



**HAL**  
open science

## Actes des 5èmes Journées Scientifiques du GDR3544 Sciences du Bois

Myriam Chaplain, Sabine Caré, Joseph Gril

► **To cite this version:**

Myriam Chaplain, Sabine Caré, Joseph Gril. Actes des 5èmes Journées Scientifiques du GDR3544 Sciences du Bois: Les usages de bois, enjeux et opportunité. 5èmes journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois, Nov 2016, Bordeaux, France. 5, , 2016, Journées Annuelles du GDR 3544 Sciences du Bois. hal-01431040

**HAL Id: hal-01431040**

**<https://enpc.hal.science/hal-01431040>**

Submitted on 10 Jan 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## GDR 3544 Sciences du Bois



### Actes des 5<sup>èmes</sup> Journées Scientifiques du GDR3544 Sciences du Bois

### Les usages du bois : enjeux et opportunité



**8-10 Novembre 2016 – BORDEAUX, France**  
**Campus de Talence – Domaine du Haut Carré**

**Manifestation** : 5<sup>èmes</sup> journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois,  
Bordeaux, Nov. 2016

**Collection** : Journées annuelles du GDR 3544 sciences du bois, Volume 5, 2016

**Coordination et édition des actes** : Myriam CHAPLAIN (I2M-GCE,  
Bordeaux), Sabine CARE (Laboratoire Navier, Champs-sur-Marne),  
Joseph GRIL (LMGC, Montpellier)



## SOMMAIRE

EDITORIAL .....	4
COMITE D'ORGANISATION .....	6
COMITE SCIENTIFIQUE .....	7
SOUTIENS ET SPONSORS .....	8
PROLOGUE AUX JOURNEES ANNUELLES : THESES DES BOIS .....	9
PROGRAMME DES JOURNEES ANNUELLES DU GDR BOIS .....	11
GROUPE DE TRAVAIL .....	13
PRESENTATIONS ORALES INVITEES .....	14
POSTERS / FLASH-TALK .....	27
Posters primés .....	27
Session A .....	28
Session B .....	70
Session C .....	111
Session D .....	149
LISTE DES PARTICIPANTS .....	189
INFORMATIONS DIVERSES .....	193
DESCRIPTIFS DES SPONSORS ET SOUTIENS .....	194

## EDITORIAL

Le **Groupe de Recherche en Sciences du bois** (GDR3544 Sciences du Bois) a été créé en 2012 par le CNRS et renouvelé en 2016 pour 5 ans. La mission de ce groupement est : (1) de structurer la recherche sur le bois en France pour lui donner une visibilité nationale, (2) de contribuer au développement de la formation en sciences du bois et (3) de servir de relai aux réseaux internationaux de sciences du bois. Afin de répondre à ces objectifs des journées scientifiques sont organisées qui doivent permettre de partager une culture commune, de promouvoir les travaux des laboratoires membres du GDR Bois, d'échanger sur des enjeux transversaux (relations internationales, formation, partage des ressources). Les trois journées sont ouvertes à tous les chercheurs intéressés par les sciences du bois, français comme étrangers; l'objectif étant d'accueillir un maximum de participants des laboratoires partenaires du GDR Bois et de favoriser la participation des jeunes chercheurs (doctorants ou post-doctorants). Dans l'esprit du GDR Bois, nous souhaitons que tous les chercheurs assistent à l'ensemble des journées annuelles car l'objectif n'est surtout pas de cloisonner les thématiques mais bien au contraire de développer une culture commune en espérant stimuler l'interdisciplinarité et les transferts de savoir-faire et d'outils entre thématiques.

Les **5<sup>èmes</sup> journées annuelles du GDR Bois** ont été organisées à Bordeaux, au domaine du Haut Carré de l'Université de Bordeaux les 08-10 novembre 2016. Elles ont été précédées cette année par la journée nationale des Thèses des Bois organisée par le pôle de compétitivité Xylofutur avec les présentations des candidats le 07/11 et une restitution le 08/11 matin à Bordeaux Sciences Agro.

Le thème des journées annuelles du GDR Bois, « *Usages du bois : enjeux et opportunité* » a permis de faire le point au travers des exposés des conférenciers invités sur les enjeux actuels de la filière bois-forêt. Les membres du GDR Bois ont pu échanger sur leur travaux grâce aux présentations "flash" appuyées par des posters dont certains ont été primés (prix des meilleurs posters, des posters les plus originaux, 'très spécial'). Les actes de ces journées rassemblent les résumés des conférenciers invités (exposés) et ceux des contributions volontaires (posters). Ils sont présentés sous forme de collection permettant de diffuser les travaux des membres du GDR Bois.

Des créneaux pour des réunions de Groupes de Travail GT à l'initiative des participants ont été aussi aménagés. Ces GT permettant de mettre en œuvre le projet scientifique du GDR Bois et de discuter de verrous scientifiques ou de projets à monter. Enfin, des visites des laboratoires du site de Bordeaux ont été réalisées permettant de voir la diversité des recherches menées (I2M-GCE, INRA Pierreton, FCBA Pôle Construction, FCBA Pôle Biotechnologie Sylviculture Avancée et LCPO).

Merci aux personnels de l'Institut de Mécanique et d'Ingénierie I2M et des laboratoires partenaires qui se sont mobilisés nombreux pour accueillir cette manifestation et en garantir le succès.

Joseph GRIL

Directeur du GDR3544 Sciences du bois

Site Web du GDR 3544 Sciences du bois : <http://www6.inra.fr/gdr-sciences-du-bois/>

Actes des journées annuelles 2012 à 2016 : <https://hal.archives-ouvertes.fr/BOIS/>



*Participants devant le domaine du Haut Carré*



*Lauréats 2016 des prix posters*

#### Laboratoire hôte

Contact : Myriam Chaplain, [myriam.chaplain@u-bordeaux.fr](mailto:myriam.chaplain@u-bordeaux.fr)

Laboratoire organisateur : Laboratoire « Institut de Mécanique et d'Ingénierie – Bordeaux » (I2M, CNRS UMR 5295), <http://i2m.u-bordeaux.fr/>

Laboratoires partenaires : INRA Pierreton, FCBA Pôle Construction, FCBA Pôle Biotechnologie Sylviculture Avancée et LCPO

Site WEB des journées annuelles : <https://gdrbois-2016.sciencesconf.org/>

#### Illustration 1<sup>ère</sup> page

Vues de Bordeaux – Myriam Chaplain, Franck Taillandier

#### Edition

Version pour les actes des journées annuelles 2016 déposés dans la collection HAL « sciences du bois » : <https://hal.archives-ouvertes.fr/BOIS/>. Date d'édition : Janvier 2017

Auteurs : Sabine Caré, Laboratoire Navier Champs-sur-Marne – Myriam Chaplain, I2M-GCE Bordeaux.

## COMITE D'ORGANISATION

*Coordinatrice : Myriam CHAPLAIN*

*Gestionnaires : Sandrine DUBOIS- Corinne BLAIN*

<b>Identité</b>	<b>Etablissement</b>
Corinne BLAIN	I2M Univ de Bordeaux
Denys BREYSSE	I2M Univ de Bordeaux
Sabine CARE	Laboratoire Navier Champs sur Marne
Myriam CHAPLAIN	I2M Univ de Bordeaux
Bertrand CHARRIER	IPREM Pau
Alain COINTE	I2M Univ de Bordeaux
Jean Luc COUREAU	I2M Univ de Bordeaux
Christine DELISEE	I2M Bordeaux Science Agro
Sandrine DUBOIS	I2M Univ de Bordeaux
Sidi-Mohammed ELACHACHI	I2M Univ de Bordeaux
Meriem FOURNIER	AgroParisTech Nancy
Philippe GALIMARD	I2M Univ de Bordeaux
Stéphane GRELIER	LCPO, ENSCBP-INP Bordeaux
Joseph GRIL	LMGC Montpellier
Corinne MARTIN	AgroParisTech Nancy
Jean-Christophe MINDEGUIA	I2M Univ de Bordeaux
Régis POMMIER	I2M Univ de Bordeaux
Frédéric ROUGER	FCBA Bordeaux
Jean Marc SIBAUD	I2M Univ de Bordeaux
Franck TAILLANDIER	I2M Univ de Bordeaux
François TAMARELLE	Pôle Xylofutur Gradignan

## COMITE SCIENTIFIQUE

Le comité scientifique des journées est constitué du Comité de Pilotage du GDR3544 «Sciences du bois » et d'organiseurs des journées 2016.

<b>Identité</b>	<b>Etablissement</b>
Christophe BELLONCLE	ESB Nantes
Laurent BLERON	ENSTIB Epinal
Sabine CARE	Laboratoire Navier Champs-s-Marne
Myriam CHAPLAIN	I2M GCE Bordeaux
Bertrand CHARRIER	IPREM-Pau
Thiery CONSTANT	LERFoB Nancy
Jean-Luc COUREAU	I2M GCE Bordeaux
Christine DELISEE	I2M BSA Bordeaux
Louis DENAUD	LaBoMaP Cluny
Patricia DREVET	PIAF Clermont Ferrand
Frédéric DUBOIS	GEMH Egletons
Eric FOURNELY	Inst. Pascal Clermont Ferrand
Meriem FOURNIER	LERFoB Nancy
Philippe GERARDIN	LERMaB Nancy
Stéphane GRELIER	LCPO-Bordeaux
Joseph GRIL	LMGC-Montpellier
Rémy MARCHAL	BioWooEB Montpellier
Emmanuel MAURIN	LRMH Champs-s-Marne
Frédéric ROUGER	FCBA-Bordeaux
Isabelle THERY	CEPAM-Nice
Marie-France THEVENON	BioWooEB Montpellier
Stéphane VAIEDELICH	LRRMM Paris

## SOUTIENS ET SPONSORS

L'ensemble des partenaires est remercié pour le soutien apporté à cette manifestation.



## PROLOGUE AUX JOURNEES ANNUELLES : THESES DES BOIS

Dans le cadre de ses actions pour le développement durable du secteur forêt bois et la compétitivité des filières industrielles qui y sont liées, Xylofutur, sous l'égide de son Conseil Scientifique, et avec le soutien de la Fondation Bordeaux Université, a organisé le 7 Novembre 2016 la 11<sup>ème</sup> session nationale des prix «Thèses des Bois» pour promouvoir les activités de recherche et d'innovation au plan national auprès des professionnels de la filière, des décideurs du monde universitaire et de la recherche publique. Cette 11<sup>ème</sup> édition des Thèses des Bois s'est tenue en duplex avec Québec en amont des journées annuelles du GDR BOIS qui cette année en était partenaire.

Parmi les 20 doctorants en compétition (dont 12 présentations orales et 8 posters), six prix ont été attribués (4 pour les présentations orales et 2 pour les posters).

**Site web :** <http://xylofutur.fr/espace-communication/conferences-bois-prix-bois/>

### Programme

#### **lundi 7 novembre 2016, à Bordeaux Sciences Agro**

8h30 - 18h00 Présentations des thèses retenues par le comité de sélection

#### **mardi 8 novembre 2016, à Bordeaux Sciences Agro**

8:30 - 8:40 Présentation de la matinée, Christine DELISEE - Bordeaux Sciences Agro

8:40 - 9:00 Présentations de l'organisation des activités de Recherche en France et au Québec

9:00 - 9:50 [Conférence de Robert BEAUREGARD : " Le rôle des forêts et des produits forestiers dans le contexte des changements climatiques : Perspective de politiques publiques "](#); Université Laval, Qubec, Canada.

9:50 - 10:10 Restitution des Lauréats des Thèses des bois 2016. Exposé des travaux en 180 secondes par les quatre lauréats des présentations orales.

10:10 - 10:30 Remises des prix par Xylofutur, Solvay – Fondation Bordeaux Université et GRD Bois

### Jury

**Présidente du Jury :** Christine DELISEE (Bordeaux Sciences Agro)

**Membres du Jury :** Robert BEAUREGARD (Université Laval, CAN) - Barry GARDINER (INRA, Forêt) – Philippe GERARDIN (Université de LORRAINE) – Henri HUSSON (CRPF Aquitaine) - Christophe JOURDAIN (Intégral bois system) – Pascal KAMDEM (School of Packaging Michigan State University) - Bertrand PAVAGEAU (SOLVAY/Fondation Bx Université) - Bernard THIBAUT (LMGC Montpellier) -.

### Prix

#### **Prix pour les présentations orales**

- **Le prix Jean Lesbats/Xylofutur** a été remis par François TAMARELLE, à **Frédéric LAMY** pour son travail sur « Analyse du Processus de Fissuration dans le Bois sous Sollicitations Mécanique et Climatique : Apports de l'Emission Acoustique» – GEMH Université de Limoges. Encadrant : Frédéric DUBOIS.

- **Le prix Jacques Beynel/Xylofutur** a été remis à **Julie BOSSU** pour son travail sur «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» EcoFog – Université de Guyane. Encadrant : Bruno CLAIR

- **Le prix Chaire de la valorisation de la chimie du Pin Maritime de la fondation Bordeaux Université-Solvay** a été remis par Bertrand PAVAGEAU de SOLVAY à **Juliette MERLE** pour son travail sur « Valorisation des lignines et des tanins au travers de matériaux poreux » - IPREM/EPCP – UPPA.

Encadrant : Fatima CHARRIER – EL BOUHTOURY

- **Le prix Spécial GDR Bois** a été remis par Joseph GRIL, directeur du GDR Bois, à **Stéphanie DECKER** pour son travail sur « 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 » I2M - Nobatek Université Bordeaux.

Encadrant : Frédéric BOS.

#### *Prix Poster*

- **Le prix POSTER Université Laval Québec** a été remis par Robert BEAUREGARD à **Barbara GHISLAIN** EcoFoG Guyane. Encadrant : Bruno CLAIR.

- **Le prix POSTER BSA-plateforme Forêt Bois** a été remis par Christine DELISEE, Présidente du Conseil Scientifique de Xylofutur à **Miora RAMANAKOTO** ICA Tarbes. Encadrant : Florent EYMA.



## PROGRAMME DES JOURNEES ANNUELLES DU GDR BOIS

Mardi 8 novembre 2016	
11:00 - 12:30	<b>Session introductive</b> (Auditorium de l'AGORA) Accueil : Henri BERTIN, Directeur adjoint de I2M Présentation des activités du GDR3544 - Sabine CARE - Joseph GRIL
12:30 - 13:30	<b>Session 1</b> : Opportunités et innovation pour la filière bois (Auditorium de l'AGORA) <i>Chairman</i> : Meriem FOURNIER
12:30 - 13:00	› <i>Enjeux socio-économiques et politiques de la bioéconomie pour la filière forêt-bois</i> - Arnaud SERGENT, IRSTEA Bordeaux
13:00 - 13:30	› <i>Le peuplier : une richesse pour l'avenir</i> - Bernard MOURLAN, Chambre du peuplier
13:30 - 14:30	Déjeuner
14:30 - 15:30	<b>Flash talk A</b> (Auditorium de l'AGORA)
15:30 - 16:30	Pause-café + <b>poster A</b> (Salle BADIANE)
16:30 - 19:30	<b>Groupe de travail</b> (salles GT)
16:30 - 19:30	› <i>GT bois et imagerie</i> - Sabine CARE - Laboratoire Navier Champs sur Marne, Evelyne TOUSSAINT – IP Clermont-Fd, Guy COSTA – LCSN Limoges
16:30 - 19:30	› <i>GT GUB</i> - Florent EYMA, Institut Universitaire de Technologie, Département GMP, Tarbes
16:30 - 19:30	› <i>GT rupture du bois</i> - R. MOUTOU PITTI – IP Clermont-Fd, F. DUBOIS – GEHM Egletons, M. CHAPLAIN – I2M Bordeaux
16:30 - 18:00	› <i>GT xylothèque / collections / base de données</i> - Emmanuel MAURIN- LRMH Champs-sur-Marne; Bernard THIBAUT LMGC Montpellier
18:00 - 19:30	› <i>GT Comportement différé et utilisation du bois vert</i> - Sandrine BARDET, LMGC Montpellier
19:30 - 21:30	Réunion CoPil
Mercredi 9 novembre 2016	
08:30 - 09:30	<b>Session 2</b> : Usage du Bois en construction / écoconception (Auditorium de l'AGORA) <i>Chairman</i> : Robert BEAUREGARD
08:30 - 09:00	› <i>La construction bois ou le bois dans la construction</i> - Pierre BLANCHET, Université Laval (Canada) : <i>La construction en bois ou le bois dans la construction ?</i>
09:00 - 09:30	› <i>Recherche et normalisation : deux métiers complémentaires au service de la compétitivité de la filière</i> - Frédéric ROUGER, Institut Technologique FCBA
09:30 - 10:30	<b>Flash Talk B</b> (Auditorium de l'AGORA)
10:30 - 11:30	Pause-café + <b>poster B</b> (Salle BADIANE)
11:30 - 12:30	<b>Session 3</b> : Usage du bois comme contenant : le bois nous emballe ! (Auditorium de l'AGORA) <i>Chairman</i> : Bertrand CHARRIER

11:30 - 12:00	› <i>Le Bois m'Emballé</i> - Donatien Pascal KAMDEM, School of Packaging Michigan
12:00 - 12:30	› <i>Traçabilité génétique des bois de chêne de tonnellerie : vers une meilleure prédiction des propriétés aromatiques?</i> - Erwan GUICHOUX, INRA
12:30 - 13:30	<b>Flash talk C</b> (Auditorium de l'AGORA)
13:30 - 14:30	Déjeuner
14:30 - 15:30	Pause-café + <b>poster C</b> (Salle BADIANE)
15:30 - 19:00	<b>Visites laboratoires:</b> I2M-GCE; LCPO; INRA - Pierroton (Biogéco - UE); FCBA - Pierroton / Bordeaux Lac
19:00 - 23:00	Repas de Gala

#### Jeudi 10 novembre 2016

08:30 - 09:30	<b>Session 4</b> : Usage du bois à travers les siècles (Auditorium de l'AGORA) Chairman : Marie-Pierre LABORIE
08:30 - 09:10	› <i>Gestion, exploitation et usages des ressources végétales forestières en Provence à la fin du Moyen Age</i> - Sylvain BURRI, LA3M
09:10 - 09:30	› <i>Bioraffinerie d'hier et d'aujourd'hui, présentation de l'Ecole Pluribois 2017</i> - Bertrand CHARRIER, Institut Pluridisciplinaire de Recherche sur l'Environnement et les Matériaux
09:30 - 10:30	<b>Flash talk D</b> (Salle BADIANE)
10:30 - 11:30	Pause café + <b>poster D</b> (Salle BADIANE)
11:30 - 13:30	<b>Groupe de travail</b> (salle GT)
11:30 - 13:30	› <i>GT Contrôle et Evaluation Non Destructive du bois</i> - Marianne PERRIN - Institut Clément Ader, Tarbes
11:30 - 13:30	› <i>GT rupture</i> - R. MOUTOU PITTI – IP Clermont-Fd, F. DUBOIS – GEHM Egletons, M. CHAPLAIN – I2M Bordeaux
11:30 - 12:15	› <i>Préparation de l'école Pluribois 2017</i> - Bertrand CHARRIER, IPREM Mont de Marsan
12:15 - 13:30	› <i>GT Xylomat</i> - Bertrand CHARRIER, IPREM Mont de Marsan
13:30 - 14:30	Déjeuner
14:30 - 15:00	<b>Session clôture</b> (Auditorium de l'AGORA) - Joseph GRIL - Mériem FOURNIER
15:00 - 16:00	<b>Réunion contacts GDR</b> - Joseph GRIL - Mériem FOURNIER - Sabine CARE

## GROUPES DE TRAVAIL

Les Groupes de Travail GT permettent de générer des *actions de coordination* entre les équipes pour répondre aux questionnements des thématiques et enjeux du GDR Bois et correspondent à des actions de ‘formation’ ou de ‘recherche’. *Les membres du GDR bois sont à l’initiative de ces GT.*

Lors des journées annuelles, les GT se réunissent pour faire le point sur des actions en cours, à développer ou pour traiter des questions spécifiques. Ces GT peuvent être *occasionnels* si les participants souhaitent aborder un point particulier ou ponctuel. Des GT sont aussi *récurrents* aux journées annuelles en se réunissant régulièrement, possèdent le cas échéant une page web spécifique et pour certains des réunions thématiques sont aussi organisées au cours de l’année. Les informations sur les GT sont disponibles sur le site web du GDR

- <https://www6.inra.fr/gdr-sciences-du-bois/Presentation/Groupes-de-travail> : liste des GT.

- <https://www6.inra.fr/gdr-sciences-du-bois/Groupes-de-travail> : site web de GT.

Pendant les journées annuelles 2016, 8 GT se sont réunis. L’ordre du jour des réunions est disponible sur le site web des journées 2016 : <https://gdrbois-2016.sciencesconf.org/>.

Mardi 8 novembre (16h30-19h30)			
GT1 GUB (Groupe Usinage Bois)	Florent EYMA	ICA-MSC	Tarbes
GT3 bois et imagerie	Sabine CARE	Laboratoire Navier	Champs-sur-Marne
	Evelyne TOUSSAINT	IP	Clermont-Fd
	Guy COSTA	LCSN	Limoges
GT4 rupture	Rostand MOUTOU-PITTI	IP	Clermont-Fd
	Frédéric DUBOIS	GEMH	Egletons
	Myriam CHAPLAIN	I2M-GCE	Bordeaux
GT5 xylothèque/collections/ base de données	Emmanuel MAURIN	LRMH	Paris
	Bernard THIBAUT	LMGC	Montpellier
GT Comportement différé et utilisation du bois vert	Sandrine BARDET	LMGC	Montpellier

Jeudi 10 novembre (11h30-13h30)			
GT2 Xylomat	Bertrand CHARRIER	IPREM	Mont-de-Marsan
GT4 rupture	Rostand MOUTOU-PITTI	IP	Clermont-Fd
	Frédéric DUBOIS	GEMH	Egletons
	Myriam CHAPLAIN	I2M-GCE	Bordeaux
GT Contrôle et Evaluation Non Destructive du bois	Marianne PERRIN	ICA-MICS	Tarbes
Ecole PLURIBOIS 2017	Bertrand CHARRIER	IPREM	Mont-de-Marsan

## PRESENTATIONS ORALES INVITEES

### *Thème des journées annuelles 2016 : Les usages du bois : enjeux et opportunité*

<b>Session 1 : Opportunités et innovation pour la filière bois</b> (Mardi 8 nov. 12h30-13h30)			<b>Page</b>
Arnaud SERGENT	Irstea-UR ETBX - Bordeaux	Enjeux socio-économiques et politiques de la bioéconomie pour la filière forêt-bois	<b>15</b>
Bernard MOURLAN	Chambre du peuplier - Marmande	LE PEUPLIER : une richesse pour l'avenir	<b>17</b>
<b>Session 2 : Usage du Bois en construction / écoconception</b> (mercredi 9 nov. 8h30-9h30)			<b>Page</b>
Pierre BLANCHET	Université Laval - Québec	La construction bois ou le bois dans la construction	<b>19</b>
Frédéric ROUGER	FCBA - Bordeaux	Recherche et normalisation : deux métiers complémentaires au service de la compétitivité de la filière	<b>21</b>
<b>Session 3 : Usage du bois comme contenant : le bois nous emballe !</b> (mercredi 9 nov. 11h30-12h30)			<b>Page</b>
Pascal KAMDEM	School of Packaging - Michigan State University	Le Bois m'Emballe	<b>22</b>
Erwan GUICHOUX	Plateforme Génome Transcriptome - Bordeaux	Traçabilité génétique des bois de chêne de tonnellerie : vers une meilleure prédiction des propriétés aromatiques?	<b>24</b>
<b>Session 4 : Usage du bois à travers les siècles</b> (jeudi 10 nov. 8h30-9h30)			<b>Page</b>
Sylvain BURRI	LA3M UMR 7298 - Aix- en-Provence	Gestion, exploitation et usages des ressources végétales forestières en Provence à la fin du Moyen Age	<b>25</b>
Bertrand CHARRIER	IPREM - Mont de Marsan	Bioraffinerie d'hier et d'aujourd'hui, présentation de l'Ecole Pluribois 2017	<b>26</b>

## Enjeux socio-économiques et politiques de la bioéconomie pour la filière forêt-bois

SERGENT Arnaud<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UR ETBX, Irstea Bordeaux  
[arnaud.sergent@irstea.fr](mailto:arnaud.sergent@irstea.fr)

**Mots clés :** Bioéconomie, Filière forêt-bois, Economie, Politique

Depuis le début des années 2000 on constate un intérêt grandissant pour les nouveaux concepts industriels qui s'inscrivent dans le cadre de la bioéconomie. Cette approche du développement économique a été conceptualisée très tôt dans les années 70 comme « une démarche qui ouvre l'économie sur la biosphère dont elle ne constitue qu'un sous-système, et non point l'intégration dans une logique strictement économique qui l'engloberait »<sup>1</sup>. Plus récemment, le principe s'est imposé de manière moins radicale comme un moyen d'intégrer davantage les logiques d'optimisation de l'usage des ressources naturelles et de croissance économique<sup>2</sup>. L'OCDE annonçait ainsi en 2009 que « les progrès dans le domaine de la bio économie peuvent aboutir à des avancées socioéconomiques majeures, [...] et contribuer à améliorer la santé, les rendements agricoles, les processus industriels et la protection de l'environnement »<sup>3</sup>. En 2012, la Commission Européenne a inscrit sa stratégie d'innovation pour une croissance durable dans la perspective du développement de la bio économie. La bio économie se définit alors comme la partie de l'économie qui utilise des ressources biologiques renouvelables maritimes et terrestres (cultures agricoles, forêt, ressources halieutiques, animaux et microorganismes) pour produire de la nourriture, des matériaux et de l'énergie.

Dans ce contexte, plusieurs pays européens ont établi leur propre stratégie en matière de développement de la bio économie. Depuis 2007 l'Allemagne s'est engagé dans cette voie à travers notamment la mise en place d'une stratégie nationale de recherche centrée sur la bio économie en 2011<sup>4</sup> et d'une stratégie politique misant sur les ressources naturelles et les biotechnologies portée en 2014 par le ministère de fédéral de l'alimentation et de l'agriculture<sup>5</sup>. De même la Finlande a travaillé entre 2009 et 2011, sous l'égide du ministère de l'emploi et de l'économie, à l'élaboration en 2014 d'une stratégie bio économie ambitieuse avec pour objectif d'atteindre dans ce secteur un chiffre d'affaire de 100 milliards d'euros d'ici 2025 et de créer 100 000 nouveaux emplois<sup>6</sup>. En France, dans le cadre du plan de relance économique en 2009 et 2010, l'Etat a identifié et soutenu le développement des filières stratégiques industrielles de l'économie verte et en 2016 un groupe de travail interministériel s'est engagé dans un processus de rédaction d'une stratégie nationale qui devrait aboutir en 2017.

---

<sup>1</sup> Passet, R., 2010. Les Grandes Représentations du monde et de l'économie à travers l'histoire, Paris, Les Liens qui libèrent, 2010, p. 896

<sup>2</sup> Sgard, F., Harayama, Y., 2013. La bioéconomie aujourd'hui, et ses perspectives de développement, Annales des Mines-Réalités industrielles. ESKA, pp. 5-11.

<sup>3</sup> Rapport de l'OCDE « La Bioéconomie à l'horizon 2030 : quel programme d'action ? Programme de l'OCDE sur l'avenir », 2009.  
<http://www.oecd.org/futures/long-termtechnologicalsocietalchallenges/42837897.pdf>

<sup>4</sup> BMBF, 2011. National Research Strategy BioEconomy 2030 Our Route towards a biobased economy. Berlin.  
[https://www.bmbf.de/pub/Natinal\\_Research\\_Strategy\\_BioEconomy\\_2030.pdf](https://www.bmbf.de/pub/Natinal_Research_Strategy_BioEconomy_2030.pdf)

<sup>5</sup> National Policy Strategy on Bioeconomy. Renewable resources and biotechnological processes as a basis for food, industry and energy. Federal Ministry of Food and Agriculture. Germany. Mars 2014  
<https://biobs.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/generated/files/policy/Germany%20National%20Policy%20Strategy%20on%20Bioeconomy.pdf>

<sup>6</sup> Sustainable growth from bioeconomy. The Finnish bioeconomy strategy. 2014  
[https://www.tem.fi/files/40366/The\\_Finnish\\_Bioeconomy\\_Strategy.pdf](https://www.tem.fi/files/40366/The_Finnish_Bioeconomy_Strategy.pdf)

La forêt est identifiée comme une importante ressource naturelle pour le développement de la bio économie. Dans sa stratégie pour la bio économie, l'UE fait ainsi la promotion du stockage de carbone dans les produits biosourcés, et notamment dans les produits à base de bois, tout en reconnaissant l'importance des enjeux de séquestration et de conservation du stock de carbone forestier. Elle insiste aussi sur l'opportunité de valoriser les résidus et les déchets forestiers dans la perspective d'alimenter la demande pour la bio économie en limitant la pression sur les autres usages de la biomasse. Toutefois, la stratégie de l'UE met aussi tout particulièrement en avant la nécessité d'inscrire cet essor de la bio économie dans un contexte de développement durable en rappelant la nécessité de soutenir une gestion écosystémique de la forêt et de garantir les synergies avec les autres politiques environnementales en termes de gestion efficiente et durable de la ressource, de protection de la biodiversité et de fourniture de services. Au niveau de la stratégie forestière de l'UE, la contribution du secteur à la bio économie est définie sur la base d'une amélioration du système productif forestier et d'un développement de nouveaux produits pour le marché matériaux et les produits chimiques de pointe à base de bois<sup>7</sup>.

En France, la filière forêt-bois est identifiée comme un secteur économiquement très fragilisé qui affiche pour la partie transformation du bois un déficit important de la balance commerciale (près de 7 milliards d'euros). Pour la partie forestière, le problème de l'écart important qui existe entre les volumes de bois mobilisés et la croissance naturelle (50 – 60 %) est interprété comme un indicateur du faible dynamisme de l'économie du bois mais aussi comme une marge de manœuvre potentielle pour intensifier la récolte tout en respectant les critères de durabilité. Dans ce contexte, les dynamiques de développement de la filière, telles que celles portée par la bio économie, constituent des trajectoires de changement stratégiques pour l'avenir de l'ensemble de la filière.

L'objectif de la présentation proposée ici est d'envisager les grands enjeux socio-économiques et politiques posés par les changements en cours en abordant la bioéconomie et ses enjeux pour la filière forêt-bois à travers 4 grands défis : Le défi d'une économie de la connaissance et des biotechnologies ; le défi d'une économie plus vertueuse sur le plan environnemental et social ; le défi de la reconquête industrielle ; le défi du renouvellement du projet politique écologique.

---

<sup>7</sup> Communication de la Commission européenne sur « Une nouvelle stratégie de l'UE pour les forêts et le secteur forestier », COM(2013) 659 final

## Le Peuplier : Une richesse pour l'Avenir

MOURLAN Bernard

Président Chambre du Peuplier  
[bmourlan@wanadoo.fr](mailto:bmourlan@wanadoo.fr)

**Mots clefs :** Peuplier, bois, environnement, construction, emballages, panneaux

### Le peuplier, un atout pour l'environnement

Le peuplier est depuis toujours un élément constitutif des paysages. Sa croissance rapide, les caractéristiques technologiques de son bois et ses atouts environnementaux uniques en font une matière première durable, adaptée aux besoins actuels comme aux défis de demain.

Stockage carbone, Consommation en eau, Filtration des sols, Alternance marquée des milieux favorisant faune et flore, ...

### Le peuplier dans le monde

Le peuplier est l'une des rares essences à avoir des structures représentatives nationales et internationales.

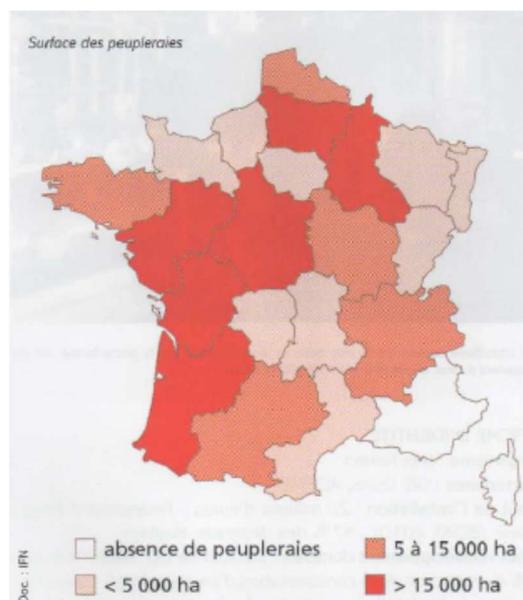
En France il est représenté, au niveau national par le CNP et la Chambre du Peuplier, et au niveau régional par des organismes tels que le GIPA et l'ADEP.

Au niveau Européen existe l'association Pro Populus regroupant Belgique, Espagne, France, Italie et Hongrie.

Pour le suivi mondial, la FAO, qui a fait du peuplier « l'arbre du 21<sup>ème</sup> siècle », dispose de l'IPC (International Poplar Commission) qui regroupe 38 pays membres.

### Le Peuplier en France et en Nouvelle Aquitaine

Avec 220 000 ha cultivés la France est le premier pays producteur de Peuplier en Europe et le 2<sup>ème</sup> dans le monde après la Chine.



Avec une récolte nationale annuelle de près de 1 500 000 m<sup>3</sup> le peuplier est la 2<sup>ème</sup> essence feuillue récoltée après le chêne.

La région Nouvelle aquitaine est la première région populicole nationale avec près de 20 % de la surface (42 000 ha) et près de 30% de la récolte (390 000 m3).

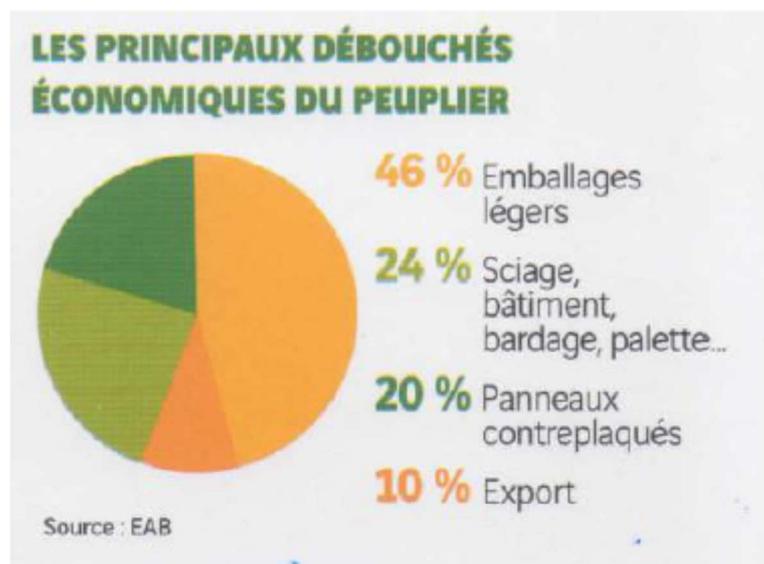
Plus de 2000 emplois directs sont concernés par cette filière régionale.

### **Le Peuplier, une ressource aux nombreux débouchés.**

Grâce à ses caractéristiques particulières qui se prêtent bien à la transformation et à la commercialisation, le bois de peuplier est un matériau polyvalent utilisé dans de nombreux secteurs d'activité.

Ces débouchés complémentaires permettent de valoriser l'arbre dans son intégralité et font du bois de peuplier une véritable ressource créatrice de richesse.

Emballage, Panneaux contreplaqués, Construction et sciages, Autres utilisations et bois énergie  
...



