



# Prix Thèses des Bois

# Lundi 7 Novembre 2016 - 8H30 à 18H10 à l'Amphi Sylvae

Campus Bordeaux Sciences Agro, 1 Cours du Général de Gaulle 33170 Gradignan

# **Programme**

8h30 : Accueil des participants - Petit déjeuner

8h50 - 9h00 : Présentation de la journée Thèses des Bois

**Christine DELISEE** - Bordeaux Sciences Agro *Présidente du Conseil Scientifique de Xylofutur* 

9h00 - 9h30 : Développement d'une méthode d'optimisation multi objectif pour la

construction bois : prise en compte du confort des usagers, de l'impact

environnemental et de la sécurité de l'ouvrage.

Présentation : Stéphanie DECKER - 12M - Nobatek Université Bordeaux

Encadrant : Frédéric BOS

9h30 - 10h00 : Potentiel de Bagassa guianensis et Cordia alliodora pour la plantation en

zone tropicale. Description d'une stratégie de croissance optimale alliant

vitesse de croissance et qualité du bois.

Présentation Julie BOSSU - EcoFog - Université de Guyane

**Encadrant: Bruno CLAIR** 

10h00 - 10h30 : Fragmentation enzymatique de la lignine pour l'obtention de synthons

phénoliques.

Présentation : Alex RAKOTOVELO - LCPO Université de Bordeaux

Encadrants : Stéphane GRELIER et Frédéric Peruch

10h30 - 10h50 : FLASH TALKS POSTERS : 4 candidats

• Capucine CARLIER, LMGC Montpellier • Cécilia GAUVIN, Dept. Built Env. Eindhoven

Barbara GHISLAIN, EcoFoG Guyane
 Valentin MAKOMRA, I2M Bordeaux.

10h50 - 11h00 : PAUSE

11h00 - 11h30 : Caractérisations physico-mécaniques de sciages de 1er choix pour la

conception mécanique : Application aux pins méditerranéens. *Présentation : Agnès BURGERS -* LMGC Université de Montpellier

Encadrant: Rémy MARCHAL

11h30 - 12h00 : Classement mécanique des bois de structure. Prise en compte des

singularités dans la modélisation du comportement mécanique. **Présentation:** Joffrey VIGUIER - ENSTIB / LERMAB- Université de

Lorraine

**Encadrant: Laurent BLERON** 





12h00 - 12h15: FLASH TALKS POSTERS: 3 candidats

• Antoine VERNAY, PIAF Clermont • Jean-Bosco SAHA TCHINDA, Université de

Lorraine • Miora RAMANAKOTO, ICA Tarbes

12h15 - 13h25 : REPAS

13h25 - 13h55 : Acclimatation des arbres forestiers au vent : de la perception du vent à

ses conséquences sur la croissance et le dimensionnement des tiges. **Présentation**: Vivien BONNESOEUR - LERFOB - PIAF AgroParisTech

**Encadrant: Meriem FOURNIER** 

13h55 - 14h25 : Valorisation des lignines et des tanins au travers de matériaux poreux.

Présentation : Juliette MERLE - IPREM/EPCP - UPPA Encadrant : Fatima CHARRIER - EL BOUHTOURY

14h25 - 14h30 : FLASH TALKS POSTER • Bruna UGULINO, Lab. Usinage - Laval QC

14h30 - 15h00 : Intermédiation et collaboration au sein des organisations impliquées dans

l'approvisionnement des usines de transformation du bois : une

perspective socio structurelle.

Présentation: François MORIN - Laboratoire d'opérations forestières,

Université Laval

**Encadrant**: Luc LEBEL

15h00 - 15h30 : Analyse du Processus de Fissuration dans le Bois sous Sollicitations

Mécanique et Climatique : Apports de l'Emission Acoustique. **Présentation : Frederic LAMY - GEMH Université de Limoges** 

Encadrant: Frédéric DUBOIS

15h30 - 15h40 : PAUSE

15H40 - 16h10: Modélisation et optimisation multi niveaux du transport forestier.

**Présentation : Kamel MOAD - IMS, Université de Bordeaux, FORAC,** 

Université Laval - Ouébec

Encadrants: Jean-Paul BOURRIERES et Luc LEBEL

16h10 - 16h40 : Performance mécanique des assemblages par goujons collés dans les

structures bois.

Présentation : Mathieu VERDET - I2M / Université de Bordeaux -

Université Laval (Québec)

Encadrants: Christine DELISEE et Alexander SALENIKOVICH

16h40 - 17h10 : Formation du duramen et qualité du bois de douglas.

Présentation : Idelette PLAZANET - LCSN, Chaire SylvaLIM, Université de

**LIMOGES** 

**Encadrant: Guy COSTA** 

17h10 - 18 h10: DELIBERATION DU JURY







# Conférence et Remise des Prix Thèses des Bois 2016

### Mardi 8 Novembre 2016 de 8H15 à 10h30

### **Campus Bordeaux Sciences Agro**

GRAND AMPHI Joseph COURAU

1, Cours du Général de Gaulle 33175 Gradignan

# **Programme**

8h15: Accueil des participants

8h30 - 8h40 : Présentation de la matinée

**Christine DELISEE** - Bordeaux Sciences Agro *Présidente du Conseil Scientifique de Xylofutur* 

8h40 - 9h00 : Présentations de l'organisation des activités de Recherche en France et

au Québec

9h00 - 9h50 : Conférence "Le rôle des forêts et des produits forestiers dans le

contexte des changements climatiques : perspective de politiques

publiques"

Robert BEAUREGARD - Université Laval Québec

9h50 - 10h10: RESTITUTION DES LAUREATS des THESES DES BOIS 2016

Chacun des quatre lauréats expose ses travaux en 180 secondes.

10h10 - 10h30 : REMISE DES PRIX

Par Xylofutur, Solvay - Fondation Bordeaux Université et GRD Bois.

Attribution des Prix Communications orales et Posters.







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

### Stéphanie Decker Institut de mécanique et d'ingénierie (I2M)- Nobatek / INEF4

Contact Scientifique: sdecker@nobatek.com

### Résumé en Français:

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. Son utilisation reste pourtant peu développée dans le bâtiment et notamment pour le multiétage. Malgré ses nombreux avantages et l'inexistence de véritables freins réglementaires, il souffre de méconnaissance et d'une mauvaise image auprès des concepteurs et maîtres d'ouvrage. Un enjeu est alors de promouvoir et favoriser son usage dans les systèmes constructifs pour la construction multiétage.

La fonction primaire d'un bâtiment est de protéger l'usager des conditions extérieures. Cependant sa conception est guidée par de nombreuses disciplines incluant l'énergétique, la mécanique, l'environnement, l'éclairage et l'acoustique. La conception d'un bâtiment est ainsi multidisciplinaire. C'est un problème complexe, nécessitant de traiter simultanément plusieurs objectifs parfois contradictoires. Le développement de méthodes et outils de préconception permettant le développement de systèmes constructifs bois compétitifs au regard de leurs performances d'usage et de leur impact environnemental, est nécessaire.

Dans cette optique, cette thèse de doctorat se donne pour objectif de contribuer au développement de méthodologies et outils, permettant d'optimiser un bâtiment à faible impact environnemental en tenant compte du caractère multidisciplinaire de la construction en phase de conception.

Pour atteindre cet objectif, trois verrous scientifiques doivent être levés. Le premier consiste à développer une méthodologie multidisciplinaire où des objectifs multiphysiques doivent être optimisés simultanément. Cette méthodologie doit également prendre en compte un très grand nombre de variables de conception de type hétérogènes. La prise en compte d'objectifs de thermique nécessite le recours à des outils de simulation thermique dynamique. Pour réduire les temps de calcul, l'emploi de modèles réduits (métamodèles) doit être envisagé. Le troisième verrou consiste à rechercher la parcimonie des modèles employés en minimisant le nombre de paramètres d'entrée tout en maintenant une précision acceptable.

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 essaim 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.









La méthode développée est appliquée à un cas d'étude. Le programme mis en œuvre donne une grande diversité d'alternatives avec 20223 solutions optimales dont certaines ont une meilleure performance que le bâtiment de référence réel sur chacun des cinq objectifs. Pour analyser les solutions, un outil de décision graphique (graphe parallélisé) permettant de représenter les solutions optimales en fonction de contraintes sur les variables de décision et conduisant à la sélection de solutions, a été utilisé. Ces résultats constituent un support de discussion entre les acteurs d'un projet de construction.

Ces travaux de thèse réalisés au sein de Nobatek ont bénéficiés d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme d'Investissements d'avenir ITE pour le projet INEF4 portant la référence ANR-10-IEED-0013 au sein du projet BOIS5+ (2013/2016). Ils ont également reçu un financement CIFRE de la part de l'ANRT. L'institut d'accueil de la thèse a été l'Institut de Mécanique et d'Ingénierie (I2M) de l'université de Bordeaux au sein des départements TREFLE (Fluides et Transferts) et GCE (Génie Civil et Environnement).

