillonnage pour mieux assoir ces premières conclusions.

Mots-clés : *Dicorynia guianensis*, durabilité naturelle, spectroscopie infrarouge, outil de prédiction, métabolomique

Résines phénoliques, biosourcées et ignifuges, destinées à la protection du bois et des composites à base de bois

Pedro Luis DE HOYOS MARTINEZ - BIORP UPays Basque / IPREM UPPA -
pedroluis.dehoyos@ehu.eus

Le bois massif et les produits à base de bois, en raison de leurs propriétés structurales et environnementales, jouent un rôle important notamment dans les domaines de la construction et de l'aménagements intérieurs. Néanmoins, ils présentent l'inconvénient d'être faiblement résistants au feu et nécessitent donc un traitement ignifuge. Les contraintes réglementaires et environnementales font qu'actuellement le marché est en demande de nouveaux produits de traitement. Dans ce contexte, le développement de traitements d'ignifugation de nouvelles générations pour le bois et les produits à base de bois est devenu un enjeu majeur. Parmi les différentes approches possibles, l'utilisation de revêtements intumescents est considérée comme étant la plus pratique, économique et efficace pour la protection de bois contre le feu.

En conséquence, le but de notre travail est la production de résines phénoliques biosourcées destinées à être utilisées en tant que revêtements pour la protection du bois et des dérivés du bois contre le feu. La résine, de type phénol-formaldéhyde (PF), a été élaborée en remplaçant les composants traditionnels dérivés du pétrole par des composés plus respectueux de l'environnement. Ainsi, le phénol a été remplacé par des résidus agroforestiers que sont la lignine et les tanins et le glyoxal (aldéhyde non toxique) a été utilisé en remplacement du formaldéhyde. L'amélioration des propriétés thermiques du revêtement a été obtenue en introduisant une phase inorganique dans la matrice polymère. Pour ce faire, des ignifugeants naturels tels que la montmorillonite ou les silicates ont été utilisés pour la production de nanocomposites.

Nous avons élaboré différentes formulations de revêtements et évalué leurs performances. Une fois la formulation appropriée choisie, différentes techniques de caractérisation ont été utilisées pour élucider leurs propriétés physico-chimiques et leurs performances dans différentes conditions.

Conscient de l'importance de l'évaluation de l'impact du processus de production sur l'environnement, nous souhaitons conclure notre travail par la réalisation d'une analyse du cycle de vie (ACV) de l'ensemble du processus.

Mots-clés: Lignine, tanin, résines phénoliques, retardateur de flamme, revêtement

Outils numériques d'aide à la décision pour luthiers - Influence des propriétés du bois sur le comportement vibratoire des violons et guitares.

Romain VIALA - FEMTO-ST UBourgog. Franche-Comté - romain.viala@univ-fcomte.fr

Ce travail vise à favoriser le transfert de méthodes de conception et de fabrication industrielles vers la lutherie. Le prix et la raréfaction des matières premières utilisées, et la réglementation qui en découle, ainsi que la forte concurrence autour de la vente d'instruments a considérablement affecté les luthiers qui favorisent dorénavant la location ou la vente d'instruments d'études, ainsi que la restauration ou le réglage, au détriment de la fabrication. La pratique de la lutherie se base sur un apprentissage traditionnel, suivi d'un empirisme sur le principe d'essais-erreur. La diminution d'instruments fabriqués par les luthiers est un frein à l'évolution du domaine, qui peut potentiellement être résolu par l'utilisation de méthodes numériques éprouvées.

Les violons et les guitares sont fabriqués à partir de bois, finement sélectionnés par les luthiers, parmi lesquels l'érable et l'épicéa qui poussent en zones tempérées. Différents critères de sélection sont pris en compte lors du classement de ces bois pour la lutherie, parmi lesquels la régularité des cernes d'accroissements annuels, la rectitude du fil ou la densité.

Les propriétés mécaniques du matériau bois sont extrêmement variables, ainsi, les méthodes expérimentales utilisées pour caractériser les instruments de musique, et évaluer l'effet d'une modification géométrique ou du matériau, sont fortement limitées.

Les modèles numériques d'instruments, qui permettent de modifier un à un chaque paramètre sont donc particulièrement prometteurs afin d'apporter de l'objectivité vis-à-vis d'a priori subjectifs.