### **Références, Liens**

Le Peuplier, Une richesse pour l'avenir Conseil National du Peuplier  
[www.peupliersdefrance.org](http://www.peupliersdefrance.org)  
[www.pro-populus.eu](http://www.pro-populus.eu)  
[www.fao.org/forestry/ipc/en](http://www.fao.org/forestry/ipc/en)

## La construction en bois ou le bois dans la construction?

BLANCHET Pierre<sup>1</sup>

Titulaire de la chaire industrielle de recherche du CRSNG  
sur la construction écoresponsable en bois (CIRCERB)

<sup>1</sup> Université Laval

[Pierre.Blanchet@sbf.ulaval.ca](mailto:Pierre.Blanchet@sbf.ulaval.ca)

<https://www.sbf.ulaval.ca/professeurs/pierre-blanchet>

**Mots clés :** analyse de cycle de vie, bois, conception intégrée, construction écoresponsable, durabilité/protection, efficacité énergétique, environnement, logistique, matériaux de construction, systèmes constructifs

### Résumé

Historiquement, le secteur des sciences du bois tend à développer des matériaux pour le secteur de la construction des bâtiments en mode push. Le résultat de cette approche représente parfois une voie sans issue résultant en des produits qui ne sont pas utilisés par l'industrie de la construction. Le milieu de la recherche et l'industrie doivent identifier des moyens afin de favoriser l'adoption des produits par les concepteurs que sont les cabinets d'architecture et les bureaux d'études. Durant plusieurs années, en Amérique du Nord, l'approche normative a été favorisée par des investissements soutenus dans le développement du cadre normatif. S'il s'agit d'un élément indispensable à une utilisation sécuritaire du matériau bois pour la construction de bâtiments, cette approche ne se veut pas une force motrice de l'utilisation du bois. C'est plutôt la volonté des concepteurs à développer un patrimoine bâti à faible impact environnemental pour les générations futures qui se présente comme la principale force motrice de l'utilisation du bois (Gosselin *et al.* 2016). Au-delà des fantastiques propriétés mécaniques du bois et de ses matériaux dérivés, les qualités environnementales de ce dernier auront permis une utilisation accrue dans d'importants projets immobiliers. Cette tendance est mondiale, la plupart des pays industrialisés ayant développé des projets de démonstration utilisant toutes sortes de technologies telles que la traditionnelle technique des poutres et colonnes, le panneau lamellé-croisé (CLT), les panneaux LVL croisés et les approches hybrides bois-béton, bois-acier.

Mais comment faire le développement de ces produits et systèmes de construction dans le milieu de la recherche universitaire et académique? La chaire industrielle de recherche du CRSNG sur la construction écoresponsable en bois (CIRCERB) a fait le choix de regrouper des intervenants de toute la chaîne de création de valeur de la construction en prenant pour objet d'étude le bâtiment. Ces intervenants sont : architectes, bureaux d'études, propriétaires immobiliers, fournisseurs de solutions de construction et de matériaux et agences gouvernementales responsables des bâtiments et de leurs performances. Deux constats majeurs découlent de cette approche. Premièrement, les projets de recherche de CIRCERB (maîtrises de recherche et doctorats) sont tous alignés sur les besoins des partenaires de la chaîne de création de valeur et bénéficiant de contribution de chacun des maillons pour une meilleure intégration des besoins du secteur de la construction. Deuxièmement, le positionnement 'bâtiments' de CIRCERB a eu pour conséquence de changer le positionnement des matériaux de construction en bois, les faisant passer de produit de niche à produit de construction régulier au même titre que le béton et l'acier. Ce dernier élément peut sembler simple à développer mais il suggère en fait une forte interdisciplinarité qui est autant le reflet des partenaires industriels de CIRCERB que des collaborations académiques. Traiter de la construction en bois de façon interdisciplinaire interpelle des disciplines comme le génie du bois, le génie civil, le génie

mécanique, le génie industriel, le génie environnemental, la thermique, l'architecture, la chimie, l'actuariat, le design de produits, le droit, et enfin toutes disciplines susceptible de contribuer à une utilisation accrue des matériaux de construction à base de bois. Cette approche est nécessaire car si la motivation environnementale fut la force motrice des grands projets des dernières années, il est nécessaire que les solutions de construction en bois offrent les mêmes fonctionnalités que celles des autres matériaux afin de maintenir un positionnement avantageux.

**Site web :** <https://circular.chaire.ulaval.ca/>

**Exposé :** <https://gdrbois-2016.sciencesconf.org/117059>

## **Recherche et normalisation : deux métiers complémentaires au service de la compétitivité de la filière**

ROUGER Frédéric<sup>1</sup>

<sup>1</sup>FCBA, Allée Boutaut BP 227, 33028 Bordeaux Cedex  
[frederic.rouger@fcba.fr](mailto:frederic.rouger@fcba.fr)

**Mots clefs :** filière bois, recherche, normalisation

### **Résumé**

Recherche et normalisation sont deux métiers qui conjointement contribuent à améliorer la compétitivité de la filière forêt bois ameublement. Par normalisation au sens large, on peut entendre normalisations française, européenne et internationale, mais aussi réglementations voire même certification. Quant à la recherche abordée dans cette présentation, elle se situe majoritairement sur des TRL de 5 à 7.

Dans un premier lieu, la normalisation est l'une des voies privilégiée de valorisation des résultats de R&D. Dans le cas d'une recherche dite innovante au sens de la création de produits ou procédés nouveaux, la normalisation est l'un des vecteurs favorisant la mise sur le marché des produits. Dans le cas d'une acquisition de connaissances, la normalisation permet de faire évoluer les méthodes d'essai ou de calcul, ainsi que les labels apposés sur les produits.

Accessoirement, la recherche est également un bon moyen de créer des réseaux pour le montage de projets de recherche collaborative.

La relation inverse existe également : la normalisation peut mettre en évidence des lacunes qu'il convient de combler. Dans ce cas, la normalisation se positionne comme donneur d'ordre de la recherche.

Contrairement aux idées reçues, la normalisation n'est donc pas un frein à l'innovation et à l'activité économique, elle en est un moteur.

La présentation se propose, dans une vision de filière qui va de l'amont (forêt) à l'aval (construction, ameublement, chimie verte), de synthétiser la liste des items de nature normative ou réglementaire, et leurs implications sur l'émergence de nouveaux besoins de recherche.

## Le Bois m'Emballe

KAMDEM Donatien Pascal, PhD, MBA  
Professor

School of Packaging, Michigan State, University East Lansing, Michigan

[www.msu.edu](http://www.msu.edu)

[kamdem@mse.edu](mailto:kamdem@mse.edu)

**Mots clefs :** Emballage, Bois, Carbone, Caisse, Palette, Panier.

### Résumé

Le bois est un matériau noble, à usages multiples, offrant une solution durable à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et une faible empreinte carbone comparé à d'autres matériaux utilisés en construction, fabrication de meubles, emballage et source d'énergie. L'objectif de cette présentation sera de faire redécouvrir le rôle qu'a joué le bois dans l'industrie de l'emballage depuis des millénaires à travers son usage pour la fabrication de paniers par les égyptiens depuis 10 000 avant J.C. au moins ; de barils pour liquides et solides en fonction des espèces du bois depuis au moins 2000 ans par les romains ; caisses en bois depuis les années 1600 au moins pour le thé et l'emballage des épices – ainsi que le rôle qu'il joue et continuera à jouer dans l'industrie de l'emballage, le conditionnement et la logistique de stockage et de distribution. Aujourd'hui la redécouverte du bois comme matériau renouvelable, disponible, biodégradable, facile à travailler, à faible empreinte carbone et qui sollicite peu d'énergie pour sa transformation est un outil indispensable pour la lutte contre les changements climatiques et le futur de la planète. Son utilisation dans l'emballage et les revenus générés facilitera la réduction des coûts et frais d'une gestion forestière financièrement autonome et durable grâce à la création d'emplois durables dans les communautés rurales et urbaines.

Le matériau bois représente seulement 10% de tous les matériaux utilisés en emballage y compris verres, plastiques et métaux. Le bois est souvent utilisé en emballage secondaire et tertiaire où le contact avec le contenu est négligeable compte tenu des propriétés sensorielles de certaines espèces de bois. Les propriétés physiques, chimiques, biologiques de certaines espèces de bois tel que son comportement vis-à-vis de l'eau liquide et vapeur, humidité, température et pression, la variation de densité, macro et microstructure, communauté microbienne, couleur et odeur sont parmi les facteurs qui limitent son développement dans l'emballage.

Son utilisation en emballage secondaire et tertiaire est très compétitive du fait de sa disponibilité, son rôle de capteur de CO<sub>2</sub>, son taux de réutilisation, son recyclage et sa reconversion comme matière première pour la fabrication de produits - parfois à plus forte valeur ajoutée que la valeur initiale en emballage - tels que lambris et planches pour la construction, l'ameublement et autres.

La demande mondiale en emballage tertiaire pour le commerce international est estimée à 7 milliards d'unités rien qu'en palettes. Aujourd'hui aux USA 2 milliards de palettes sont utilisées dont 90% en bois et 10% en polymères et métal. Environ 20% sont remplacés annuellement dû aux dégradations biologiques (présence de champignons de pourritures et de décolorations, moisissure, présence de certains insectes indésirables, animaux...), physiques (feu et décoloration, eau..) mécaniques (fluage et fatigue) et chimiques (hydrolyse). La durée de vie moyenne d'une palette en bois est d'environ 5 ans. L'augmentation de la durée de vie serait bénéficiaire non seulement pour l'environnement mais aussi pour une gestion durable de la forêt. Les stratégies pour une grande utilisation du bois en emballage seront discutées.

## **Références**

Cartons Crates and Corrugated Board : Handbook of Paper and Wood Packaging. Diana Tweded; Susan E.M.Selke; Donatien-Pascal Kamdem and David Shires. New 2<sup>nd</sup> Edition, 2015, DEStech publications Inc. 584 pages

## Traçabilité génétique des bois de chêne de tonnellerie : vers une meilleure prédiction des propriétés organoleptiques?

GUICHOUX Erwan<sup>1</sup>, LE PROVOST Grégoire<sup>1</sup>, PRIDA Andrei<sup>2</sup>, MARCHAL Axel<sup>3</sup>

<sup>1</sup> BIOGECO, INRA, Univ. Bordeaux, 33610 Cestas, France

<sup>2</sup> Université de Bordeaux, ISVV, EA 4577, Unité de recherche Œnologie, F-33882 Villenave d'Ornon, France

<sup>3</sup> Seguin Moreau France, Z. I. Merpins, B.P. 94, F-16103 Cognac, France  
[erwan.guichoux@inra.fr](mailto:erwan.guichoux@inra.fr)

**Mots clefs :** oak wood, whisky-lactone, QTT, Glu-BA, transition zone, RNA-Seq

### Résumé

Aromatic compounds found in the wine mostly arise during the contact with oak wood barrels. Whisky-lactone which gives a coconut and a woody taste is the most important aromatic compound. Sessile and pedunculate oaks (*Quercus petraea* and *robur*) are widely used for wine maturation but these two species are characterized by a contrasted pattern for whisky-lactone. Identification of the genes involved in the biosynthesis of these compounds is of great importance to provide both (i) gene based diagnostic markers for species identification and (ii) homogenous batches of barrels. However, the molecular mechanisms involved in the biosynthesis of the aromatic compounds remain in their infancy in forest trees. To fill this gap, we implemented an experimental design on 20 sessile and pedunculate oaks. First, wood cores were sampled on each individual. The transition zone between heartwood and sapwood was immediately harvested and stored at -80°C until RNA extraction. The remaining wood was grinded and aromatic compounds quantified using GC/MS or LC-HRMS. This chemical approach confirmed the result previously obtained by [1] and [2] namely a higher whisky-lactone and QTT content in sessile oak and a higher Glu-BA content in pedunculate oak. Second, three sessile and pedunculate oak samples were selected according to the chemical data. Total RNA were extracted from the transition zone and its gene expression was investigated by RNAseq. We found that 97 genes were differentially regulated between the two species using the Deseq and the EdgeR packages. Among these genes, 9 and 4 were specifically expressed in the transition zone of sessile and pedunculate oaks respectively. A functional annotation was performed highlighting molecular functions potentially involved in the biosynthesis of the aromatic compounds.

### Références

Prida A., Ducouso A., Petit R.J., Nepveu G., Puech J-L. (2007) Variation in wood volatile compounds in a mixed oak stand: strong species and spatial differentiation in whisky-lactone content, *Annals of Forest Sciences*, 64, 313–320

Marchal A., Prida A., Dubourdiou D. (2016) New approach for differentiating sessile and pedunculate oak: development of a LC-HRMS method to quantitate triterpenoids in wood, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64, 618–626

## **Gestion, exploitation et usages des ressources végétales forestières en Provence à la fin du Moyen Age**

BURRY Sylvain<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Aix Marseille Université, CNRS, LA3M UMR 7298, Aix-en-Provence  
[burri@mmsch.univ-aix.fr](mailto:burri@mmsch.univ-aix.fr)

**Mots clefs :** ressources forestières, bois, écorces, feuilles, Moyen Age

### **Résumé**

Cette présentation explorera les relations entretenues par l'homme avec le milieu forestier, et plus largement avec l'inculte, en Provence à la fin du Moyen Age au travers des sources écrites et archéologiques. Loin d'être marginaux, les espaces incultes constituent un réservoir de combustibles (bois, charbon de bois) et de matières premières (bois d'œuvre, écorces, feuilles, produits résineux) indispensables à la vie domestique et surtout aux activités artisanales et protoindustrielles des villes comme des campagnes. Seront ainsi abordées les questions des modalités de gestion et d'exploitation des ressources végétales forestières et de leurs multiples usages économiques et domestiques.

## Bioraffinerie d'hier et d'aujourd'hui, présentation de l'Ecole Pluribois 2017

CHARRIER Bertrand<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IPREM Mont de Marsan  
[bertrand.charrier@univ-pau.fr](mailto:bertrand.charrier@univ-pau.fr)

**Mots clés :** Ecole thématique CNRS, PLURIBOIS 2017, bioraffinerie, interdisciplinarité

### Résumé

Cet exposé fait le point sur le projet de la 2<sup>ème</sup> édition de l'Ecole thématique PLURIBOIS, intitulée "Les bois et leurs usages, approches pluridisciplinaires de la bioraffinerie du matériau bois", qui est prévue à Mont de Marsan du 12 au 16 juin 2017 (*à noter que la demande de soutien au titre des Ecoles Thématiques du CNRS a été acceptée en décembre 2016, avec un soutien conjoint de l'INSIS, l'INC, de l'INEE et l'INSHS*). Les informations sont disponibles sur le site du GDR Bois :

<http://www6.inra.fr/gdr-sciences-du-bois/Manifestations/Les-manifestations-du-GDR/2017/Pluribois>

La première Ecole Thématique organisée par le GDR 3544 (PLURIBOIS 2015) qui visait à explorer les usages du bois au sens large, a permis de mettre en exergue que la problématique de la transformation de la biomasse, appelée de manière générique « bioraffinerie », a placé et place le matériau bois comme une ressource majeure de matière première. La « bioraffinerie » représente en effet un système de valorisation du matériau bois que l'on retrouve dans des pratiques (pré)historiques (e.g. production d'adhésifs, de poix ; charbonnage) et qui est actuellement susceptible d'approvisionner des industries employant habituellement pétrole, gaz ou charbon en autorisant aussi de nouvelles perspectives aux entreprises traditionnelles grâce à l'évolution des technologies. Elle permet de transformer la biomasse, en produits chimiques pour l'industrie pharmaceutique (molécules) et alimentaire (adjuvants), en plaquettes ou fibres pour des matériaux biosourcés pour différentes industries avec la production, plastiques, composites ou textiles etc... sans oublier la bioénergie. Toutes les parties de l'arbre peuvent faire l'objet d'une valorisation (de l'écorce au bois de cœur) ainsi que les produits connexes de sa transformation (de la plaquette à la molécule).

Il est donc proposé pour cette deuxième édition de l'ET PLURIBOIS de centrer la thématique sur la question de la « bioraffinerie » dans la mesure où elle représente aussi un enjeu pour l'industrie et l'environnement. Cette orientation est par exemple actuellement soutenue par différents plans d'action des ministères <sup>[1]</sup>, fait l'objet d'appel à projets ANR, ADEME <sup>[2]</sup>.... Elle est par ailleurs définie comme faisant partie de priorités de recherche dans le rapport interministériel « Recherche et Innovation 2025 pour la filière forêt-bois » <sup>[3]</sup>. Les nombreux besoins en lien avec cette thématique nécessitent d'approfondir les questions de recherche en s'appuyant notamment sur des actions de formation pour comprendre ses utilisations passées, ses potentialités actuelles mais aussi pour favoriser son émergence. C'est donc dans cet esprit de formations et de réflexions pluridisciplinaires qu'est organisé Pluribois 2017.

---

[1] eg. plan action « Filière matériaux de construction "biosourcés" » du MEEM.

[2] Voir notamment la feuille de route Chimie du Végétal 2014

<http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/feuille-route-r-d-filiere-chimie-vegetal-2011-7302-synthese.pdf> et l'état de l'art sur la production de molécules chimiques issues du bois en France, de septembre 2015 <http://www.ademe.fr/etat-lart-production-molecules-chimiques-issues-bois-france>.

[3] Voir : <http://institut.inra.fr/Missions/Elaborer-la-strategie-de-recherche/Animer-la-reflexion/Toutes-les-actualites/Remise-du-rapport-Foret-Bois-Recherche-Innovation-2025#>

## POSTERS / FLASH-TALK

### Posters primés

**Meilleurs posters (critères : qualité du fond scientifique, qualité de la forme et du message visuel, qualité du flash talk) - Evaluation par les participants.**

Classement réalisé par les participants via un vote en ligne (Balotilo), 170 inscrits

Session A : 64 votes exprimés - Session B : 57 votes exprimés

Session C : 51 votes exprimés - Sessions D : 39 votes exprimés

<b>A18</b>	<u>ZHOU Meng</u> , COURTIER-MURIAS Denis, FAURE Paméla, RODTS Stéphane, CARE Sabine, COUSSOT Philippe	Compréhension des mécanismes de transfert de liquide dans le bois	Laboratoire Navier Champs-sur-Marne
<b>B10</b>	<u>BURGERS Agnès</u> , MONTERO Cédric, VINCHES Marc, MARCHAL Rémy	Caractérisations physico-mécaniques de sciages de 1er choix pour la conception mécanique : Application aux pins méditerranéens	LMGC Montpellier
<b>C20</b>	<u>LAVALETTE Anne</u> , DE BUSSAC Olivier, CANILLAS Sabine, DENAUD Louis, BUTAUD Jean-Claude	Etude des paramètres de déroulage de bois de hêtre destiné à la fabrication de moules de cuisson	Panibois Marcilly-en-Villette
<b>D02</b>	<u>CARLIER Capucine</u> , BREMAUD Iris, GRIL Joseph	La sélection des bois de résonance : Caractérisation et perception des luthiers	LMGC Montpellier

**Posters les plus originaux (posters « coup de cœur » pour un ou plusieurs critères, incluant l'accroche du flashtalk) - Evaluation par les lauréats des « Thèses des Bois ».**

<b>A10</b>	<u>BONNESOEUR Vivien</u> , CONSTANT Thiéry, FOURNIER Meriem, MOULIA Bruno	Acclimatation des arbres forestiers au vent : de la perception du vent à ses conséquences sur la croissance et le dimensionnement des tiges.	PIAF/LERFOB Clermont-Fd/ Nancy
<b>B11</b>	<u>DUPLEIX Anna</u> , JULLIEN Delphine	Contributions du matériau bois des ruches à l'activité et la santé des colonies d'abeilles	LMGC Montpellier
<b>C11</b>	<u>VILLANDIER Nicolas</u> , GENEVOIS Nicolas, CHALEIX Vincent, JAUBERTY Loïc, GLOAGUEN Vincent	Biosorption du césium en solution par des écorces forestières modifiées	LCSN Limoges
<b>D09</b>	<u>BORDESSOULLES Muriel</u> , LAVIER Catherine, VAN ELSLANDE Elsa, DE VIGUERIE Laurence, CLUZEL Jean-Sébastien, MITSUTANI Takumi, MERTZ Mechtild, ASENSI AMOROS Victoria, BRAGEU Rémi	Apports de l'archéométrie à l'étude de l'architecture japonaise : le cas des pavillons des jardins Albert Kahn (Hauts-de-Seine, France)	Equipe conservation et recherche -Cité musique Paris

**Prix spécial hors concours pour le meilleur flash -talk**

<b>D05</b>	<u>LAMY Frédéric</u> , TAKARLI Mokhfi, ANGELLIER Nicolas, DUBOIS Frédéric	Apports de l'émission acoustique dans l'analyse du processus de fissuration dans le bois sous sollicitations mécanique et climatique	GEMH Egletons
------------	---	--	------------------

## Liste des posters présentés

Les résumés des posters sont classés selon l'ordre de passage dans les quatre sessions de flash-talk A, B, C et D, indiqués dans les tableaux suivant.

### Session A : Mardi 8 novembre (14h30-15h30/ pause 15h30-16h30)

Poster	Auteurs	Titres	Laboratoire Ville, pays	Page
A01	<u>AYARI Nesrine</u> , MOREL Stéphane, COUREAU Jean-Luc, COINTE Alain	Caractérisation mécanique de l'arbre sur pied : méthode statique	I2M-GCE Bordeaux	30
A02	<u>MAKOMRA Valentin</u> , POMMIER Régis, OUM LISSOUCK René, TAILLANDIER Franck, BREYSSE Denys, OHANDJA Ayina	Analyse multicritère et caractérisation structurale des produits d'Ingénierie des bois tropicaux du bassin du Congo: cas des panneaux de contre-plaqués	I2M-GCE Bordeaux	32
A03	JOFFRES Benoit, MEYMY Elsa, <u>BAUDRIT Cédric</u> , CARNUS Jean-Michel, FERNANDEZ Christophe, NDIAYE Amadou	Conception d'un livre de connaissance sur la bioéconomie circulaire de la filière Bois en Europe	I2M-INRA Bordeaux	34
A04	<u>BENSALEM Mohamed</u> , MINDEGUIA Jean-Christophe, SOMMIER Alain, PRADERE Christophe	Mesure du champ de teneur en eau dans le bois en situation de séchage ? Apports d'une technologie d'imagerie par rayonnement térahertz	I2M-TREFFLE Bordeaux	36
A05	<u>LEPOITTEVIN Camille</u> , CHARPENTIER Jean-Paul	GénoBois, plateforme de phénotypage	BIOGECO Bordeaux	38
A06	<u>SAINT CAST Clément</u> , DEFOSSEZ Pauline, MEREDIEU Céline, PAGES Loïc, YANG Ming, DANJON Frédéric	Contribution de l'ovalisation des racines à l'ancrage du Pin maritime en sol sableux	BIOGECO Bordeaux	40
A07	<u>AUDIARD Benjamin</u> , BLASCO Thierry, BROSSIER Benoit, MAZUY Arnaud, BATTIPAGLIA Giovanna, THERY-PARISOT Isabelle	Nouvelle méthode d'étude des paléo-environnements : création d'un référentiel actuel du signal isotopique présent dans une espèce clé : le pin sylvestre. Protocole et premiers résultats	CEPAM Nice	42
A08	<u>DEFOSSEZ Pauline</u> , BOSC Alexandre, BONNEFOND Jean-Marc, GARDINER Barry, GARRIGOU Didier, KUBATH Raphael	Acclimatation des arbres au vent : réponse en croissance du tronc et des racines du Pin maritime en conditions contrôlées	ISPA Bordeaux	43
A09	<u>LENGLET Jonathan</u> , COURTONNE Jean-Yves, CAURLA, Sylvain	Evaluation et représentation des flux de bois dans la filière	LERFoB Nancy	45
A10	<u>BONNESOEUR Vivien</u> , CONSTANT Thiéry, FOURNIER Meriem, MOULIA Bruno	Acclimatation des arbres forestiers au vent : de la perception du vent à ses conséquences sur la croissance et le dimensionnement des tiges.	PIAF/LERFOB Clermont-Fd/ Nancy	47
A11	<u>VERNAY Antoine</u> , MALAGOLI Philippe, GUINARD Ludivine, AMEGLIO Thierry, BALANDIER Philippe	La présence de la Molinie bleue induit une réduction rapide de la photosynthèse chez le chêne juvénile après une éclaircie	Piaf Clermont-Fd	49
A12	<u>MERLE Juliette</u> , CHARRIER EL-BOUHTOURY Fatima	Valorisation des lignines et des tanins au travers de matériaux poreux	IPREM/EPCP PAU	50
A13	<u>CABARET Thomas</u> , CHARRIER Bertrand	Étude et contrôle de l'exsudation de la résine dans le bois de Pin Maritime	xyloamat Pau	52

<b>A14</b>	<u>GERARD Jean</u> , GUIBAL Daniel, PARADIS Sébastien, CERRE Jean-Claude	Edition de l'ouvrage : Atlas des bois tropicaux - 1ère édition ? Caractéristiques technologiques et utilisations de 283 essences tropicales (et 17 tempérées) ? projet OIBT TMT-SPD 010/12 Rev.1 (M)	CIRAD-Biowoob Montpellier	<b>54</b>
<b>A15</b>	<u>ABDOU Rahamanou</u> , HABIBOU Mahamat, VASSEUR Frédéric, GERARD Jean	Valorisation et promotion des essences forestières camerounaises peu ou non utilisées	CIRAD-Biowoob Cameroun	<b>56</b>
<b>A16</b>	<u>SAHA TCHINDA Jean-Bosco</u> , NDIKONTAR Maurice Kor, DURMACAY Stéphane, THEVENON Marie France, GERARDIN Philippe	Etude des extractibles, de la durabilité naturelle et in vitro du bois de coeur de cinq essences camerounaises: Triplachiton scleroxylon (Ayous), Baillonella toxisperma (moabi), Distemonanthus Benthamianus (movingui), Pterocarpus soyauxii (padouk) et Erythrophleum suaveolens (tali)	CIRAD-Biowoob Cameroun	<b>58</b>
<b>A17</b>	<u>LE ROY Robert</u> , THEPAULT Rémi, FORET Gilles, MAROUD Rawad, CUMUNEL Gwendal, CARON Jean François	Connexion structurelle bois-béton par collage - le projet de dalle composite à bas carbone	Laboratoire Navier Champs-s-Marne	<b>60</b>
<b>A18</b>	<u>ZHOU Meng</u> , COURTIER-MURIAS Denis, FAURE Pamela, RODTS Stéphane, CARE Sabine, COUSSOT Philippe	Compréhension des mécanismes de transfert de liquide dans le bois	Laboratoire Navier Champs-s-Marne	<b>62</b>
<b>A19</b>	<u>PODGORSKI Laurence</u> , DE MEIJER Mari, LANVIN Jean-Denis	Influence de la formulation de la peinture sur ses propriétés mécaniques et sa résistance au vieillissement	FCBA Bordeaux	<b>64</b>
<b>A20</b>	<u>CHEN Zhou</u> , CHEVALIER Luc, PLED Florent, MAKHLOUF Heba, LAUNAY Eric	Identification des propriétés mécaniques de panneaux de particules et simulation stochastique du comportement de meubles	MSME Marne la vallée	<b>66</b>
<b>A21</b>	<u>VIGNON Pierre</u> , HOBALLAH Mohamad, TRAN Huyen, MOREAU Jérôme, DELISEE Christine	Optimisation des propriétés thermiques d'isolants fibreux à base de fibres de bois	I2M-CGE Bordeaux	<b>68</b>

## **Caractérisation mécanique de l'arbre sur pied : méthode de Suivi de marqueur en 3D**

AYARI Nesrine<sup>1</sup>, MOREL Stéphane<sup>1</sup>, COUREAU Jean-Luc<sup>1</sup>, COINTE Alain<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut de mécanique et d'ingénierie (I2M) et Université de Bordeaux  
[Nesrine.ayari@u-bordeaux.fr](mailto:Nesrine.ayari@u-bordeaux.fr)

**Mots clefs** : Pin maritime, Stéréovision, Suivi de marqueur, Deftac3D, Tachéomètre, Modèle en élément fini, rupture, vent, calibration locale

### **Contexte scientifique**

Ces dernières décennies, la forêt française est endommagée à cause des vents violents et dominants. La tempête Klaus a enregistré 37 106 m<sup>3</sup> de dégâts de bois en Europe (70% de chablis et 16% par volis). La compréhension de mécanismes de rupture et de la résistance du Pin Maritime est l'objectif de ma thèse.

Des essais de sollicitation de l'arbre dans les différentes directions, permettent de comprendre l'évolution de la rigidité de l'arbre face au vent. Un modèle de caractérisation mécanique à l'aide d'un modèle d'éléments finis va être mis en place. Ce modèle a pour but de coupler l'effet mécanique de tronc et l'ancrage racinaire.

### **Démarches utilisées pour les travaux**

La thèse comporte 3 parties, la première partie permet de développer une nouvelle mesure par la stéréovision qui permet de minimiser le temps de mesure et de mettre en œuvre des données en 3 dimensions. Cette méthode optique sans contact avec des caméras numériques est utilisée ou adapté pour des échelles de laboratoire Sutton et al (2008), Chean et al (2010) et Denis et al (2000) et pas à l'échelle du terrain (forêt et des grandes hauteurs d'arbres). Afin de mesurer les déplacements de chaque cible située sur l'arbre dans le plan et hors plan par rapport au repère de référence globale (Nord, Est), un calcul de déformation sera fait.

### **Suivi de marqueur en 3D**

La stéréovision à partir de deux images est une méthode de suivi de marqueurs. Dans le cadre de ma thèse, elle permet de déterminer le déplacement du tronc suivant les différentes sollicitations. Plusieurs études de recherche ont développé des méthodes de suivi de marqueurs en 2D, Robin et al (2003).

Cette méthode dépend de deux niveaux de précision. Une précision théorique telle que l'erreur de projection des deux caméras qui est issue de la calibration ainsi que les dimensions de la mire utilisée dans l'étalonnage. Un Logiciel de suivi de marqueur DEFTAC3D a été utilisé pour mesurer les déplacements. Ce logiciel est basé sur une calibration simple à l'échelle de l'objet. La calibration n'est pas faisable à l'échelle de l'arbre puisque n'est pas possible d'étalonner avec une mire de dimension de 20 \* 20 m pour un objet de 20m d'hauteur. Une calibration locale pour chaque partie de l'arbre va être abordé au cours de la thèse. Deftac3D est adapté pour des suivis de marqueur en 3D de faible déplacement, à l'échelle des éprouvettes et dans le plan de l'objet. Cette technique dépend du capteur et de dimension de la cible, [Bretagne, Valle et Dupré \(2005\)](#).

Une précision pratique nécessite une position bien adaptée des deux caméras pour viser la totalité de l'objet en présence des conditions climatiques comme l'exposition au soleil, la pluviométrie et encombrement de la forêt. Cette méthode aussi nécessite une adaptation des deux caméras Nikon D810 à la logiciel DEFTAC 3D, puisque l'acquisition ne sera pas faite à

l'aide des caméras CDD spécifique à ce logiciel, pour une meilleure précision à l'échelle de la taille de pixel.



Fig. 1 : Déplacement de cible hors plan à l'aide d'un capteur à fil : Image de gauche



Fig. 2 : Calibration locale à trois niveaux reconstruite par GIMP

Une adaptation de la méthode est en cours à l'aide des essais de simulation dans le plan et hors plan par rapport au repère de l'image de référence (fig.1), afin de construire un protocole expérimental.

Une calibration locale (fig. 2) a été testé au cours des essais (lieu de présence des cibles au long de l'objet), cette calibration locale facilite l'étalonnage à l'échelle de l'arbre. Un angle de  $40^\circ$  entre la cible et les caméras a été fixé pour une précision favorable. Pour une focale de 24mm, pour un déplacement hors plan de 105 mm, la méthode commit une erreur de 1,9 mm, équivalent à 2,7% pour une distance de 5620 mm entre les caméras et l'objet étudié a été attendu. Par la suite, Une distance focale de 24mm est définie pour les prochains essais. Un bruit gaussien a été détecté lors des essais hors plan. Un bilan des erreurs qui peut influencer le niveau de précision a été fait. Par la suite, une étude sur la résolution et la position verticale des caméras seront menés.

## Références

Sutton M.A., Yan J.H., Tiwari.V., Schreier H.W., Orteu J.J. (2008) The effect of out-of-plane motion on 2D and 3D digital image correlation measurements, *Optics and lasers in engineering*, 46, 746-757

Chean V., Robin E., El Abdi R., Sangleboeuf J-C., Houizot P., (2011), Use of the mark-tracking method for optical fiber characterization, *Optics & Laser Technology*, 43; 1172-1178

Bretagne N., Valle V., Dupré J.C., (2005), Development of the marks tracking technique for strain field and volume variation measurements, *NDT&E International*, 38, 290-298

Denis S., Bremand F., Development of a stereoscopic optical strain measurement technique: application of maize roots, *IUTAM Symposium on Advanced Optical Methods and Applications in Solid Mechanics*, 643-650

Robin E., Dupré J.C., Brémand F., (2003), Détermination de la déformée du tronc et des caractéristiques mécaniques des racines de peupliers par méthodes optiques, 16<sup>ème</sup> Congrès Français de Mécanique, Nice

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

MAKOMRA Valentin <sup>1,2</sup>, POMMIER Régis <sup>1</sup>, OUM LISSOUCK René <sup>1,2</sup>,  
 TAILLANDIER Franck <sup>1</sup>, BREYSSE Denys <sup>1</sup>, OHANDJA Ayina <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Mechanic and Engineering (I2M-GCE). University of Bordeaux, UMR 5295.351  
 Cours de la Libération. 33405 Talence cedex. France.

<sup>2</sup> Laboratory of Mechanics and Materials (LMM). University of Yaounde I. P.O. Box 8390  
 Yaounde. Cameroon

[valentin.makomra@u-bordeaux.fr](mailto:valentin.makomra@u-bordeaux.fr)

**Mots clefs** : Contreplaqué, Etude multicritère, hydromécanique

### Introduction

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 [1] 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 a permis de sélectionner 06 essences encore non valorisées par l'ingénierie. la technologie du collage du bois vert étant 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. Ces plis et contreplaqués 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 oeuvre sous forme de contreplaqués.

### Etude multicritère et résultat

Les critères permettant de sélectionner les essences de bois pour les produits contreplaqués ont tenu compte des aspects écologique, économique, social, technologique et mécanique. 12 critères de choix ont été retenus : l'indice de régénération, menace d'extinction, volume exploitable, résistance mécanique, déroulabilité, collabilité, retrait radial, pente de fil, résistance aux insectes, aux champignons, aux termites et usage alimentaire ou médical. La base des données de Tropix7 [2] a permis d'identifier 97 essences de bois. La méthode d'Aide à la Décision Multicritère (ELECTRE III et ELECTRE TRI) [3] a permis de catégoriser et d'hiérarchiser les essences suivant les trois classes d'usage des contreplaqués. Pour chaque classe, l'analyse de sensibilité liée à l'influence des variations des données, des poids affectés à nos critères et famille de critères, les seuils de concordance et de discordance et de véto a donné 24 configurations. Le calcul aux fractiles à 5%, 10% et 15% a permis sur la base d'un compromis très élevé, de retenir les essences selon les classes d'usage comme suit :

Tableau 1 : Classement des essences suivant le milieu d'utilisation

Usage extérieur (UE)	Usage extérieur sous abri (UEA)	Usage intérieur (UI)
Bete ; Kanda ; Angueuk ; Lotofa ; Limbali	Dabema ; Ebiara yde ; Bomanga ; Mambode	Ilomba ; Aningre A ; Aningre R ; Akossika ; Fromager ; Ekop Ngombe gf ; Longhi

Un choix de 06 essences encore non valorisées par l'ingénierie a été fait à savoir : le Bété, le lotofa, le Dabéma, l'Ilomba, l'AningreR et le Fromager. La figure 1 ci-dessous présente la comparaison plus restreinte des essences à usage en milieu extérieur en fonction des critères au cours de laquelle l'essence bété a été retenue.