<u>Mots-clés</u>: optimisation multiobjectif, OEP, bâtiments bois multiétages, confort, efficacité énergétique, métamodèle, analyse de sensibilité, écoconception.







Potentiel de *Bagassa guianensis* et *Cordia alliodora* pour la plantation en zone tropicale. Description d'une stratégie de croissance optimale alliant vitesse de croissance et qualité du bois.

# Julie Bossu - Laboratoire des Sciences du Bois - Université de Guyane

juliebossu@hotmail.fr

La ressource forestière en Guyane occupe une place maîtresse au sein de la région et est encore majoritairement préservée, mais la filière bois parvient difficilement à valoriser la biodiversité locale en raison de l'hétérogénéité de la ressource. Le système de production actuel repose principalement sur l'exploitation de trois espèces majeures, qui représentent à elles seules 75% de la production de bois d'œuvre : l'angélique, le grignon et le gonfolo rose, des espèces d'ombres caractérisées par une régénération naturelle lente. Ce mode d'exploitation de la ressource forestière, jusqu'alors adapté à la demande locale, ne permettra pas à l'avenir d'alimenter durablement la demande en bois d'œuvre de la population guyanaise, actuellement en très forte expansion.

Identifier les essences à planter demain représente aujourd'hui un enjeu à la fois environnemental, économique et social pour la Guyane. L'objectif est alors de trouver des espèces possédant des propriétés technologiques adaptées à un usage en tant que bois d'œuvre mais permettant à la fois d'obtenir des rotations courtes dans un contexte de sylviculture. Or la plupart des espèces à croissance rapide produisent un bois peu durable et possèdent de faibles propriétés mécaniques.

L'analyse des inventaires forestiers et des campagnes de mesures menés sur de nombreuses espèces au cours des 30 dernières années a toutefois permis de révéler l'existence d'espèces singulières et prometteuses. Bagassa guianensis Aubl. et Cordia alliodora (Ruiz & Pav.) Oken. vont à l'encontre des modèles usuels en associant vitesse de croissance et qualité du bois et semblent correspondre aux critères établis pour la plantation. Pour comprendre la stratégie de croissance de ces deux essences jusqu'ici peu décrites, analyser avec précision la variabilité des propriétés technologiques du bois dans l'arbre et enfin juger de leur potentiel en sylviculture, 9 à 12 individus par espèces de diamètres contrastés sont prélevés entre Kourou et Saül.

Dans un premier temps, l'étude de la dynamique de croissance des deux espèces révèle un modèle écologique singulier, à la fois pionnières et longévives. La variabilité de l'infradensité dans l'arbre est l'élément clé qui permet un tel développement, favorisant une croissance rapide dans les premières années tout en assurant la longévité de l'individu.









Dans une seconde partie, l'analyse d'un large panel de propriétés du bois (retrait, module, durabilité) en lien avec le développement de l'arbre confirme les qualités technologiques des deux espèces et permet l'émergence de résultats novateurs tels que le rôle des extractibles sur le retrait, le contrôle de la croissance grâce aux variations d'infradensité, l'évolution des traits foliaires au cours de l'ontogénie ou encore la mise en place de contrefil dans l'arbre pour assurer son maintien. La connaissance acquise vis-à-vis du mode de développement de ces deux espèces et des facteurs influençant la qualité de leur bois permet aujourd'hui de définir avec plus de précision le cadre d'un projet de plantation en Guyane et les conditions de son succès. Les résultats de cette étude permettent finalement d'orienter la recherche de nouvelles espèces d'avenir pour la plantation en Guyane.

#### Mots-clés:

Croissance rapide, qualité du bois, densité, retrait, durabilité, pionnières longévives, exploitation forestière, plantation, Guyane française.







# Fragmentation enzymatique de la lignine pour l'obtention de synthons phénoliques

# Alex RAKOTOVELO - Laboratoire de Chimie des Polymère Organiques (LCPO)

Contact Scientifique: alex.rakotovelo@enscbp.fr

#### Résumé:

La lignine est le biopolymère aromatique le plus abondant sur terre. La mise au point de procédés de dépolymérisation de la lignine est étudié depuis près de 80 ans pour la production de produits chimiques de commodité (benzène, toluène...) ou de molécules de plus haute valeur ajoutée (vanilline, syringaldéhyde) [1]. Malgré sa grande disponibilité et son fort potentiel, seulement 2% de la lignine est valorisé industriellement. Le reste est principalement brulé pour la production d'énergie dans l'industrie papetière. Ceci est notamment dû à la grande complexité de la structure de la lignine et à sa forte hétérogénéité.

Dans ce travail, une voie de valorisation de la lignine par l'utilisation d'enzymes a été étudiée. La laccase est une enzyme de type oxydase sécrétée par les plantes et certains champignons et bactéries. Elle catalyse l'oxydation d'une large variété de molécules phénoliques, et peut être utilisée en association avec de petites molécules dans le système laccase-médiateur (LMS) pour étendre sa gamme de substrats. Dans la nature, la laccase est responsable de deux phénomènes antagonistes : la biosynthèse de la lignine par couplage radicalaire, et la biodégradation oxydative de la lignine [2]. Notre objectif est de mettre au point des conditions sélectives afin de promouvoir la dépolymérisation de la lignine par le LMS et de limiter les réactions de couplage.

Tout d'abord, une étude a été menée sur des molécules modèles de la lignine. L'influence de divers paramètres réactionnels (type de médiateur utilisé, température, choix du co-solvant...) a été évaluée. Ces expériences ont permis de mieux comprendre les mécanismes mis en jeu et d'établir les conditions de fonctionnement optimales de la laccase.

Ces conditions optimales ont été directement appliquées pour l'oxydation d'une lignine de type organosolv. Un prétraitement a été appliqué sur la lignine avant son oxydation. Dans cette première étape, la lignine est fractionnée avec différents solvants afin d'éliminer les populations à l'origine des réactions de couplage. Puis, la lignine est oxydée par le système laccase-médiateur dans un milieu biphasique. Un dernier traitement doux au peroxyde d'hydrogène permet de générer des composés aromatiques monomères à trimères. Ces molécules provenant de ressources naturelles pourraient représenter un intérêt pour l'industrie chimique comme alternative à des produits similaires actuellement issues de ressources fossiles.

- [1]. C. Li, X. Zhao, A. Wang, G. Hubert, T. Zhang. Chem. Rev. 2015, 133, 11559-11624.
- [2]. L. Munk, A. Sitarz, D. Kalyani, J. Mikkelsen, A. Meyer. Biotechnol. Adv. 2015, 33, 13-24.

<u>Mots-clés</u>: Lignine - Dépolymérisation - Système laccase-médiateur (LMS) - Synthons phénoliques biosourcés.









# **FLASH TALKS POSTERS**

### 10H30-10H50

- Capucine CARLIER, LMGC Montpellier
- Cécilia GAUVIN, Dept. Built Env. Eindhoven
- Barbara GHISLAIN, EcoFoG Guyane
- Valentin MAKOMRA, I2M Bordeaux.







# La sélection des bois de résonance : Caractérisation et perception des luthiers

## Capucine CARLIER - LMGC Laboratoire de Mécanique et de Génie Civil / Université de Montpellier

Capucinecarlier@hotmail.com

La lutherie du quatuor est un domaine à haute importance culturelle et économique ou le bois atteint une forte valeur ajoutée. L'épicéa commun (*Picea abies*) et l'érable sycomore (*Acer pseudoplatanus*) sont les espèces utilisées pour la fabrication des tables et des fonds de violon et sont couramment nommés bois de résonance [Bucur, 1992]. Leurs propriétés mécaniques et acoustiques sont bien caractérisées et l'épicéa de résonance est reconnu pour avoir une faible densité, un module d'élasticité élevé, un faible amortissement et une forte anisotropie [Ono & Norimoto, 1983; Obataya et al. 2000]. Néanmoins les recherches sur les bois de résonances ne prennent pas en compte les interactions entre les différentes disciplines et acteurs dans le choix du matériau. L'objectif de cette thèse est donc d'améliorer la compréhension des interactions entre les propriétés du bois de résonance (physique, mécanique, acoustique), leur variabilité, leurs qualité à l'usage, et l'expérience réelle des fabricants de violon dans la sélection de leur bois.

Pour cela, les propriétés physiques (densité, module spécifique et amortissement) et les indices de performances acoustiques (ratio de radiation, l'impédance et l'efficacité de conversion acoustique) de matériaux ont été étudiés en relation avec les caractéristiques structurelles visibles (largeur des cernes de croissance et pourcentage de bois final). Pour l'épicéa de résonance, les corrélations entre les caractéristiques visuelles, les propriétés et les indicateurs ne sont pas typiques des résineux classiques et peuvent être analysé en relation avec leur microstructure.