Pour quantifier la variabilité du bois de lutherie, une méthode inverse non-destructive a été utilisée afin d'identifier les propriétés élastiques et dissipatives du bois d'épicéa et d'érable. Cette méthode permet d'identifier au moins 3 rigidités et 3 facteurs de perte, sur des pièces à forme quelconque, en se basant sur la mesure de réponses vibratoires par vibrométrie 3D, et en recalant un modèle numérique. L'analyse mécanique dynamique a été utilisée pour étudier l'évolution des propriétés viscoélastiques en fonction de la température et de l'humidité relative, se basant sur l'hypothèse que la présence dans les conditions climatiques ambiantes de la température de transition vitreuse des hémicelluloses peut avoir un impact important.

Les modèles numériques ont été utilisés afin de simuler le comportement vibratoire des instruments de musique pour effectuer des analyses permettant de classer l'influence des paramètres mécaniques, des conditions climatiques et des choix de conception du luthier.

Des lois de distribution empiriques des propriétés élastiques et dissipatives ont pu être obtenues à partir des essais non destructifs, et ont été implémentées dans les modèles numériques. Des modèles déterministes prédisant l'évolution des rigidités et des facteurs de perte en fonction de la densité, de la température et de l'humidité relative ont été créés.

Ces différents résultats matériaux et de simulation numérique ont permis de montrer que les choix du luthier influencent plus le comportement vibratoire des instruments que la variabilité complète du bois et son évolution. Ainsi, le remplacement d'essences de bois en danger par des alternatives durables locales devient envisageable.

Des interfaces informatiques ont été proposées pour les luthiers afin de simuler le comportement vibratoire de guitares et violons, en quelques minutes avec des moyens de calcul grand public.

Mots-clés : Bois de résonance, lutherie, variabilité des propriétés mécaniques, comportement vibratoire des guitares et violons.

Modélisation du développement architectural, de l'acclimatation au vent dominant et de l'ancrage du système racinaire du pin maritime

Clément SAINT CAST - BioGeCo/U.Bordeaux - clement.saint-cast@u-bordeaux.fr

Résumé en Français :

La stabilité mécanique et la captation des ressources sont des fonctions vitales de l'arbre. L'ancrage de l'arbre dans le sol joue un rôle fondamental dans la stabilité des parties aériennes. Cette fonction essentielle de la plante est méconnue et peu ou pas représentée. Cette stabilité mécanique est majoritairement déterminée par l'architecture du système racinaire et son interaction avec le sol environnant. Nous avons émis l'hypothèse que les principaux composants du système racinaire et les mécanismes qui déterminent l'ancrage changent au cours du développement d'un arbre et de son environnement (vent et sol). Cependant, la compréhension de l'ancrage des arbres se heurte à des difficultés expérimentales importantes : il n'est pas possible d'avoir accès aux racines et au sol durant une sollicitation mécanique. Il est en outre impossible de suivre le développement architectural et la contribution mécanique des racines d'un arbre sur 50 ans. Pour contourner cette difficulté, une approche de modélisation a été réalisée afin de décrire le développement du système racinaire et de caractériser la résistance mécanique au déracinement au cours du développement de l'arbre. Cette approche générique a été développée pour le pin maritime en sol sableux à travers trois volets durant cette thèse :

(i) Dans un premier temps, la mise en place du système racinaire du pin maritime a été caractérisé depuis la graine jusqu'à 50 ans. Un algorithme de clustering (k-means) a permis de définir 7 types racinaires, nous avons alors déterminé les distributions de leurs variables de croissance (vitesse d'allongement, tropismes, ramification...). Lorsqu'elles ne pouvaient être déduites des données, nous les avons estimées par une méthode d'optimisation, ou extraites de la littérature. Cette caractérisation a été réalisée à partir d'une chronoséquence de systèmes racinaires numérisés en 3D.

(ii) Dans un second temps, le modèle architectural « RootTyp » (Pagès et al. 2004) a été modifié pour modéliser pour la première fois la mise en place d'un système racinaire d'arbre jusqu'au stade adulte. Les écarts concernant la croissance en diamètre entre les systèmes racinaires observés et simulés ont été attribués à l'acclimatation au vent dominant. L'effet d'un horizon induré a aussi été implémenté dans le modèle.

(iii) Dans un dernier temps, le modèle biomécanique « RootAnchor » (Yang et al. 2014) a été utilisé pour réaliser des expérimentations numériques à plusieurs stades de développement. Ces expérimentations ont permis d'identifier sur des maquettes simplifiées d'arbres âgés de 1 à 13 ans, l'évolution de :

- la contribution des types racinaires à l'ancrage
- la distribution spatiale et la nature des contraintes mécaniques

Ce travail permettra à terme de mettre en relation les contraintes mécaniques et l'acclimatation au vent dominant du système racinaire au cours de son développement.