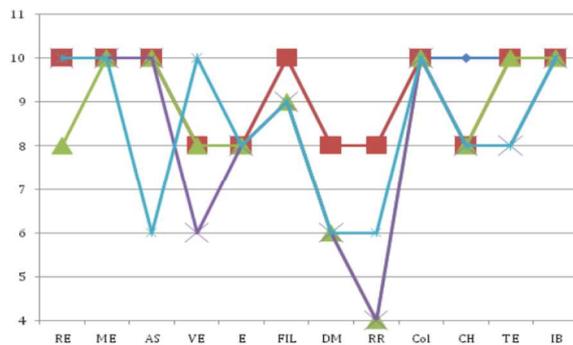


Fig. 1 : Comparaison des essences à usage en milieu extérieur

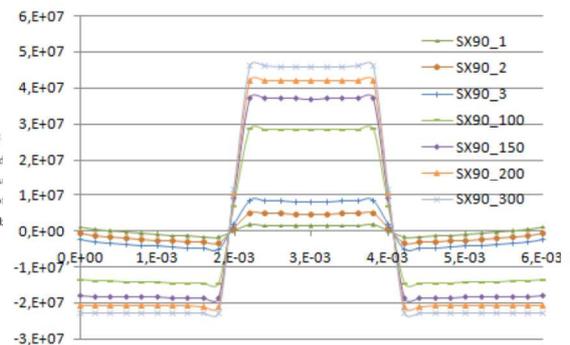


Fig. 2 : Evolution des contraintes internes au séchage en fonction du pas du temps pas= 600s.

### Modélisation du comportement hydromécanique

La technologie du collage du bois vert a été choisie car les essences de bois sont généralement difficiles à sécher. 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. La figure 2 présente l'évolution des contraintes internes au séchage au pas du temps pas= 600s.

### Conclusion

La méthode multicritère a permis de classer les essences et spécifier les plus importants pour le produit contreplaqué selon les classes d'utilisations. Pour chaque classe d'utilisation, des contraintes et déformations pendant le séchage ont été déterminées.

### Références

- [1] R. Oum Lissouck (2011) : Classification multicritère et collage structural d'essences de bois du bassin du Congo, limitant l'impact sur la biodiversité, thèse, 154p.
- [2] B. Roy (1985) Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision : Méthodes et Cas. Economica, Paris, 1985
- [3] CIRAD. (2011) Tropix 7.0 : Synthèse des Caractéristiques technologiques de 245 essences tropicales (Technological Characteristics of 245 tropical species).

## Conception d'un livre de connaissance sur la bioéconomie circulaire de la filière Bois en Europe

JOFFRES Benoit<sup>1</sup>, MEYMY Elsa<sup>2</sup>, BAUDRIT Cédric<sup>2</sup>, CARNUS Jean-Michel<sup>1</sup>,  
FERNANDEZ Christophe<sup>2</sup>, NDIAYE Amadou<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INRA, EFPA, Centre de Recherche Bordeaux Aquitaine, 33610 Pierroton, Cestas, France

<sup>2</sup>INRA, I2M, USC 1368, F-33400 Talence, France.

[cbaudrit@bordeaux.inra.fr](mailto:cbaudrit@bordeaux.inra.fr)

**Mots clefs :** Bioéconomie, Bois, Infrastructures de recherche, Ingénierie des connaissances.

### Introduction

Afin de faire face aux enjeux climatiques et diminuer la dépendance aux ressources fossiles des pays européens, de nombreux programmes de recherche de substituts se sont récemment mis en place en Europe. En tant que première ressource de carbone renouvelable terrestre, un intérêt certain est porté à l'utilisation de la biomasse lignocellulosique. Si des filières basées sur les ressources agricoles émergent, celles issues du bois sont encore peu viables économiquement. ERIFORE (European Research Infrastructure for Circular Forest Bioeconomy) est un projet du programme Horizon 2020 qui vise à développer une approche circulaire de la bioéconomie de la ressource forestière afin d'accroître cette compétitivité : la finalité est d'offrir à la communauté scientifique un accès aux différentes technologies intervenant le long de la chaîne de la transformation du bois via des collaborations afin de faciliter le développement et la commercialisation de nouveaux procédés et produits issus du bois. Par l'approche circulaire, l'intérêt du consortium est surtout porté vers les voies de valorisation peu développées telles que la production de biomolécules, textiles, bioplastiques, bio-composites, et biocarburants...

Dans ce cadre, un recensement des groupes de recherche, des réseaux de coopération et des infrastructures physiques et virtuelles a été réalisé en Europe. Il a mis en évidence une offre technique permettant de couvrir un développement sur l'ensemble de la chaîne de transformation (voir les quatre domaines technologiques de la Fig. 1), de l'échelle laboratoire à l'échelle pilote voire démonstrateur (ERIFORE (2016)). Face aux caractères hétérogènes des connaissances manipulées dues aux nombreuses disciplines en interactions (chimie, physique, biologie, écologie, ingénierie, économie...), il est nécessaire de proposer une interface capable de capitaliser et de fédérer dans un cadre formel et unificateur ces connaissances.

### Livre de connaissances

Un livre numérique de connaissances recensées (Jmal et al. (2011)) basé sur le formalisme d'hypergraphe sémantique a été développé. L'hypergraphe se compose de cartes conceptuelles (Fig. 2) décrivant chaque concept (domaines de recherches, infrastructures, équipes de recherches...) interconnectées par des relations ontologiques (taxonomique, méréologique et du domaine) et des hyperliens permettant de descendre dans la granularité des descriptions. Le livre des connaissances est ainsi constitué d'un réseau de ces cartes conceptuelles (Fig. 1) dans lequel on peut naviguer grâce à des liens hypertextes. Des fiches de connaissances contenant des informations détaillées liées à un concept viennent également compléter le livre. Le livre a été implémenté avec des outils Web 2.0 et est donc accessible via l'Internet.

### Conclusion

Ce livre de connaissances a permis de formaliser les données issues du recensement des infrastructures internes au consortium ERIFORE. Malgré l'hétérogénéité des informations

recueillies, cette structuration de la connaissance a permis de minimiser la désorientation et la charge cognitive de l'utilisateur et ainsi favoriser l'assimilation des connaissances. Les propriétés algébriques des relations ontologiques mises en œuvre permettent un raisonnement logique automatisable sur l'hypergraphe constitué (Jmal et al. (2011)).

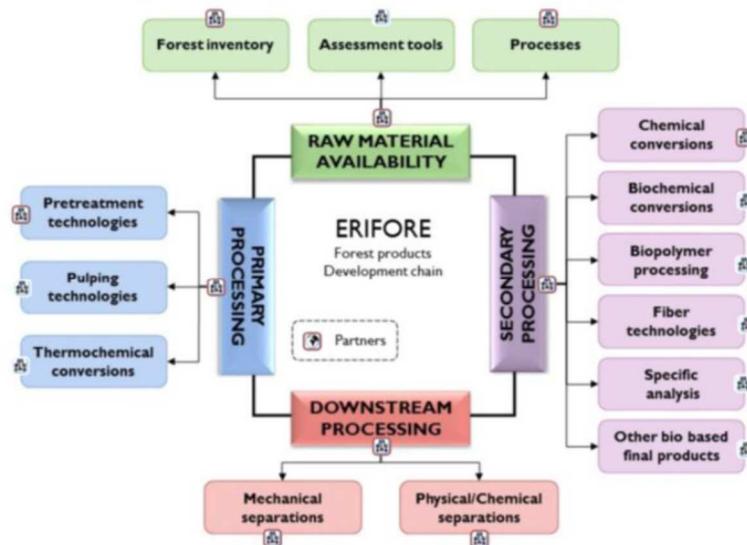


Fig. 1 : Page d'accueil du livre de connaissance représentant les quatre domaines technologiques inclus dans ERIFORE (Rawmaterial availability, Primary processing, Secondary processing, Downstream processing) et les sous-domaines correspondants

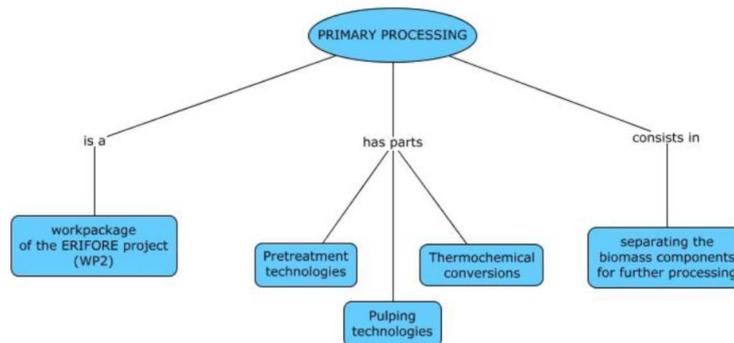


Fig. 2 : Carte conceptuelle correspondant au domaine de recherche « Primary processing »

## Références

ERIFORE (2016), Report on the other main European and global research providers in the field of forest biomass material sourcing and availability,

ERIFORE (2016), Report on the other main European and global research providers in the field of forest biomass primary processing,

ERIFORE (2016), Report on the other main European and global research providers in the field of forest biomass secondary processing,

Jmal A., Michaud F., Irle M., Ndiaye A. (2011). Structuring and representation of scientific knowledge for a transfer through an electronic knowledge-book. IEEE International Conference on Service-Oriented Computing and Applications: 1-7.

## Mesure du champ de teneur en eau dans le bois en situation de séchage – Apports d’une technologie d’imagerie par rayonnement térahertz

BENSALEM Mohamed<sup>1</sup>, MINDEGUIA Jean-Christophe<sup>1</sup>, SOMMIER Alain<sup>1</sup>, PRADERE Christophe<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université de Bordeaux, UMR CNRS 5295 – I2M, Talence, France  
[mohamed.bensalem@u-bordeaux.fr](mailto:mohamed.bensalem@u-bordeaux.fr)

**Mots clefs :** Bois, coefficient d’absorption, teneur en eau, terahertz.

### Résumé

Les transferts hydriques durant le séchage de produits structuraux à base bois collés à l’état vert engendrent des sollicitations mécaniques dans le bois lui-même ; et surtout au niveau des interfaces de collage. Des fissures dans le bois et la délamination des interfaces de collage peuvent donc être observées, compromettant la mise sur le marché du produit.

Dans ce sens-là, Clouet et al (2014) a identifié les paramètres ayant une influence sur les sollicitations hydromécaniques induites par le séchage. Il a étudié le comportement hydromécanique de bilames collés par mesure de déplacements et déformations au cours d’un séchage en utilisant la technique de corrélation d’images numériques. Un modèle (éléments finis) de séchage par diffusion de vapeur d’eau couplé à un modèle élastique orthotrope a été développé afin de modéliser le comportement hydromécanique des éprouvettes. L’absence de mesure du champ d’humidité dans les échantillons en cours de séchage ne permet toutefois pas une validation complète du modèle numérique.

Plusieurs techniques ont été utilisées pour mesurer la teneur en eau dans les matériaux poreux, telles que les rayons X, Zillig (2009) ou par imagerie neutronique (IN), Sedighi-Gilani (2012). Ces techniques peuvent s’avérer dangereuses (rayons X) ou très coûteuses (IN).

Une technique d’imagerie TéraHertz (figure 1), moins coûteuse et sans danger pour l’opérateur est développée. Elle est basée sur l’exploitation de l’intensité des signaux transmis à travers des échantillons de bois lors d’une phase de séchage ou d’humidification.

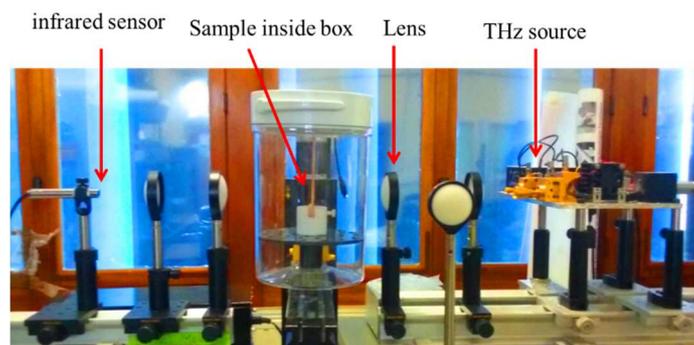


Figure 1 : Banc à spectroscopie térahertz avec échantillon de bois.

Cette technique permet de mesurer les coefficients d’absorption de matériaux poreux (bois) et valider expérimentalement la relation théorique qui relie ces coefficients avec la teneur en eau. Un modèle théorique a été développé, permettant d’obtenir le coefficient d’absorption et la masse volumique de l’échantillon du bois sec (pin maritime dans cette étude).

À partir de ce modèle, et selon le coefficient d’atténuation de l’échantillon et de l’eau, la teneur en eau moyenne de l’échantillon de bois peut être estimée. Afin de valider expérimentalement cette équation pour le pin maritime, plusieurs échantillons de dimension 100x40x3 mm ont été

confinés à différentes humidités relatives ou activités d'eau AW (0, 33, 75, 87 et 93%). La figure 2 représente l'absorbance moyenne mesurée en fonction de la teneur en eau mesurée de l'échantillon, ainsi qu'une courbe de corrélation linéaire.

Les mesures expérimentales semblent confirmer les prédictions du modèle théorique, à savoir une relation linéaire entre l'absorbance du matériau au rayonnement térahertz et la teneur en eau moyenne du matériau traversé.

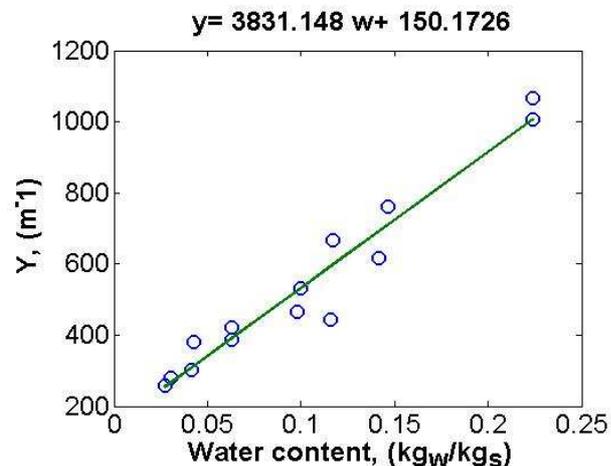


Figure 1: Relation expérimentale entre l'absorbance de l'échantillon de pin maritime et sa teneur en eau mesurée.

Sur la figure 2, l'ordonnée d'origine correspond au coefficient d'atténuation du bois sec, estimé ici à  $150 \text{ m}^{-1}$ .

D'après la figure 2, la pente est estimée à  $3831 \text{ m}^{-1}$  ce qui permet de calculer la masse volumique du pin maritime en connaissant le coefficient d'atténuation de l'eau ( $10000 \text{ m}^{-1}$ ) et sa masse volumique ( $1000 \text{ kg.m}^{-3}$ ). La masse volumique déterminée est ainsi de  $383 \text{ kg.m}^{-3}$ , ce qui semble cohérent pour du pin maritime.

Cette étude préliminaire montre que la technique THz peut être un outil efficace de mesure, in-situ et sans contact de la teneur en eau de matériaux poreux en connaissant la masse volumique et le coefficient d'absorption du matériau sec. Alternativement, la technique permet de mesurer la masse volumique du matériau sec, sous réserve de connaître sa teneur en eau lors de l'essai. La future étape de ce travail consistera à mesurer le champ de teneur en eau dans un échantillon en cours de séchage, nous permettant de déterminer les coefficients de diffusion massique du bois, idéalement dans ses différentes directions d'anisotropie.

## Références

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

Marjan Sedighi-Gilani, Michele Griffa, David Mannes, Eberhard Lehmann, Jan Carmeliet, Dominique Derome. (2012) Visualization and quantification of liquid water transport in softwood by means of neutron radiography, International Journal of Heat and Mass Transfer, 55 6211-6221.

Wolfgang Zillig. (2009) Moisture transport in wood using a multiscale approach, PhD thesis of the catholic university of Louvain.

## GénoBois, plateforme de phénotypage

LEPOITTEVIN Camille<sup>1</sup>, CHARPENTIER Jean-Paul<sup>2</sup>

<sup>1</sup>BIOGECO, INRA, Univ. Bordeaux, 33615 Pessac, France

<sup>2</sup>UR0588 AGPF, INRA, 45075 Orléans, France

[camille.lepoittevin@pierroton.inra.fr](mailto:camille.lepoittevin@pierroton.inra.fr)

**Mots clés :** cavitation, chimie, dendrochronologie, génétique, histologie, microdensitométrie, phénotypage, spectrométrie proche infrarouge

### Enjeux scientifiques

Le Plateau Technique GénoBois constitue un outil de phénotypage pour progresser dans l'analyse de grandes problématiques d'avenir concernant les arbres et la forêt :

- influence de l'amélioration génétique sur la productivité des arbres et la qualité du bois ;
- influence des changements globaux sur le fonctionnement et les caractéristiques des arbres.

### Objectifs du plateau

- Fournir à la recherche et à l'industrie un plateau commun pour caractériser le bois et comprendre les processus biologiques et écologiques impliqués dans l'élaboration de ce tissu.
- Comprendre les déterminants environnementaux et génétiques de la variabilité du bois des forêts de plantation comme des forêts naturelles.
- Fournir des outils de phénotypage pour identifier de nouveaux génotypes performants pour la sylviculture.

GénoBois répond aux besoins suscités par les travaux de génétique quantitative, d'amélioration génétique des arbres forestiers, d'écophysiologie, d'anatomie, de biochimie et de dendrochronologie.

Ce plateau offre un potentiel de mesures, d'analyses et de caractérisation des propriétés physico-chimiques du bois à moyen débit et dans les conditions de précision et qualité requises par la communauté scientifique. Ces moyens sont mis à disposition des recherches INRA et externes à l'Institut pour favoriser les synergies. GénoBois offre des possibilités d'accueil encadré de chercheurs (par exemple au travers de projets européens tels que le Transnational Access T4F).

Le plateau est organisé en réseau associant plusieurs laboratoires ou ateliers, situés à l'INRA Orléans, l'INRA Bordeaux-Pierroton et l'Université de Bordeaux.

### Techniques et équipements disponibles sur le plateau

#### ▪ Histologie

Le laboratoire d'histologie du plateau GénoBois réalise des analyses sur l'anatomie du bois et de ses tissus. Préparation des échantillons (prélèvement et fixation aldéhydique, inclusion en paraffine et en résines), réalisation des coupes sur matériel frais ou inclus (au microtome), congelé (au cryostat) et des coupes semi-fines ou ultra-fines (à l'ultra-microtome), et leur traitement (coloration, localisation par immunomarquage) : le laboratoire est alors capable via microscopie photonique et microscopie confocale d'analyser et d'interpréter les images conçues afin d'effectuer des caractérisations anatomiques.

#### ▪ Biochimie et chimie du bois

Le laboratoire de biochimie du plateau GénoBois réalise des analyses biochimiques et chimiques déterminant la composition du bois : préparation spécifique des échantillons

(découpe, broyage), extractions, dosages et chromatographies en phase liquide à haute performance. Ces analyses sont possibles pour les polymères du bois (lignines, cellulose), les extractibles (polyphénols) mais aussi pour les sucres solubles, les protéines et les ARN. L'établissement de modèles de calibration et prédiction en Spectrométrie Proche Infra Rouge (SPIR) est également un outil d'évaluation indirecte de la composition chimique du bois disponible sur le plateau (permet des mesures moyen à haut débit). Un spectromètre proche infrarouge équipé pour l'imagerie haute résolution est également disponible.

▪ Microdensitométrie

Les ateliers GénoBois permettent la préparation spécifique des échantillons (découpe, préparation de planchettes), la radiographie aux rayons X puis l'analyse d'image permettant d'estimer très précisément la densité du bois inter-cernes et intra-cernes. Un nouvel équipement unique en France est en développement pour permettre l'obtention de profils microdensitométriques sans faire appel aux rayons X, avec une technique basée sur la conduction électrique haute fréquence.

▪ Menuiserie, broyage à haut débit

Les ateliers GénoBois sont aussi des lieux qui permettent des travaux de découpe du bois et de menuiserie, principalement utiles à la préparation des échantillons en amont des analyses microdensitométriques ou chimiques. Le broyage haut débit et la distribution de poudre de bois dans des contenants de stockage, de SPIR ou de chimie est assuré par des robots construits sur mesure pour le plateau, qui sont capables de broyer une centaine d'échantillons en 24 heures de manière automatisée.

▪ Résistance à la sécheresse, cavitation

Le CaviPlace de GénoBois permet d'observer la résistance à la sécheresse des plantes. Différentes études ou observations y sont réalisables : caractérisation de courbes de vulnérabilité à la sécheresse (Cavitron, chambre à cavitation, XYLE'M), mesure de l'embolie native de tige via le XYLE'M, suivi de potentiel hydrique.

## Contribution de l'ovalisation des racines à l'ancrage du Pin maritime en sol sableux

SAINT CAST Clément<sup>1,2</sup>, DEFOSSEZ Pauline<sup>2</sup>, MEREDIEU Céline<sup>1</sup>,  
PAGES Loïc<sup>3</sup>, YANG Ming<sup>2</sup>, DANJON Frédéric<sup>1</sup>

<sup>1</sup>BIOGECO, INRA, Univ. Bordeaux, 33610 Cestas, France

<sup>2</sup>ISPA, INRA, Bordeaux Science Agro, 33140 Villenave d'Ornon, France

<sup>3</sup>PSH, INRA, 84914 Avignon, France

[clement.saint-cast@u-bordeaux.fr](mailto:clement.saint-cast@u-bordeaux.fr)

**Mots clefs :** Architecture racinaire, stabilité mécanique, *Pinus pinaster*, acclimatation, biomécanique, ABAQUS, modèle de développement

L'architecture racinaire des arbres présente une diversité importante entre espèces (systèmes racinaires pivotants, traçants,...). Au cours du développement de l'arbre, l'architecture racinaire se complexifie en fonction des stades de croissance et des conditions pédologiques (texture, humidité, richesse...). De plus, le système racinaire subit indirectement les contraintes exercées par le vent sur les parties aériennes. Il répond à ces stimuli mécaniques par des modifications structurelles (ovalisation, croissance radiale, propriétés mécaniques du bois...). Cette acclimatation au vent permet à l'arbre d'augmenter sa résistance au déracinement (Danjon et al., 2005).

Depuis une trentaine d'années, des modèles de croissance racinaire sont développés (Dunbabin et al., 2013). Parallèlement, des modèles de biomécanique (Dupuy et al., 2007 ; Yang et al., 2014) ont été créés afin de modéliser la mécanique de la structure d'un système ramifié. Or, pour comprendre les mécanismes en jeu dans la stabilité des arbres au cours de leur développement, il faut simuler conjointement les dynamiques de développement des racines soumises à des sollicitations externes et leur comportement mécanique.

Notre objectif final consistera à coupler deux modèles, l'un décrivant la croissance racinaire et l'autre la mécanique du système tronc-sol-système racinaire. Notre espèce modèle est le pin maritime, en sols sableux, pour laquelle nous disposons d'une grande base de données de systèmes racinaires numérisés en 3D (Danquechin Dorval et al., 2016), un modèle de croissance racinaire (Root Typ ; Pagès et al., 2004) et un modèle biomécanique (RootAnchor ; Yang et al., 2014, 2016). Ce dernier a déjà été calibré pour cette espèce et la possibilité d'utilisation de section ovale a été implémentée. Il s'agira de calculer des distributions de paramètres à partir de la base de données (BDD) de système racinaire structurée en chronoséquence afin de calibrer le modèle de croissance racinaire pour le pin maritime, puis d'examiner le comportement mécanique des systèmes racinaires simulés dans le modèle biomécanique.

Dans cette première étude, nous nous sommes intéressés au gain en résistance apporté par l'ovalisation des racines. Pour cela, des maquettes simplifiées de systèmes racinaires de pins maritimes de 13 ans, ont été construites à partir de données d'arbres semés de 10 m de haut (Danquechin Dorval et al. 2016). Nous avons décrit la distribution spatiale de l'ovalisation au niveau du système racinaire (Fig. 1) en utilisant les données de la BDD.

Le gain de résistance de cette acclimatation a été quantifié en réalisant des treuillages virtuels dans la direction du vent dominant en comparant les maquettes avec et sans ovalisation à volume de racines constant.

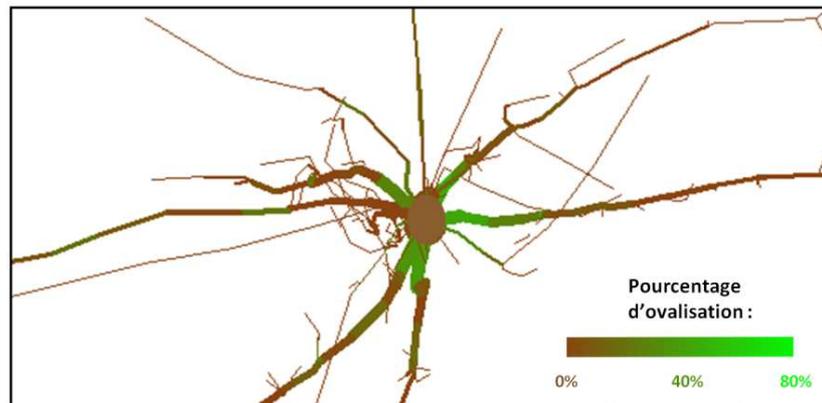


Fig. 1 : Représentation graphique du pourcentage d'ovalisation pour un système racinaire de pin maritime de 13 ans, vue de dessus.

## Références

- Danjon F., Fourcaud T., Bert D. (2005) Root architecture and wind-firmness of mature *Pinus pinaster*, *New Phytologist*, 168, 387-400
- Danquechin Dorval A., Meredieu C., Danjon F. (2016) Anchorage failure of young trees in sandy soils is prevented by a rigid central part of the root system with various designs, *Annals of Botany*, doi:0.1093/aob/mcw098
- Dunbabin V. M., Postma J. A., Schnepf A., Pagès L., Javaux M., Wu L., Leitner D., Chen Y. L., Rengel Z., Diggle A. J. (2013) Modelling root-soil interactions using three-dimensional models of root growth, architecture and function, *Plant Soil*, 372, 93-124
- Dupuy L. X., Fourcaud T., Lac P., Stokes A. (2007) A generic 3d finite element model of tree anchorage integrating soil mechanics and real root system architecture, *American Journal of Botany*, 94, 9, 1506-1514
- Pagès L, Vercambre G, Drouet JL, Lecompte F, Collet C, Le Bot J (2004) Root Typ: a generic model to depict and analyse the root system architecture, *Plant Soil*, 258, 103-119
- Yang M., Défossez P., Danjon F., Fourcaud T. (2014) Tree stability under wind: simulating uprooting with root breakage using a finite element method. *Tree stability under wind: simulating uprooting with root breakage using a finite element method*, *Annals of Botany*, 114, 695-709
- Yang M., Défossez P., Danjon F., Dupont S., Fourcaud T. (2016) Which root architectural elements contribute the best to anchorage of *Pinus* species? Insights from in silico experiments, *Plant Soil*, doi:10.1007/s11104-016-2992-0

## **Nouvelle méthode d'étude des paléo-environnements : création d'un référentiel actuel du signal isotopique présent dans une espèce clé : le pin sylvestre. *Protocole et premiers résultats***

AUDIARD Benjamin<sup>1</sup>, BLASCO Thierry<sup>2</sup>, BROSSIER Benoit<sup>3</sup>, MAZUY Arnaud<sup>1</sup>,  
BATTIPAGLIA Giovanna<sup>3</sup>, THERY-PARISOT Isabelle<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université côte d'azur, CNRS, CEPAM, UMR 7264, 06300 Nice, France

<sup>2</sup>CNRS-UPMS Univ Paris 6, UMR 7093 LOV, plateforme spectrochimie isotopique, 06230 Villefranche/mer, France

<sup>3</sup>Institut des Sciences de l'Evolution, Université de Montpellier, CNRS, IRD, EPHE, Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier Cedex 05, France

[benjamin.audiard@cepam.cnrs.fr](mailto:benjamin.audiard@cepam.cnrs.fr)

**Mots clefs :** Archéosciences, Bois, Charbons, Climat, Isotopes, Paléo-environnement

### **Résumé**

La compréhension des changements climatiques est un enjeu primordial, d'une part, si l'on veut appréhender la complexité de l'évolution des paysages et de leurs environnements forestiers, et d'autre part, si l'on veut mesurer leurs impact sur l'histoire socio-technico-culturelle des sociétés passées et actuelles.

Dans cette optique, les dernières décennies ont vu fleurir de nouvelles méthodes d'études environnementales. Parmi elles, l'utilisation du signal isotopique du bois a révélée des résultats prometteurs. Cependant, si ces études sont en pleine essor, les études sur charbons sont encore peu nombreuses. Considérant que les charbons représentent l'essentiel des vestiges ligneux retrouvés pour les périodes anciennes, l'expansion des études isotopiques au sein de ce corpus apparait alors indispensable.

Dans notre étude, nous avons décidé de créer un référentiel actuel du signal isotopique présent dans une espèce clé : le pin sylvestre, à l'état de bois et de charbon. Je vous présente, ici, à la fois le protocole que j'ai mis en place et les premiers résultats de mes analyses.

## Acclimatation des arbres au vent : réponse en croissance du tronc et des racines du Pin maritime en conditions contrôlées

DEFOSSEZ Pauline<sup>1</sup>, BOSC Alexandre<sup>1</sup>, BONNEFOND Jean-Marc<sup>1</sup>, GARDINER Barry<sup>1</sup>, GARRIGOU Didier<sup>1</sup>, KUBATH Raphael<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ISPA, Bordeaux Sciences Agro, INRA, 33140, Villenave d'Ornon, France

[Pauline.Defossez@bordeaux.inra.fr](mailto:Pauline.Defossez@bordeaux.inra.fr)

**Mots clefs :** acclimatation, changement climatique, croissance secondaire, pinus pinaster, racines, thigmomorphogenèse, vents chroniques

Le changement climatique modifie le fonctionnement des arbres et des écosystèmes forestiers en général. Il a un impact sur la croissance et sur le bois produit. Comprendre comment les arbres répondent à ces changements environnementaux et quels sont ces effets sur la production et la qualité du bois est donc primordial. En effet les forêts et le matériau bois sont au cœur d'enjeux considérables pour l'environnement et l'économie verte. Si des recherches ont permis de mieux comprendre l'influence de la température et des sécheresses sur la croissance et la survie des écosystèmes, les effets liés aux vents chroniques sont encore peu connus

Des travaux récents ont permis de mieux comprendre les mécanismes de réponse de l'arbre aux vents chroniques « thigmomorphogenèse », étymologiquement « évolution de la croissance en réponse au touché ». De nombreux auteurs ont observé ce phénomène : dans un premier temps chez des végétaux herbacés (Hunt & Jaffe, 1980 ; Jaffe et al., 1984) mais aussi chez des végétaux ligneux, angiospermes (Telewski & Pruyn, 1998, Bonnesoeur, 2016) comme gymnospermes (Telewski & Jaffe, 1986, Lundqvist & Valinger 1996 ; Moore et al., 2014). Dans la plupart des études qui ont porté sur des végétaux ligneux, la réponse thigmomorphogénétique observée se traduit par une augmentation de la croissance radiale et une diminution de la croissance en hauteur du tronc. Elle permet à l'arbre d'adopter une structure plus trapue, mieux à même de résister au vent (Brüchert & Gardiner, 2006). Récemment Mouliá et al. (2015) ont proposé un modèle S3M pour « Sum of Strain Sensing Model » qui décrit la croissance radiale en fonction de la déformation. Ce modèle a été établi à partir de mesures sur le peuplier puis confirmé par des mesures sur le hêtre (Bonnesoeur et al. 2016).

Notre démarche générale s'inscrit dans un objectif de modélisation de la croissance de l'arbre à l'échelle de l'individu soumis à des contraintes mécaniques liées au vent. Avec le développement de modèles de croissance mécanistes (Dufrêne et al. 2005, Moreaux et al. 2011), il est maintenant possible d'intégrer ces nouvelles connaissances sur la thigmomorphogenèse pour modéliser les effets du vent et quantifier leur importance. Cette approche de modélisation est indispensable car les changements rapides du climat rendent difficile l'utilisation de relations semi-empiriques de croissance du bois estimées sur le climat passé. Les recherches fondamentales actuelles se concentrent sur la formation du cambium sous contraintes externes à l'échelle cellulaire (Fournier et al. 2013). Des approches mécanistes macroscopiques sont peu développées.

L'objectif de cette étude était donc d'acquérir des connaissances sur la réponse du pin maritime aux vents chroniques afin d'alimenter une modélisation intégrée à l'échelle de l'arbre. Pour cela nous nous sommes inspirés des travaux sur le hêtre de l'équipe de l'UMR LERFOB et de l'UMR PIAF (Bonnesoeur et al. 2016) via une expérimentation qui vise à établir une courbe de réponse des arbres en croissance secondaire à des vents chroniques non catastrophiques. Notre hypothèse de base était que des individus fortement exposés au vent auraient une croissance radiale du tronc et des racines supérieure à celle d'individus moins exposés. Nous avons exploré

la réponse locale en flexion du tronc et des racines de soutien à des déformations simulant les vents chroniques caractéristiques de la Région Aquitaine. Les résultats mettent en évidence un effet rapide et clair des déformations mécaniques simulant le vent sur la croissance radiale du tronc et des racines de structure du Pin maritime, et ce dès les faibles taux de déformations en flexion du tronc.

## Références

- Bonnesoeur V, Constant T, Moulia B, Fournier M (2016) Forest trees filter chronic wind-signals to acclimate to high winds. *New Phytol* 210:850–860. doi: 10.1111/nph.13836
- Brüchert, F. & Gardiner, B. (2006) The effect of wind exposure on the tree aerial architecture and biomechanics of Sitka spruce (*Picea sitchensis*, Pinaceae). *American journal of botany*, 93, 1512–1521.
- Dufrêne, E., H. Davi, C. Francois, G. le Maire, V. Le Dantec, and A. Granier 2005. Modelling carbon and water cycles in a beech forest Part I: model description and uncertainty analysis on modelled NEE. *Ecological Modelling* 185:407–436.
- Fournier M, Dlouha J, Jaouen G, Almeras T (2013) Integrative biomechanics for tree ecology: beyond wood density and strength. *J Exp Bot* 64:4793–4815. doi: 10.1093/jxb/ert279
- Hunt, E.R. & Jaffe, M.J. (1980) Thigmomorphogenesis: The Interaction of Wind and Temperature in the Field on the Growth of *Phaseolus vulgaris* L. *Annals of Botany*, 45, 665 - 672.
- Jaffe, M.J., Telewski, F.W. & Cooke, P.W. (1984) Thigmomorphogenesis: On the mechanical properties of mechanically perturbed bean plants. *Physiologia Plantarum*, 62, 73–78.
- Lundqvist, L. & Valinger, E. (1996) Stem diameter growth of Scots pine trees after mechanical analysis of genetically different sibs of *Pinus taeda* in response to mechanical increased mechanical load in the crown during dormancy and (or) growth. *Annals of botany*, 77, 59–62.
- Moore, J.R., Cown, D.J., Lee, J.R., McKinley, R.B., Brownlie, R.K., Jones, T.G. & Downes, G.M. (2014) The influence of stem guying on radial growth, stem form and internal resin features in radiata pine. *Trees*, 28, 1197–1207.
- Moreaux V, Lamaud E, Bosc A, et al (2011) Paired comparison of water, energy and carbon exchanges over two young maritime pine stands (*Pinus pinaster* Ait.): effects of thinning and weeding in the early stage of tree growth. *Tree Physiol* 31:903–921. doi: 10.1093/treephys/tpr048
- Moulia, B., Coutand, C. & Julien, J.-L. (2015) Mechanosensitive control of plant growth: bearing the load, sensing, transducing, and responding. *Frontiers in Plant Science*, 6.
- Telewski, F.W. & Jaffe, M.J. (1986) Thigmomorphogenesis: anatomical, morphological and mechanical analysis of genetically different sibs of *Pinus taeda* in response to mechanical perturbation. *Physiologia Plantarum*, 66, 219–226.
- Telewski, F.W. & Pruyn, M.L. (1998) Thigmomorphogenesis: a dose response to flexing in *Ulmus americana* seedlings. *Tree physiology*, 18, 65–68.