Pour identifier les pratiques, connaissances empiriques et les questions des luthiers, une enquête quantitative et qualitative a été créée. Elle a d'abord été conçue comme un questionnaire organisé en module détaillé pour des entretiens en face à face puis a été mis en ligne dans une version française et anglaise. Les fournisseurs ont également été interrogés puis les résultats ont été analysés à l'aide du logiciel Sphinx.

Pour compléter cette enquête, une étude psychosensorielle a été conduite sur les luthiers pour évaluer 9 tables et 9 fonds de différentes provenances vendus par les fournisseurs sous différents grades de qualités. L'étude a été conçu en 4 étapes afin d'évaluer séparément les contributions respectives des perceptions visuelles, tactiles et auditives de bois. L'importance relative des sens de perception pour choisir le matériel a également été déterminée : les luthiers ont une bonne de perception de la densité et des critères visuels spécialement en ce qui concerne les largeurs de cernes, la couleur et la brillance. Les critères favorablement perçues pour définir un bon fond et une bonne table ont été isolé. Enfin les perceptions des luthiers sont mises en regard des mesures physiques afin de déterminer leurs seuils de perception. L'évaluation visuelle des tables est corrélée avec des propriétés physiques telles que le module d'élasticité spécifique ainsi qu'à l'amortissement et à l'impédance caractéristique. Cette étude psychosensorielle a montré que les luthiers ont une bonne perception des critères visuels et tactiles qui leur donne une information indirecte fiable sur les propriétés mécaniques

<u>Mots-clés</u>: Bois de résonance - Caractérisation mécanique et acoustique - Evaluation psychosensorielle - Enquête profession









# La mécanique du bois au service de la restauration/conservation du patrimoine

# Cécilia Gauvin - Department of Built Environment/Eindhoven University of Technology

Contact Scientifique: cecilia.gauvin@gmail.com

#### Résumé en Français, 550 mots :

L'étude de l'hygromécanique des panneaux de bois peints est en lien avec la conservation et la restauration du patrimoine. Certains problèmes que soulève le domaine de préservation du patrimoine (bâti ou de collection) sont des questions pertinentes pour des domaines plus fondamentaux que sont les sciences des matériaux, et plus particulièrement, les sciences du bois.

De nombreux objets en bois ancien posent des difficultés de conservation et de restauration. En plus des problèmes liés au vieillissement naturel du bois, la conservation et la restauration des panneaux de bois peints sont des exercices délicats de mise en œuvre, à cause des phénomènes complexes d'échanges hydriques asymétriques entre la couche picturale et le revers du panneau. Les restaurateurs du patrimoine ont cherché à éliminer la courbure présente des panneaux par humidification et pression progressive afin de les renforcer et de les aplanir ; ou simplement, en termes d'acte de restauration, par amincissement par l'arrière du support du tableau puis collage sur un support rigide. Entre manipulations malheureuses et stockage dans des conditions non contrôlées, cela a eu pour conséquence l'écaillage et la perte partielle de la couche picturale de certains d'entre eux, sans oublier l'initiation de fissures. Ainsi, les objets du patrimoine que nous manipulons sont des témoins précieux à la fois d'un art, d'une époque et d'un comportement à long terme du matériau considéré.

C'est pourquoi les objets en bois du patrimoine sont autant de questions et de réponses à apporter aux deux communautés : celle de la restauration-conservation et celle des sciences du bois. Des objets remarquables du patrimoine en bois ont déjà pu faire l'objet d'un consortium entre scientifiques, conservateurs et restaurateurs tel que le panneau peint sur bois : *La Joconde* de Léonard de Vinci.

Ces travaux de recherche se sont portés sur l'étude expérimentale et la simulation numérique du comportement hygromécanique d'un panneau de bois, avec comme application la conservation des tableaux peints sur bois du patrimoine. L'objectif est d'étudier d'un point de vue fondamental le comportement d'un panneau de bois soumis à des variations d'humidité, en lien avec les acteurs de la préservation du patrimoine (conservateurs, restaurateurs, scientifiques spécialisés dans ce domaine...) afin de développer des outils d'aide à la décision - à l'aide d'outils de simulation hygromécanique et de techniques expérimentales de caractérisations mécaniques par stéréo-corrélation. Ces tableaux ont souvent déjà fait l'objet de restauration par le passé (amincissement du panneau, renfort parqueté à l'arrière du tableau...), mais l'effet du temps n'ayant pas été correctement pris en compte dans le comportement de ces structures modifiées : les œuvres sont menacées. C'est pourquoi ces outils représentent un des enjeux majeurs actuels afin de modéliser des solutions de conservation et/ou de restauration de l'objet étudié plus adaptées et plus fiables.

Mots-clés: hygromécanique, panneau peint, bois, conservation, patrimoine









# Diversité des modalités de redressement des arbres en forêt tropicale

# Barbara GHISLAIN - Laboratoire Sciences des Bois de Guyane/CNRS, UMR EcoFoG

Contact Scientifique: barbara.ghislain@ecofog.gf

#### Résumé en Français, 550 mots :

Les arbres sont soumis à de nombreuses contraintes (vent, neige, chablis, compétition pour la lumière, etc.) et doivent sans cesse ajuster leur position. Pour cela ils produisent un tissu, appelé bois de tension, capable de générer une forte tension chez les angiospermes. La plupart des espèces sont capables de créer cette forte tension, malgré que l'anatomie du bois de tension ainsi que le mécanisme de génération de la tension soit encore méconnus. Pour l'espèce modèle, le peuplier, la paroi des fibres de bois de tension est modifiée et présente une couche interne gélatineuse peu ou pas lignifiée appelée couche G. Les microfibrilles de cellulose composant la couche G sont orientées dans l'axe de la cellule et génèrent une forte tension au cours de la maturation cellulaire. Dans les espèces tropicales, le bois de tension ne contient de la couche G que dans un tiers des cas selon la littérature.

Au cours de ma thèse nous avons échantillonné plus de 452 arbres en Guyane répartis en 51 familles et 161 genres. Les bois de tension sans couche G ont été décrits et répartis en deux classes : ceux qui ont une couche G qui se lignifient et ceux qui n'en ont pas, et qui ont donc un autre mécanisme de génération de la tension que celui des espèces à couche G.

Afin de déterminer si un type de bois de tension est plus efficient qu'un autre, nous avons planté puis incliné tuteuré 19 espèces en serre, à raison de 10 individus par espèce. L'efficience d'une espèce est alors déterminée au moyen d'un modèle biomécanique qui englobe des mesures de courbure de la tige lors de la libération du tuteur ainsi que de la courbure suite à l'écorçage d'une partie de la tige, des mesures de modules d'élasticité de la tige avec et sans écorce couplées à des mesures de DLRM et des mesures descriptives des coupe anatomiques des tiges (surface, excentricité, inertie, etc.).

Les résultats préliminaires montrent que 86 % des espèces ont des couches G, dont les deux tiers se lignifient en fin de maturation cellulaire. Reste 15 % des espèces pour lesquels la description du bois ne permet pas d'expliquer les contraintes de maturation.

Il semble que quel que soit le type de bois de tension, l'efficience du redressement atteint un niveau similaire, malgré des anatomies contrastées. Des recherches sont en cours pour mettre en évidence le rôle éventuel de l'écorce chez ces espèces.

Mots-clés: bois de tension, diversité, efficience, couche G, espèces tropicales







# Analyse multicritère et caractérisation structurale des produits d'Ingénierie des bois tropicaux du bassin du Congo: cas des panneaux de contre-plaqués

### Valentin MAKOMRA - 12M / Université de Bordeaux

Contact Scientifique: valentin.makomra@u-bordeaux.fr

### Résumé:

La méconnaissance de la plupart des essences de bois du Bassin du Congo a engendré une concentration d'exploitation forestière autour d'un très petit nombre d'essences qui, face à cette pression, se trouve en voie de disparition [ATIBT, 2003]. Afin d'assurer une gestion durable de ces forêts, il est important d'offrir à l'industrie du bois d'autres essences adaptées pour l'élaboration des produits de qualité. Suite aux travaux de R. Oum [ 2014] visant à valoriser des essences intéressantes en bois lamellé collé, l'objectif de nos travaux de recherche est de connaître les essences les plus pertinentes à être valorisées en produits issus du déroulage.

Une étude multicritère en vue de la sélection des essences de bois pour des produits contreplaqués est proposée. En tenant compte des aspects écologiques, économiques, sociaux, technologiques et mécaniques, 12 critères de choix ont été retenus : l'indice de régénération, menace d'extinction, volume exploitable, résistance mécanique, déroulabilité, collabilité, retrait radial, pente de grain, résistance aux insectes, aux champignon, aux termites et usage alimentaire ou medical. La base des données de Tropix7 a permis d'identifié 97 essences de bois. La méthode d'Aide à la Décision multicritère (ELECRTRE) a permis de catégoriser et d'hiérarchiser les essences suivant les trois classes d'usage des contreplaqués. Les résultats donnent, avec un compromis très élévé, 05 essences (Bete, Kanda, Angueuk, lotofa, Limbali) pour la classe d'usage Extérieur, 09 espèces (Bete, Kanda, Angueuk, lotofa, Limbali, Dabema, Ebiara yde, Bomanga, Mambode) pour la classe d'usage extérieur sous abri et 14 espèces (Bete, Kanda, Angueuk, lotofa, Limbali, Dabema, Ebiarayde, Bomanga, Mambode, Ilomba, Aningre A, AningreR, Akossika, Fromager, EkopNgombe gf, Longhi) pour la classe d'usage intérieur. Un choix de 06 essences encore non valorisées par l'ingénierie a été fait à savoir : le Bete, le lotofa, le Dabéma, l'AningreR et le Fromager.