Un des défis de ce travail était de palier aux difficultés d'observation du système racinaire in situ (e.g. racines perdues à l'arrachage, perte de la géométrie des racines les plus fines...).

Mots-clés : Architecture racinaire - *Pinus pinaster* - Acclimatation - Biomécanique - Modélisation

Le Panneau Isolant Mobile en bois en climat nordique : Optimiser le confort environnemental par l'architecture adaptative

Jon LEFAIVRE - CIRCERB/GRAP, U. Laval - jon.lefaivre.1@ulaval.ca

S'inscrivant dans la logique du développement durable visant à réduire l'empreinte écologique humaine sur l'environnement, l'Université Laval (Québec), par le biais de la chaire industrielle CIRCERB et le GRAP, finance des projets de recherche visant à concevoir des solutions architecturales et constructives écoresponsables et durables.

Face aux inconforts thermiques (transferts de chaleurs) et visuels (éblouissements) générés par un accroissement des surfaces de vitrage dans les bâtiments, et les consommations énergétiques qu'elles entraînent (chauffage/climatisation, éclairage artificiel), ce projet de recherche-crédation a pour objectif d'optimiser un « confort environnemental », conciliant le confort de l'occupant avec la performance environnementale du bâtiment grâce au dispositif architectural du Panneau Isolant Mobile en bois.

L'architecture adaptative permet de générer des ambiances architecturales agréables tout en régulant les dépenses énergétiques du bâtiment, grâce à la mobilité d'éléments d'architectures écoresponsables conçus en bois, tel que le Panneau Isolant Mobile (PIM). Disposé en façade au niveau des fenêtres, le PIM est un dispositif architectural dynamique. Les nombreuses qualités du bois (physiques, environnementales, biophiliques et industrielles) permettent de concevoir un dispositif biosourcé et issu d'une ressource renouvelable, durable, facilement standardisé, peu coûteux, et appropriable par l'occupant.

Grâce à sa mobilité, le PIM en bois permet de répondre très précisément aux besoins de confort de l'occupant en générant des ambiances intérieures agréables : il optimise l'utilisation de la lumière naturelle, évoque la nature par sa matérialité, régule l'ambiance thermique intérieure, et il fait varier la perception spatiale de l'occupant. Paramétré selon les caractéristiques climatiques de la zone géographique de son utilisation, les modes fonctionnels du PIM en bois sont adaptées aux enjeux locaux de l'optimisation du confort environnemental.

En climat nordique québécois, le PIM en bois a pour fonctions :

- La réduction des déperditions thermiques (en hiver).
- La gestion du rapport ventilation naturelle diurne/nocturne (en été).
- La réduction des éblouissements.
- La gestion du rapport transparence/opacité.

Afin de recueillir des données quantitatives réalistes sur les performances du PIM en bois, la méthodologie adoptée dans cette recherche est expérimentale en milieu réel. Les mesures sont effectuées en situation de ciel dégagé et de ciel couvert sur trente-deux PIM construits à échelle 1 et 1/10 selon les variables :

- Des mouvements en façade ; - Des teintes du PIM ; Des niveaux de finitions.

Ces mesures ont confirmé que le PIM en bois, grâce à sa matérialité et sa mobilité, permet d'améliorer l'ambiance et le confort visuel en optimisant la lumière naturelle dans la pièce (photographies HDR). L'isolation thermique qui le compose ainsi que sa matérialité en bois réduit les transferts thermiques au niveau des vitrages (capteurs thermiques et photographies thermographiques). Enfin, son mouvement et sa manipulation permettent de varier la perception spatiale de l'occupant, diversifiant son expérience architecturale, et le responsabilisant dans la gestion de son confort.

D'un point de vue académique, cette recherche permet de créer un premier précédent de PIM en bois et de mettre au point une méthodologie de paramétrage du PIM pour tout type d'usages de bâtiments et tous types de climats.

Pour la filière bois et la construction, cette recherche met au point un dispositif entièrement construit en bois, facile à produire, peu coûteux, durable et issu de ressources renouvelables, recyclables, permettant de réguler les performances environnementales du bâtiment, et adaptable autant pour la rénovation de l'existant qu'en construction neuve.

Mots-clés : Architecture adaptative ; Performance environnementale ; Climat nordique ; Confort visuel ; Confort thermique ; Confort adaptatif ; Bois ; Architecture évolutive ;