## Evaluation et représentation des flux de bois dans la filière

LENGLET Jonathan<sup>1</sup>, COURTONNE Jean-Yves<sup>2</sup>, CAURLA, Sylvain<sup>3</sup>

<sup>1</sup>AgroParisTech, Nancy

<sup>2</sup> INRIA équipe STEEP, CERAG – Université de Grenoble, Artelia, Grenoble

<sup>3</sup> INRA Laboratoire d'économie forestière, Nancy

[jonathan.lenglet@agroparistech.fr](mailto:jonathan.lenglet@agroparistech.fr)

**Mots clefs :** analyse de flux de matière, filière forêt-bois, prospective

### Comblant un manque de données centralisées, cohérentes et objectives

Les politiques nationales encouragent aujourd'hui la production de bois pour l'énergie mais également de produits bois à longue durée de vie dans la filière. Toutefois, l'industrie de la transformation souffre de difficultés à s'adapter, ce qui se traduit par un export net de produits bruts et un import net de produits transformés. Ceci creuse à la fois le déficit de la balance commerciale pour les produits bois et limite la création de richesse locale dans les territoires ruraux (Koebel et al., 2016; Levet et al., 2014). Pour autant, le diagnostic précis des maux dont souffre la filière est rendu difficile par la diversité de sources comptabilisant les flux et les stocks de produits bois (SSP, Ademe, IGN, INSEE, FCBA, SitraM, fédérations professionnelles). Par ailleurs ces sources utilisent souvent des unités différentes, compliquant la lisibilité de l'ensemble. De plus, de grandes incertitudes existent pour certaines bases de données, notamment en ce qui concernent la production et la consommation de bois pour l'énergie.

L'objectif de ce projet est de contribuer à faciliter un diagnostic global en réalisant une analyse des flux de bois à l'échelle nationale en tenant compte des échanges liés aux importations et aux exportations. Pour cela nous nous basons sur la méthodologie de l'analyse de flux de matière (AFM), méthode d'évaluation systématique des flux entrant et sortant d'un système défini dans le temps et dans l'espace (Brunner and Rechberger, 2003). Pour y parvenir, nous mettons au point une technique de réconciliation des données inspirée par Cencic and Rechberger (2008). Nous utilisons en outre comme unité le mètre cube équivalent bois fibre défini par Weimar (2009) et utilisé par Bösch et al. (2015).

L'objectif de la réconciliation est d'imposer un jeu de contraintes sur les données et de résoudre une optimisation sous contrainte d'un système d'équations grâce à un algorithme automatisé. Cette méthode est proposée et décrite en détails par Courtonne et al. (2015). Les contraintes appliquées dans notre cas sont au nombre de quatre : conservation de la masse pour chaque produit, conservation de la masse pour chaque secteur à l'exception de la production biologique des forêts, termes positifs ou nuls, majorité des termes égale à zéro. La minimisation est réitérée 1000 fois via des simulations de Monte-Carlo ce qui permet d'obtenir une estimation ainsi qu'un intervalle de confiance pour chaque variable. Cette information nous permet de savoir quel flux a été réajusté avec le plus de fiabilité. Finalement, la résolution de ce programme de minimisation sous contraintes nous permet d'obtenir des valeurs de flux réconciliées.

### Une vision plus claire des flux de bois pour les professionnels et les décideurs

Les résultats ont permis d'obtenir des données cohérentes pour les différents flux de bois tout au long de la chaîne de transformation. Pour les rendre plus simples à interpréter et à utiliser, différents diagrammes ont été tracés. Ces représentations prennent la forme de diagrammes de Sankey, particulièrement adaptés à la représentation des flux. Afin d'améliorer la lisibilité, différents centrages ont été retenus (par exemple « forêt » ou « bois d'œuvre »).

A l'échelle nationale, les résultats confirment que la France est exportatrice nette de bois brut. Les imports de grumes sont toujours inférieurs aux exports, notamment pour les feuillus. Les exportations de bois d'œuvre de feuillus sont par exemple plus importantes en valeur absolue que celles pour le bois d'œuvre résineux alors que la récolte est trois fois inférieure en volume. Les exports représentent ainsi plus d'un cinquième de la récolte totale de bois d'œuvre feuillu. Sur le plan industriel, les sciages résineux occupent la part la plus importante en volume, suivis de près par la production de panneaux. Les connexes de scierie, produits en grande quantité, sont pour moitié valorisés en matière première pour la fabrication de panneaux et de pâte à papier. Toutes les industries ne font pas preuve du même dynamisme sur le plan international. Les panneaux et les papiers cartons sont les produits qui s'exportent le plus (respectivement 60% et 52% de la production). Le secteur du sciage de feuillus est lui aussi exportateur net. A l'inverse, environ 35% des sciages résineux utilisés en France proviennent de l'étranger. Bien que la production nationale soit importante, elle ne permet donc pas de répondre à la demande intérieure. Enfin, des produits comme les connexes de scierie présentent des bilans relativement équilibrés, les imports étant presque équivalents aux exports. Dans ce cas, l'explication est peut-être géographique et est à mettre en perspective avec la présence d'industries proches, localisées dans les pays frontaliers.

A terme, cet outil pourrait permettre d'effectuer un suivi régulier des échanges de matière dans la filière. Aussi, une de ses principales caractéristiques reste son adaptabilité, ce qui offre d'intéressantes possibilités en termes de changement d'échelle (du pays à la région) et d'études prospectives, par exemple sur l'impact de la mise en place d'une politique publique.

### Références

- Koebel, B., Levet, A-L., Nguyen-Van, P., Purohoo, I., Guinard, L. (2016) Productivity, resource endowment and trade performance of the wood product sector. *Journal of Forest Economics*, 22:24-35.
- Levet, A-L., Guinard, L., Purohoo, I. (2014) Le commerce extérieur des produits bois : existe-t-il réellement un paradoxe français ? *Revue Forestière Française*, 66(1) :51-66.
- Bunner, P.H., Rechberger, H. (2003) *Practical handbook of material flow analysis*, 1st edition. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Cencic, O., Rechberger, H. (2008) Material flow analysis with software STAN. *J. Environ. Eng. Manag.* 18 (1), 3-7.
- Bösch, M., Jochem, D., Weimar, H., Dieter, M. (2015) Physical input-output accounting of the wood and paper flow in Germany. *Resources, Conservation and Recycling*, 64:99-109.
- Weimar, H. (2011) *Der Holzfluss in der Bundesrepublik Deutschland 2009 – Methode und Ergebnis der Modellierung des Stoffflusses von Holz*. Johan Heinrich von Thunen – Institut für Forst- und Holzwirtschaft, Arbeitsbericht.
- Courtonne, J-Y., Alapetite, J., Longaretti, P-Y., Dupré, D., Prados, E. (2015) Downscaling material flow analysis: the case of the cereals supply chain in France. *Ecological Economics*, 118:67-80.

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

BONNESOEUR Vivien<sup>1,2</sup>, CONSTANT Thiéry<sup>1</sup>, FOURNIER Meriem<sup>1</sup>, MOULIA Bruno<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LERFOB, AgroParisTech, INRA, 54000, Nancy, France

<sup>2</sup>UCA, INRA, UMR PIAF, 63000 Clermont-Ferrand, France

[bonnesoeur.vivien@gmail.com](mailto:bonnesoeur.vivien@gmail.com)

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

### Résumé

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 endommagée 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 créé 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 leurs 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 (Mouliat et al. 2011), 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 (Bonnesoeur et al. 2016). Cette réponse se traduit par contre par une très forte augmentation de leur croissance radiale et suit une loi de mécano-perception 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.

## Références

Bonnesoeur V., Constant T., Moulia B., Fournier M. (2016) Forest trees filter chronic wind-signals to acclimate to high winds. *New Phytol* 210:850–860.

Moulia B., Loughian C.D., Bastien R., et al. (2011) Integrative Mechanobiology of Growth and Architectural Development in Changing Mechanical Environments. In: Wojtaszek P. (ed) *Mechanical Integration of Plant Cells and Plants*. Springer Berlin Heidelberg, pp 269–302

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

VERNAY Antoine<sup>1</sup>, MALAGOLI Philippe<sup>1,2</sup>, GUINARD Ludivine,  
AMEGLIO Thierry<sup>1,2</sup>, BALANDIER Philippe<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Clermont Université, Université Blaise Pascal, UMR547 PIAF, BP 10448, F-63000  
Clermont-Ferrand, France ;

<sup>2</sup> INRA, UMR547 PIAF, F-63100 Clermont-Ferrand, France;

<sup>3</sup> Irstea, Research Unit on Forest Ecosystems (EFNO), Domaine des Barres, F-45290 Nogent-  
sur-Vernisson, France

[antoine.vernay@clermont.inra.fr](mailto:antoine.vernay@clermont.inra.fr)

**Mots clés :** azote, chêne, compétition, forêts tempérées lumière, molinie bleue, photosynthèse, régénération

### Résumé

*Quercus petraea* 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 ressources du sol, dont l'azote inorganique en interaction avec la disponibilité en eau, peut jouer un rôle 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 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'éclaircissement 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 court 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.

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

MERLE Juliette<sup>1</sup>, CHARRIER EL-BOUHTOURY Fatima<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univ Pau & Pays Adour, IPREM/EPCP, UMR CNRS 5254, IUT des Pays de l'Adour, BP 201, F-40004 Mont de Marsan, France

[Juliette.merle@univpau.fr](mailto:Juliette.merle@univpau.fr); [juliette.merle.univpau@gmail.com](mailto:juliette.merle.univpau@gmail.com)

**Mots clefs :** Caractérisations physiques ; lignosulfonate ; liqueur noire Kraft ; matériaux poreux isolants ; morphologie ; tanin condensés ; tanins hydrolysables.

### Introduction

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.

### Résultats

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 (Merle et al., 2016a). 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 (Merle et al., 2016b).

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  $40 \text{ mW.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . 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.

### Références

Merle, J., Birot, M., Deleuze, H., Mitterer, C., Carré, H., Charrier - El Bouhtoury, F., 2016a. New biobased foams from wood byproducts. *Mater. Des.* 91, 186–192. doi:10.1016/j.matdes.2015.11.076

Merle, J., Birot, M., Deleuze, H., Trinsoutrot, P., Carré, H., Huyette, Q., Bouhtoury, F.C.- El, 2016b. Valorization of Kraft black liquor and tannins via porous material production. *Arab. J. Chem.* doi:10.2298/JSC140411097S

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

CABARET Thomas<sup>1</sup>, CHARRIER Bertrand<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Xylomat, IPREM-EPCP, Université de Pau et des pays de l'Adour  
[thomas.cabaret@etud.univ-pau.fr](mailto:thomas.cabaret@etud.univ-pau.fr)

**Mots clés :** bois, exsudation, Pin Maritime, résine, séchage

### Contexte de l'étude

Après deux années de reprise (2009 et 2010) suite à la tempête Klaus de janvier 2009, les sciages de Pin Maritime sont de nouveau en repli, plus globalement le sciage est en recul depuis 10 ans en Aquitaine comme au niveau national<sup>1</sup>. Afin de soutenir la filière bois, des recherches scientifiques sont en cours pour améliorer la qualité du bois et optimiser la compétitivité du secteur.

Le fort taux de résine dans le bois de Pin Maritime peut entraîner des défauts importants lorsque ce dernier est utilisé en extérieur. L'exsudation de la résine est un frein à l'utilisation des bois de pin maritime en extérieur. La résine sortant des planches peut créer des dommages esthétiques importants ainsi que le cloquage de la finition<sup>2</sup>.

### Origine de l'exsudation

La résine est constituée d'environ 70% de colophane<sup>3</sup>, 20% d'essence de térébenthine et 10% d'eau et certaines planches peuvent présenter un taux de résine supérieur à 10%<sup>4</sup>. Des mesures de viscosité en fonction de la température (Fig.1) ont montré une nette diminution de cette viscosité à partir de 45<sup>0</sup> C. Des simulations numériques ont démontré que la température de surface de certains bardages en pin peut être très supérieure à la température de ce « saut » de viscosité, ce qui explique l'écoulement de la résine.

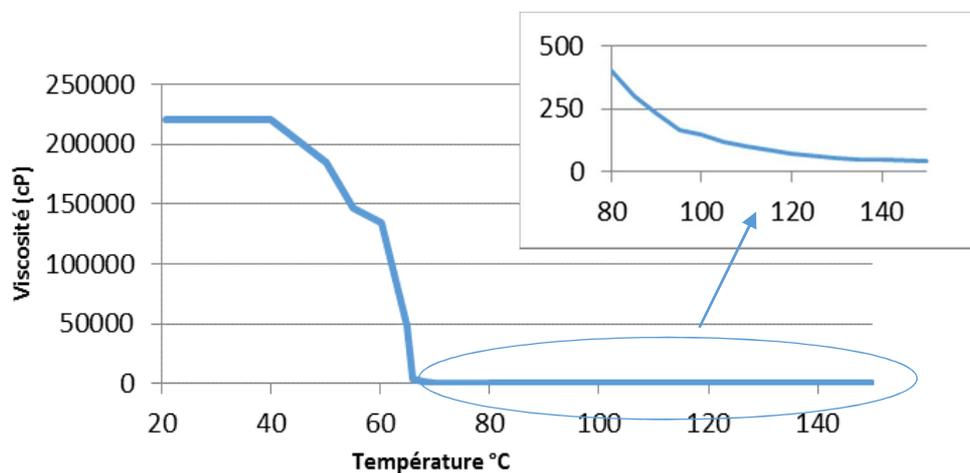


Fig.1 : Viscosité de la résine en fonction de la température

### Références

Enquête annuelle de branche Sciage, rabotage, ponçage et imprégnation du bois (AGRESTE Aquitaine - Analyses et résultats - n°79 - novembre 2013

S. Charron, Singularités du bois et répercussions sur les systèmes de finition, Laboratoire « Matériaux de gros œuvre et de parachèvement », CSTC

M. Ghanmi, B. Satrani, A. Aafi, M. R. Ismaili, A. Farah, A. Chaouch, Évaluation de la qualité de la colophane du pin maritime (*Pinus pinaster*) et du pin d'Alep (*Pinus halepensis*) du Maroc, *Acta Bot. Gallica*, 156(3), 427-435 (2009)

J. A. Lloyd, Distribution of extractives in *Pinus Radiata*, *New Zealand Forest Service*, 8, 288-294 (1978)

**Edition de l'ouvrage : Atlas des bois tropicaux - 1<sup>ère</sup> édition –  
Caractéristiques technologiques et utilisations de 283 essences tropicales (et  
17 tempérées) – projet OIBT TMT-SPD 010/12 Rev.1 (M)**

GERARD Jean<sup>1</sup>, GUIBAL Daniel<sup>1</sup>, PARADIS Sébastien<sup>1</sup>, CERRE Jean-Claude

<sup>1</sup>UR BioWooEB, CIRAD  
[jean.gerard@cirad.fr](mailto:jean.gerard@cirad.fr)

**Mots clefs :** bois tropicaux, propriétés technologiques, utilisations

\* Au milieu des années 1980, l'Organisation Internationale des Bois tropicaux (OIBT) a confié au Centre technique forestier tropical (CTFT, département forestier du CIRAD) la conception et la réalisation d'un logiciel de gestion des caractéristiques technologiques des bois tropicaux.

La première version de ce logiciel fonctionnait à l'aide du système d'exploitation DOS. Il fût un des premiers logiciels du genre, sinon le premier, dont l'objectif était de contribuer à promouvoir et développer la commercialisation et l'utilisation des bois tropicaux, notamment des essences secondaires. Par la suite, l'équipe *Bois tropicaux* du CTFT-CIRAD a fait évoluer ce logiciel et l'a progressivement enrichi (augmentation du nombre d'essences décrites et du nombre de caractéristiques présentées).

Vers le milieu des années 1990, ce logiciel a été transféré sous le système d'exploitation Windows et a été plus largement diffusé sous le nom « Tropix ».

L'Unité de Recherche *Bois tropicaux* puis l'Unité *BioWooEB* du Cirad ont fait évoluer ce logiciel et l'ont enrichi. Sa dernière version 7.5.1 (2015) présente les caractéristiques technologiques de 245 essences, dont 17 tempérées. Aujourd'hui, ce logiciel est largement utilisé par les opérateurs de la filière-bois, en France et à l'étranger.

\* Entre 1986 et 1990, trois ouvrages de référence sur les bois tropicaux ont été successivement publiés :

- l'Atlas des bois tropicaux - Tome 1 Afrique (ATIBT – CTFT), publié en français et en anglais.
- l'Atlas des bois tropicaux - Tome 2 Asie-Australie-Océanie (ATIBT), publié en français et en anglais.
- l'Atlas des bois tropicaux d'Amérique Latine (CTFT – OIBT – ATIBT), publié en français, en anglais et en espagnol (sur financement OIBT).

Ces trois ouvrages sont toujours très utilisés par les opérateurs des filières bois tropicales mais sont épuisés et certaines informations nécessitent une réactualisation et des compléments. Ces opérateurs sont donc demandeurs d'un ouvrage sur les essences tropicales présentant des données et informations actualisées qui répondent à leurs attentes et à leurs besoins.

Le logiciel Tropix 7.5.1 présentant l'essentiel de ces données et informations, il est apparu opportun de les organiser et de les présenter sous la forme d'un ouvrage (papier et électronique) « L'Atlas des bois tropicaux », pour succéder aux trois ouvrages sur les bois d'Afrique, d'Amérique latine et d'Asie-Océanie.

Dans le cadre de son programme thématique Transparence du commerce et des marchés (TMT), l'Organisation internationale des Bois tropicaux a accepté de soutenir financièrement la conception et la réalisation de ce nouvel ouvrage à travers le projet TMT-SPD 010/12 Rev.1 (M) intitulé « Edition de l'ouvrage : Atlas des bois tropicaux - 1<sup>ère</sup> édition – Caractéristiques technologiques et utilisations de 273 essences tropicales (et 17 tempérées) ».

Le contenu de cet Atlas présente de nombreux compléments par rapport à la dernière version de Tropix qui a été largement remaniée, mise à jour et complétée :

- 55 nouvelles essences sont décrites en plus des 245 actuelles, soit un total de 300 essences dont les principales caractéristiques technologiques et les utilisations effectives ou potentielles sont présentées,
- les valeurs de pouvoir calorifique inférieur et de conductivité thermique des bois ont été ajoutées aux descriptifs technologiques,
- les programmes de séchage ont été entièrement remaniés en utilisant comme référence les programmes édités par Cathild Industrie,
- chacune des 300 essences décrites est illustrée à l'aide de trois types de photographies :
  - . deux macrophotographies grossissement 20 et grossissement 115,
  - . deux photos de débit sur dosse et sur quartier (ou faux quartier),
  - . une photo d'un ouvrage réalisé à partir du bois décrit (lorsque ce type de photo était disponible) : construction, aménagement extérieur, menuiserie, meuble, instrument de musique, objet d'art...

Cet ouvrage a vocation à constituer un outil de référence pour tous les opérateurs de la filière-bois, en France et à l'étranger, mais aussi pour les établissements de recherche et d'enseignement, pour les institutionnels, ainsi que pour les donneurs d'ordre, les architectes, les maîtres d'œuvre, les maîtres d'ouvrage, et de façon générale pour tous les professionnels qui transforment et mettent en œuvre des bois tempérés ou tropicaux, ou qui projettent de le faire.

## Références

Association Technique Internationale des Bois Tropicaux (1986). Atlas des bois tropicaux. Tome 1, Afrique - Tropical Timber Atlas. Vol. 1 : Africa. ATIBT, Paris, France, 208 p. (en français et en anglais)

Association Technique Internationale des Bois Tropicaux (1987). Atlas des bois tropicaux. Tome 2 : Asie Australie Océanie - Afrique Tropical Timber Atlas. Vol. 2 : Asia Australasia. ATIBT, Paris, France, 248 p. (en français et en anglais).

Association Technique Internationale des Bois Tropicaux (2016). Nomenclature générale des bois tropicaux. 7<sup>e</sup> édition, français/anglais, ATIBT, Nogent-sur-Marne, France, 152 p.

Chichignoud M., Déon G., Détienne P., Parant B., Vantomme P. (1990). Atlas des bois tropicaux d'Amérique latine - Timber Atlas of Latin America - Atlas de maderas tropicales de América Latina. Édition revue et augmentée 1993, OIBT, Cirad-Forêt, Nogent-sur-Marne, France, 220 p. (français, anglais, espagnol).

Paradis S., Guibal D., Gérard J., Beauchêne J., Brancheriau L., Cabantous B., Châlon I., Daigremont C., Détienne P., Fouquet D., Langbour P., Lotte S., Méjean C., Parant B., Thévenon M.F., Thibaut A., Vernay M. (2015). Tropix 7.5.1 - Caractéristiques technologiques de 245 essences tropicales et tempérées (Technological Characteristics of 215 Tropical Timbers). Logiciel de gestion de données, version française et anglaise, CIRAD.

## Valorisation et promotion des essences forestières camerounaises peu ou non utilisées

ABDOU Rahamanou<sup>1</sup>, HABIBOU Mahamat<sup>1</sup>, VASSEUR Frédéric<sup>2</sup>, GERARD Jean<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Direction de la Promotion et de la Transformation des produits forestiers - MINFOF

<sup>2</sup> Direction de la Promotion et de la Transformation des produits forestiers - MINFOF / TERA

<sup>3</sup> U.R. BioWooEB, CIRAD

abdourahamanou@yahoo.fr

**Mots clés :** Cameroun ; essences de promotion ; essences secondaires ; valorisation

Le Cameroun dispose du 2<sup>ème</sup> massif forestier d'Afrique avec une superficie forestière évaluée à 22 millions d'ha, soit 46,25% du territoire national. La forêt exploitable couvre 17,5 millions d'hectares dont 11,5 millions pour le domaine forestier permanent et 6 millions pour le domaine non-permanent. Le potentiel forestier camerounais est diversifié avec plus de 600 espèces disponibles dont 300 commercialisables sous forme de bois d'œuvre. Environ 60 espèces sont exploitées dont une quinzaine de façon intensive.

La production forestière camerounaise annuelle moyenne est estimée à 2,7 millions de m<sup>3</sup> de grumes produits de façon industrielle dont 0,78 millions exportés sous forme de grume et le restant transformé localement puis exporté sous forme de débités.

Dans le cadre du projet d'assistance technique à la Direction de la Promotion et de la Transformation des Produits Forestiers, une étude sur les essences de promotion pouvant se substituer aux essences les plus couramment utilisées sur le Marché Intérieur du Bois (MIB) a permis de constituer des groupements d'essences selon plusieurs critères : (i) Zones d'utilisation regroupées en 5 régions (Centre, Sud et Est ; Littoral ; Sud-ouest ; Ouest et Adamaoua ; Nord - extrême nord) ; (ii) Marchés et les utilisations potentielles ; (iii) Classes d'emploi ; (iv) Durabilité naturelle des bois ; (v) Identification des espèces.

Par ailleurs, les essences camerounaises sont classées en cinq catégories par l'Administration forestière : (i) Les essences dont l'exportation sous forme de grume est interdite ; (ii) Les essences sous quotas ; (iii) Les essences de promotion de 1<sup>ère</sup> catégorie ; (iv) Les essences de promotion de 2<sup>ème</sup> Catégorie ; (v) Les autres essences.

\* Les essences dont l'exportation est interdite sous forme de grume sont celles dont le marché des produits transformés est relativement important et constant et/ou qui sont protégées par une convention internationale ratifiée par le Cameroun ou inscrites dans la liste rouge de l'UICN.

\* Les essences sous quotas sont celles dont l'exportation sous forme de grume peut être autorisée sur la base d'un quota préalablement défini. Elles doivent respecter au moins un des critères suivants : (1) Le marché des produits transformés est relativement important mais trop fluctuant ; (2) Le potentiel est important et constitue une opportunité de stabilisation et éventuellement d'augmentation des recettes de l'Etat selon la conjoncture économique, tout en contribuant au maintien de l'équilibre écologique de la forêt ; (3) Elles ne sont pas protégées par une convention internationale ratifiée par le Cameroun, ni inscrite dans la liste rouge de l'UICN.

\* Les essences de promotion de 1<sup>ère</sup> Catégorie sont celles dont l'exportation sous forme de grume est autorisée sous réserve de justifier de la transformation et/ou de la vente locale d'au moins 30% du volume exploité. Elles doivent de plus respecter au moins un des trois critères suivants : (1) Le marché des produits transformés est accessible ; (2) La transformation locale existe ; (3) La vente sous forme de grume est indispensable (demande du marché, capacité de

transformation réduite par rapport au potentiel, coût de revient trop élevé pour les industriels ou pour les exploitants, besoins de trésorerie,...).

\* Les essences de promotion de 2<sup>ème</sup> Catégorie sont celles qui ont déjà fait l'objet d'une commercialisation locale ou internationale ou dont les caractéristiques sont proches de celles d'une essence commercialisée ou permettent de les substituer à un produit.

\* Les autres essences sont toutes les essences qui ne sont pas classées dans les rubriques précédentes. Elles feront l'objet de recherches en vue de leur valorisation.

Les essences les plus utilisées sur le Marché Intérieur du bois camerounais sont les suivantes : Sapelli, Iroko, Bubinga, Bibolo, Ayous, Bilinga, Bété, Movingui, Padouk, Doussié blanc, Makoré, Fraké, Pachyloba, Sipo, Wengé, Ebène, Tali, Azobé, Dabéma. Parmi ces essences, cinq représentent 70% des exportations : Ayous, Movingui, Iroko, Sapelli, Bilinga.

L'étude a notamment permis de classer les essences de promotion par similarités de leurs caractéristiques physico-mécaniques et technologiques par rapport aux essences les plus utilisées sur le marché local et international.

Le tableau 1 présente certains exemples de ces similarités entre essences de promotion et essences courantes sur le marché intérieur.

Tab.1 : Exemples de similarités d'essences

Nom Pilote ATIBT	Couleur (source : Tropix 7.5.1)	Essences similaires (sources : Holzatlas, Belgique, Pays-Bas)	Essences promotionnelles de substitution
Ayous	Blanc	Ako, Essessang, Koto	Ako, Essessang
Movingui	Jaune citron	Olon, Satinholz	Olon
Iroko	Brun jaune	Doussié, Teck	Difou
Bubinga	Brun rouge	Etimoé, Gombé, Naga, Mutényé, Bomanga	Etimoé, Ekop beli
Azobe	Rouge foncé	-	Okan
Wenge	Brun foncé	Panga Panga, Lati, Palissandre, Wacapou	Lati
Makore	Brun rouge	Moabi, Mukulungu, Massaranduba	Mukulungu

Pour les essences à promouvoir, des documents techniques de référence doivent être élaborés pour identifier les propriétés essentielles à prendre en compte pour définir leur aptitude à la transformation et leurs potentialités d'utilisation en intégrant les contraintes spécifiques liées aux conditions climatiques camerounaises pour la très large gamme d'utilisations extérieures.

## Références

Ministère des Forêts et de la Faune (2014). Annuaire Statistique 2014 du MINFOF, Cameroun, 131 p.

Paradis S., Guibal D., Gérard J., et al. (2015). Tropix 7.5.1 - Caractéristiques technologiques de 245 essences tropicales et tempérées. Logiciel de gestion de données, version française et anglaise, CIRAD.

Njankouo J.M. (2015). Rapport d'Etude sur les essences promotionnelles/équivalentes à celles existantes sur le MIB. Projet d'Assistance Technique à la Direction de la Promotion et de la Transformation des Produits Forestiers, Yaoundé, Cameroun.

Wagenführ R. (2006). Holzatlas. Edition Hanser, Carl GmbH, 816 p.

**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)**

SAHA TCHINDA Jean-Bosco<sup>1,2</sup>, NDIKONTAR Maurice Kor<sup>2</sup>, DURMACAY Stéphane<sup>1</sup>, THEVENON Marie France<sup>3</sup>, GERARDIN Philippe<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Chimie Macromoléculaire, Université de Yaoundé 1, Cameroun

<sup>2</sup>Laboratoire d'Etudes et de Recherche sur le Matériau Bois, EA 4370, Université de Lorraine, France

<sup>3</sup>Laboratoire de Préservation des Bois, UPR 40, CIRAD PERSYST, Montpellier, France  
[saha\\_jb@yahoo.fr](mailto:saha_jb@yahoo.fr)

**Mots clefs :** essences camerounaises, extractibles, essais en champs, essais in vitro

### **Introduction**

Dans l'objectif de son émergence en 2035, le gouvernement camerounais a mis sur pied des mesures de création d'emploi dans tous les secteurs d'activités. C'est ainsi que dans le secteur forestier, il privilégie la transformation des grumes sur place qu'à l'exportation de ces derniers. A peine 5% des grumes transformés sont utilisées par les camerounais et le reste exportées vers l'Europe, l'Asie et les Etats Unis. Il se pose donc le problème de consommation des essences transformées par les nationaux. Au Cameroun, que l'on se trouve au sud ou au grand nord, les populations les moins nanties et certaines écoles publiques font leurs constructions en terre battue alors qu'elles pouvaient être faites en bois si ces derniers possèdent une bonne durabilité aux intempéries. Dans les constructions en bois, le bois a l'avantage d'être très solide et d'une grande longévité, c'est un excellent isolant thermique et c'est un matériau écologique. Les maisons en bois ont l'avantage d'avoir un coût de construction léger que les maisons en terre battues. Pour ces différentes raisons, il est impératif de mener des études sur les essences camerounaises afin de valoriser ces derniers pour des constructions. Nous avons donc choisi pour notre étude les essences très exploitées par les industries de bois au Cameroun.

### **Résultats et discussion**

Après exposition des éprouvettes aux champignons, il ressort qu'après 16 semaines, les pertes de masse du bois témoin varient de  $0,1 \pm 0,01$  à  $59 \pm 5\%$ . De manière générale nous notons que le bois extrait présente une perte de masse supérieure au bois non extrait. Ceci peut nous permettre de conclure, que l'extraction a un effet sur la durabilité naturelle d'un bois. Après extraction, on constate que certaines essences perdent leur durabilité naturelle. C'est le cas du padouk et du movingui qui deviennent vulnérables à l'attaque de tous les champignons utilisés. Le tali extrait devient vulnérable uniquement aux champignons de pourritures blanches. Kirker et al. (2013) lors de l'étude du rôle des extractibles sur la durabilité naturelle ont obtenu des résultats semblables. Le moabi, le movingui, le padouk et le tali non extraits ont une perte de masse absolue inférieure à 5% quel que soit le type de champignon utilisé, ceci nous amène à conclure que ces essences présentent une très bonne durabilité in vitro face à l'attaque des champignons de pourritures (brunes ou blanches) selon la norme EN 350-1 (Tableau 1). Ces résultats sont comparables aux résultats obtenus par Nzokou et al. (2005) ; Deon et al. (1980) durant la durabilité naturelle de certaines essences camerounaises.

Tab. 1 : Durabilité naturelle des essences étudiées selon la norme EN 350-1, 1994

Essences de bois		<i>P. sanguineus</i> (30°C)	<i>T. versicolor</i>	<i>P. sanguineus</i> (22°C)	<i>P. placenta</i>	<i>C. puteana</i>
Ayous		5	3	4	4	2
Moabi	Non extrait	1	1	1	1	1
	Extrait	1	1	1	1	1
Movingui	Non extrait	1	1	1	1	1
	Extrait	3	3	3	1	5
Padouk	Non extrait	1	1	1	1	1
	Extrait	3	4	3	3	1
Tali	Non extrait	1	1	1	1	1
	Extrait	2	3	3	1	1

1 = très durable ; 2 = durable ; 3 = moyennement durable ; 4 = peu durable ; 5 = non durable ou périssable.

Dans le cas de l'effet inhibiteur des extractibles, il ressort que les concentrations de 500 ppm présentent un effet inhibiteur important de la croissance des champignons sauf dans le cas de *Pycnoporus sanguineus* exposés à 30°C. Le propiconazole inhibe la croissance du champignon à de très faible concentration (100 ppm). Dans le cas des extractibles, l'augmentation de la concentration entraîne l'augmentation de l'effet inhibitrice des extractibles. Les essais en champs étant plus difficile à mettre en œuvre et même dans l'obtention des résultats, nous n'avons pas encore ces résultats.

Les résultats obtenus montrent très bien qu'il est possible de remplacer les maisons construites en terre battues par celle en bois

## Références

- Deon G., and Schwartz R. (1988) Résistance naturelle des bois tropicaux aux attaques biologiques, Bulletin de la Société Botanique de France, Actualités Botaniques, 135(3), 37-48
- Kirker G.T., Blodgett A.B., Arango R.A., Lebow P.K., Clausen C.A. (2013) The role of extractives in naturally durable wood species, International Biodeterioration & Biodegradation, 82, 53-58
- Nzokou P., Wehner K., Kamdem D.P. (2005), Natural durability of eight tropical hardwoods from Cameroon, Journal of Tropical Forest Science, 17(3), 416-427

## Connexion structurelle bois-béton par collage Le projet de dalle composite à bas carbone

LE ROY Robert<sup>1,2</sup>, THÉPAUT Rémi<sup>3</sup>, FORET Gilles<sup>1</sup>, BAROUD Rawad<sup>1</sup>,  
CUMUNEL Gwendal<sup>1</sup>, CARON Jean François<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Navier, UMR 8205, École des Ponts, IFSTTAR, CNRS, UPE

<sup>2</sup> Laboratoire GSA, UPE, Paris

<sup>3</sup> Bouygues Bâtiment

[robert.leroy@enpc.fr](mailto:robert.leroy@enpc.fr)

**Mots clefs :** béton, bois, collage, connexion, structure, plancher, connexions bois-béton

L'augmentation des propriétés mécaniques des ouvrages par mixité, voire par hybridation, est un sujet générique qui connaît avec succès des avancées dans le Génie Civil et le bâtiment. Si le béton armé fait figure de pionnier au 19<sup>ème</sup>, on notera que les ponts mixtes acier-béton sont performants pour les moyennes portées du point de vue technico économique, et que le renforcement par matériaux composites du béton armé est en plein essor. Le pas a aussi été franchi depuis longtemps de renforcer les planchers en bois par une connexion des poutres à une dalle en béton. De nombreux brevets ont ainsi été déposés sur des inventions de connexions métalliques très variées, mais peu de systèmes bénéficient d'avis technique en France. De mise en œuvre assez simple mais parfois fastidieuse, la connexion par organes métalliques présente l'inconvénient de laisser un léger glissement s'opérer à l'interface des deux matériaux, glissement qui est source de souplesse structurelle. C'est pour obtenir une connexion mécanique parfaite, *i.e.* sans glissement, que la technologie du collage du béton sur le bois a été développée au sein du laboratoire Navier. Elle constitue une variante crédible et mécaniquement plus performante que les connexions courantes (Le Roy 2009, Le Roy 2013, Nguyen 2015), et a fait l'objet de travaux importants sur la durabilité sous chargement hydrique (Loulou 2013).

### Le projet Dalle Composite Bas Carbone

Le projet Dalle Composite Bas Carbone (DCBC) est porté conjointement par l'Ifsttar (laboratoire Navier) et Bouygues Construction. Il consiste en la mise au point de dalles mixtes de portée de 6 à 8 m de portée pour des bâtiments à usage de bureaux ou de logements. La structure est obtenue par collage de béton frais sur le bois. Le béton est formulé pour minimiser le retrait (Le Roy *et al.* 2013). La partie bois des planchers est inspirée des panneaux à lamelles croisées (Fig. 1). Les planchers obtenus (Fig. 2) sont à faible impact carbone en comparaison d'un plancher en béton armé ou précontraint.