S'agissant des essences choisis pour leurs capacités au déroulage, mais pouvant parfois être difficiles à sécher, la technologie du collage du bois vert a été choisie. Une modélisation numérique du contreplaqué constitué de trois plis sur le cas de figure du bété a permis d'analyser le comportement hydromécanique au cours du séchage.

Les six essences choisies font l'objet d'une expérimentation en collaboration avec le Labomap (Xylomat, ENSAM Cluny) pour optimiser leur déroulage, leur collage ainsi que leur mise en œuvre sous forme de contreplaqués.

Mots-clés: contreplagué, Etude multicritère, hydromécanique.









# **PRESENTATIONS ORALES**

11H00-12H00









# Caractérisations physico-mécaniques de sciages de 1er choix pour la conception mécanique : Application aux pins méditerranéens

### Agnès BURGERS - Laboratoire de Mécanique et Génie Civil Université de Montpellier - CNRS

agnes.burgers@umontpellier.fr

L'utilisation des bois pour des usages structuraux en ingénierie mécanique, sous forme de bois massifs ou éléments reconstitués, suppose une bonne connaissance des propriétés des composants bois élémentaires utilisés. Faute de cela, les bois restent exclus du monde moderne de la conception mécanique.

En Languedoc-Roussillon, les pins constituent la ressource forestière principale (30 % des bois sur pieds). La valorisation de cette ressource est un enjeu majeur pour l'interprofession de la filière bois. L'objectif de ce travail de thèse est d'examiner la possibilité de prédire les propriétés de base des bois de pin sans défaut, à partir de mesures non destructives disponibles. L'étude a été réalisée sur quatre des espèces de pins les plus présentes : pin sylvestre, pin à crochets, pin laricio et pin maritime.

Les indicateurs de base retenus sont la densité (obtenue par mesure de masse et de volume), le module spécifique (obtenu par mesure vibratoire) et des indicateurs issus de la spectroscopie proche infrarouge (NIRS). Les propriétés technologiques étudiées sont les 9 valeurs de la matrice élastique (obtenus par mesures ultrasonores sur une éprouvette unique), les coefficients de retrait et retraits totaux ainsi que la résistance en rupture en compression axiale (obtenus par les essais normalisés).

L'analyse des données permet de construire des modèles prédictifs des propriétés de base, uniques pour l'ensemble des pins étudiés, à partir des indicateurs mesurés sur chaque échantillon de bois sans défaut.

Il est alors possible d'associer à une pièce de bois donnée, une fiche technique des propriétés utiles à la conception mécanique. Les indicateurs choisis étant facilement mesurables dans le milieu industriel, le transfert de la méthode est envisageable. Chaque pièce de bois d'intérêt (i.e. avec peu de défauts) pourrait être rapidement caractérisée. Associé à une bonne traçabilité (par code barre par exemple) cette démarche permettrait d'identifier clairement chaque pièce et ses propriétés, donnant ainsi la possibilité au concepteur de sélectionner les matériaux les mieux adaptés à ses besoins.

L'étape suivante serait de tester l'utilisation de ces outils pour optimiser la conception et le calcul des composants de la construction d'habitations (paroi portante ou plancher), d'éoliennes (hélices et pylônes) et ou de bateaux par exemple. Un projet pédagogique en ce sens, sera réalisé avec des étudiants de DUT Génie Civil de Nîmes et des élèves ingénieurs de l'École des Mines d'Alès.

#### Mots-clés:

caractérisation mécanique, comportement hygroscopique, modèles prédictifs, pins, forêt méditerranéenne, variabilité.









Classement mécanique des bois de structure. Prise en compte des singularités dans la modélisation du comportement mécanique.

### Joffrey VIGUIER - ENSTIB / LERMAB- Université de Lorraine

Contact Scientifique: laurent.bleron@univ-lorraine.fr

#### Résumé en Français:

Pour atteindre les objectifs de l'Union Européenne en termes de développement durable, d'utilisation de matériaux renouvelables et de lutte contre le changement climatique, le bois possède de nombreux atouts par rapport aux autres matériaux utilisés dans la construction industrielle (acier et béton). Malgré ces nombreux avantages et les politiques visant à encourager son emploi, un certain nombre de verrous scientifiques freinent encore le développement du bois.

L'origine naturelle du bois est à l'origine de la grande variabilité de ses propriétés. Dans un marché de la construction habitué à l'utilisation de produits parfaitement maitrisés, normés, certifiés, l'utilisation du bois avec des caractéristiques aléatoires peut être problématique. L'enjeu principal est donc de garantir aux différents acteurs du marché que le bois peut répondre aux mêmes exigences que tout autre matériau de construction. Pour le cas de notre étude, les exigences portent sur la garantie des propriétés mécaniques du bois.

En effet, pour le calcul de structures en bois, il convient d'appliquer les méthodes décrites dans l'Eurocode 5 (norme NF EN 1995). L'application de ces méthodes oblige les prescripteurs à utiliser du bois classé, c'est à dire appartenant à une certaine classe de résistance au sein de laquelle les propriétés mécaniques sont garanties. C'est pourquoi le marquage CE des sciages à usage structurel est désormais obligatoire en France. Ce marquage impose d'avoir recours soit au classement visuel (régi par la norme NF B52-001), soit au classement par machine (norme EN 14081). De nombreuses études ont montré la faible performance du classement visuel par rapport au classement par machine. En effet, un certain nombre de paramètres affectant négativement le comportement mécanique ne sont pas visibles pour l'opérateur et les corrélations entre les propriétés observées lors du classement visuel et les propriétés mécaniques sont plutôt faibles. Il est ainsi nécessaire, pour valoriser au mieux la ressource, d'avoir recours au classement par machine. Cette méthode a de plus pour avantage d'être réalisable à des cadences plus élevées que le classement visuel.









Selon le cadre normatif relatif au classement structurel, l'attribution d'un sciage à une classe nécessite de garantir trois propriétés : la masse volumique, le module d'élasticité (MOE) et la résistance à la flexion (MOR). L'objectif du classement est donc de prédire au mieux ces propriétés. Le verrou technologique réside dans la prédiction du MOR, sa mesure n'étant pas accessible de manière non-destructive. Cette thèse a eu pour but d'étudier la possibilité d'améliorer cette estimation par l'ajout de la mesure de singularités telle que la nodosité (mesurée par rayons X) ou l'orientation des fibres (mesurée par laser) dans des modèles mécaniques ou statistiques.

Ces travaux s'inscrivent au sein du projet ANR ClaMeB associant quatre partenaires scientifiques (FCBA, LaBoMAP, LE2i et LERFoB) et quatre partenaires industriels du bois leader de la profession (Piveteau Bois, Monnet-Seve Sougy, Arbonis et Ducerf). Le développement de moyens de classement non-destructifs pour les sciages à usage structurel présente donc un fort intérêt pour ces partenaires industriels pour valoriser au mieux leur production. De plus, les industriels possèdent peu de moyens pour comparer la performance des différentes machines de classement disponibles sur le marché. La performance d'une machine de classement étant dépendante de différentes paramètres (essence, classe de résistance, etc...) et les coûts des différentes machines pouvant être très différents, apporter une réponse à la question du choix d'une machine de classement adaptée à la production a constitué un des objectifs principaux de ce travail de thèse.