### Etudes théorique et expérimentale

L'étude théorique a eu pour objectif d'optimiser la porosité de chaque pli et de dimensionner les points singuliers. Le calcul a été effectué en recourant à un code aux éléments finis (le code MPFEAP) développé au sein du laboratoire Navier pour les multicouches (Caron *et al.* 2006). Parallèlement, un modèle de type RdM a été établi pour le calcul de la rigidité flexionnelle et la répartition des contraintes de cisaillement dans les sections, en tenant compte des propriétés géométriques et mécaniques de chaque pli. Les tests de flexion de la DCBC montrent, comme attendu, une rupture dans le plan de cisaillement le plus chargé. Les valeurs de rupture (moment et effort tranchant) sont toutefois 2,5 à 3 fois plus élevées que les valeurs ELU issues du dimensionnement Eurocode. La sécurité de la technologie DCBC a ainsi pu être validée, ce qui a permis de passer à l'étape suivante d'un chantier démonstrateur.



Figure 1 : structure bois à 7 plis



Figure 2 : DCBC sur banc d'essai

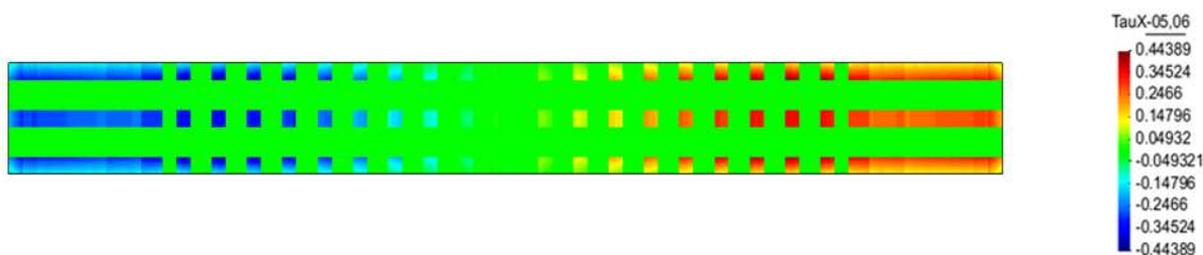


Figure 3 : contraintes de cisaillement dans un des plis validant le dimensionnement ELU pour un plancher de 7 m de portée à usage de bureau

### Références

Le Roy R., Pham H.S., Foret G., (2009) new wood composite bridges, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, vol.13, n°9, pp. 1125-1139.

Le Roy R., Confrère A., Loulou L., Caré S., Nedjar B., (2013), Auto contraintes dues au retrait endogène dans une structure mixte bois-béton assemblée par collage « frais sur frais », congrès AUGC, Cachan, mai.

Nguyen T.V.A., Le Roy R., Caron J.F., (2015) multi reinforcement of timber beams with composite materials, experiments and fracture modeling, *composites structures*, 123, 233-245.

Loulou L. (2013) Durabilité des assemblages mixtes bois-béton collés sous chargement hydrique, Thèse de l'école des ponts, université Paris Est, financement Ifsttar.

Caron JF, Diaz Diaz A, Carreira RP, Chabot A, Ehrlacher A. (2006) Multi-particle modelling for the prediction of delamination in multi-layered materials. *Compos Sci Technol* ; 66(6):755–65.

## Compréhension des mécanismes de transfert de liquide dans le bois

ZHOU Meng<sup>1</sup>, COURTIER-MURIAS Denis<sup>1</sup>, FAURE Paméla<sup>1</sup>, RODTS Stéphane<sup>1</sup>,  
CARE Sabine<sup>1</sup>, COUSSOT Philippe<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université Paris-Est, Laboratoire Navier, ENPC-IFSTTAR-CNRS,  
2 allée Kepler, 77420 Champs-sur-Marne, France  
[meng.zhou@ifsttar.fr](mailto:meng.zhou@ifsttar.fr)

**Mots clés :** eau, huile, imbibition, IRM, perméabilité, peuplier

### Introduction

Le bois est un matériau de construction très sensible à la présence d'eau, qui peut induire des déformations importantes et des désordres dans la structure. En raison de sa structure inhomogène et anisotrope, ainsi que des interactions complexes entre l'eau et le bois, les transferts d'eau sous forme liquide ont été beaucoup étudiés mais sont encore mal appréhendés [Siau 1984]. Les modèles proposés aujourd'hui ne nous permettent pas de décrire correctement les phénomènes d'imbibition, soit parce qu'il manque encore des tests appropriés à différentes échelles, soit à cause de notre méconnaissance des mécanismes à l'origine de la perméabilité intrinsèque du bois.

Compte tenu de cette complexité il paraît utile d'observer au cours du temps lors d'une imbibition, la distribution spatiale de l'eau dans ses différents états à l'intérieur du bois. Des méthodes non-destructives, telles que la neutronographie [Marjan et al, 2014] ou l'imagerie par résonance magnétique (IRM) [Almeida et al, 2008] ont été ponctuellement utilisées pour étudier la distribution d'eau dans le bois. Ici nous utilisons l'IRM disponible au Laboratoire Navier avec une bonne résolution spatiale et temporelle, ce qui nous permet de visualiser la dynamique des transferts et de quantifier les évolutions de la teneur en liquide dans un feuillu au cours de l'imbibition.

### Matériaux et méthodes

De façon à comprendre l'origine de la perméabilité d'un peuplier nous nous intéressons à l'imbibition de deux types de liquide. Nous utilisons ainsi de l'eau et de l'huile de silicone, liquide apolaire n'ayant pas d'effet sur le gonflement du bois et dont on peut facilement faire varier la viscosité. Les échantillons de peuplier sont prélevés dans le duramen sur 10 cm de longueur, et 4 x 1.8 cm dans le plan transversal. La partie inférieure de l'échantillon (préconditionné à 55% HR) est immergée dans l'eau sur une profondeur de quelques millimètres. Les faces latérales de l'échantillon sont imperméabilisées pour éviter des effets de bord.

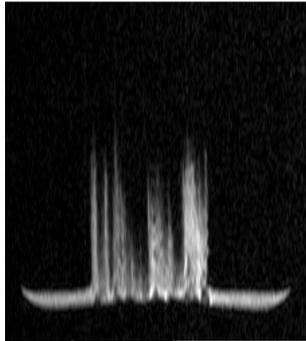
Pour les mesures IRM nous utilisons un spectromètre imageur bas champ DBX 24/80 de Bruker opérant à 0,5 T avec une fréquence de 20 MHz pour le proton et une puissance de gradient de 50 mT/m. La bobine utilisée permet un champ de vision jusqu'à 20 cm. La distribution spatiale du liquide est mesurée avec une séquence d'écho de spin et une résolution d'environ 0,5 mm. La dynamique de l'imbibition d'eau est suivie pendant 3 jours, alors que l'imbibition d'huile de silicone est suivie pendant un jour.

### Résultats

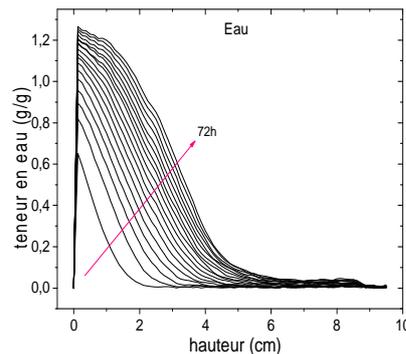
Les courbes d'imbibition obtenues par pesée hydrostatique (figures non présentées ici) montrent que les deux liquides (l'eau et l'huile de silicone) semblent pénétrer dans le bois selon une loi de Washburn « apparente ». Cependant, l'eau pénètre beaucoup moins rapidement que

l'huile de silicone en dépit (pour l'eau) d'une plus forte tension superficielle et d'une plus faible viscosité. Ceci suggère que l'eau rencontre un effet de blocage particulier.

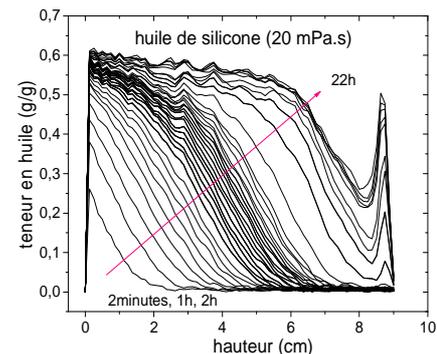
La Fig. 1 montre l'image d'une tranche de 2 mm située au sein de l'échantillon. Des mesures de profils de teneur en liquide le long de l'axe longitudinal à différents temps permettent une approche plus quantitative du phénomène (Fig. 2 et 3). Chaque point d'un profil correspond ici à la teneur en liquide imbibé dans une fine tranche d'échantillon horizontale située à une certaine hauteur. L'huile de silicone avance beaucoup plus vite en hauteur que l'eau, en revanche l'eau pénètre deux fois plus en quantité pour une hauteur donnée. En outre nous constatons que les liquides montent dans le milieu non seulement verticalement, mais ils continuent aussi de remplir inexorablement le matériau à des niveaux inférieurs.



**Figure 1 :** Image par IRM d'une tranche de 2mm du bois imbibé d'eau, après 3 jours d'imbibition



**Figure 2:** Distribution de teneur en eau le long de l'axe longitudinal, les profils sont présentés toutes les 4 heures



**Figure 3:** Distribution de teneur en huile de silicone long de l'axe longitudinal : au début profils toutes les 2 minutes, puis toutes les heures et enfin toutes les 2 heures.

## Conclusions

Les observations montrent que la dynamique d'imbibition est différente entre l'eau et l'huile de silicone. Pour mieux comprendre les transferts dans le bois, des mesures IRM fournissent une nouvelle approche à la fois qualitative et quantitative. On constate que le modèle de Washburn (s'appuyant sur la loi de Darcy) ne s'applique pas directement. Les modèles d'imbibition capillaire en milieu poreux complexe ne semblent pas non plus permettre de décrire les phénomènes observés. Nous cherchons actuellement à confronter plus complètement un modèle de transfert à relier la structure anatomique du bois.

## Remerciements

Cette étude a été rendue possible grâce au financement du Labex MMCD.

## Références

J.F.Siau, *Transport Processes in Wood*, 74. Springer-Verlag, New York (1984).

S-G.Marjan, P.Vontobel, E.Lehmann et al, Liquid uptake in Scots pine sapwood and hardwood visualized and quantified by neutron radiography, *Materials and Structures*, 47, 1083-1096 (2014).

G. Almeida, S. Leclerc, P. Perré, NMR imaging of fluid pathways during drainage of softwood in a pressure membrane chamber, *International Journal of Multiphase Flow*, 34, 312-321 (2008).

## Influence de la formulation des finitions pour bois sur leurs propriétés mécaniques et leur résistance au vieillissement

PODGORSKI Laurence<sup>1</sup>, DE MEIJER Mari<sup>2</sup>, LANVIN Jean-Denis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>FCBA Institut Technologique, FR,

<sup>2</sup> DRYWOOD Coatings B.V., NL

[Laurence.podgorski@fcba.fr](mailto:Laurence.podgorski@fcba.fr)

**Mots clés :** bois, finition, traction, module élastique, vieillissement

### Introduction

Le développement du bois dans la construction nécessite de disposer de finitions (peintures, lasures) performantes pour le protéger des intempéries. La finition doit être suffisamment souple pour résister aux continus retraits-gonflements du bois. Ses propriétés mécaniques ont donc une importance primordiale mais font cependant l'objet de peu d'études.

### Objectif

Ce travail a pour objectif d'étudier l'influence de la formulation (résine, pigmentation, présence d'absorbeur UV) des finitions extérieures pour bois sur leurs propriétés mécaniques et leur résistance au vieillissement. Il s'inscrit dans le cadre du projet européen SERVOWOOD ([www.servowood.eu](http://www.servowood.eu)) ayant pour objectif de développer des méthodes et normes facilitant la prédiction de la durée de vie des finitions pour bois.

### Matériels et méthodes

Deux résines acryliques (Acrylic 1 et Acrylic 2) et deux alkydes (Alkyd 1 et Alkyd 2) ont été utilisés pour produire chacune 6 formulations (Tab. 1) avec ou sans absorbeur UV (UV Abs) et 3 concentrations pigmentaires volumiques (PVC) comme suit : clear PVC (0%), low PVC (17%) et high PVC (48%) à base de TiO<sub>2</sub> et de charges.

Tab. 1 : description des formulations étudiées

Réf. Finition	Résine	UV Abs	PVC	Réf. Finition	Résine	UV Abs	PVC
05	Acrylic 1	Non	Clear	29	Alkyd 1	Non	Clear
05			Low	30			Low
07			High	31			high
11		Oui	Clear	35		Oui	Clear
12			Low	36			Low
13			high	37			High
17	Acrylic 2	Non	Clear	41	Alkyd 2	Non	Clear
18			Low	42			Low
19			High	43			High
23		Oui	Clear	47		Oui	Clear
24			Low	48			Low
25			high	49			high

Les films de finitions (70 mm x 20 mm) ont été soumis à des tests de traction réalisés à 10 mm/min et à 3 températures (-10°C, 20°C, et 45°C) en utilisant un vérin hydraulique équipé d'une cellule de force de 100 N. Les finitions appliquées sur bois ont été vieillies 2 000 heures en enceinte QUV au terme desquelles le craquelage a été évalué.

## Résultats

Les deux résines acryliques étaient plus ductiles que les deux résines alkydes (Fig. 1). Acrylic 1 était particulièrement intéressante puisque ductile même à basse température.

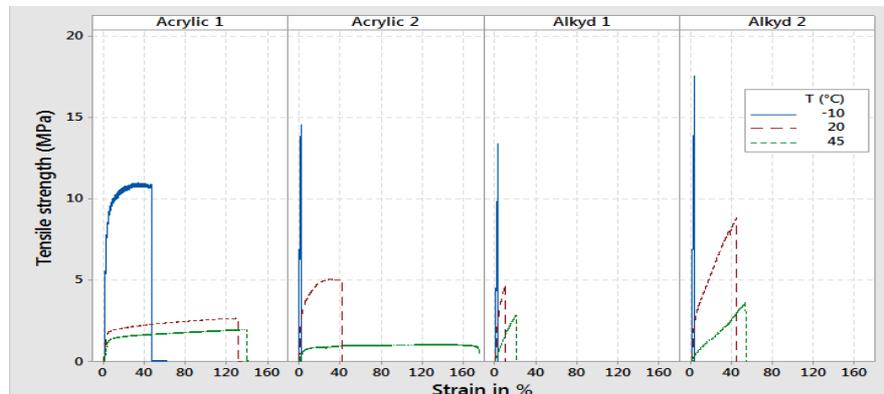
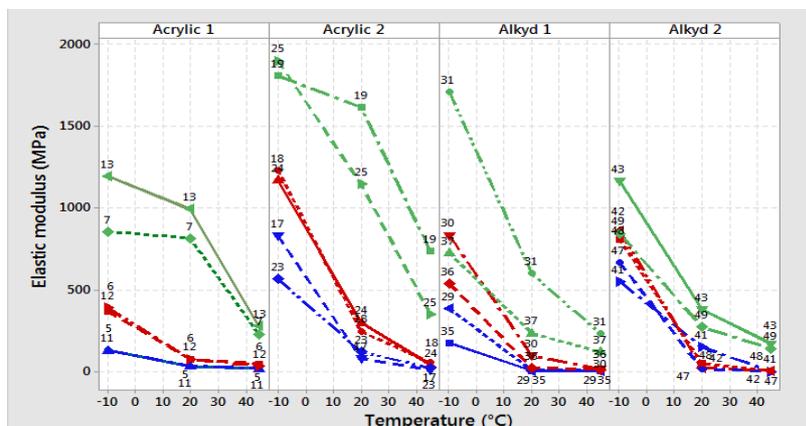


Fig. 1 : courbes contrainte (MPa) – déformation (%) des résines utilisées

Les modules élastiques moyens s'étaient sur une large gamme (Fig. 2). Plus la température d'essai était basse, plus le module élastique était important et plus la déformation à la rupture faible. L'introduction d'une forte quantité de pigments et charges (high PVC) augmentait le module élastique et diminuait considérablement la déformation à la rupture. L'influence de l'absorbant UV sur les propriétés mécaniques était mineure. Les formulations les plus performantes au vieillissement étaient celles à base de Acrylic 1 et Alkyd 2. Leur module élastique était inférieur à 400 MPa et leur déformation à la rupture supérieure à 30%.



Légende :

en bleu : clear PVC  
en rouge : low PVC  
en vert : high PVC

Fig. 2 : Module élastique moyen pour les trois températures d'essais.

## Conclusions

Ce travail devrait aider les fabricants de peintures à produire des finitions pour bois plus résistantes au vieillissement en tenant compte des caractéristiques mécaniques des formulations (module élastique, déformation à la rupture).

## Références

Podgorski L., De Meijer M., Lanvin J.D. (2016). Influence of coating formulation on mechanical properties and weathering performance. 10<sup>th</sup> International Woodcoatings congress, Amsterdam (NL) 25-26 October 2016.

## Identification des propriétés mécaniques de panneaux de particules et simulation stochastique du comportement de meubles

CHEN Zhou<sup>1,2</sup>, CHEVALIER Luc<sup>1</sup>, PLED Florent<sup>1</sup>, MAKHLOUF Heba<sup>1</sup>, LAUNAY Eric<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université Paris-Est, Laboratoire Modélisation et Simulation Multi Echelle, MSME UMR 8208 CNRS, Marne-la-Vallée, France

<sup>2</sup> Institut technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement, FCBA, Champs sur Marne, France  
[zhou.chen@univ-paris-est.fr](mailto:zhou.chen@univ-paris-est.fr)

**Mots clefs :** Comportement anisotrope, corrélation d'images, méthode éléments finis, méthode de Monte Carlo, panneau de particules, poutres et plaques, simulation stochastique.

### Introduction générale

La simulation numérique est un outil puissant au service de la conception de produit et la réalisation d'« essais virtuels pour meubles » permet de raccourcir la phase de mise au point et d'optimisation des produits. L'objectif du travail présenté est de mettre au point un outil de simulation permettant aux industriels de mener une étude de validation (tenue aux tests normalisés) avant la mise en fabrication des meubles. De nombreux outils de calcul 3D permettent ces simulations mais le domaine de l'ameublement est spécifique : d'une part, les éléments de meuble sont généralement de géométrie simple assimilable à un assemblage de plaques et/ou de poutres mais d'autre part, (i) les matériaux utilisés (ici, panneaux de particules) présentent beaucoup de dispersions dans leur comportement hétérogène et anisotrope et (ii) les liaisons entre éléments de meubles peuvent être complexes et induisent des effets locaux qu'une modélisation simplifiée en plaques et poutres ne peut représentée. Ces spécificités nous amènent à développer un code dédié aux meubles dans lequel une bibliothèque d'éléments de liaisons sera introduite et où les paramètres matériaux seront modélisés par des variables aléatoires suivant des lois de probabilité *a priori* inconnues. Cette étude porte sur le second point et présente l'identification des propriétés élastiques du matériau bois en panneau de particules à partir d'une technique d'analyse d'images et la mise en place d'un modèle éléments finis plaques pour simuler la réponse de meubles aux essais de validation. Une étude statistique du comportement des meubles prenant en compte la dispersion des propriétés matériaux est menée en utilisant une méthode de Monte Carlo.

### Identification expérimentale des propriétés matériaux du bois

Des essais de flexion sont réalisés sur des échantillons de panneaux de particules (Fig.1).



Fig. 1 : Dispositif de l'essai

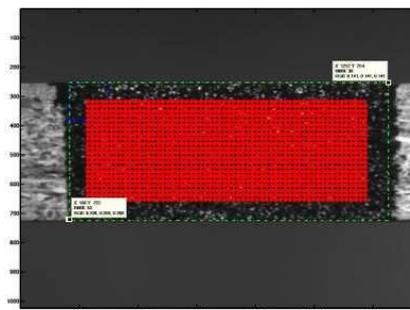


Fig. 2 : Zone retenue pour l'identification

Les propriétés matériaux macroscopiques (module d'Young  $E$  et module de cisaillement  $G$ ) sont déterminées en minimisant l'écart entre la solution analytique issue de la théorie des poutres et le champ des déplacements mesurés par analyse d'images (Fig. 2). Sur la base des

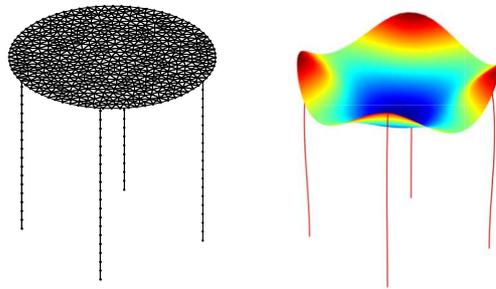
échantillons testés, il apparaît une forte dispersion des propriétés mécaniques. Les densités de probabilité des paramètres incertains  $E$  et  $G$  sont alors construites en utilisant le principe du maximum d'entropie (utilisation de l'information disponible sur  $E$  et  $G$ ) et le principe du maximum de vraisemblance (exploitation des données expérimentales recueillies sur  $E$  et  $G$ ).

### Simulation stochastique de meubles à base d'assemblage de plaques et poutres

Il existe différentes modélisations de plaques pour simuler le comportement d'un plateau de table (Fig. 3) ou d'un cadre de placard (non représenté). Les plaques négligeant l'influence du cisaillement (souvent minces et homogènes dans leur épaisseur) dites de Kirchhoff-Love, ou les plaques prenant en compte le cisaillement (souvent épaisses et/ou hétérogènes dans leur épaisseur) dites de Reissner-Mindlin ont été testées avec différentes conditions aux limites (charge uniformément répartie ou concentrée, liaisons encastrement ou appui simple) (Fig. 4). La résolution des problèmes stochastiques de plaques est menée en utilisant la méthode de simulation numérique de Monte Carlo afin de réaliser des essais virtuels. On peut alors évaluer l'effet des dispersions des paramètres matériaux sur la réponse globale de la structure.



Fig. 3 : Table réelle à tester



Éléments finis

### Conclusions

Des techniques de corrélation d'images ont été utilisées pour réaliser des mesures de champs de déplacements et identifier les propriétés mécaniques du matériau bois en panneau de particules (hétérogène et anisotrope). Les dispersions des paramètres identifiés ont été prises en compte à travers la construction des densités de probabilité à partir des informations fournies par les mesures. Deux types de plaques (Kirchhoff-Love et Reissner-Mindlin) ont été modélisés et utilisés pour simuler les déformations de meubles avec différentes conditions aux limites. Enfin, la méthode Monte Carlo a été adoptée pour propager les incertitudes à travers les modèles de plaques et déterminer des quantités d'intérêt probabilistes.

### Références

- Dhatt, G., Batoz, J-L. (1990). Modélisation des structures par éléments finis. Volume 2, Poutres et plaques, Paris Hermès.
- Gay D. (1989). Matériaux composites, 2<sup>e</sup> édition revue et augmentée, Paris Hermès.
- Hild F., Roux S. (2006). Digital Image Correlation: from Displacement Measurement to Identification of Elastic Properties - a Review, *Strain*, Blackwell Publishing Ltd, 42(2):69-80.
- Yoshihara, H., Tsunematsu, S. (2006). Feasibility of Estimation Methods for Measuring Young's Modulus of Wood by Three-Point Bending Test, *Materials and Structures*, 39(1):29-36.

## Optimisation des propriétés thermiques d'isolants fibreux à base de fibres de bois

VIGNON Pierre<sup>1,2</sup>, HOBALLAH Mohamad<sup>2,3</sup>, TRAN Huyen<sup>2,4</sup>,  
MOREAU Jérôme<sup>2,3</sup>, DELISEE Christine<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup> FINSA France, 40110 Morcenx

<sup>2</sup> Université Bordeaux 1, I2M CNRS UMR 5295, 33400 Talence

<sup>3</sup> Université Nantes, Ecole Supérieure du Bois, LIMBHA, 44000 Nantes

<sup>4</sup> Bordeaux Science Agro, 33175 Gradignan

[pierre.vignon@u-bordeaux.fr](mailto:pierre.vignon@u-bordeaux.fr)

**Mots clés :** conductivité thermique apparente, fibres de bois, matériaux isolants

### Résumé

Coordonné par le groupe *FINSA* et financé par l'*ADEME*, l'objectif du projet *ECOMATFIB* est d'orienter la conception des isolants fibreux à base de bois au niveau des techniques d'élaboration, de caractérisation de ces structures complexes mais aussi et surtout au niveau des méthodes d'optimisation multi-objectifs des procédés et des propriétés des matériaux pour qu'ils ne soient plus considérés seulement comme des matériaux verts mais présentant de plus un bon rapport performances/prix. Les performances visées sont à la fois techniques, économiques et environnementales.

Les travaux présentés se concentreront sur l'influence de la morphologie des matières premières et de la densité sur la conductivité thermique apparente de matériaux à base de fibres de bois. Le procédé consiste à défibrer les copeaux de bois en faisceaux de fibres et fibres individuelles, à former un réseau fibreux 3D et à le consolider dans un four à air chaud.

Les matériaux sont constitués d'un mélange de pin maritime et de fibres polyoléfiniques d'une longueur de 6 mm et d'un diamètre d'environ 6 µm. 5 différentes populations de fibres de pin maritime ont été produites en diminuant progressivement l'espace entre les disques du défibreur (référéncées de PM1 à PM5). Les densités apparentes des isolants fibreux à base de bois sont ajustées par un facteur compression durant leur consolidation défini par l'espace entre les tapis convoyeurs du four et l'épaisseur d'entrée des réseaux fibreux.

La distribution du diamètre des populations des fibres de bois (après défibrage) a été caractérisée par microtomographie RX. La résolution des images 3D est de 12.3 microns/voxel et le volume analysé est de 8.6 x 8.6 x 12.3 mm<sup>3</sup>. La table 1 présente les diamètres moyens arithmétiques des populations de fibres de pin maritime.

Tab. 1 : diamètre moyen arithmétique des 5 populations de fibres de pin maritime

Population des fibres de pin maritime	PM1	PM2	PM3	PM4	PM5
Diamètre moyen arithmétique [µm]	353.8	162.1	113.6	85.6	74.4

Les propriétés thermiques des matériaux fibreux à base de bois ont été évaluées par la technique du plan chaud (équipement Desprotherm d'Epsilon Alcen). Toutes les mesures ont été faites sur des spécimens stabilisés à 65%RH/20°C. A partir des résultats expérimentaux et d'un modèle semi-empirique (1) proposé par (Langlais, 2004), il est possible de simuler la contribution des différents modes de transferts de chaleur à l'intérieur de réseaux fibreux en fonction de leur densité apparente  $\rho^*$ :

$$\lambda_{app}^* = A + B\rho^* + \frac{C}{\rho^*} \quad (1)$$

Avec  $\lambda^*_{app}$  la conductivité thermique apparente,  $A$  la conduction de l'air (égale à 26 mW/mK à 25 °C),  $B\rho^*$  la conduction de la matrice solide et  $C/\rho^*$  le rayonnement à l'intérieur du réseau fibreux. Une technique itérative, basée sur l'algorithme de Levenberg-Marquardt, a été utilisée pour résoudre l'estimation des paramètres  $B$  et  $C$  (Marquardt, 1963).

La figure 1 illustre l'évolution de la conductivité thermique apparente en fonction de la densité apparente des mélanges PMiS.  $PMi_{exp}$  sont les résultats expérimentaux et  $PMi_{calc}$  sont les courbes calculées à partir du modèle semi-empirique (1).

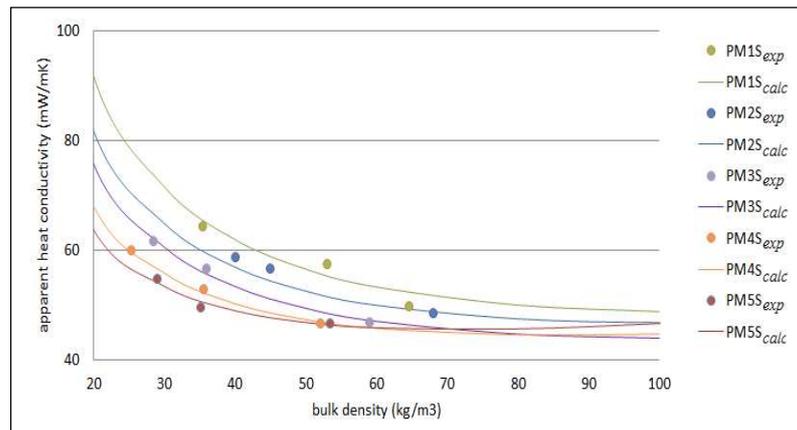


Fig. 1 : évolution de la conductivité thermique apparente des mélanges PMiS en fonction de leur densité apparente

Conformément à l'allure des courbes  $PMi_{calc}$ , la conductivité thermique apparente diminue avec la finesse des fibres de bois (à même température, taux d'humidité relatif et densité apparente). Cette influence est particulièrement importante quand les densités apparentes sont faibles.

D'autres essences que le pin maritime seront investiguées dans les mois à venir. Les résultats seront combinés avec ceux obtenus à partir des objectifs environnementaux et économiques. Puis à partir d'une technique d'optimisation multi-objectifs, les meilleurs compromis satisfaisant simultanément ces objectifs contradictoires seront trouvés (Hobballah et al. 2016).

## Références

Langlais, C., Klarsfeld, S. (2004) Isolants thermiques à température ambiante, Bases physiques. Techniques de l'ingénieur Extrait de la collection, BE 9859, 1-17.

Hobballah, M., Vignon, P., Tran, H. (2016) Multi-objective optimization of an insulating product based on wood fibres material. 19<sup>th</sup> ESAFORM Conference

## Remerciements

Les auteurs remercient l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) et la société FINSA France pour leur soutien financier. Les auteurs remercient également l'agence nationale de la recherche (ANR) pour l'équipex XYLOFOREST (ANR-10-EQPX-16). Enfin, les auteurs remercient tous les acteurs du projet ECOMATFIB.

## Session B : Mercredi 9 novembre (9h30-10h30/ pause 10h30-11h30)

Poster	Auteurs	Titres	Laboratoire Ville, pays	Page
<b>B01</b>	<u>SOHOUNHLOUE Jamik</u> , SOLBES Bernard, GALIMARD Philippe, GBAGUIDI AÏSSE Léopold Gérard	Le Rônier comme armature du béton-armé au Bénin : caractérisation de l'adhérence.	I2M-CGE Bordeaux	72
<b>B02</b>	<u>PHAN Ngoc Anh</u> , POMMIER Régis, NGUYEN Sung Lam, DESTREBECQ Jean-François, MAKOMRA Valentin, CHAPLAIN Myriam, MOREL Stéphane	Modélisation des comportements hydromécaniques d'assemblages collés : Formalisation du modèle comme outil de conception de matériaux à base de bois massif	I2M-GCE bordeaux	73
<b>B03</b>	<u>KLEINDIENST Quentin</u> , BESSERER Arnaud, ANTOINE Marie-Laure, PERRIN Christelle, BOCQUET Jean-François, BLERON Laurent	Pieux de fondation : analyse de la dégradation du hêtre en conditions de service	Lermab Nancy	75
<b>B04</b>	<u>SALIBA Jacqueline</u> , SBARTAÏ Z.M., DAHOU Z., CHINH M.	Evaluation de l'endommagement et de l'humidité du bois par émission acoustique et système radar	I2M-GCE Bordeaux	77
<b>B05</b>	<u>SAHMIM Wissem</u> , DELLAROSE BOER Febrina, CHAPUIS Hubert, GERARDIN Philippe, DHOUBI Leila, GERARDIN-CHARBONNIER Christine	Hydrophobic derivatives of catechine for wood protection	Lermab Nancy	79
<b>B06</b>	<u>LIN Bo-Jhih</u> , PETRISSANS Anélie, ROUSSET Patrick, CHEN Wei-Hsin, PETRISSANS Mathieu	Kinetic parameters from wood thermal degradation under vacuum to implement a mathematic model	Lermab Nancy	81
<b>B07</b>	<u>SAUVAT Nicolas</u> , VARNIER Maximin, MONTERO Cédric, DUBOIS Frédéric, GRIL Joseph	Comportement à long terme des feuillus Français - Intégration aux Eurocode 5	GEMH Egletons	83
<b>B08</b>	<u>VARNIER Maximin</u> , SAUVAT Nicolas, MONTERO Cédric, DUBOIS Frédéric, GRIL Joseph	Mesures et modélisation de la diffusion dans le bois en ambiance non contrôlée	GEMH Egletons	85
<b>B09</b>	<u>MONTERO Cédric</u> , BURGERS Agnès, ARNOULD Olivier, WATTRISSE Bertrand, GRIL Joseph	Prise en compte de l'anisotropie dans la détermination des coefficients de variations hygroscopiques des bois	LMGC Montpellier	87
<b>B10</b>	<u>BURGERS Agnès</u> , MONTERO Cédric, VINCHES Marc, MARCHAL Rémy	Caractérisations physico-mécaniques de sciages de 1er choix pour la conception mécanique : Application aux pins méditerranéens	LMGC Montpellier	89
<b>B11</b>	<u>DUPLEIX Anna</u> , JULLIEN Delphine	Contributions du matériau bois des ruches à l'activité et la santé des colonies d'abeilles	LMGC Montpellier	91
<b>B12</b>	<u>LI Hang</u> , PERRIN Marianne, EYMA Florent, JACOB Xavier, GIBIAT Vincent	Utilisation de matériaux bois intelligents pour la gestion durable des infrastructures	ICA Tarbes	93
<b>B13</b>	<u>RAMANAKOTO Miora</u> , EYMA Florent, RAMANANANTOANDRO Tahiana, GEISLER Jérémy, CASTANIE Bruno	Finition des surfaces bois usinées - Quelles caractéristiques pour quelles performances?	ICA Tarbes	95
<b>B14</b>	<u>YAHYAOU Imen</u> , PERRIN Marianne, GONG Xiaojing	Etude par émission acoustique des structures multi-matériaux à base de bois	ICA Tarbes	97
<b>B15</b>	<u>EKOMY ANGO Serge</u> , SEBASTIAN Patrick, MOUTOU PITTI Rostand	Conception et fabrication d'une chaudière à biomasse pour les pays du bassin du Congo	IP / CENAREST Clermont-Fd / Congo	99

<b>B16</b>	<u>MANFOUMBI</u> Nicaise, <u>SOUAMI</u> Valérie, <u>MOUTOU PITTI</u> Rostand, <u>BASTIDAS-ARTEAGA</u> Emilio	Variabilité spatiale des paramètres physico-mécaniques des poutres en bois tropical soumis à un fluage de longue durée en milieu tropical naturel	IP / Uni. Masuku Gabon	<b>101</b>
<b>B17</b>	<u>PAMBOU NZIENGUI</u> Claude Feldman, <u>MOUTOU PITTI</u> Rostand, <u>FOURNELY</u> Eric, <u>GODI</u> Gaël, <u>ANGELLIER</u> Nicolas, <u>FARGEIX</u> Philippe, <u>CHANAL</u> Dannyl, <u>IKOGO</u> U Samuel, <u>DUBOIS</u> Frédéric	Projet ANR JCJC CLIMBOIS: Impact des conditions climatiques sur la propagation de fissure de poutres de Douglas en fluage extérieur	IP Clermont-Fd	<b>103</b>
<b>B18</b>	<u>BOUDAUD</u> Clément, <u>KACI</u> Lila, <u>BRIOT</u> Sébastien, <u>MARTINET</u> Philippe	RobEcolo : Conception et commande d'un robot industriel en bois	LIMBHA Nantes	<b>105</b>
<b>B19</b>	<u>BUCHNER</u> Julia, <u>IRLE</u> Mark, <u>MICHAUD</u> Franck, <u>BELLONCLE</u> Christophe, <u>MACCHIONI</u> Nicola	Do biotic and abiotic factors have synergistic effects on the weathering of wood?	LIMBHA Nantes	<b>107</b>
<b>B20</b>	<u>HOBBALLAH</u> Mohamad Hussein, <u>MICHAUD</u> Franck, <u>NDIAYE</u> Amadou, <u>IRLE</u> Mark	Elicitation et intégration des connaissances expert dans le domaine de fabrication d'un isolant à base de fibre de bois	LIMBHA Nantes	<b>108</b>
<b>B21</b>	<u>GUEDES F T P</u> , <u>LAURANS</u> F, <u>QUEMENER</u> B, <u>ASSOR</u> C, <u>BOIZOT</u> N, <u>VIGOUROUX</u> J, <u>LESAGE-DESCAUSES</u> M-C, <u>LEPLE</u> J-C, <u>DEJARDIN</u> A, <u>PILATE</u> G	Non-cellulosic polysaccharide distribution during G-layer formation in poplar tension wood fibers: abundance of rhamnogalacturonan I and absence of xyloglucan	INRA-AGPF Orléans	<b>110</b>

## Le Rônier comme armature du béton-armé au Bénin : Caractérisation de l'adhérence

SOHOUNHLOUE Jamik<sup>1</sup>, SOLBES Bernard<sup>2</sup>, GALIMARD Philippe<sup>2</sup>,  
GBAGUIDI AISSE Léopold Gérard<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire d'Energétique et de Mécanique appliquées (LEMA) – EPAC – Bénin

<sup>2</sup>I2M-GCE Université de Bordeaux

[s.agbecin@yahoo.fr](mailto:s.agbecin@yahoo.fr)

**Mots clefs :** Adhérence, ancrage, béton, pull compression, Rônier

### Résumé

Ce travail concerne l'étude de l'adhérence entre le béton et le rônier (*Borassus Aethiopum*) qui est une matière ligneuse issu d'un palmier abondant en République du Bénin. L'objectif est d'évaluer le potentiel d'utilisation du rônier comme armature végétale dans les ouvrages en béton armé en remplacement des aciers principaux. Pour mener à bien notre étude, nous avons réalisé des essais pull compression sur des éprouvettes en béton armé de rônier dosées à 350 et 700 kg/m<sup>3</sup>. Les éprouvettes confectionnées sont constituées d'armatures de rônier de sections 20x20 mm<sup>2</sup> noyées respectivement dans des prismes de béton de dimension 200x200x200 mm<sup>3</sup> et 100x100x100 mm<sup>3</sup>. Les longueurs d'ancrage du rônier varient de 50 à 150mm suivant le volume du béton.