Mots-clés: Classement mécanique, Rayons X, Orientation des fibres, Epicéa, Douglas









# **FLASH TALKS POSTERS**

12H00-12H15

- Antoine VERNAY, PIAF Clermont
- Jean-Bosco SAHA TCHINDA, LERMAB Lorraine
- Miora RAMANAKOTO, ICA Tarbes







# La présence de la Molinie bleue induit une réduction rapide de la photosynthèse chez le chêne juvénile après une éclaircie

### **Antoine VERNAY - UMR PIAF**

Contact Scientifique: antoine.vernay@clermont.inra.fr

#### Résumé en Français, 550 mots :

Quercus petreae est une espèce relativement sciaphile nécessitant cependant assez de lumière pour sa régénération, ce qui est généralement amené via des coupes régulières dans des peuplements matures, conduisant à la formation de trouées. Cependant, une augmentation de la disponibilité en lumière ne favorise pas uniquement les plants de chêne mais aussi les espèces du sous bois parmi lesquelles la molinie bleue (Molinia caerulea (L.) Moench), une poacée compétitrice très répandue dans les forêts tempérées temporairement inondées. La compétition pour les resources du sol, dont l'azote inorganique en interaction avec la disponibilité en eau, peut jouer un role clé dans l'établissement du rapport de dominance entre le chêne et la molinie. De jeunes chênes âgés de 2 ans ont été plantés dans des pots, seuls ou en association avec de la molinie bleue, et ce sous 2 niveaux de rayonnement en serre (11% de rayonnements incidents photosynthétiquement actifs (PAR), correspondant à un couvert fermé et 55% de PAR, représentant la lumière disponible dans une trouée). Des mesures de photosynthèse combinées à l'apport de K<sup>15</sup>NO<sub>3</sub> au niveau du sol ont permis de suivre la l'assimilation du carbone et l'absorption de l'azote du sol par les deux espèces ainsi que le partage entre ces dernières et l'allocation de l'azote in planta, dans des conditions hydriques non limitantes. Du point de vue de la croissance, il ressort qu'aucune différence de croissance significative n'est observée à court terme en serre, quelque soient les conditions d'éclairement ou la présence ou non de plants de molinie. D'un point de vue fonctionnel, chez la molinie bleue, l'absorption de l'azote minéral du sol par les racines ainsi que les capacités photosynthétiques sont plus importantes avec 55% de PAR qu'avec 11% de PAR.

Dans le même temps, l'absorption d'azote par le chêne mélangé à la molinie bleue varie peu sous 55% PAR, en revanche, la photosynthèse diminue fortement, comparée à 11% de PAR. *Molinia*, dans les mélanges, absorbe 92% à 94% du <sup>15</sup>N apporté sous respectivement 11% de PAR et 55% de PAR. Enfin, il est montré une corrélation entre les capacités photosynthétiques (assimilation brutes de CO<sub>2</sub> à PAR saturant, rendement quantique et conductance stomatique) et l'azote du sol nouvellement absorbé. En conclusion, ces résultats indiquent que une réponse à très cout terme de la réponse de la photosynthèse et de la captation de l'azote dans les mélanges chêne-molinie sous 55% de PAR, c'est-à-dire, après la formation d'une trouée, résultant en partie d'une plus importante absorption de l'azote par la molinie.

<u>Mots-clés</u>: Chêne, Molinie bleue, compétition, azote, lumière, photosynthèse, régénération, forêts tempérées









Etude des extractibles, de la durabilité naturelle et in vitro du bois de cœur de cinq essences camerounaises: Triplochiton scleroxylon (Ayous), Baillonella toxisperma (moabi), Distemonanthus Benthamianus (movingui), Pterocarpus soyauxii (padouk) et Erythrophleum suaveolens (tali)

### Jean-Bosco SAHA TCHINDA - LERMAB/Université de Lorraine

Contact Scientifique: saha\_jb@yahoo.fr

Au cours de ce travail, nous avons évalué les propriétés antifongiques des extractibles, la durabilité naturelle et in vitro du bois de cœur de cinq essences camerounaises très exploitées par les industries de bois à savoir : (Triplochiton scleroxylon (ayous), Baillonella toxisperma (moabi), Distemonanthus Benthamianus (movingui), Pterocarpus soyauxii (padouk) et Erythrophleum suaveolens (tali)) afin d'utiliser ces essences pour des constructions en bois. Ces constructions en bois présentant l'avantage d'avoir un coût de construction léger par rapport à d'autres matériaux et utilisent un matériau écologique qui est un excellent isolant thermique.

La durabilité naturelle a été réalisée par essais en champs effectués en zone tropicale plus précisément au Cameroun. Les essais in vitro ont été réalisés au Laboratoire d'Etudes et de Recherche sur le Matériau Bois à Nancy (France) et la norme utilisée est la EN 350-1. Nous avons effectué ces différents tests sur des éprouvettes non extraites et extraites à quatre solvants (dichlorométhane, acétone, toluène-éthanol (2:1; v/v) et eau).

Des essais in vitro, il ressort que La perte de masse des éprouvettes non extraites varie de 0,1 à 48% et celle des éprouvettes extraites varie de 3 à 40%. Les éprouvettes ayant une perte de masse importante sont celles qui ont été extraites. Hormis le triplochiton scleroxyclon qui non extrait est non durable, toutes les autres essences non extraites sont de classe 1 (essence très durable) selon la norme utilisée. Malgré l'extraction, certaines essences restent toujours très durables sauf l'essence de pterocarpus soyauxii qui perd sa durabilité après extraction. Les essais d'inhibition de croissances sur les champignons de pourriture ont montré qu'à des concentrations de 100 ppm, les extractibles n'inhibent pas la croissance fongique, concentrations de 250 ppm, les extractibles étaient fongistatiques et qu'à des concentrations de 500 ppm certains extractible étaient fongicides (extractible de Erythrophleum suaveolens). Les essais en champs mettant une durée plus grande que les essais en laboratoire, nous n'avons pas encore récolté ces résultats. Mais nous pouvons noter que visuellement, l'essence la plus recouverte par les termites est celle de triplochiton scleroxyclon. Il ressort que les essences telles que le Erythrophleum suaveolens et Baillonella toxisperma peuvent être utilisées pour la construction des maisons durables en zone tropicale humide.

Mots-clés: essences camerounaises, extractibles, essais en champs, essais in vitro









## Collage et finition des surfaces bois usinées Quelles caractéristiques pour quelles performances?

### Miora RAMANAKOTO - Institut Clément Ader (ICA) site de Tarbes, CNRS UMR 5312, Université de Toulouse, UPS, France

Contact Scientifique: florent.eyma@iut-tarbes.fr

Midi-Pyrénées est la 4<sup>ème</sup> région forestière en France. Elle possède une importante ressource en bois, actuellement à maturité pour une exploitation mais malheureusement non valorisée. Un des enjeux actuels consiste à valoriser cette richesse afin d'apporter plus de valeur ajoutée et d'accroître les bénéfices de la filière forêt-bois régionale. En outre, dans un environnement de plus en plus concurrentiel et dans un contexte réglementaire et normatif en perpétuelle évolution, les entreprises sont obligées de s'adapter et de relever de nouveaux défis pour améliorer leur compétitivité. C'est dans ce contexte que j'ai consacré toute mon énergie afin de répondre aux problématiques industrielles actuelles et de valoriser les essences régionales fortement représentées sur le territoire.

La majorité des entreprises s'imposent une sur-qualité pour améliorer la qualité de surface du bois usiné avant le collage ou avant l'application de la finition. Du côté scientifique, aucune étude n'a permis de répondre de façon précise à la question suivante : « quelles géométries de surface donnent une performance acceptable à la finition et au collage? ». L'objectif principal de ma thèse est donc d'identifier des critères quantitatifs permettant de caractériser la qualité d'une surface usinée en vue d'évaluer sa performance vis-à-vis d'une application donnée.

Porté par l'ICA à Tarbes et co-encadré par l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA-Forêts) à Madagascar, ce projet est co-financé par la région Midi-Pyrénées, le département des Hautes-Pyrénées et l'IUT de Tarbes. Il est mené en partenariat avec le CRITT bois à Rodez et avec des industriels de la région (sociétés SANGUINET, LOUBIÈRE, et ROZIÈRE). Deux domaines d'application ont été étudiés : le collage du bois en construction et en menuiserie intérieure, la finition du bois en menuiserie intérieure.

Pour mener à bien ces travaux, de nombreux essais ont été réalisés:

- 1. Usinage du bois chez les industriels en faisant varier les paramètres de rabotage et de ponçage pour obtenir toutes les gammes possibles de qualités de surface et de performances;
- Caractérisation des états de surfaces usinées (mesures des paramètres topographiques 3D, des paramètres physico-chimiques et des paramètres de défauts anatomiques);
- 3. Collage et application de la finition chez les industriels;
- 4. Evaluation de la performance au collage (test d'adhésion par cisaillement et test de durabilité par délamination et par immersion dans l'eau bouillante), et de la performance à la finition (test d'adhésion par arrachement du vernis, test de durabilité dans des enceintes de vieillissement accéléré, appréciation esthétique par analyse viso-tactile avec jury expert et consommateurs).









Au final, les caractéristiques géométriques essentielles que doit avoir une surface usinée pour assurer une performance au collage et à la finition acceptable ont été identifiées. Une modélisation des relations entre les paramètres d'état de surface et les critères de performance pour chaque application a été établie. Les résultats découlant de cette recherche constituent une référence pour les travaux futurs sur la fonctionnalité des surfaces bois usinées. En effet, les modèles établis s'avèrent d'une importance capitale, d'une part pour optimiser l'usinage du bois dans le contexte industriel, et d'autre part pour simuler la performance d'une surface donnée en fonction de ses caractéristiques. En outre, l'étude a permis d'évaluer la performance des ressources locales (hêtre des Pyrénées) par rapport aux essences communément utilisées (chêne et douglas). La thèse présente donc des intérêts multiples dans le développement de la connaissance scientifique et de l'économie régionale.