Les résultats des essais nous révèlent que la contrainte d'adhérence rônier-béton est comparable à celle d'un rond lisse. Cette contrainte d'adhérence dépend très peu du dosage et donc de la résistance du béton. On étudie également l'effet de la taille du prisme.

La disponibilité naturelle du rônier n'autorise que des longueurs limitées à 3 mètres : il apparaît nécessaire de l'abouter. Son aptitude au collage est donc évaluée par aboutage par enture, plats métalliques et moises rônier collées. Un ancrage par crosse peut en être déduit.

## **Modélisation des comportements hydromécaniques d'assemblages collés : Formalisation du modèle comme outil de conception de matériaux à base de bois massif**

PHAN Ngoc Anh<sup>1</sup>, POMMIER Régis<sup>1</sup>, NGUYEN Sung Lam<sup>2</sup>, DESTREBECQ Jean-François<sup>2</sup>, MAKOMRA Valentin<sup>1</sup>, CHAPLAIN Myriam<sup>1</sup>, MOREL Stéphane<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Bordeaux, I2M/GCE, 351 cours de la libération-33405 Talence, France

<sup>2</sup> Université Blaise Pascal, BP 10448, 63000, Clermont-Ferrand, France

[na.phan@i2m.u-bordeaux1.fr](mailto:na.phan@i2m.u-bordeaux1.fr)

**Mots clefs :** collage, bois vert, séchage, hydromécaniques, contraintes internes, optimisation

### **Introduction**

Dans le domaine industriel, il est connu que le collage du bois à l'état vert présente des avantages par rapport au collage classique à l'état sec (teneurs en eau comprises entre 8% et 16%). Un gain énergétique et un rendement de matière plus importants est possible sur les procédés classiques d'aboutage de lamellation par exemple Pommier et al (2006). En ce qui concerne la lamellation du bois à l'état vert. Au cours du séchage, le gradient de teneur en eau provoque un retrait non-uniforme du bois, faisant apparaître des contraintes internes (le bois sous un comportement viscoélastique mécano-sorption) qui probablement sont à l'origine de la fissuration et de la non-stabilité de la structure bois lors que ces contrainte dépassent un (ou des) seuil(s) limites du matériau.

Les structures en bois sont soumises à plusieurs facteurs qui influencent sa performance dans le temps, comme la variation de la température, la teneur en eau qui ont des effets permanents sur les déformations préférentiels du bois. Au niveau du matériau utilisé, cette performance est dépendent de la provenance du bois (essence, etc.), la configuration (position des cernes), sa nervosité, l'hétérogénéité.... Plusieurs études sont réalisé sur ce sujet en séparément ces facteurs influençant les contraintes internes (Angst-Nicollier, 2012).

Le travail présenté consiste à faire varier les trois facteurs principaux pouvant engendrer des déformations sur la section d'un bois dans le cadre d'un plan d'expérience (densité, dimensions des avivés et orientations de cernes).

Ce plan d'expérience numérique a pour but de formaliser un procédé industriel complet de fabrication des produits finis à l'état vert (BLC : bois lamellé collé), en connaissant les contraintes internes pouvant se développer lors de leur du séchage et de leur usage. Un seuil de contraintes internes permettra de choisir pour un bois et un type de matériau par exemple, les sections et les orientations de cernes acceptables pour rester en dessous du seuil de contraintes.

### **Simulation**

Le BLC constitué de 5 lames est modélisé en 2D. Le transfert hydrique est considéré isotherme à basse température (40°C). La variation de la teneur en eau est contrôlé de 30% et 12% (30% est considéré la teneur en eau initial (le collage du bois à l'état vert). Pour le comportement hygro-mécanique du bois, un modèle viscoélastique mécano-sorption, proposé et validé par Nguyen et al. (2015), est utilisé. Dans ce modèle, pour la partie viscoélastique, le model du Maxwell avec 3 branches est utilisée. Comme indiqué ci-haut, les trois facteurs considérés sont :

- a) Densité du bois dont les quatre valeurs (440, 550, 620, 730) kg/m<sup>3</sup> indique la plage de la plupart des essences (Peuplier, Pin Maritime, Châtaigner, Chêne, respectivement).

- b) Trois dimensions des échantillons selon le standard dans l'industrie : (50x100, 50x150 et 40x100)
- c) Pour les positions de cerne : 36 cas (voir le figure 1a). Ce choix est basé sur la plupart des positions des cernes.

En considérant ces trois facteurs, 432 configurations (4x3x36) ont été étudiées. Dans un premier temps, les l'enveloppe pour ces cas sont tracée afin de déterminer le seuil du contrainte interne due à ces facteurs (Fig.2).

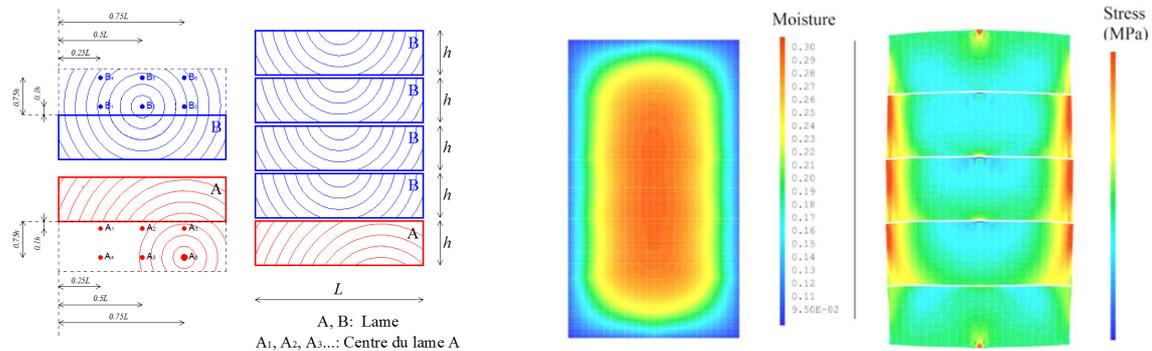


Fig.1 a) la répartition de la position du cerne, b) la distribution de la teneur en eau et b) la contrainte tangentielle dans BLC à l'instant  $t = 72$  heures.

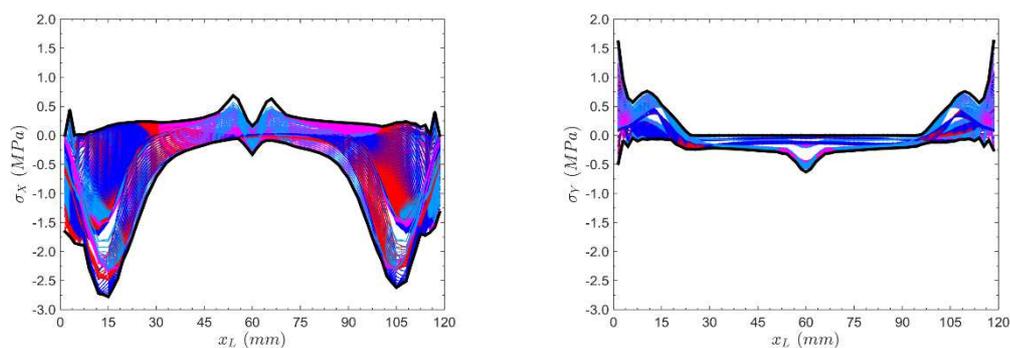


Fig.2 La distribution des contraintes  $\sigma_x$  (a) et  $\sigma_y$  (b) au long de l'interface de joint du collage et les lamelles jusqu'à le temps de séchage ( $t = 36$  heures) (pour 26 cas étudiés)). Les courbes noires représentent les courbes enveloppes. La largeur du BLC est choisi  $L = 120$ mm.

## Conclusion

Basé sur le plan d'expérience numérique, une stratégie optimisation pour formaliser un procédé industriel complet de fabrication des produits finis à l'état vert est proposé et analysé. Dans un premier temps, ce travail consiste à faire varier les trois facteurs principaux pouvant engendrer des déformations sur la section d'un bois ; et à déterminer le seuil de la contrainte interne due à ces facteurs.

## Références

- R. Pommier et G. Elbez (2006), « Finger-jointing green softwood : Evaluation of the interaction between polyurethane adhesive and wood », Wood Material Science and Engineering, vol. 1,no. 3-4, p. 127–137, 2006.
- Angst-Nicollier Vanessa (2012) Moisture Induced Stresses in Glulam, thèse du Norwegian University of Science and Technology.
- Nguyen S-L, Destrebecq J-F (2015) Modèle incrémental à pas de temps fini pour la simulation du comportement hydromécanique du bois. AUGC 2015. pp 1–8.

## **Pieux de fondation : analyse de la dégradation du hêtre en conditions de service**

KLEINDIENST Quentin<sup>1</sup>, BESSERER Arnaud<sup>1</sup>, ANTOINE Marie-Laure<sup>1</sup>, PERRIN Christelle<sup>1</sup>, BOCQUET Jean-François<sup>1</sup>, BLERON Laurent<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lermab, Université de Lorraine

[quentin.kleindienst@univ-lorraine.fr](mailto:quentin.kleindienst@univ-lorraine.fr), [arnaud.besserer@univ-lorraine.fr](mailto:arnaud.besserer@univ-lorraine.fr)

**Mots clefs :** Pieu de fondation, dégradation fongique, activités enzymatiques, modèle prédictif, NIR

### **Introduction**

Dans un contexte de développement durable, le bois peut constituer une alternative intéressante comparé aux matériaux traditionnels. Malgré le faible coût du matériau bois et son bilan carbone avantageux, l'utilisation de pieux de fondation en bois reste marginale en France. Cependant, ce procédé a largement été utilisé par le passé et est encore très répandus dans d'autres pays (Etats-Unis, Hollande). Néanmoins, une meilleure connaissance de l'évolution des propriétés mécaniques du bois dans une telle utilisation est requise pour promouvoir son utilisation. Ainsi qu'une meilleure connaissance des risques de dégradation du bois. En effet, de par les fluctuations du niveau de la nappe phréatique, des conditions optimales sont créés pour le développement des champignons de dégradation. Bien souvent, lorsque des pieux bois sont utilisés, ils sont traités avec des produits de forte toxicité. Pour promouvoir l'utilisation du bois en fondation sur la base de sa durabilité naturelle, il est nécessaire de développer des outils de prédiction de l'évolution des propriétés mécaniques du bois en service. Il apparait aussi primordial de développer des outils de diagnostic de l'état sanitaire de pieux en fonction.

L'objectif de cette étude est d'utiliser une approche multidisciplinaire pour analyser le processus de dégradation du bois dans un sol biologiquement actif, et de prédire la résistance mécanique du bois à partir de différentes mesures réalisées par échantillonnage sur un pieu en fonction.

### **Dispositif expérimental**

Nous avons mené une expérience sur la dégradation du bois de hêtre en mésocosme. Cette expérience a été réalisée sur neuf barreaux de section 25mm x 25mm, partiellement enterrés verticalement. De nombreuses mesures ont été réalisées, après deux mois de dégradation sur ces barreaux à différentes profondeurs :

- Mesure d'humidité relative du bois
- Mesure d'activités enzymatiques
- Mesure du taux de colonisation
- Mesure de la résistance en compression longitudinale (MOR)
- Evaluation des modifications chimiques par mesure infrarouge proche

Pour réaliser ces mesures à différentes profondeurs, les barreaux ont été découpés en cinq éprouvettes correspondant chacune à une profondeur.

### **Résultats - Conclusion**

Les mesures réalisées ont pour but de décrire le mieux possible l'état sanitaire du bois. Aucune mesure n'est suffisante à elle seule pour décrire le niveau de dégradation du bois. Par conséquent, à partir de l'ensemble de ces mesures, excepté celle de MOR, une ACP (analyse en composantes principales) a été réalisée. La mesure de MOR n'est pas prise en compte car elle ne peut pas être réalisée sur site. Or l'objectif de cette analyse est de classer les éprouvettes

selon leur niveau de dégradation, à partir de mesures potentiellement réalisables sur site. Ainsi, à partir des résultats de l'ACP, nous avons été capables de classer les éprouvettes en différents groupes, chacun représentatif de différents niveaux de dégradation (figure 1). Pour illustrer ces différences, la moyenne de MOR ( $f_{c,0}$  sur la figure 1) a été calculé pour chacun des groupes.

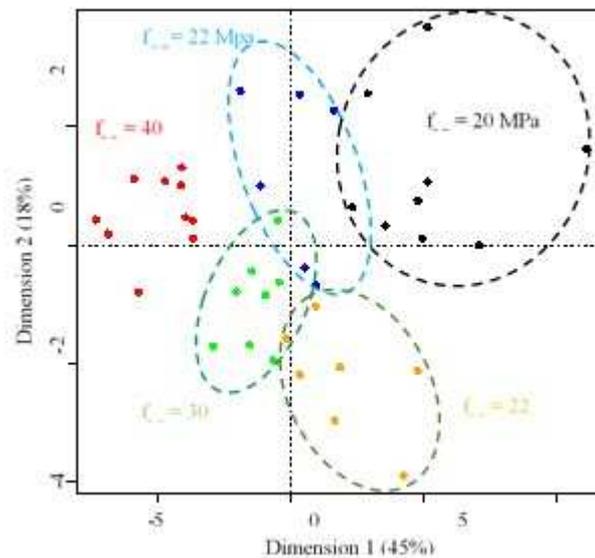


Fig. 1 : Résultats de l'analyse ACP, incluant l'ensemble des données, excepté la mesure de résistance mécanique.

En utilisant une régression linéaire multiple, nous avons aussi pu établir un modèle de prédiction de la résistance des éprouvettes (figure 2). Ce modèle peut être potentiellement transposable à des mesures réalisées sur un pieu en fonction.

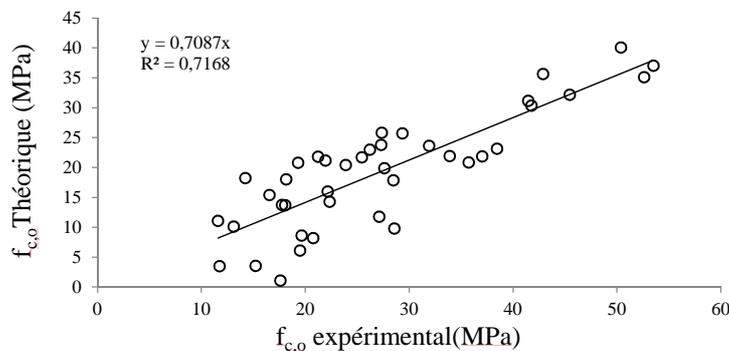


Fig. 2 : Modèle de prédiction de la résistance mécanique des éprouvettes.

En conclusion, cette expérience préliminaire démontre qu'il est possible, en ayant une approche multidisciplinaire de décrire précisément le niveau de dégradation d'un pieu à partir de prélèvement et de mesures réalisées sur site. Et ainsi d'évaluer les risques de dégradation à court ou moyen terme. Mais également d'évaluer les propriétés mécaniques du bois à partir de ces mêmes mesures.

## Evaluation de l'endommagement et de l'humidité du bois par émission acoustique et système radar

SALIBA Jacqueline<sup>1</sup>, SBARTAÏ Z.M.<sup>1</sup>, DAHOU Z.<sup>2</sup>, CHINH M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Mécanique des Structures LMS, Université de Bechar, Algérie.

<sup>2</sup> I2M, UMR 5295, Département génie civil et Environnemental, Université de Bordeaux, CNRS, INRA, France.

[Jacqueline.saliba@u-bordeaux.fr](mailto:Jacqueline.saliba@u-bordeaux.fr)

**Mots clefs :** bois, émission acoustique, endommagement, humidité relative, radar

Le bois est un matériau naturel de plus en plus utilisé dans la construction. Les causes de dégradation du bois peuvent être d'origine mécanique ou biologique. Afin de diagnostiquer correctement les pathologies des structures en bois, deux méthodes de contrôle non destructif sont proposées dans cette étude. La première, l'émission acoustique (EA), permet de suivre l'évolution de l'endommagement du bois sous chargement. La deuxième technique, le système radar, permet d'évaluer l'humidité du bois souvent responsable des attaques de champignons et d'insectes si l'humidité relative est assez importante.

### Suivi continu de l'endommagement du bois à l'aide de la technique d'EA

Afin d'améliorer les outils de conception des structures en bois, la connaissance des mécanismes de fissuration est un élément primordial à appréhender. Une investigation expérimentale est proposée en réalisant un essai de fissuration en traction (Mode I) provoquée par enfoncement d'un coin (Wedge Splitting Test). Le suivi de l'endommagement durant ces essais est effectué à l'aide de la technique d'EA en 2D avec 6 capteurs piézoélectriques placés autour de la zone de propagation de la fissure. La localisation cumulée des événements acoustiques et les paramètres des signaux (énergie, amplitude, etc.) ont été étudiés durant les différentes phases de l'essai de traction (Fig. 1). Les résultats montrent une bonne corrélation entre les courbes force-CMOD et l'activité acoustique. La largeur de la zone de microfissuration a été aussi estimée à partir des cartes de localisation.

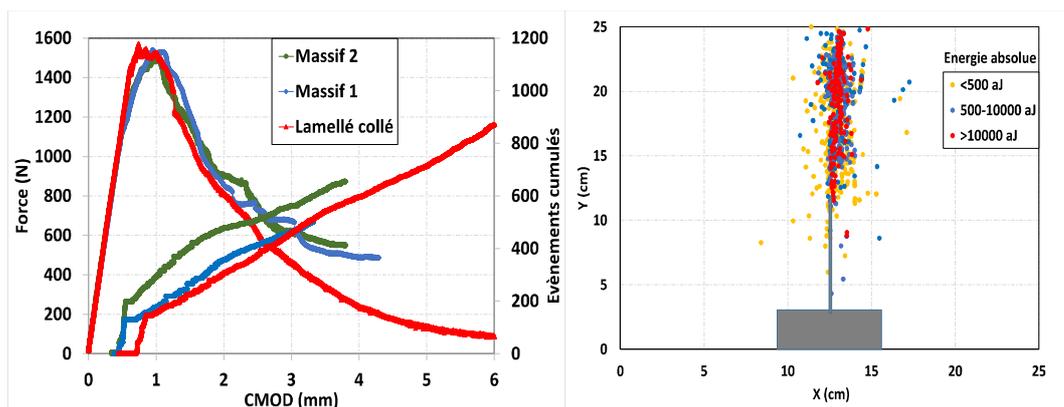


Fig. 1 : a) Corrélation entre les courbes force-CMOD et événements acoustiques cumulée, b) Plan des sources d'EA localisées à la fin de l'essai pour une éprouvette en bois massif de pin.

### Evaluation de l'humidité du bois à l'aide de la technique radar

Afin de limiter les actions de réparation du bois, l'évaluation et la quantification de la variation spatiale de l'humidité est nécessaire. Le système radar, basé sur la propagation des ondes électromagnétiques, est utilisé afin d'évaluer les variations d'humidité. C'est un outil

d'auscultation non destructif, rapide compact et sans contact. L'évaluation du bois est réalisée en prenant en compte l'effet de la densité et l'orientation des fibres. Un signal typique enregistré dans le sens longitudinal et transversal est présenté sur la figure 2. Les résultats montrent que la constante diélectrique est dépendante de l'humidité avec un changement de comportement au niveau du point de saturation des fibres dû à l'apparition de l'eau libre plus facile à polariser sous l'action du champ électrique (Fig. 2).

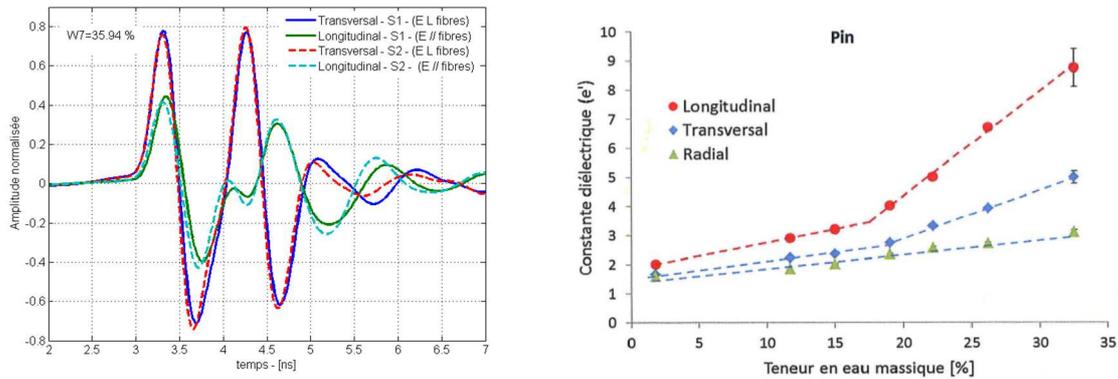


Fig. 2 : Effet de l'eau liée et l'eau libre sur la constante diélectrique pour le pin.

## Références

Dahou Z., Saliba J., Sbartai Z.M., Boniface A., Morel S. (2015) Détection et évaluation de l'endommagement mécanique du bois par émission acoustique, 33<sup>èmes</sup> Rencontres Universitaires de Génie Civil, 26-29 mai, Bayonne, France.

Mai T.C., Razafindratsima S., Sbartai Z.M., Demontoux F., Bos F. (2015) Non-destructive evaluation of moisture content of wood material at GPR frequency, Construction and Building Materials, vol.77, pp.213-217.

## Hydrophobic derivatives of catechin for wood protection

SAHMIM Wissem, DELLAROSE BOER Febrina, CHAPUIS Hubert, GERARDIN Philippe,  
DHOUBI Leila, GERARDIN-CHARBONNIER Christine

Laboratoire d'Etudes et de Recherche sur le Matériau Bois (LERMAB), EA 4370- USC  
INRA, Université de Lorraine, Faculté des Sciences et Technologies, BP 70 239, 54506  
Vandœuvre-Lès-Nancy cedex, France  
[wissem.sahmim@univ-lorraine.fr](mailto:wissem.sahmim@univ-lorraine.fr)

**Key words:** antioxydant, catechin, wood-extractives, chemical modification, wood-preservation.

### Abstract

Wood products are extensively used for construction and other outdoor applications where the wood can be degraded by many different fungi [1], insects such as termites [2], or organisms in marine environments [3,4]. To prevent this, in applications where they can be degraded non-durable wood products should be treated with biocides. Moreover, there are many chemical treatments but important changes occurred during this last decade related to environmental reasons and governmental regulations and leading to the decrease or even the disappearance of the biocides. That is why, nowadays, many researches are conducted to find solutions in the field of wood preservation. A solution to decrease the quantity of biocide is to use an anti-oxidant. Indeed, addition of an anti-oxidant compound allows obtaining a synergistic effect with biocide and some previous works in the laboratory have shown that it allows decreasing the quantity of product needed to have efficient antifungal effect. Moreover we are interested to valorize wood-extractives and in particular the polyphenolic compounds. These compounds, and more precisely flavonoids like catechin, are well known as natural anti-oxidant compounds and to inhibit oxidation phenomena, through the ability to scavenge free radicals or to complex the metals.[1-] However, their solubility in water is a barrier to their use as an active for the preservation of wood for outdoor uses.

The aim of this study was to chemically modify hydroxy groups of catechin to increase its lipophilicity and to investigate the possibility for applying these derivatives from catechin in the field of wood preservation. Different parameters like weight-percent-gain after impregnation, resistance to leaching, percentage of leaching, and decay resistance to the white rot fungus *Coriolus versicolor* have been investigated to evaluate the efficacy of the modified catechin as a wood preservative.

### Références

- [1] Goodell B, Qian Y, Jellison J. In: Development of commercial wood preservatives: Efficacy, Environmental, and Health Issues. Am. Chem. Soc. Symp. Series 982, Washington, DC, 2008; Chp. 2.
- [2] Amburgey TA. Development of commercial wood preservatives: Efficacy, Environmental, and Health Issues. Am. Chem. Soc. Symp. Series 982, Washington, DC, 2008; Chp. 3.
- [3] Distel DL. In: Wood deterioration and preservation: advances in our changing world. Am Chem Soc Symp Series 845, Washington, DC. 2003; Chp. 14.
- [4] Craig, SM. In: Wood deterioration and preservation: advances in our changing world. Am Chem Soc Symp Series 845, Washington, DC. 2003; Chp. 15.

- [5] Synthesis and properties of antioxidant amphiphilic ascorbate salts" Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, T. Koumbi Mounanga, P. Gérardin, B. Poaty, D. Perrin, C. Gérardin Colloids and Surfaces A: physicochem. Eng. Aspects, 318 (2008)134-140
- [6] "Synergistic wood preservatives involving EDTA, Irganox 1076 and 2-hydroxypyridine-N-oxide." Mabicka, S. Dumarçay, N. Rouhier, M. Linder, J.P. Jacquot, P. Gérardin, E. Gelhaye. International Biodeterioration Biodegradation, 55 (3) 203-211, 2005

## Kinetic parameters from wood thermal degradation under vacuum to implement a mathematic model

LIN Bo-Jhih<sup>1</sup>, PETRISSANS Anélie<sup>1</sup>, ROUSSET Patrick<sup>2</sup>, CHEN Wei-Hsin<sup>3</sup>,  
PETRISSANS Mathieu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire d'Etudes et de Recherches sur le Matériau Bois, EA 4370, Université de Lorraine, Faculté des Sciences et Technologies, Nancy, France.

<sup>2</sup> French Agriculture Research Centre for International Development (CIRAD), Montpellier, France.

<sup>3</sup> Department of Aeronautics and Astronautics, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan.

[bo-jhih.lin@univ-lorraine.fr](mailto:bo-jhih.lin@univ-lorraine.fr)

**Keywords:** Wood heat treatment, thermal degradation, vacuum reactor, kinetic model

### Abstract

Wood heat-treatment technique has been developed rapidly in the past decades, it is an attractive way to improve the properties of wood, such as equilibrium moisture content (EMC), dimensional stability and durability [Candelier et al., 2013]. The treatment temperatures are in the range from 180 to 240 °C, under an inert atmosphere [Candelier et al., 2016; Esteves and Pereira 2009]. Some advantages of wood treatment by the vacuum reactor are reported. The drying time of wood is decreased, and the end-product with lower volatiles which accelerate the degradation phenomena of wood [Torres et al., 2011; Sandak et al., 2015]. In the present work, the thermal degradation of wood under vacuum condition is investigated. Two different wood species, poplar (*Populus nigra*) and sapin (*Picea abies*), are examined in this study. The effects of operating conditions (temperature, heating rate and duration of treatment) on wood thermal degradation are studied. The reaction system involved four subsystems: heat treatment, balance measurement, vacuum compressor, and data collection. In addition, the properties of heated wood, such as higher heating value (HHV) and elemental analysis are examined. The experimental flow chart is shown in Fig. 1. These data will be useful to increase and improve an kinetic model to predict the weight loss percentage of wood during the heat treatment under vacuum condition. The kinetic model is based on Di Blasi approach [Di Blasi and Lanzetta 1997] and the kinetic parameters are calculated from the experiment results. As a whole, the obtained results and developing model are conducive to performing the heat treatment of wood in industry. Moreover, the operating cost of wood heat treatment can be reduced.

### Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge for the financial support (program ANR-11-LABEX-0002-01, Lab of Excellence ARBRE).

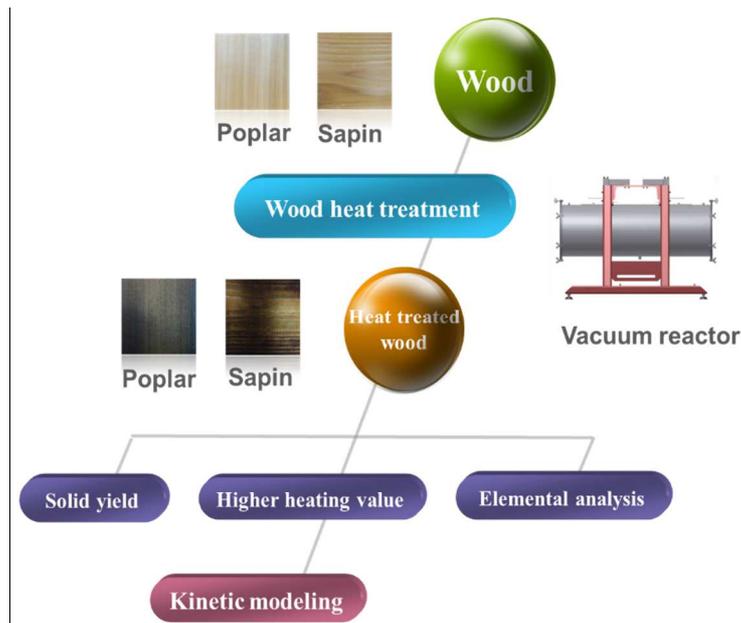


Fig. 1: Experiment flow chart of wood heat treatment under vacuum condition

## Reference

- Candelier K., Dumarçay S., Pétrissans A., Desharnais L., Gérardin P., Pétrissans M. (2013) Comparison of chemical composition and decay durability of heat treated wood cured under different inert atmospheres: Nitrogen or vacuum, *Polymer Degradation and Stability*, 98, 677-681.
- Candelier K., Thévenon M.F., Pétrissans A., Dumarçay S., Gerardin P., Pétrissans M. (2016) Control of wood thermal treatment and its effects on decay resistance: a review, *Annals of Forest Science*, 1-13.
- Di Blasic C., Lanzetta M. (1997) Intrinsic kinetics of isothermal xylan degradation in inert atmosphere, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 40-41, 287-303.
- Esteves B.M., Pereira H.M. (2009) Wood modification by heat treatment a review, 4(1), 370-404.
- Sandak A., Sandak J., Allegretti O. (2015) Quality control of vacuum thermally modified wood with near infrared spectroscopy, *Vacuum*, 114, 44-48.
- Torres S.S., Jomaa W., Puiggali J.R., Avramidis S. (2011) Multiphysics modeling of vacuum drying of wood, *Applied Mathematical Modelling*, 35, 5006–5016.
- Sandak A., Sandak J., Allegretti O. (2015) Quality control of vacuum thermally modified wood with near infrared spectroscopy, *Vacuum*, 114, 44-48.

## Comportement à long terme des feuillus Français - Intégration aux Eurocode 5

SAUVAT Nicolas<sup>1</sup>, VARNIER Maximin<sup>1</sup>, MONTERO Cédric<sup>2</sup>, DUBOIS Frédéric<sup>1</sup>,  
GRIL Joseph<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univ. Limoges, GEMH, EA 3178, F-19300 Egletons, France

<sup>2</sup> Univ. Montpellier, LMGC, UMR 5508, F-34090 Montpellier, France

[maximin.varnier@etu.unilim.fr](mailto:maximin.varnier@etu.unilim.fr)

**Mots clefs :** Eurocode 5, feuillus Français, fluage, mécanosorption.

### Le projet EFEUR 5 (financement ANR) et son contexte

La France est la première forêt de feuillus d'Europe mais le marché de la construction bois s'approvisionne essentiellement en bois résineux. La tension sur la ressource résineuse, l'augmentation du marché de la construction bois en France et la ressource locale feuillue mobilisable poussent logiquement les acteurs de la filière bois à réfléchir et commencer à mettre en œuvre ces essences dans le bâtiment. Les Eurocodes et les normes européennes associées sont bâtis sur les expériences et recherches sur les résineux. L'optimisation des structures feuillues ne pourra se faire qu'en redéfinissant les mêmes paramètres et propriétés pour les feuillus.

Le programme EFEUR5 (Comportements structurels des Essences de bois Feuillus français en vue de leur meilleure intégration aux EUROcodes 5) a cet objectif et cette ambition. Le programme, centré sur les essences de chêne, de hêtre et de peuplier, essences majoritaires et au plus fort potentiel, repose sur la mise en commun des équipes de recherche les plus expérimentées en termes de structures bois. Ce projet vise à développer des outils et des connaissances nécessaires à la mise sur le marché de produits structurels en feuillus français. L'objectif est de fiabiliser l'utilisation de ces essences pour les structures en bois justifiées selon les règles Eurocode 5 par les validations ou les corrections nécessaires. Bien que quelques rares études sur certaines essences feuillues existent, elles doivent être complétées par de nouvelles données scientifiques et expérimentales. Plusieurs incertitudes sont à lever, dont :

- La connaissance des comportements à long terme des bois d'essences feuillues ;
- La connaissance des propriétés mécaniques dites secondaires des essences feuillues ;
- La définition des modèles de calcul des assemblages des pièces de bois de feuillus ;
- L'anticipation des propriétés mécaniques : connaissance de l'impact du développement de l'arbre sur les propriétés du matériau, lien entre anatomie et physique.

Le projet se construit autour des savoir-faire et des compétences scientifiques développées sur le matériau bois et les structures bois par les laboratoires LERMAB, GEMH, LMGC et LERFOB. Le centre de transfert de technologie CRITT Bois coordonnera ce projet, préparera le transfert des résultats du projet et orientera les travaux pour des débouchés économiques majeurs pour la filière bois.

### Compréhension du comportement long terme

Cette tâche du projet, portée par les laboratoires GEMH et LMGC, a pour objectif de positionner le comportement mécanique long terme des feuillus dans le cadre de l'Eurocode 5.

Ainsi, le travail de thèse qui y est consacré consiste à positionner les essences feuillues dans l'approche proposée par l'Eurocode 5, en déterminant notamment pour chaque classe de service la valeur de  $k_{def}$ , qui représente le rapport entre la flèche instantanée, et la flèche différée. Grâce

à une caractérisation préalable, l'anatomie des trois essences sera prise en compte. Des travaux similaires ont été réalisés sur deux essences tropicales

La thèse se déroulera en trois grandes parties :

- Etude de la diffusion de l'eau dans le bois selon les trois essences de feuillus. Cette étude se présente sous la forme d'une série d'essais de diffusion. Associées par la suite à une méthode d'optimisation, cette étape permettra de déterminer les paramètres physiques des différentes essences.
- Etude du fluage, et des phénomènes mécanosorptifs. La partie expérimentale peut être abordée selon trois échelles différentes :
  - ✓ L'échelle millimétrique, avec des éprouvettes de 100x10x2 mm<sup>3</sup>. La finesse de l'éprouvette permet d'accélérer les transferts de chaleur et de masse. Il est ainsi plus facile d'identifier les phénomènes de mécanosorption. (Méthode Vybris)
  - ✓ L'échelle décimétrique, mettant en jeu des éprouvettes de 600x30x10 mm<sup>3</sup>. Elle permet de bien mettre en évidence les différents phénomènes mécanosorptif, tel que l'hygro verrou, et le retrait-gonflement. En purgeant des résultats des phénomènes de retrait-gonflement, on peut déterminer les lois de comportement différé de l'élément soumis à un chargement uniforme, avec un chargement thermo hydrique variable.
  - ✓ L'échelle métrique, avec des poutres de 3000x150x75mm<sup>3</sup>, permettra de débiter une base de données pour la validation des observations préalables. Une instrumentation complète de ces poutres est envisagée pour différencier les différents phénomènes observés en ambiance non contrôlé à long terme.
- Modélisation du comportement long terme, avec une identification des paramètres mécanosorptifs par une méthode inverse (simplexe), afin de simuler et prévoir le comportement long terme du fluage d'une poutre dans des environnements variables.

## Mesures et modélisation de la diffusion dans le bois en ambiance non contrôlée.

VARNIER Maximin<sup>1</sup>, SAUVAT Nicolas<sup>1</sup>, MONTERO Cédric<sup>2</sup>,  
DUBOIS Frédéric<sup>1</sup>, GRIL Joseph<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univ. Limoges, GEMH, EA 3178, F-19300 Egletons, France

<sup>2</sup> Univ. Montpellier, LMGC, UMR 5508, F-34090 Montpellier, France  
[maximin.varnier@etu.unilim.fr](mailto:maximin.varnier@etu.unilim.fr)

**Mots clefs :** Ambiance non contrôlée, algorithme d'optimisation, diffusion, isotherme de sorption, modélisation.

### Contexte scientifique

Que ce soit dans une problématique de séchage, ou de diagnostic des structures, la caractérisation de l'eau dans le bois est un sujet qui préoccupe les chercheurs depuis des décennies, car cette dernière a une forte influence sur les caractéristiques mécaniques de ce matériau. Ainsi, de nombreuses études ont menées à la création de modèles de transfert hygrothermique ont été conçu, prenant en compte les transferts de vapeur et d'eau liée et/ou libre [WUFI, TRANSPORE, ...]. Toutefois le nombre important des paramètres de diffusions dépendants de la température et de la teneur en eau conduit souvent à simplifier ces dépendances.

### Expérimentation

Dans un objectif de diagnostic in situ des structures, la diffusion de l'eau liée dans le bois doit prendre en compte l'influence de la température. Par ailleurs l'utilisation d'instrument de mesure en conditions non isotherme, demande de valider des procédures de corrections des données.

L'étude réalisée se présente sous la forme d'une série de mesures, puis d'une identification des paramètres hygrothermiques d'éprouvettes cubique en bois de douglas, mises dans des conditions climatiques équivalent à la Classe de Service 2 donnée dans les Eurocode (extérieur protégé des intempéries) pour un climat de moyenne montagne. La teneur en eau des éprouvettes est déterminée par le suivi de masse de l'éprouvette via une balance, et la température et l'humidité relative de l'air est mesurée à l'aide d'une sonde hygrothermique (Fig. 1). Enfin, les résultats sont associés par la suite à une méthode d'optimisation, basée sur un algorithme de minimisation d'erreur au sens des moindres carrés (Simplexe), afin de déterminer les caractéristiques hygrothermiques des éprouvettes.



Fig. 2 : Essai de diffusion en ambiance non contrôlée

L'essai de diffusion a été réalisé à l'aide de deux balances (une par éprouvette), et de deux sondes hygrométrique. Actuellement, seul le sens de transfert hydrique longitudinal a été testé. Dans l'éprouvette E2, une sonde hygrométrique a été mise au cœur de l'éprouvette, afin de connaître le profil thermo hydrique dans l'épaisseur de l'éprouvette.

En mesurant l'humidité relative, et la température au cœur de l'éprouvette (fig.2 et 3), il est ainsi possible de déterminer les caractéristiques de perméabilité apparente, et de diffusivité de l'éprouvette.

Enfin, une méthodologie permettant de corriger les erreurs de pesée en ambiance non isotherme est proposée.

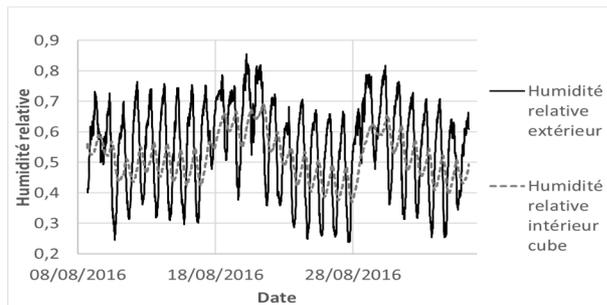


Fig. 2 : Evolution de l'humidité relative extérieure et au cœur de l'éprouvette E2

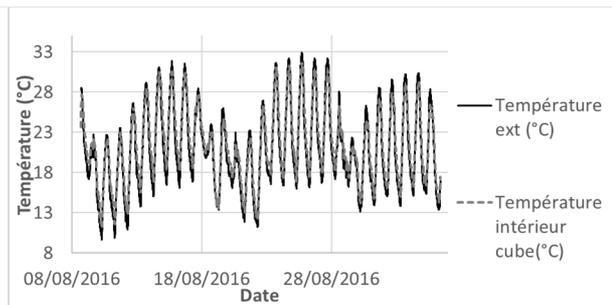


Fig. 3 : Evolution de la température extérieure et au cœur de l'éprouvette E2

### Détermination des paramètres physiques par méthode inverse

Une méthode d'analyse inverse (simplexe) est utilisée pour déterminer les paramètres des isothermes de sorption (Seddick - 2006), des isothermes partielles (Pedersen - 1990), du transfert hydrique sous phase liquide et gazeuse (mise en évidence de la perméabilité apparente) et des coefficients d'échanges surfaciques thermique et hydrique.

### Modèle

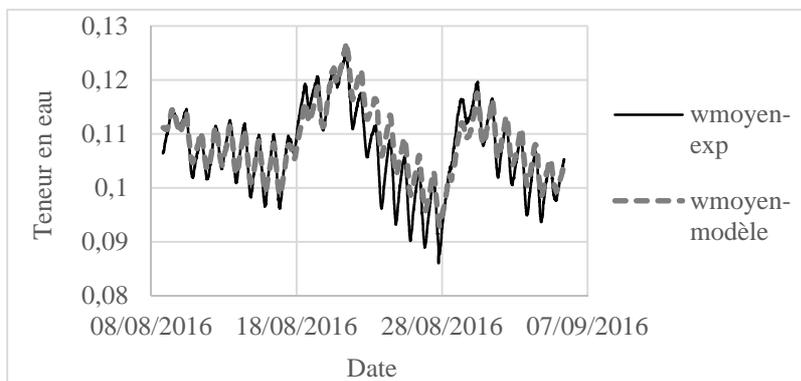


Fig. 4 : Comparaison modèle/expérimentale de la teneur en eau moyenne de l'éprouvette E2

Une confrontation entre les mesures et des simulations est proposées, en humidité moyenne, avec une extrapolation en profil d'humidité.

### Références

- Merakeb S. (2006) Modélisation des structures en bois en environnement variable, Egletons
- Carsten, Rode, Pedersen (1990) Combined heat and moisture transfer in building Constructions, Danemark
- Künzel M. (1995) Simultaneous Heat and moisture transport in building components, Allemagne

## Prise en compte de l'anisotropie dans la détermination des coefficients de variations hygroscopiques des bois

MONTERO Cédric<sup>1</sup>, BURGERS Agnès<sup>1</sup>, ARNOULD Olivier<sup>1</sup>,  
WATTRISSE Bertrand<sup>1</sup>, GRIL Joseph<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Mécanique et génie Civil (LMGC), Université de Montpellier, CNRS,  
Montpellier, France  
[cedric.montero@umontpellier.fr](mailto:cedric.montero@umontpellier.fr)

**Mots clefs :** bois ; eau ; hygromécanique ; sorption ; dilatations hydriques

Les interactions entre l'eau et le bois ont des conséquences importantes dans tous les usages des bois. Elles induisent entre autres des variations dimensionnelles pouvant nuire à la fabrication ou l'emploi des éléments bois. Par exemple, dans le domaine de la construction, les protocoles de séchages doivent être maîtrisés pour fournir des pièces de bois de dimension précises à une teneur en eau contrôlée que ce soit pour des emplois en bois massifs ou pour la fabrication de produits dérivés structurels tels des poutres lamellés-collés, des panneaux lamellés croisés etc. Les unités de transformations réalisent pour cela des pré-débits des sciages ainsi que des protocoles de séchages naturels ou artificiels. Ces deux étapes sont importantes pour une bonne utilisation des bois et nécessitent une bonne connaissance des propriétés hygromécaniques des essences de bois employées.

Lors de son premier séchage depuis l'état vert, la teneur en eau du bois présente une évolution non linéaire en fonction de l'hygrométrie de l'air et de la température. Une fois ce premier séchage effectué, les changements d'humidité de l'air ambiant montrent la présence d'une hystérèse de sorption dans les changements de la teneur en eau à l'équilibre. De plus ces changements de teneur en eau sont les résultats conjoints d'effets de sorption et de diffusion dans le temps au sein des différents niveaux de porosité du bois (Fig. 1) [1; 2].

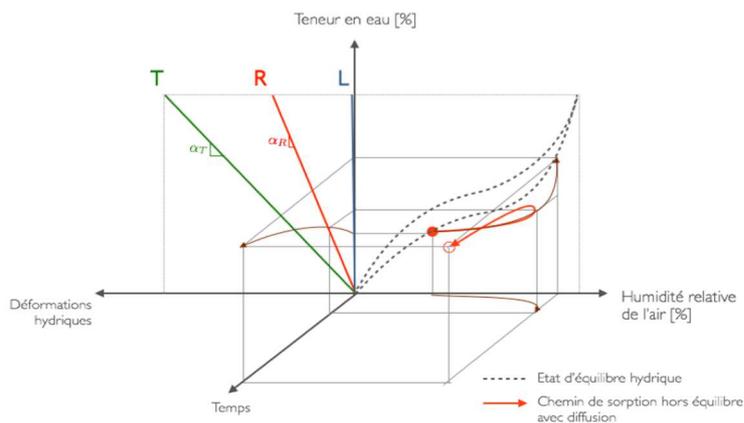


Fig. 1 : Illustration schématique d'un chemin d'adsorption dans une isotherme de sorption incluant la diffusion au cours du temps et les variations dimensionnelles relative à la teneur en eau.

Pour favoriser les usages des bois, il est déterminant de réaliser des bases de données des propriétés hygroscopiques des bois (feuillus/résineux, tempérés/tropicaux) incluant des valeurs des coefficients de dilatations dans les différentes directions (longitudinale, radiale et tangentielle), le point de saturation des fibres, les coefficients de diffusion, la forme et la surface d'hystérèse. Pour cela un protocole de laboratoire conventionnel basé sur des hygrothermiques

de référence et des mesures de masses et de dimensions permet de déterminer ces informations sur des échantillons de faibles dimensions ( $L=10\text{mm} \times R=T=20\text{mm}$ ) (Fig 2).

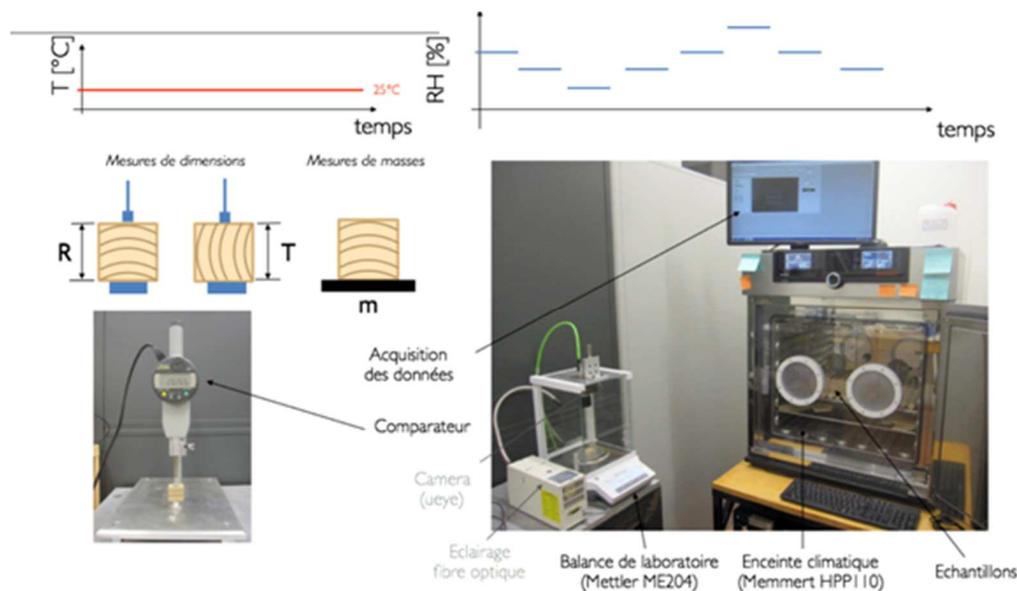


Fig. 2 : Protocole de mesures des propriétés hydriques d'échantillons de bois : réalisation de paliers d'humidité sous température constante dans une enceinte climatique, mesures dimensionnelles avec un comparateur et le dispositif d'imagerie et mesures de masse avec une balance de laboratoire.

Etablir ces différents coefficients est difficile à réaliser expérimentalement et demande un usinage des échantillons très précis ainsi que de multiples manipulations chronophages pour l'expérimentateur. L'objectif de cette étude est de montrer comment l'imagerie permet d'améliorer la détermination de ces coefficients en prenant en compte l'orientation des cernes au sein de l'échantillon (Fig 3) grâce à une étude menée au LMGC sur la variabilité des pins de la région Languedoc-Roussillon.

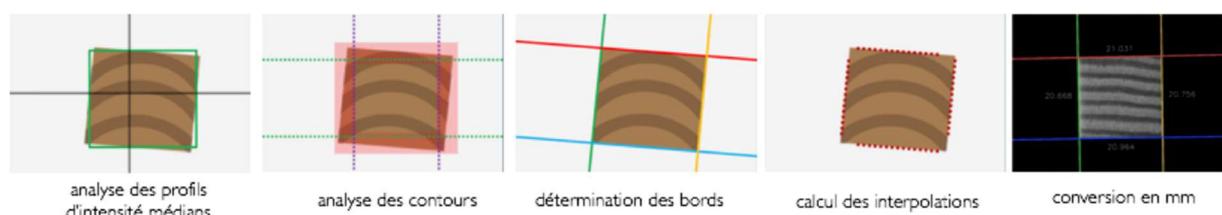


Fig. 3 : Exemple de processus d'analyse d'image pour la détermination des dimensions des échantillons

## References

- [1] Leonardon, M.; Altaner, C. M.; Vihermaa, L. and Jarvis, M. C. (2010). Wood shrinkage: Influence of anatomy, cell wall architecture, chemical composition and cambial age, *European Journal of Wood and Wood Products* 68 : 87–94.
- [2] Engelund, E. T.; Thygesen, L. G.; Svensson, S. and Hill, C. A. S. (2012). A critical discussion of the physics of wood–water interactions, *Wood Science and Technology*.

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

BURGERS Agnès<sup>1</sup>, MONTERO Cédric<sup>1</sup>, VINCHES Marc<sup>2</sup>, MARCHAL Rémy<sup>3</sup>

<sup>1</sup>LMGC, Université de Montpellier, CNRS,

<sup>2</sup>Laboratoire de Génie de l'Environnement Industriel (LGEI), École des Mines d'Alès,

<sup>3</sup>Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), BioWooEB UPR CIRAD 114

[agnes.burgers@umontpellier.fr](mailto:agnes.burgers@umontpellier.fr)

**Mots clés :** caractérisation mécanique ; comportement hygroscopique ; forêt méditerranéenne ; modèles prédictifs ; pins ; variabilité.

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) (figure 1).

L'analyse des données permet de construire des modèles prédictifs des propriétés de base (figure 2), 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.

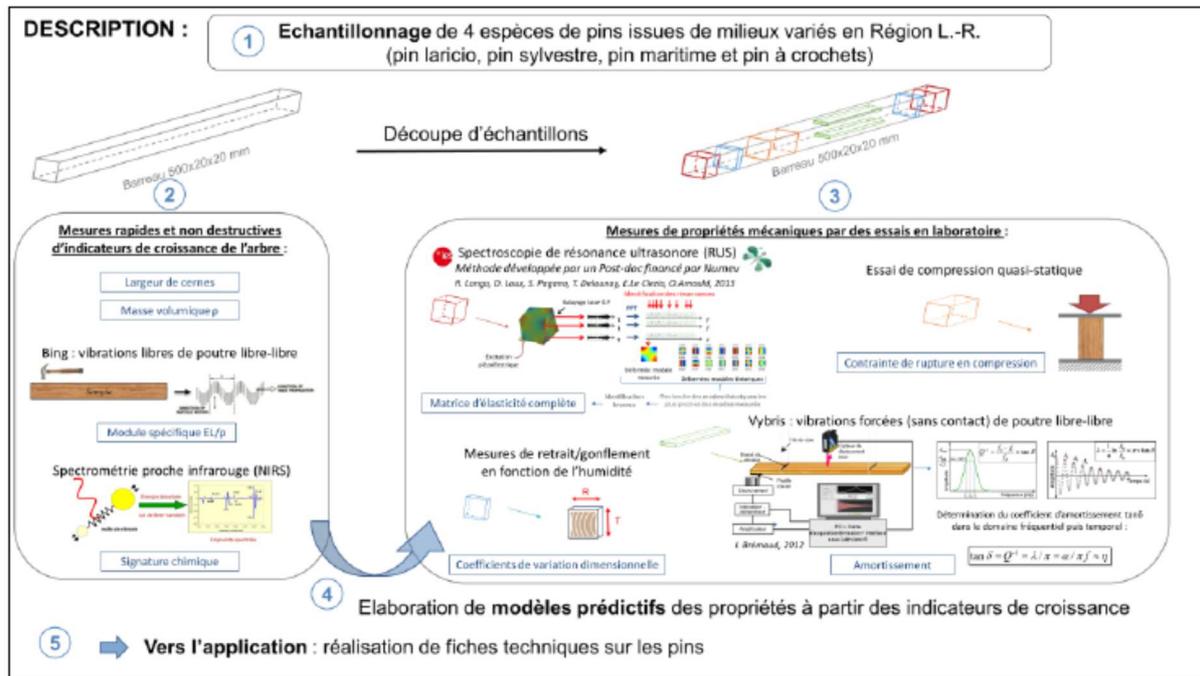


Fig. 1 : Protocole du programme de thèse

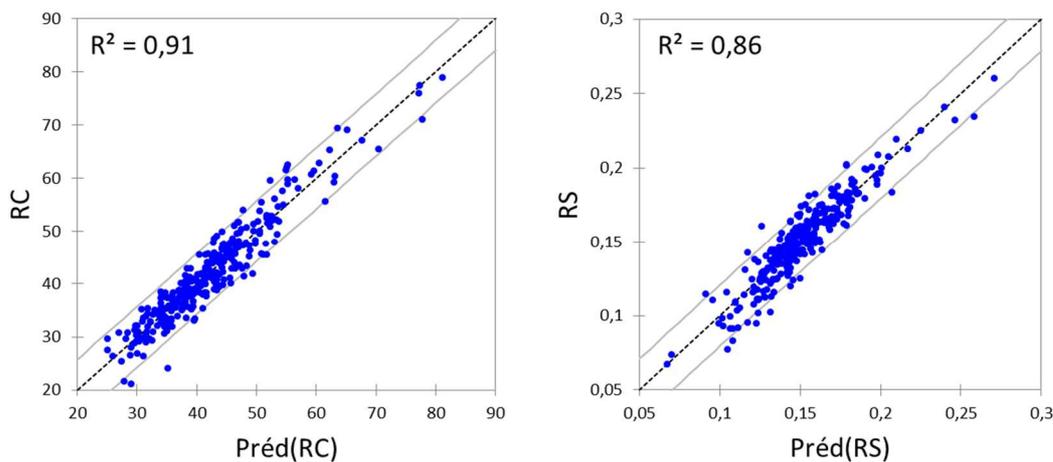


Fig. 2 : Exemples de modèles prédictifs pour la contrainte de rupture en compression  $RC = -21,1-0,2*LC+102,3*D+0,9*MS$  et le retrait surfacique total.  $RS = -0,20-1,10*10^{-3}*LC+0,11*D+6,45*10^{-2}*IR\alpha R+0,23*IR\alpha T+0,67*IRpsf+2,78*10^{-3}*D*MS$   
*Indicateurs : MS : module spécifique ; D : densité ; LC : largeur de cernes ; IRpsf, IR $\alpha$ R et IR $\alpha$ T : valeurs du PSF et des coefficients de retraits, prédites par mesures de spectrométrie proche infra-rouge.*

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.

## **Contributions du matériau bois des ruches à l'activité et la santé des colonies d'abeilles**

DUPLEIX Anna<sup>1</sup>, JULLIEN Delphine<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Equipe Bois, LMGC, UMR 5508, Université Montpellier - CNRS  
[anna.dupleix@riseup.net](mailto:anna.dupleix@riseup.net)

**Mots clefs :** apiculture, châtaignier, extractibles, conditions hygrothermiques, instrumentation, résilience, ruches, varroa

### **Etudier le contenant des colonies**

À l'heure actuelle, aucune recherche significative n'est amorcée dans le monde apicole au sujet des matériaux qui constituent le contenant des colonies d'abeilles domestiques, la ruche. Il s'agit pourtant potentiellement d'une source importante d'amélioration de l'état sanitaire et donc de la survie des colonies aujourd'hui en déclin. Dans ce large contexte, ce projet s'est concentré sur deux problématiques : comment la nature de la ruche permet d'améliorer l'état sanitaire des colonies d'abeilles en leur permettant d'être plus résilientes face (i) au varroa (acarien parasite de l'abeille) et (ii) à l'environnement hygrothermique? en interrogeant les bénéfices apportés par le matériau bois.

### **Différentes disciplines pour étudier la double interaction apiculteur-contenant et contenant-colonie**

Ce projet, conjointement porté par le LMGC (Laboratoire de Mécanique et Génie Civil) et le CEFÉ (Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive), rallie sciences du matériau bois, sciences du vivant et sciences humaines et vise à : (i) modéliser le climat hygrothermique au sein d'une ruche en fonction des conditions extérieures, des propriétés géométriques de la ruche, des propriétés du matériau constitutif de la ruche (châtaignier, épicéa, polystyrène haute densité), (ii) étudier l'influence de ce climat interne sur l'activité et la santé des colonies, (iii) caractériser chimiquement l'atmosphère interne des ruches et établir la relation des composés volatils et ceux extractibles des bois par rapport à l'état sanitaire des abeilles (en priorité, face à la varroase), (iv) confronter ces résultats aux représentations des apiculteurs et vendeurs de ruches sur le contenant des colonies.

Ce projet fait suite aux travaux de thèse sur les abeilles noires et les rucher-troncs en Cévennes (Lehebel-Peron, 2014) co-financée par le Parc National des Cévennes. Il implique également le CIRAD qui apporte son soutien lors de l'extraction et l'analyse des extractibles du bois (équipe BioWooEB). Il profite de la proximité de l'Unité Mixte Technologique PrADE, qui concentre la recherche apidologique française à l'INRA d'Avignon, pour construire des protocoles expérimentaux apicoles significatifs et bénéficiera des récentes compétences acquises par l'IUT de Béziers en matière de conception de capteurs (hygrothermie, température) pour instrumenter des ruches et de collecte des données. Ce projet s'enrichit également des sciences humaines convoquées à l'occasion d'un stage de M2 co-encadré par une anthropologue de l'IRD/Montpellier SupAgro pour comprendre les représentations chez les apiculteurs et les vendeurs de ruches de l'impact du matériau des ruches sur l'état sanitaire des colonies (analyse à partir des arguments de vente mis en avant et à partir d'interviews semi-directifs d'apiculteurs). En effet, selon le savoir populaire, le varroa (acarien appartenant à la classe des arachnides) ne s'installerait pas dans les ruches en châtaignier du fait de ses extractibles qui repousseraient au même titre les araignées des poutres en châtaignier.

<b>ETUDE ANTHROPOLOGIQUE</b>	
Représentation chez les apiculteurs et les vendeurs de ruches de l'impact du matériau des ruches sur l'état sanitaire des colonies. <b>CEFE</b> <b>LMGC</b> <b>SupAgro</b>	
<b>CLIMAT HYGROTHERMIQUE</b>	
Climat interne des ruches (épicéa, châtaignier, polystyrène, peinture, ruche-tronc) non peuplées testées en enceinte <b>LMGC</b>	Développement de capteurs automatisés pour mesures de climat interne de ruches peuplées <b>IUT Béziers</b>
<b>VARROA</b>	
Analyse et extraction des composés chimiques du bois <b>BioWooEB</b> Analyse olfactive de l'atmosphère interne des ruches (GC-MS) <b>CEFE</b>	Comparaison de la charge en varroa : - après transvasement dans 30 ruches Dadant en épicéa et 30 ruches Dadant en châtaignier - en situation d'exploitation apicole entre ruches-troncs en châtaignier et ruches Dadant en épicéa. <b>PraDE</b> <b>LMGC</b>

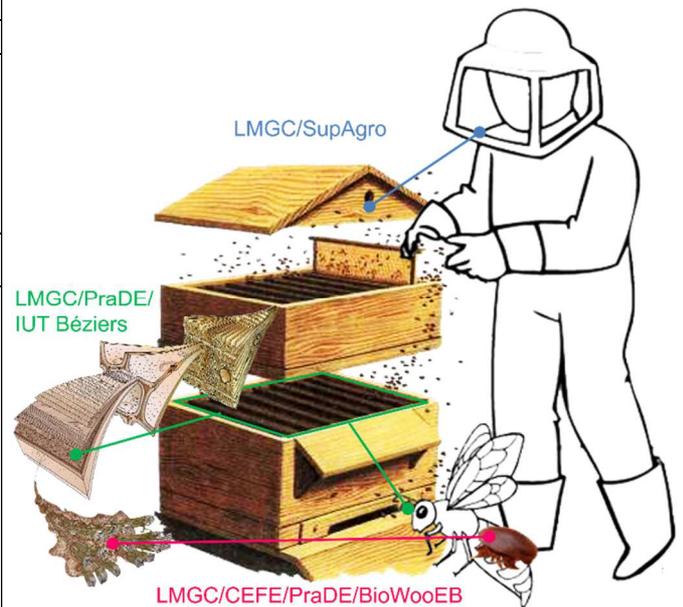


Fig. 1 : a. Programme de travaux (tableau) et b. interactions entre partenaires (schéma)

Le programme de travaux élaboré dans ce projet s'appuie sur les compétences techniques et les protocoles expérimentaux développés par chacun des partenaires, ici articulés de manière originale autour du contenant des abeilles (Fig.1).

L'objet de ce projet est aussi d'en faire un outil pédagogique à différents desseins : (i) former à la recherche (stages de M2 en sciences du bois co-encadré par le LMGc et en anthropologie co-encadré par Montpellier SupAgro), (ii) contribuer au développement des projets pédagogiques des IUT de Nîmes et Béziers qui visent à :

- sensibiliser les étudiants et les personnels à la présence essentielle des abeilles dans notre écosystème grâce à la mise en place d'un réseau de ruches peuplées sur les sites des IUT ;
- populariser la culture apicole en utilisant ces ruches peuplées comme objet d'étude commun (pour le développement de capteurs, la mise en réseaux des données, la construction d'un habitat, etc.) fédérant les différentes disciplines enseignées dans ces IUT (Sciences et Génie des Matériaux, Génie Civil, Métiers du Multimédia et de l'Internet, Réseaux informatiques et Télécoms, Génie Électrique et Informatique Industrielle).

## Références

Lehebel-Peron, A. (2014). Rucher-troncs et abeilles noires: état des lieux et perspectives de conservation de l'apiculture traditionnelle en Cévennes. Thèse de doctorat.

## Utilisation de matériaux bois intelligents pour la gestion durable des infrastructures

LI Hang<sup>1</sup>, PERRIN Marianne<sup>1</sup>, EYMA Florent<sup>1</sup>, JACOB Xavier<sup>2</sup>, GIBIAT Vincent<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut Clément Ader (ICA), CNRS UMR 5312, IUT de Tarbes - Dépt GMP, 1 rue Lautréamont, 65000 Tarbes

<sup>2</sup>Laboratoire PHASE, EA 3028, Université Paul Sabatier - Toulouse III, 118, route de Narbonne, 31400 Toulouse

[hang.li@iut-tarbes.fr](mailto:hang.li@iut-tarbes.fr), [marianne.perrin@iut-tarbes.fr](mailto:marianne.perrin@iut-tarbes.fr),

**Mots clés :** bois lamellé-collé, intégration de capteurs, mesures électriques, ouvrages d'art en bois, suivi de l'humidité

### Contexte et objectifs

Depuis le début du XXI<sup>ème</sup> siècle, le matériau bois revient sur le devant de la scène dans le domaine du Génie-civil et plus particulièrement dans les ouvrages d'art bois. Ceci s'explique en partie par les nouveaux challenges imposés par le « développement durable ». Néanmoins, les problèmes de durabilité des structures en bois sont un élément limitant leur développement. Des endommagements de structure liés à la fissuration, au délaminage, ainsi qu'aux attaques fongiques ou d'insectes sont constatés sur les ouvrages d'art en bois. La principale condition d'apparition de ces pathologies est l'humidité excessive du matériau ou la variation de cette humidité (cycles humidité/séchage). De ce fait, afin de permettre une expansion de ce type de construction, les gestionnaires d'ouvrages ont exprimé leur besoin en techniques de contrôle en continu de l'humidité du bois (Sétra 2006 ; LCPC 2008).

Néanmoins, peu de méthodes non destructives sont aujourd'hui capables de contrôler l'humidité dans les ouvrages d'art en bois. Par ailleurs, on voit actuellement un fort développement des structures en bois lamellé-collé (LC) du fait de leur résistance mécanique élevée (par rapport au bois massif), mais aussi de la possibilité qu'elles offrent pour construire des ouvrages de grande portée. Suite à ces constats, on se propose de transformer ces structures bois en matériaux « intelligents » par l'intégration de systèmes de suivi de l'humidité dans les poutres LC. L'objectif est d'alerter les gestionnaires au plus vite des risques potentiels d'endommagement de ces ouvrages. L'objectif sous-jacent étant de proposer aux industriels une gamme de matériaux de très haute technologie et à bas coût pour la création d'ouvrages innovants. Le travail proposé porte sur la première phase de la démarche, à savoir l'identification, la conception et l'intégration des systèmes de suivi embarqués pour le contrôle de l'humidité dans les poutres LC.

### Méthode de suivi de l'humidité

L'étude bibliographique montre que des méthodes utilisables à la fois intéressante et efficace reposent sur des mesures électriques (Skaar 1998). Elles consistent à mesurer l'humidité par l'intermédiaire des variations de résistivité ou de capacité du matériau. Elles sont les méthodes les plus utilisées actuellement dans l'industrie du bois sous forme d'humidimètres, la majorité du temps portatifs (résistifs ou capacitifs). Quelques études scientifiques (Brischke 2008 ; Franke 2013) ont montré que l'intégration des capteurs de mesure dans le bois massif pour le suivi de l'humidité pouvait être une solution efficace. L'objectif de notre travail est de développer des technologies de capteurs intégrables dans le bois LC en tenant compte des contraintes de fabrication de ce matériau.

## **Programme expérimental**

Nous avons identifié 4 configurations de mesure en utilisant des électrodes de forme « pointe » ou de forme « film » pour effectuer des mesures résistives et/ou capacitives. Une étude de faisabilité a été mise en place afin de s'assurer du bon fonctionnement des différentes configurations au regard du processus de fabrication des poutres LC (pression de collage de 10 bar). Le protocole de mesure de l'humidité a également été validé (protocole d'instrumentation, protocole de collage, réglages des dispositifs...). Suite à cela, une campagne d'essais complète a été lancée en utilisant le protocole validé lors des premiers tests pour contrôler la variation d'humidité (environ 10%-70%) dans les échantillons LC.

## **Conclusions et perspectives**

Les résultats montrent que les configurations choisies sont opérationnelles pour effectuer des mesures locales d'humidité au niveau des lamelles du bois LC. De plus, la faisabilité a été démontrée pour les différents types d'électrodes utilisées (vis, câble électrique, patch cuivre), ainsi que pour les différentes grandeurs mesurées (résistance ou capacité). Certaines configurations sont plus avantageuses en termes de coût ou de facilité de mise en œuvre : le vissage direct ou le collage de patch consomment peu de produits coûteux (colle conductrice), et les mesures de résistivités peuvent être réalisées avec des électroniques moins complexes.

Par ailleurs, il a aussi été constaté que l'espacement des électrodes influence peu les valeurs mesurées, alors que la pression de collage affecte légèrement ces dernières.

La prochaine étape à ce travail consistera à réaliser les essais de « durabilité » qui ont pour but d'étudier l'influence des cycles humidité/séchage sur l'endommagement et la durabilité des poutres LC en mettant en évidence des coefficients d'abattelements en fonction de l'exposition à l'humidité.

## **Références**

- Brischke C., Rapp A. O., Bayerbach R. (2008) Measurement system for long-term recording of wood moisture content with internal conductively glued electrodes, *Building and Environment*, vol. 43, no. 10, pp. 1566–1574.
- Franke B., Franke S., Mueller A., Vogel M., Scharmacher F., Tannert T. (2013) Long term monitoring of timber bridges - Assessment and results, *Advanced Materials Research*, vol. 778, pp. 749–756.
- LCPC (2008) Recommandations pour l'inspection détaillée des ouvrages en bois, Guide technique du LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussée), 71 pages
- SETRA (2006) Les ponts en bois : Comment assurer leur durabilité, Guide technique du SETRA (Service d'études technique des routes et autoroutes), 123 pages
- Skaar C. (1998) Wood-water relations, Springer Series in Wood Science, 283 pages

## **Finition des surfaces bois usinées : Quelles caractéristiques pour quelles performances?**

RAMANAKOTO Miora<sup>1</sup>, EYMA Florent<sup>1</sup>, RAMANANANTOANDRO Tahiana<sup>2</sup>,  
GEISLER Jérémy<sup>3</sup>, CASTANIE Bruno<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Université Paul Sabatier, Institut Universitaire de Technologie, Département GMP, Laboratoire Institut Clément Ader, Tarbes, France.

<sup>2</sup> Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Département des Eaux et Forêts, Antananarivo, Madagascar.

<sup>3</sup>Critt-bois Midi-Pyrénées, Cellule de Diffusion Technologique, Radegonde, France.

<sup>4</sup> Institut National des Sciences Appliquées, Département Génie Mécanique, Laboratoire Institut Clément Ader, Toulouse, France.

[miora.ramanakoto@iut-tarbes.fr](mailto:miora.ramanakoto@iut-tarbes.fr)

**Mots clefs :** adhésion, bois, égrenage, finition, paramètres d'état de surface, performance, ponçage, rabotage

### **Contexte de l'étude**

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. La majorité des entreprises s'imposent une sur-qualité pour améliorer la qualité de surface du bois usiné 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 favorisent l'adhésion d'une finition? ». L'objectif de cette étude est d'identifier des critères quantitatifs permettant de caractériser la qualité d'une surface usinée en vue d'évaluer sa performance à la finition, et d'identifier les conditions de coupe permettant d'obtenir une meilleure performance.