<u>Mots-clés</u>: Bois, collage, finition, critères de performance, paramètres d'état de surface, modélisation.







# **PRESENTATIONS ORALES**

13H25-14H25









Acclimatation des arbres forestiers au vent : de la perception du vent à ses conséquences sur la croissance et le dimensionnement des tiges.

# Vivien BONNESOEUR - UMR LERFoB & UMR PIAF / AgroParisTech, centre de Nancy

Contact Scientifique: bonnesoeur.vivien@gmail.com

#### Résumé en Français, 477 mots:

Les tempêtes sont de loin la première cause de dégâts pour les forêts en Europe (à titre d'exemple, 8 % de la forêt française fut endommagé par les tempêtes de 1999). Pour le gestionnaire forestier, il s'agit encore d'un aléa climatique difficile à prendre en compte. Mais le vent est aussi un facteur climatique important qui impacte la croissance des arbres. Le projet ANR-FORWIND a été crée en 2013 afin d'aider les forestiers à adapter leur gestion au vent et au risque qu'il représente. FORWIND a pour objectif d'assembler des modèles innovants dans des disciplines variées en un outil complet de simulation de la dynamique d'un massif forestier intégrant les effets du vent. Les laboratoires INRA du LERFOB (Nancy) et du PIAF (Clermont-Ferrand) sont parties prenantes de ce projet grâce à leur compétences en sylviculture, en modélisation de la croissance/production forestière et en biomécanique intégrative. Ils assurent conjointement la modélisation de l'acclimatation (ou de l'endurcissement) des arbres au vent, un mécanisme clé de la résistance des forêts aux tempêtes et une des grandes forces de FORWIND.

En effet, les arbres ne font pas que subir passivement le vent. Ils perçoivent leurs propres déformations sous l'effet du vent (comme de toute force externe) et y répondent en modifiant leur croissance et les propriétés mécaniques de leurs tissus, notamment le bois. Mais ce processus, appelé thigmomorphogénèse, a surtout été étudié sur de très jeunes arbres en conditions contrôlées. Ma thèse vise à étendre pour la première fois cette étude à l'échelle d'un peuplement forestier afin de comprendre comment des arbres adultes s'acclimatent au vent en conditions naturelles en adaptant leur croissance. Elle s'appuie sur un dispositif expérimental mis en place dans un peuplement régulier de hêtre (Fagus sylvatica) non éclairci, près de Nancy. La vitesse du vent, les déformations longitudinales et la croissance radiale de quinze paires d'arbres de dimension et d'exposition au vent contrastées (et regroupés selon leur statut social dominant ou dominé) ont été suivies pendant une année. En contrôlant l'intensité des déformations subies, par haubanage ou à l'aide de flexions artificielles, nous avons pu démontrer que les arbres ne répondent qu'à des stimulations mécaniques provoquées par des vents suffisamment forts ayant un temps de retour supérieur à la semaine. Cette réponse se traduit par contre par une très forte augmentation de leur croissance radiale et suit une loi de mécanoperception commune à l'ensemble des arbres, quelle que soit leur taille. Nous avons ensuite étudié les conséquences de la régulation des déformations sur le dimensionnement mécanique des arbres et leur risque d'endommagement. Il s'avère que malgré des dimensions et des expositions au vent contrastées, le régime de déformation reste uniforme entre les hêtres du peuplement, en accord avec l'hypothèse d'un dimensionnement mécanique optimal souvent inférée mais jamais validée dans son mécanisme. Finalement, les équations constitutives d'un possible modèle de croissance dépendant du vent sont proposées et discutées.

Mots-clés: arbre (hêtre), thigmomorphogénèse, acclimatation au vent, croissance









# Valorisation des lignines et des tanins au travers de matériaux poreux

### Juliette MERLE- Université de Pau et des Pays de l'Adour Laboratoire IPREM/EPCP - UMR CNRS 5254

Contact Scientifique: juliette.merle@univ-pau.fr

#### Résumé en Français, 550 mots :

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 de nos sociétés. Parmi les matériaux couvrant un grand nombre d'applications dans divers domaines il y a les mousses polymères ce qui justifie le vif intérêt porté depuis quelques années au développement des mousses dites « vertes ».

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.

C'est dans ce contexte, que nous avons décidé de développer des matériaux poreux à base de tanins et de lignines (lignosulfonate, lignine Kraft ou lignine soda), sans utiliser des produits chimiques tels que des agents gonflant, les isocyanates, le formaldéhyde ou encore les époxy.

En gardant à l'esprit la volonté de travailler pour l'amélioration des problèmes, nous avons fait le choix d'opter pour une méthode de moussage mécanique qui consiste à emprisonner de l'aire dans la résine par le biais d'une agitation mécanique. Après agitation, le matériau est cuit dans une étuve à 85°C pendant 24h. Les résines sont élaborées à base de tanins hydrolysables, de tanins condensés et une lignosulfonate (déchet industriel produit dans la région Aquitaine). En plus de ces deux ingrédients de base, les formulations se composent d'eau (environ 50%), d'hexamine (le réticulant), de tween 80 (tensioactif) et, éventuellement, d'un durcisseur (le glyoxal).

La caractérisation des matériaux obtenus a porté sur la morphologie au travers de microscopie électronique à balayage et d'un porosimètre à mercure puis sur les caractéristiques physiques avec des mesures de conductivité thermique et de module de compression uniaxiale. Ces premiers matériaux ont des modules en compression allant jusqu'à 20 MPa et des conductivités thermiques allant jusqu'à 35 mW.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>.

Pour aller un peu plus loin, nous avons décidé de voir si toutes les matières premières réagissaient ensemble ou pas. Ainsi, nous avons observé que les tanins hydrolysables et la lignine seule ne réagissaient pas et les produits finaux étaient liquides, après cuisson. Par contre le tanin condensé seul donne de bonnes propriétés physiques. Par contre il a été observé que chaque tanin hydrolysable réagit avec la lignine pour donner un matériau intègre, même si très fragile. Lorsque les trois polyphénols sont intégrés dans la formulation, les propriétés mécaniques et thermiques sont les meilleures.









Suite à ces résultats prometteurs nous avons voulu valoriser un autre déchet industriel et présent en grande quantité dans le monde entier : la liqueur noire issue du procédé Kraft. Après un nouveau travail de formulation, il a été possible de développer de nouveaux matériaux poreux avec cette liqueur.

Dans ce travail nous avons élaboré un plan d'expérience qui nous a permis d'optimiser les proportions entre les tanins et la liqueur noire.

Encore une fois, les résultats sont prometteurs avec des modules en compression allant jusqu'à 20 MPa, sans ajout de glyoxal, et des conductivités thermiques autour de 40 mW.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>. Pour ces matériaux des mesures d'absorption acoustiques ont également été effectuées et comparé à un matériau commercial (le Pavatex), donnant de bons résultats.

Ainsi, plusieurs formulations ont donné des résultats intéressants permettant une valorisation de la liqueur noire et des lignines, en général

<u>Mots-clés</u>: matériaux poreux biosourcés, tanins hydrolysables, tanins condensés, lignines







# **FLASH TALKS POSTERS**

14H25-14H30

• Bruna UGULINO, Lab. Usinage - Laval QC







# Effets des procédés d'usinage de finition sur les propriétés de surface, la performance d'un vernis et l'émission de poussières du bois de chêne rouge

### Bruna UGULINO - Laboratoire d'usinage/Université Laval

#### Contact Scientifique: bruna.oliveira.1@ulaval.ca

La performance d'un produit de finition sur le bois est influencée par la manière dont la surface est préparée. Le ponçage est très utilisé pour préparer les surfaces lors de la finition. Toutefois, ce procédé génère une grande quantité de poussières. À cet égard, l'utilisation des procédés alternatifs au ponçage est encouragée. Ainsi, les effets des procédés d'usinage sur les propriétés de surface, la performance d'un vernis et l'émission de poussières ont été étudiés dans le but de déterminer les modes de préparation des surfaces les plus adéquats pour le bois de chêne rouge. Dans un premier volet, les propriétés de surface et la performance d'un vernis ont été évaluées sur les surfaces préparées à l'aide du procédé traditionnel de ponçage et de trois procédés alternatifs de rabotage soit la coupe périphérique droite, la coupe hélicoïdale et la coupe oblique. La qualité de surface a été évaluée au moyen des caractéristiques de rugosité, d'endommagement cellulaire et de mouillabilité. Des essais de résistance à l'adhésion d'un vernis d'usage intérieur ont été effectués avant et après un traitement de vieillissement accéléré. Les résultats ont montré que le ponçage a induit une rugosité et un niveau de fibrillation supérieurs à ceux des autres procédés, ainsi qu'une mouillabilité et une adhésion du vernis après vieillissement accéléré élevées. Les surfaces rabotées avec la coupe périphérique droite ont présenté un certain niveau de fibrillation, une rugosité et une mouillabilité intermédiaires. Néanmoins, l'adhésion du vernis après vieillissement a été également inférieure par rapport aux autres procédés. La coupe hélicoïdale a produit une rugosité intermédiaire. D'autre part, la coupe oblique a été le procédé qui a présenté une perte d'adhésion après vieillissement similaire au ponçage. Ce procédé a généré des surfaces lisses avec rugosité et mouillabilité intermédiaires. L'amélioration de l'adhésion fut principalement attribuable à la micro fibrillation et les lumens des éléments anatomiques disponibles sur la surface. Ces structures ont augmenté la surface disponible pour l'ancrage mécanique, ce qu'a favorise la liaison entre le bois et le vernis. Toutefois, l'adhésion du vernis pourrait être affaiblie si la fibrillation ne restait pas bien attachée à la surface. En plus, les procédés alternatifs étudiés ont été considérés comme de bonnes alternatives au ponçage. Sur la base des résultats obtenus, le ponçage à l'aide d'un programme P100grain et une vitesse d'avance de 7 m/min, la coupe périphérique droite avec un angle d'attaque de 25° et une onde d'usinage de 1,0 mm, la coupe hélicoïdale avec une onde d'usinage de 1,0 mm et la coupe oblique réalisé avec un angle oblique de 15° ont permis d'obtenir les meilleures conditions d'usinage pour chaque procédé. Dans un deuxième volet, l'effet de différents paramètres de coupe sur l'émission de poussières et la rugosité de la surface a été étudié lors de la coupe hélicoïdale. Les émissions de poussières ont diminué avec la diminution de la profondeur de coupe et l'augmentation de l'épaisseur moyenne du copeau. Cependant, les surfaces obtenues avec l'épaisseur moyenne du copeau plus élevée ont présenté une rugosité supérieure. Par contre, si une surface plus lisse est requise, une vitesse d'avance intermédiaire doit être utilisée afin de diminuer la rugosité des surfaces sans exposer les travailleurs à des niveaux élevés de poussière de bois. Par ailleurs, l'émission de poussières pour chaque fraction de particules peut être estimée à travers les modèles développés.

<u>Mots-clés</u>: qualité de surface, performance du revêtement, poussières du bois, paramètres de coupe









# **PRESENTATIONS ORALES**

14H30-17H10







Intermédiation et collaboration au sein des organisations impliquées dans l'approvisionnement des usines de transformation du bois : une perspective socio-structurelle

# MORIN François - Laboratoire d'opérations forestières, Université Laval

Contact scientifique: <a href="mailto:francois.morin.6@ulaval.ca">francois.morin.6@ulaval.ca</a>

### Résumé en Français, 550 mots :

Le projet de doctorat présenté est réalisé en association avec le consortium FORAC. Ce consortium de recherche permet une étroite collaboration entre le milieu universitaire, le gouvernement et l'industrie. Le projet de recherche concerne plus particulièrement les difficultés d'approvisionnement des usines de transformation du bois dans un contexte collaboratif. Les vastes forêts du Nord-est canadien sont considérées comme hétérogènes, c'est-à-dire qu'elles sont composées de différentes espèces, ayant différentes tailles et qui sont réparties de manière non uniforme sur le territoire. Cette particularité entraîne la présence de plusieurs produits commercialisables dans les mêmes secteurs de récolte. Les différentes usines de transformation du bois s'approvisionnant sur un même territoire sont donc interdépendantes les unes des autres dans leur approvisionnement. En outre, le plus récent régime de lois régissant l'aménagement des forêts (sanctionné en 2010, et en vigueur depuis avril 2013) exige l'existence d'une entente de récolte signée par les différentes usines d'un territoire afin d'obtenir les autorisations de récolte. Également dans le régime forestier de 2010, le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) acquiert la responsabilité de la réalisation de la planification forestière, tâche auparavant confiée aux usines de transformation du bois. Ce contexte organisationnel demande aux différentes entités à travailler ensemble afin de permettre la valorisation de l'ensemble des produits forestiers.

Nous cherchons à comprendre comment il est possible de favoriser la collaboration dans ce contexte d'interdépendance au sein de chaînes d'approvisionnement forestier. La littérature scientifique propose des pistes de réflexion et de solutions, mais elles ne s'adaptent pas adéquatement au contexte forestier à l'étude. Par exemple, les approches de planification collaborative centralisée au sein d'une entité tierce ne semblent pas fonctionner dans certains contextes régionaux. Nos travaux de recherche visent alors dans un premier temps à caractériser et à évaluer la collaboration au sein de certaines chaînes d'approvisionnement. Par la suite, nous cherchons à développer un cadre conceptuel permettant l'évaluation d'une approche de planification collaborative.

Une méthode de recherche qualitative a été choisie afin de pouvoir cerner dans son ensemble les différents éléments influençant la collaboration dans les chaînes d'approvisionnement. Plus particulièrement, c'est une étude de cas multiple qui permettra de comparer différents contextes de collaboration. Des planificateurs forestiers ont été rencontrés dans différentes organisations constituant une chaîne d'approvisionnement régionale.









Les résultats préliminaires confirment que la confiance est un élément fondamental à la collaboration. La confiance demande toutefois un certain temps pour se développer. Surtout, il semble crucial de favoriser le développement d'une culture de collaboration. Pour y parvenir, une juste distribution du pouvoir semble nécessaire entre les différentes organisations, ainsi qu'un engagement des organisations au travers d'objectifs communs. La structure des organisations au sein de la chaîne d'approvisionnement mérite une adaptation selon le contexte régional. Le nombre d'usines sur le territoire et leur taille influence les difficultés de mise en œuvre de la collaboration. Également, un support adéquat en technologie de l'information est nécessaire pour permettre le partage de l'information. Une grande difficulté demeure dans la standardisation des normes et des formats d'échange. Pour terminer, la comparaison des différents cas d'étude permet le développement d'un cadre conceptuel supportant l'évaluation de la collaboration dans d'approvisionnement forestier. Ce cadre permettra de guider les décideurs de l'administration publique et de l'industrie dans l'amélioration des structures organisationnelles.

### Mots-clés:

Collaboration, chaîne d'approvisionnement, foresterie, organisations









### Analyse du Processus de Fissuration dans le Bois sous Sollicitations Mécanique et Climatique : Apports de l'Emission Acoustique

# Frédéric LAMY - Groupe d'Etudes des Matériaux Hétérogènes / Université de Limoges

Frederic.lamy@unilim.fr

### Résumé en Français, 550 mots :

L'objectif de ce travail de thèse est d'envisager les apports de l'Emission Acoustique (EA) en tant qu'outil de diagnostic et de surveillance des structures et ouvrages en bois. Nous avons appliqué cet outil et développé des méthodes de suivi de la fissuration. Si l'objectif affiché est l'utilisation de l'EA pour de la surveillance in-situ, un passage par des manipulations en laboratoire a été nécessaire pour valider les méthodes mises en œuvre. Des essais de chargement à déplacement imposé ont été réalisés sur des éprouvettes de Douglas (DCB à inertie constante) soumises à un chargement en mode I, pour deux teneurs en eaux distinctes. En parallèle du système d'acquisition acoustique, un système d'acquisition d'images a été utilisé pour suivre l'évolution de la fissuration sur les faces principales des éprouvettes.

Dans un premier temps, nous avons constaté que la cinétique de fissuration était corrélée à l'énergie acoustique des signaux enregistrés. Une écoute globale, sans filtration des données, fournit une indication sur l'évolution de l'endommagement d'une structure.

En effectuant un premier traitement des données, en considérant les évènements acoustiques et en utilisant des courbes de correction de localisation et d'amplitude des signaux, nous avons pu déterminer la position d'un (ou plusieurs) pic(s) d'activité acoustique. La courbe d'évolution de la position de ce(s) pic(s) d'activité donne un résultat similaire à celle de la pointe de fissure obtenue avec le système d'imagerie. Nous avons ainsi pu estimer un taux de restitution d'énergie moyen Gc.

Dans le but de passer à des applications in situ, nous avons mis en œuvre cette méthode lors d'un essai de fluage sur une éprouvette à inertie variable. L'EA a su prendre le relais lorsque les relevés visuels étaient absents. L'EA a aussi pu fournir des informations complémentaires sur l'initiation et la propagation de la fissuration et ce, sur une durée surveillance longue.

La méthode de détection des pics d'activités par EA montre que les évènements acoustiques de forte amplitude sont localisés de part et d'autre de la pointe de fissure obtenue par imagerie.







Dans un deuxième temps, en effectuant un parallèle avec les méthodes développées dans les matériaux composites, le bois pouvant y être assimilé par certains aspects, nous avons pu, par une utilisation conjointe des outils statistiques, de l'imagerie électronique (MEB) et de l'analyse des formes d'ondes, identifier les mécanismes de ruine présents lors des essais.

Après un travail de filtration des données obtenues sur des essais à mode de ruine choisi (traction, flexion et cisaillement), quatre familles d'évènements ont pu être mis en évidence. Par l'étude de leurs formes d'ondes respectives, ces familles ont pu être associées à de la rupture de fibre, de la fissuration de matrice, de la décohésion et du délaminage telles qu'on les retrouve dans les matériaux composites. L'étude au MEB a confirmé qu'une multitude de mécanismes étaient présents sur les plans de fissuration des éprouvettes et la vraisemblance des résultats obtenus.

D'un point de vue quantitatif, deux mécanismes de ruine principaux ressortent : la rupture de fibres et la fissuration matricielle. Il s'agit là d'indicateurs dont l'évolution peut constituer un indicateur, précurseur à la ruine d'un ouvrage.

Le travail effectué dans cette thèse constitue un pas dans l'emploi de l'EA dans la surveillance des structures et des ouvrages en bois et laisse entrevoir d'autres emplois notamment en mécanique de la rupture et dans l'étude des zones d'élaboration.

#### Mots-clés:

Douglas, Mode I, Émission Acoustique, Analyse d'Images, Analyse par Composantes Principales, Classification, Taux de Restitution d'Énergie







# Modélisation et optimisation multi-niveaux du transport forestier

## Kamel MOAD CNRS, Université de Bordeaux, laboratoire IMS Université Laval, laboratoire For@c, Québec, Canada

### moadkamel@yahoo.fr

#### Résumé:

Cette thèse est une contribution à la modélisation, la planification et l'optimisation du transport pour l'approvisionnement en bois de forêt des industries de première transformation. Dans ce domaine, les aléas climatiques (mise au sol des bois par les tempêtes), sanitaires (attaques bactériologiques et fongiques des bois) et commerciaux (variabilité et exigence croissante des marchés) poussent les divers acteurs du secteur (entrepreneurs et exploitants forestiers, transporteurs) à revoir l'organisation de la filière logistique d'approvisionnement, afin d'améliorer la qualité de service (adéquation offre-demande) et de diminuer les coûts.

L'objectif principal de cette thèse était de proposer un modèle de pilotage améliorant la performance du transport forestier, en respectant les contraintes et les pratiques du secteur.

Les résultats établissent une démarche de planification hiérarchique des activités de transport à deux niveaux de décision, tactique et opérationnel. Au niveau tactique, une optimisation multi-périodes permet de répondre aux commandes en minimisant l'activité globale de transport, sous contrainte de capacité agrégée des moyens de transport accessibles. Ce niveau permet de mettre en œuvre des politiques de lissage de charge et d'organisation de sous-traitance ou de partenariats entre acteurs de transport. Au niveau opérationnel, les plans tactiques alloués à chaque transporteur sont désagrégés, pour permettre une optimisation des tournées des flottes, sous contrainte des capacités physiques de ces flottes.

Les modèles d'optimisation de chaque niveau sont formalisés en programmation linéaire mixte avec variables binaires. L'applicabilité des modèles a été testée en utilisant un jeu de données industrielles en région Aquitaine et a montré des améliorations significatives d'exploitation des capacités de transport par rapport aux pratiques actuelles.

Les modèles de décision ont été conçus pour s'adapter à tout contexte organisationnel, partenarial ou non : la production du plan tactique possède un caractère générique sans présomption de l'organisation, celle-ci étant prise en compte, dans un deuxième temps, au niveau de l'optimisation opérationnelle du plan de transport de chaque acteur.

#### Mots-clés:

logistique forestière, planification tactique, planification opérationnelle, collaboration









### Performance mécanique des assemblages par goujons-collés dans

#### les structures bois

# Mathieu VERDET - Institut de Mécanique et d'Ingénierie (I2M / Université de Bordeaux - Université Laval (Québec)

Contact Scientifique: mathieu.verdet@u-bordeaux1.fr

#### Résumé en Français:

La technique des goujons-collés dans les structures bois allie performances mécaniques et esthétisme (non visible). 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 de qualité.

Les travaux de cette thèse, menée en collaboration entre l'université de Bordeaux et l'Université Laval, 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 connections multi-tiges. Les principaux résultats de cette thèse 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. Exposées à la chaleur, les connexions sont elles aussi affectées avec des pertes de raideur et de résistance dès 40°C, en amont de la température de









transition vitreuse et de la dégradation des adhésifs. Amenés à suivre le régime de température extérieur, l'assemblage doit par sa conception être isolé afin de prévenir les risques aux état limites de services (ELS) et aux état 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 raideurs. La base de données expérimentales collectée dans ces travaux repose sur 12 campagnes d'essais de 1 à 2 mois en conditions climatiques régulées 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 coté la sensibilité du système aux changements de climat.

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 élément finis est tout d'abord développé pour prendre en compte l'orthotropie du bois et regarder l'influence du centre de moelle du bois jusqu'à présent négligée. Par la suite ce modèle est étendu aux configurations multi-tiges afin de simuler différentes configurations d'essais. Des essais expérimentaux sont enfin couplés pour valider les tendances observées numériquement.

En termes de perspectives, assemblages multi-tiges et comportement à long-terme sont des incontournables. L'influence de l'humidité sur les assemblages et la généralisation des résultats à d'autres adhésifs sont deux axes complémentaires.

### Mots-clés:

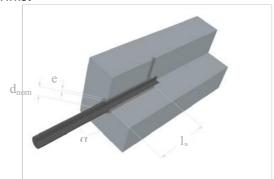
Structure bois, goujons collés, époxy, polyuréthane, température, fluage, orthotropie, multitige, expérimentation, modélisation éléments finis.



e = Epaisseur

d<sub>nom</sub> = Diamètre du goujon

 $\alpha$  = Angle d'insertion







Metropol Parasol, Seville, Espagne.









### Formation du duramen et qualité du bois de douglas

# Idelette PLAZANET - Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles, Chaire SylvaLIM, Université de LIMOGES

Contact Scientifique: guy.costa@unilim.fr

### Résumé:

La formation du duramen est un processus physiologique clé impliqué dans la qualité du bois puisqu'il contribue notamment à sa durabilité naturelle. Le duramen du douglas présente une durabilité supérieure à la plupart des autres essences résineuses cultivées en Europe, ce qui en fait un bois recherché pour des utilisations d'extérieur sans traitement de préservation. Malgré son importance écologique et économique, les mécanismes conduisant à sa formation ne sont pas totalement élucidés. L'objectif du travail présenté est donc de comprendre les changements qui opèrent lors de la maturation de l'aubier chez le douglas.

Le bois de plusieurs génotypes de douglas, âgés d'un vingtaine d'années, a été étudié pour les paramètres qualitatifs suivant : proportion de duramen, densité totale et largeur des cernes, densité du bois initial et du bois final, proportion de bois final dans chacun des cernes. De ces études, il ressort que la proportion de duramen serait sous influence génétique et très peu environnementale. Des variations entre les génotypes ont également été constatées pour la largeur des cernes, la proportion et la densité du bois final, ainsi qu'au niveau de la période de début de formation du bois au printemps. Ces paramètres sont donc probablement sous influence génétique. Aux alentours d'une dizaine d'années, la densité des cernes ainsi que la proportion de bois final augmentent, signe de l'évolution progressive d'un bois juvénile de faible densité à un bois mature. Lors de cette étude densitométrique, nous avons constaté que la zone de transition aubier-duramen ne présentait pas de profil densitométrique particulier.

La qualité du bois va également dépendre de sa composition biochimique. Le bois est essentiellement formé de l'enchevêtrement tridimensionnel de polymères pariétaux issus de cellules végétales mortes. Il est ainsi composé de polysaccharides (cellulose, hémicelluloses, pectines; 60 à 75 % de la matière sèche du bois), de lignines (25 à 35 %), de protéines et d'extractibles. Afin d'étudier la composition polysaccharidique du bois, nous avons développé une nouvelle méthode adaptée à l'étude d'un grand nombre d'échantillons avec de faibles quantités de biomasse. Cette méthode 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. Grâce à cette technique, nous avons pu observer l'évolution, cerne par cerne, de la composition polysaccharidique du bois, de l'aubier externe au cœur du duramen, à partir de carottes de bois prélevées mensuellement. Certains épitopes de polymères sont plus abondants dans l'aubier (arabinanes), tandis que d'autres dans le duramen (pectines, xylanes et galactanes).

Des variations de densité et de composition biochimique ont été mises en évidence entre l'aubier et le duramen de douglas. Cependant, celles-ci peuvent résulter du fait que la zone de transition aubier-duramen des arbres étudiés se trouve dans la zone d'évolution du bois juvénile en bois mature. Des analyses complémentaires à partir de douglas plus âgés sont donc nécessaires pour clarifier ces résultats.

<u>Mots-clés</u>: *Pseudotsuga menziesii*, durabilité, densité, polysaccharides pariétaux, liquide ionique, immuno-marquages.