### **Matériels et méthodes**

L'étude a été réalisée sur du bois de chêne et de Hêtre des Pyrénées utilisés en menuiserie intérieure. L'usinage et l'application de la finition ont été effectués dans les conditions industrielles. Les surfaces ont été usinées suivant un plan d'expériences afin de créer toutes les gammes possibles de qualités de surface allant de lisses à dégradées. Neuf conditions de coupe en rabotage ont été utilisées, en faisant varier la vitesse d'avance (8, 19, 30m/mn) et la vitesse de coupe (31,4, 47,1, 62,8m/s). Neuf conditions de coupe en ponçage ont été également utilisées, en faisant varier la vitesse d'avance (3, 10, 18m/mn) et la taille des grains de ponçage (en trois programmes P80, P80-120, P80-120-180).

Deux couches de vernis aqueux ont été appliquées sur les surfaces usinées. Une moitié des échantillons a été égrenée avec du papier P260 et l'autre moitié non égrenée. L'égrenage a pour objectif principal d'éliminer les relevés de fibre après application de la première couche de vernis. Dans la présente étude, on a cherché à évaluer son influence sur la performance à l'adhésion de la finition.

Les états de surface des bois usinés ont été caractérisés par 17 paramètres 3D de rugosité et d'ondulation (sRa, sWa, sRa, sWq, sRp, sWp, sRv, sWv, sRk, sRpk, sRvk, Sdr, Sdq, Vvv, Vvc, Vmp, Vmc), mesurés à l'aide d'un appareil optique 3D ALICONA.

Dans la présente étude, l'adhésion de la finition a été évaluée par arrachement du vernis suivant la norme NF EN ISO 4624 (2003). La résistance à la rupture a été le critère mesuré.

## Résultats

Les procédés d'usinage ainsi que les conditions de coupe utilisées ont eu un effet significatif sur la qualité de surface du bois de chêne et de hêtre, et par conséquent sur la performance à la finition. Les caractéristiques qui favorisent l'adhésion de la finition sont différentes en fonction des essences, des procédés d'usinage utilisés et de l'égrenage. Comme caractéristiques communes aux deux essences, pour les surfaces rabotées non égrenées, une pente importante des reliefs (Sdq élevé) et une faible proportion des vallées (Smr2 faible) favorisent une bonne adhésion. Pour les surfaces poncées non égrenées, une bonne adhésion est obtenue avec une rugosité faible (sRk, Ssk, Vmc, Vvc, Smr2 faible) mais avec des vallées profondes (sRv élevé) et un profil serré (Sku élevé).

L'adhésion de la finition est significativement meilleure sur une surface homogène du hêtre que sur une surface hétérogène du chêne (Fig.1). Les différents procédés d'usinage ne présentent aucune différence de performance sur le bois de chêne. Pour le hêtre, les surfaces rabotées (Fig.2) sont plus performantes que les surfaces poncées. Ces dernières présentent trop de fibres détachées sur les parois cellulaires (Fig.3). En effet, la fibrillation est un atout pour l'adhésion mécanique si elle n'est pas trop importante, car elle augmente la surface disponible pour l'ancrage mécanique [De Moura & Hernández, 2006c]. Une importante fibrillation permet une bonne pénétration et un bon étalement du vernis sur la surface ; par contre, cela diminue l'adhésion de la finition sur la surface.

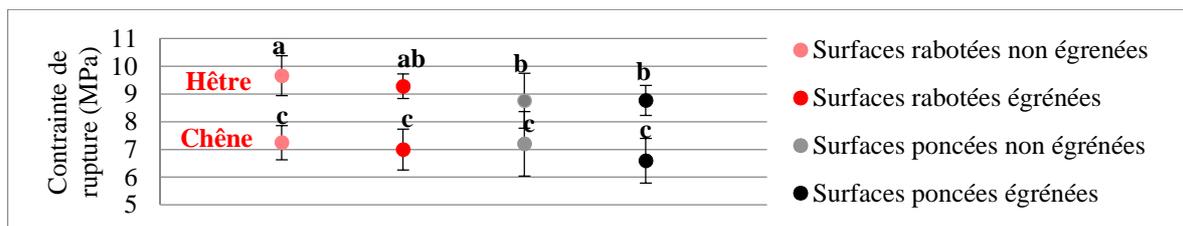


Fig.1 : Performance à l'adhésion du vernis des différents procédés d'usinage (les lettres indiquent la significativité de la différence au seuil de 5%)



Fig. 2 : Surfaces rabotées du hêtre (Vf=30m/mn ; Vc=31,4m/s)



Fig. 3: Surfaces poncées du hêtre (Vf=3m/mn ; P80-120-180)

Concernant l'opération d'égrenage, elle élimine la matière dans les zones de pic après application de la première couche de vernis. L'égrenage ne présente aucune influence significative sur la performance à l'adhésion de la finition.

## Références

De Moura L.F., Hernandez R.E. (2006c). Evaluation of varnish coating performance for three surfacing methods on sugar maple wood. Forest Products Society, 56(11/12):130-136.

NF EN ISO 4624 (2003). Peintures et vernis. Essais de traction.

## Etude par émission acoustique de l'endommagement des structures multi-matériaux à base du bois.

YAHYAOU Imen<sup>1</sup>, PERRIN Marianne<sup>1</sup>, GONG Xiaojing<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut Clément Ader, IUT de Tarbes, 01 rue Lautréamont, 65000 Tarbes, France  
[imen.yahyaoui@iut-tarbes.fr](mailto:imen.yahyaoui@iut-tarbes.fr), [marianne.perrin@iut-tarbes.fr](mailto:marianne.perrin@iut-tarbes.fr), [xiaojing.gong@iut-tarbes.fr](mailto:xiaojing.gong@iut-tarbes.fr)

**Mots-clefs :** bois, composite, émission acoustique, endommagement, structures mixtes

### Résumé

Aujourd'hui suite aux problèmes environnementaux et aux problèmes de développement durable, le retour aux matériaux écologiques tels que le bois représente une solution intéressante pour valoriser les ressources naturelles. Le bois possède aussi des atouts qui le rendent intéressant pour une utilisation en structure tel que son rapport poids/résistance. Cependant, ce matériau est très sensible à l'humidité et est fortement anisotrope ce qui diminue sa fiabilité. Dans ce cadre, plusieurs chercheurs ont étudié la possibilité d'associer le bois avec d'autres matériaux afin d'obtenir une structure de propriétés plus intéressantes. En effet, le renforcement du bois par matériaux composites (polymères renforcés par des fibres) est largement étudié (Lacroix 2000, Gentile 2002, Borri 2005, Nguyen 2010). Les résultats de ces travaux montrent une amélioration au niveau de la rigidité et de la résistance de la poutre renforcée. Donc, ces structures mixtes sont à la fois originales et mécaniquement plus prometteuses. Chaque matériau a un rôle important dans la performance de la structure. Le remplacement des matériaux classiques (acier, béton) par ces structures hybrides est motivé par l'allègement de la structure à propriétés mécaniques égales. En revanche, l'utilisation de ces matériaux est encore récente. Cela se traduit par une certaine méconnaissance de leur comportement et notamment vis-à-vis de la présence des endommagements pouvant conduire à une dégradation de leurs propriétés mécaniques (Nguyen 2010). Dans ce but, il est essentiel de suivre le comportement de ces multi-matériaux collés sous sollicitations afin d'identifier les mécanismes d'endommagement mis en jeu, leur initiation et leur développement jusqu'à rupture.

Afin de répondre à cette problématique, cette étude mettra en valeur les différents mécanismes d'endommagement de ces structures hybrides à l'aide d'une technique de contrôle non destructif qui est l'émission acoustique. Il s'agit d'une méthode qui permet le suivi en temps réel, la localisation et l'identification des mécanismes d'endommagement.

Pour réussir l'identification des mécanismes d'endommagement des structures mixtes bois-composite, le suivi de chaque matériau isolé est primordial. Donc, cette étude a commencé par le suivi par émission acoustique de l'endommagement du bois, matériau principal. Dans le but de comparer le comportement de différents types de bois, trois essences ont été sélectionnées : douglas, sapin pectiné et peuplier. Etant donné que le bois utilisé dans les structures (ouvrages d'art, construction...) est sollicité généralement en flexion, des essais de flexion 4-points ont été réalisés. La mise en place des essais de flexion suivis par émission acoustique nécessite une étude préliminaire afin de déterminer les capteurs adéquats ainsi que de valider les paramètres d'acquisition. Il s'agit également d'identifier leurs positions optimales sur l'éprouvette, permettant ainsi de récupérer et de localiser le maximum de signaux acoustiques. Les signaux récupérés lors des essais de flexion font l'objet d'une classification statistique en utilisant un logiciel de reconnaissance de forme « Noesis ». Ceci permet de dissocier les différents types de mécanismes d'endommagement présents lors des essais en termes de classes de signaux acoustiques.

Les résultats obtenus lors des essais de flexion montrent une évolution acoustique similaire pour les trois essences. En effet le bois commence à générer des signaux à faibles charges. Ces signaux restent faibles lors du comportement élastique du matériau. Au-delà de la limite d'élasticité on enregistre un accroissement de l'activité acoustique jusqu'à la rupture. Néanmoins, l'intensité acoustique dépend de l'essence testée. En effet, le douglas est le bois le plus émissif parmi les trois essences étudiées. Pour les deux autres essences, l'intensité acoustique est plus faible puisque la rupture survient à la fin de l'essai de façon brusque et brutale. En ce qui concerne la classification statistique des signaux, les résultats permettent de distinguer deux classes. Les signaux de la première classe sont caractérisés par des paramètres temporels (amplitude, temps de montée, nombre d'alternance...) faibles et des paramètres fréquentiels élevés. L'ampleur de ces paramètres est inversée dans la deuxième classe. En réalité, sous la sollicitation en flexion une partie de la poutre travaille en compression et l'autre en traction. L'endommagement associé à chaque type de contrainte est complètement différent. Donc, les étapes suivantes de ce travail de recherche consistent tout d'abord à réaliser les essais de traction et de compression suivis par émission acoustique. Ces essais permettent de mieux comprendre les signaux enregistrés lors des essais de flexion. Ces essais vont être complétés par des essais arrêtés et des observations afin d'identifier les différents mécanismes d'endommagement.

### Références

- Borri A. (2005), A method for flexural reinforcement of old wood beams with CFRP materials. *Composites: Part B* 36, 143-153.
- Fiorelli J. (2003), Analysis of the strength and stiffness of timber beams reinforced with carbon fiber and glass fiber. *Material Research* 6, 193-202.
- Gentile C. (2002), Timber beams strengthened with GFRP bars: development and applications. *Journal of composites for construction* 6 (1), 11-20.
- Lacroix S. (2000), Etude du renforcement de poutres en bois scié avec des matériaux composites : Mémoire de maîtrise en sciences appliquées. Sherbrooke- Québec-Canada.
- Nguyen V. (2010), Multi renforcement du bois lamellé-collé: étude théorique et expérimentale. Thèse d'ENPC. Paris.

## Conception et fabrication d'une chaudière à biomasse pour les pays du bassin du Congo

EKOMY ANGO Serge<sup>1</sup>, SEBASTIAN Patrick<sup>2</sup>, MOUTOU PITTI Rostand<sup>1,3,4</sup>

<sup>1</sup>Intitut de Recherche Technologique (IRT/CENAREST), Libreville, Gabon

<sup>2</sup>Arts et Métiers Paris Tech, I2M, UMR 5295, F-33400 Talence, France

<sup>3</sup>Université Clermont Auvergne, Université Blaise Pascal, Institut Pascal, BP 10448, Clermont-Ferrand, France

<sup>4</sup>CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, Aubière, France

[ekomyango@yahoo.fr](mailto:ekomyango@yahoo.fr)

**Mots clefs :** chaleur, combustion, chaudière, déchets biomasse, énergie

### Introduction

La filière bois-énergie contribue en Afrique sub-saharienne pour plus de 80% de la consommation totale d'énergie domestique [1]. Au cours des prochaines années, elle va augmenter compte tenu de la demande mondiale en générale celle du bassin du Congo en particulier. Cette énergie est obtenue par la combustion directe des déchets de bois par thermochimique pour une biomasse lignocellulosique. Au Gabon, elle est issue des déchets des menuiseries, des scieries et producteurs de billes de bois. De ce fait, certains déchets (sciures, copeaux...) ne sont quasiment pas valoriser. Le mode de production utilisé est la chaudière/générateur à biomasse. Malheureusement, ces équipements ne sont pas assez développés dans la sous-région compte tenu de la variété des déchets issus de la biomasse et de la configuration de nouvelles chaudières/générateurs qui ne sont pas adaptées à l'environnement local.

Dans cet article, nous présentons un générateur à biomasse adapté à l'environnement du bassin du Congo. Il est conçu pour différentes utilisations (cogénération, tri génération, ...) et peut être utilisé à tout moment dans les localités concernées. Ce nouveau dispositif permet de valoriser les déchets de biomasse difficilement utilisables comme les sciures et copeaux de bois (Fig. 1).

### Présentation de la chaudière

La conception et le dimensionnement du générateur reposent sur des travaux réalisés sur un échangeur de chaleur à tube circulaire [2, 3] et les formules préalablement proposées [4].

La fabrication s'est faite en tenant compte de l'environnement des populations du bassin du Congo, notamment sur la possibilité d'acquérir rapidement et à moindre coûts certains matériaux comme la tôle, les tubes, etc... De ce fait, pour améliorer l'isolation de la chambre de combustion, nous utilisons les briques en terre battue installées à l'intérieur des parois de combustion.

A l'intérieur des tubes sont disposés des turbulateurs permettant d'améliorer les échanges thermiques entre les tubes et l'air ambiant.

### Principe de fonctionnement

Les fumées chaudes issues de la combustion de la biomasse, chauffent les tubes. Ensuite, à l'aide d'un ventilateur on fait circuler l'air ambiant entre les tubes qui se chauffent aussitôt. L'air chaud est ainsi récupéré à la sortie (Fig. 2) du générateur. Le réglage de la température se fait en diminuant le feu d'une part et en réduisant le débit d'air dans l'échangeur d'autre part.



a)



b)

Fig. 3 : déchets de bois  
(a) sciure (b) copeaux

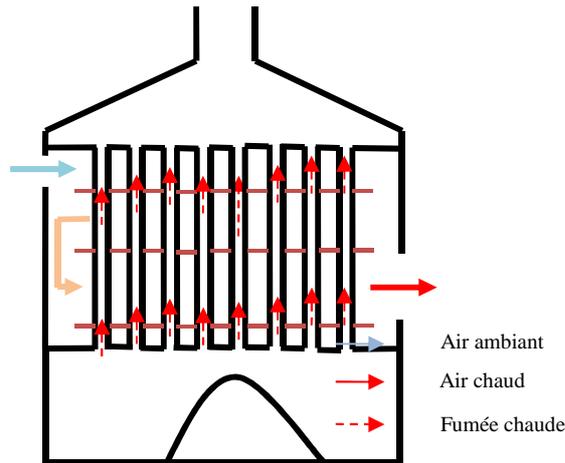


Fig.2 : principe de fonctionnement



Fig. 4 : vue en perspective du générateur

### Conclusion et perspective

L'objet du travail présenté ici consiste à présenter la conception et la réalisation d'une chaudière dont la fonction est de produire de la chaleur à partir des déchets de la biomasse (Fig. 3). Le système conçu a été installé dans un séchoir à graines. Ce dernier est composé de quatre chambres : deux grandes chambres de séchage, alimentés par la chaudière et deux petites chambres d'homogénéisation de la température.

Les premiers résultats sont très intéressants. Les graines de maïs sont bien séchées. Nous arrivons à faire varier Les températures et les humidités de l'air chaud en fonction des courbes de séchage du maïs. Les tests se poursuivent afin d'améliorer les paramètres du concept.

### Références

- [1] - FAO - Synthèse de l'expérience africaine en amélioration des techniques après-récoltes - journée techniques - 1994.
- [2] - EKOMY ANGO Serge, and all - Cinétique de séchage des bois tropicaux : application à l'Okoumé, au Moringui et au paddouk - GDR 3544 sciences du bois, 2015.
- [3] - Michel Rivier, Patrick Sebastian, Thierry Goli, Guilhem Raffray, Antoine Collignan - Heat transfer enhancement of a circular tube heat exchanger fitted with an elliptic shaped turbulator designed in the context of developing countries - Applied Thermal Engineering - 2015.
- [4] - Jean Pierre - Energétique industrielle - polycopie de cours - ENSAM 1998.

## Variabilité spatiale des paramètres physico-mécaniques des poutres en bois tropical soumis à un fluage de longue durée en milieu tropical naturel

MANFOUMBI Nicaise<sup>1</sup>, SOUAMI Valérie<sup>1,2</sup>, MOUTOU PITTI Rostand<sup>3,4,5</sup>, BASTIDAS-ARTEAGA Emilio<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Université des Sciences et Techniques de Masuku, BP 901 Franceville, Gabon

<sup>2</sup>Ecole Nationale des Eaux et Forêts (ENEF), Libreville, Gabon.

<sup>3</sup>Université Clermont Auvergne (UBP-IP), Clermont-Ferrand, France.

<sup>4</sup>CNRS, UMR 6602, 1, Aubière, France.

<sup>5</sup>CENAREST, IRT, Libreville, Gabon.

<sup>6</sup>UBL, Université de Nantes, GeM, CNRS UMR 6183/FR

[rostand.moutou\\_pitti@univ-bpclermont.fr](mailto:rostand.moutou_pitti@univ-bpclermont.fr)

**Mots clefs :** Variabilité spatiale, Fiabilité, variations climatiques, Baillonella Toxisperma

### Contexte et objectifs

L'étude du comportement des bois tropicaux dans leur environnement est un véritable challenge pour la prédiction des réponses structurales des ouvrages en bois tropicaux soumis à des chargements thermo-hygro-mécaniques. La présente étude s'intéresse à la caractérisation expérimentale de la variabilité spatiale des paramètres physico-mécaniques (densité, module d'élasticité, résistance en traction, compression et flexion) d'une poutre en bois massif. L'objectif final de ce travail est d'évaluer l'influence de la variabilité spatiale de ces paramètres dans la réponse structurale donc dans la fiabilité des poutres avec ou sans fissures.

### Matériel et Méthodes

L'échantillonnage des présents essais est extrait de deux poutres ( $90 \times 180 \times 3200 \text{ mm}^3$ ) en bois de Moabi (*Baillonella Toxisperma*) préalablement soumises à un essai de fluage-recouvrance en ambiance tropicale extérieure abritée pendant plus de 5 ans (Manfoumbi et al, 2011 ; 2012). Les poutres sont tronçonnées en sections de 317 mm de long. Celles-ci sont également divisées en trois portions dans le sens de la hauteur, Fig. 1 (a). De chaque portion, on extrait au minimum deux éprouvettes de flexion, de compression et de traction. On obtient donc, pour les deux poutres, Fig. 1 (b) :

- Essai de compression : 112 éprouvettes section  $20 \times 20 \text{ mm}^2$  pour 120 mm de long ;
- Essai de traction : 104 éprouvettes de section  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  pour 100 mm de long ;
- Essai de flexion : 106 éprouvettes de section  $15 \times 15 \text{ mm}^2$  pour 300 mm de long.

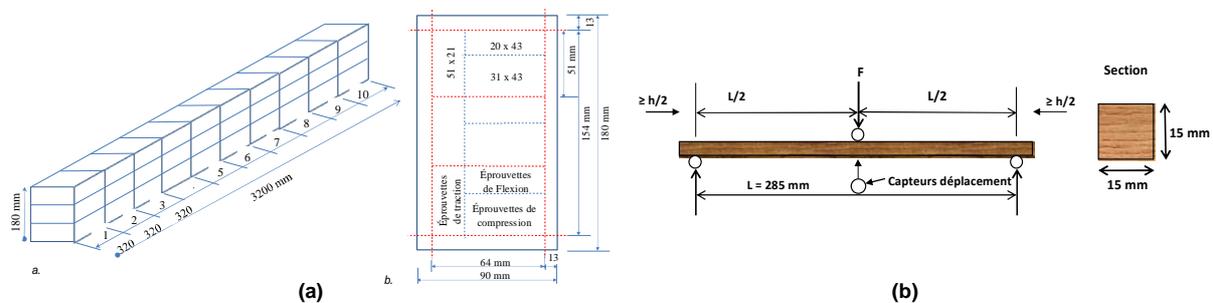


Fig. 1 : (a) Modélisation spatiale de la découpe de la poutre. (b) Modélisation du dispositif expérimental en flexion 3 points.

## Résultats

La détermination des valeurs de résistance à la rupture des essais destructifs en flexion, traction et compression ainsi que le calcul des modules d'élasticité correspondant se fait selon la norme NF EN 408. Les valeurs des paramètres, compilées par type d'essais et tronçon, sont représentées sur des courbes donnant le paramètre étudié en fonction de la position spatiale de l'échantillonnage. Ainsi, ces résultats permettent de calculer la variation dans l'espace ( $x$ ) de la propriété en question. La figure 2 (a) montre un exemple de variabilité du module d'Young ( $E$ ) pour trois poutres. Sur la base de ces mesures, on peut caractériser des incertitudes (la moyenne et l'écart-type) et l'autocorrélation spatiale des mesures, Fig. 2 (b).

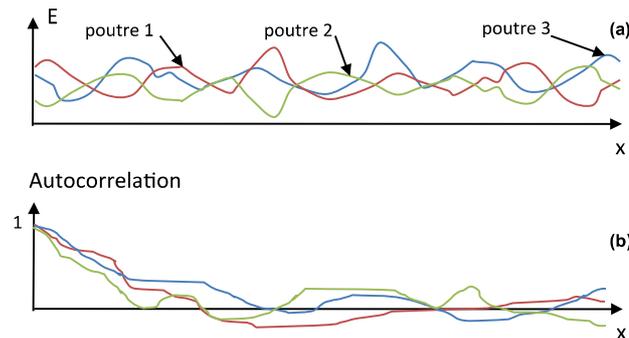


Fig. 2 : Exemples types des résultats attendus : (a) variabilités du module d'Young de 3 poutres. (b) Autocorrélation.

## Conclusion et Perspectives

Le travail initié dans le présent papier est en cours de réalisation et d'analyse. Les résultats attendus serviront de base de données pour générer des « champs aléatoires » en tenant compte des incertitudes et de la variabilité spatiale de ces paramètres. Elles seront ensuite utilisées comme des entrées dans des modèles de fluage pour étudier les effets de la variabilité spatiale dans la réponse mécanique et la fiabilité de la poutre. Ces modèles, une fois réalisés, peuvent être couplés aux mesures des flèches de poutres avec défauts obtenues dans le cadre du projet ANR CLIMBOIS et au Gabon.

## Remerciements

Les auteurs remercient l'ANR via le projet ANR JCJC CLIMBOIS N° 13-JS09-0003-01 et le pôle de compétitivité ViaMéca qui l'a labélisé, pour le soutien financier apporté à ce travail.

## Références

AFNOR, NF EN 408 (2009) Structures en bois – Bois de structure et bois lamellé-collé – Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques, AFNOR.

Manfoumbi N., Sauvat N., Dubois F. (2011). Comportement mécanique différé des essences tropicales en ambiances tropicales : Expérimentation et cadre règlementaire. CFM 2011, 29-02 Septembre, Besançon, France.

Manfoumbi N (2012). Contribution à l'adaptation de l'Eurocode 5 aux essences tropicales dans leur environnement. Thèse de doctorat : génie civil. Limoges : Université de Limoges, 2012. <http://epublications.unilim.fr/theses/2012/manfoumbi-boussougou-nicaise/manfoumbi-boussougou-nicaise.pdf>

## Projet ANR JCJC CLIMBOIS : Impact des conditions climatiques sur la propagation de fissure de poutres de Douglas en fluage extérieur.

PAMBOU NZIENGUI Claude Feldman<sup>1,2,3</sup>, MOUTOU PITTI Rostand<sup>2, 3,4</sup>,  
FOURNELY Eric<sup>2,3</sup>, GODI Gaël<sup>2,3</sup>, ANGELLIER Nicolas<sup>5</sup>, FARGEIX Philippe<sup>2</sup>,  
CHANAL Danny<sup>2,3</sup>, IKOGOU Samuel<sup>1</sup>, DUBOIS Frédéric<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Ecole Nationale des Eaux et Forêts (ENEF), Libreville, Gabon.

<sup>2</sup> Université Clermont Auvergne (UBP-IP), Clermont-Ferrand, France.

<sup>3</sup>CNRS, UMR 6602, 1, Aubière, France.

<sup>4</sup>CENAREST, IRT, Libreville, Gabon.

<sup>5</sup>Université de Limoges (GEMH), Egletons, France

[claude\\_feldman.pambou\\_nziengui@etudiant.univ-bpclermont.fr](mailto:claude_feldman.pambou_nziengui@etudiant.univ-bpclermont.fr)

**Mots clefs :** Fissuration du bois, Douglas, variations climatiques, essai de fluage

### Contexte et objectifs

Le Douglas est l'une des essences les plus utilisées en France et notamment dans le Limousin et l'Auvergne. L'utilisation de cette essence en environnement extérieur plus ou moins protégé constitue un débouché important. Cependant, en présence de variations d'humidité et de température additionnées aux charges de longue durée, son comportement mécanique se retrouve fortement modifié complexifiant ainsi sa mise en œuvre ce qui peut éventuellement hypothéquer la durée de vie en service des structures.

L'un des objectifs poursuivis par le projet ANR JCJC CLIMBOIS est d'étudier le comportement mécanique des poutres de bois fissurées en Sapin Blanc et en Douglas sous l'action combinée des variations climatiques (humidité, température), des charges de longue durée (fluage...) et des défauts initiaux (fissures, nœuds, orientation des cernes de croissance...). Les essais présentés ici sont actuellement réalisés dans un espace extérieur spécialement aménagé au hall Génie Civil de Polytech Clermont-Ferrand.

### Matériel et Méthodes

Les matériaux utilisés pour cette étude sont des poutres entaillées de Douglas (Fig. 1), dimensionnées selon l'EUROCODE 5. Au préalable, les poutres livrées par la scierie du Forez via l'association interprofessionnelle Auvergne Promobois, ont été testées en environnement intérieur en flexion 4 points. Les forces maximales donnant les caractéristiques mécaniques de chaque poutre (Pambou et al. 2016) ont été obtenus. Ces essais ont permis une classification des poutres allant de la moins rigide à la plus rigide et de sélectionner les poutres qui vont être chargées en extérieur (Pambou et al. 2016). Afin d'assurer un temps (1 an) de chargement en extérieur, couplé aux défauts des poutres et des variations climatiques. Un critère de sélection des poutres à tester a été mis en place, pour avoir l'impact de ces principaux défauts à long terme sur la structure des poutres. Après le chargement, un suivi quotidien de l'évolution de l'ouverture et de la progression de la fissure est effectué.



Fig. 1 : Poutres de Douglas entaillées en fluage en condition externe.

## Résultats

Nous présentons les résultats des 12 premiers jours d'enregistrement des données après chargement de la poutre. La figure 2 présente l'évolution de l'ouverture (fermeture) d'une fissure, apparue d'un côté lors du chargement mécanique, en fonction de l'évolution des paramètres climatiques (Humidité relative HR et température T du milieu). La figure 3 présente l'évolution de la pointe de la fissure de la même fissure en fonction de l'évolution de HR et T. Ces courbes montrent un impact certain des conditions climatiques sur l'endommagement de la poutre de Douglas. En effet, entre les heures 144 et 192, séchage le plus fort (couplé à une forte hausse de T), on constate une forte corrélation entraînant une nette propagation de la fissure (Fig. 3).

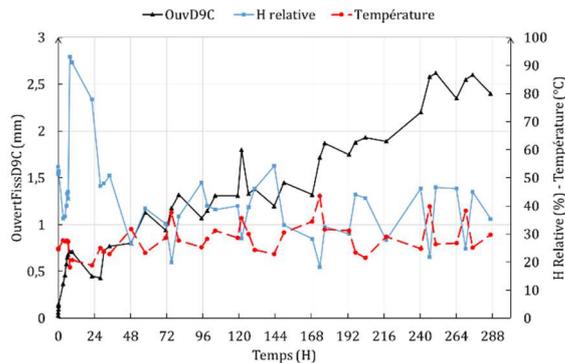


Fig. 2 : Evolution de l'ouverture de la fissure en fonction de HR et T

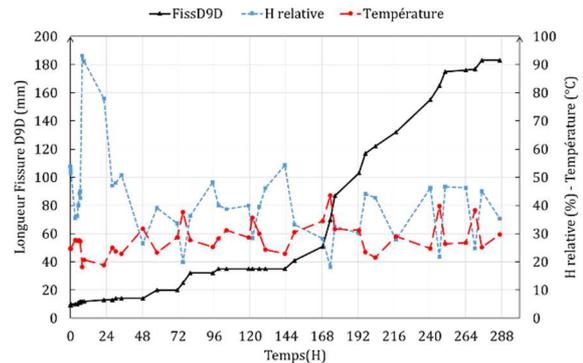


Fig. 3 : Evolution de la pointe de la fissure en fonction de HR et T

## Conclusion et Perspectives

Les résultats présentés ici mettent en exergue l'influence qu'ont les conditions de variations climatiques sur la durabilité des structures en bois, notamment des poutres de Douglas testées. Sur cette étude seule l'évolution de la fissure a été prise en compte ; néanmoins le prochain dépouillement des données issues des essais en cours, nous permettront de coupler l'effet des conditions climatiques (HR, T), des défauts du bois (fissures, nœuds, orientation des cernes, ...) et du chargement (fluage) sur la durabilité de ces poutres. Enfin, d'autres essais de mêmes types seront effectués sur les poutres entaillées de Sapin Blanc et permettront de connaître l'impact des conditions climatiques sur la durabilité de cette essence du Massif Central.

## Remerciements

Les auteurs remercient l'ANR pour le financement du projet ANR JCJC CLIMBOIS N° 13-JS09-0003-01, le pôle de compétitivité ViaMéca pour sa labélisation, le laboratoire de Météorologie Physique de l'OPGC pour la transmission des données climatiques, ainsi que la Scierie du Forez via l'association Auvergne Promobois pour la fourniture des essences testées.

## Références

- Moutou Pitti R., et al. (2015). Essais de fissuration des poutres en environnements extérieurs variables sous charges de longues durée : objectifs et conception. 4<sup>èmes</sup> journées du GDR 35544 « Sciences du bois » - Clermont-Ferrand, 4-6 novembre 2015
- Pambou Nziengui C.F., Moutou Pitti R., Fournelly E., Godi G., Dubois F. (2016) Mechanical characterization of European species: Picea-Alba mill and Douglas-fir. SEMC 2016, Cap-town, September 2016.

## RobEcolo : Conception et commande d'un robot industriel en bois

BOUDAUD Clément<sup>1</sup>, KACI Lila<sup>2</sup>, BRIOT Sébastien, MARTINET Philippe<sup>2</sup>

<sup>1</sup> LIMBHA, Ecole Supérieure du Bois

<sup>2</sup> Institut de Recherche en Communication et Cybernétique de Nantes (IRCCyN), UMR CNRS 6597, Ecole Centrale de Nantes

[clement.boudaud@ecoledubois.fr](mailto:clement.boudaud@ecoledubois.fr)

**Mots clés :** Robotique, Bois, Conception robuste, Modèle de comportement mécanique

### Contexte

Il est méconnu que l'utilisation des robots (sans même considérer le procédé industriel pour lequel ils seront utilisés) impacte considérablement l'environnement. On estime l'impact pour la réalisation (seulement) du stock mondial de robots industriels (1 500 000 unités, 180 000 unités vendues par an avec 12% d'augmentation annuelle), en termes de rejet de gaz à effet de serre, à 11 millions de tonnes en équivalent CO<sub>2</sub> rejetées dans l'atmosphère [1]. Le projet RobEcolo, financé pour 3 ans par la région Pays de la Loire, se focalise sur la réduction de cet impact environnemental par l'utilisation de matériaux bio-sourcés, et de bois dans un premier temps. Peu d'études existent sur ce type de sujet, on peut par exemple citer [2], qui montre qu'il est possible d'avoir des propriétés mécaniques intéressantes pour le robot en bois, mais qui ne mentionne pas comment réussir à créer de manière certifiée un robot fiable, raide, vibrant peu et précis avec des éléments en bois.

### Objectifs

L'objectif du projet RobEcolo est de montrer qu'il est possible de réduire considérablement l'impact environnemental des robots industriels en **remplaçant** la grande majorité des matériaux métalliques / composites de carbone utilisés dans leur conception par des **matériaux bio-sourcés** à faible impact écologique, **en garantissant toujours la fiabilité** du robot en termes de durée de vie et de performances mécaniques, même si ces matériaux, que ce soient le bois, les composites à base de lin ou de chanvre, etc., ont pour caractéristiques :

- une forte variation de leurs dimensions en fonction de l'hygrométrie
- une variabilité de leurs performances mécaniques relativement importante

L'objectif espéré est de pouvoir démontrer qu'il est possible de concevoir un robot industriel en bois qui a des performances équivalentes à celles des robots actuels en termes de raideur et de précision, ce qui se traduit par une répétabilité inférieure à 0,5 mm et une déformation sous charge de 1 kg inférieure à 0,5 mm.

### Méthodologie

La méthode de travail prévue va au-delà du « simple » remplacement de pièces métalliques ou composites par des éléments en bois pour évaluer la performance du robot. Il s'agit de combiner les domaines de la robotique et du bois pour développer des algorithmes de conception robuste qui vont prendre en compte la variabilité des performances du bois et qui permettront de définir des architectures de robots pour lesquelles l'impact de la variabilité sera minimal. L'utilisation de ces algorithmes nécessitera la connaissance de modèles de déformations de robots bois qui n'existent pas et qui devront être créés.

De plus, afin de garantir la précision même si les dimensions du bois varient en fonction de l'hygrométrie, des algorithmes de commande basés sur l'utilisation de capteurs externes (type caméra) seront utilisés. L'utilisation de ces capteurs pouvant impacter les performances, ils

seront pris en compte dès la phase de conception afin de définir des algorithmes de conception basés commande. Les résultats théoriques seront validés sur un prototype de robot bois créé lors du projet.

### Avancement

La première année du projet a surtout été marquée par les travaux sur la conception de robots utilisant des capteurs externes. Le travail sur les modèles bois a commencé plus récemment. La figure 1 montre le type de robot parallèle 2D étudié. La longueur des bras du robot sera de l'ordre de 30 à 40 cm en fonction des résultats des algorithmes de conception.



Fig. 1 : Robot plan 2D qui sert de base à l'étude



Fig. 2 : Légende figure 3

Pour fournir aux algorithmes de conception les données nécessaires sur la rigidité (et sa variabilité) des bois, il a été choisi de travailler dans un premier temps sur du bois acétylé. En effet, si l'acétylation impacte peu les aspects mécaniques, elle limite beaucoup les phénomènes de retraits/gonflements. Cela est important dans le cadre du robot car la précision visée est faible, ainsi même une variation dimensionnelle longitudinale des bras limitée pourrait être une difficulté, mais aussi les variations dimensionnelles transversales pourraient poser des problèmes de reconnaissance des formes pour les capteurs extéroceptifs.

Comme le montre la figure 2, les travaux en cours consistent à caractériser expérimentalement la variabilité de la rigidité pour des pièces dont les dimensions correspondent à celles d'un bras de robot et pour finalement deux essences de bois acétylé, le pin radiata et le hêtre.

Les premiers modèles élasto-statiques de robots (théorie des poutres simple) vont permettre d'étudier la propagation d'incertitudes, vis-à-vis surtout de la rigidité et de la position du robot. La construction d'un prototype débutera bientôt pour valider les modèles, à la fois l'élasto-statique (calcul de déformation) et l'élasto-dynamique (calcul des fréquences propres).

### Remerciements

Le projet RobEcolo est financé par la région des Pays de la Loire (Convention 2015-10773). Les auteurs remercient aussi la société Accsys Technologies pour avoir fourni le bois acétylé.

### Références

- [1] Etude disponible sur [http://www.irccyn.ec-nantes.fr/~briot/Project\\_Review.html](http://www.irccyn.ec-nantes.fr/~briot/Project_Review.html)
- [2] Laurent T. et al., (2010) *Eco-conception : Vers un robot en bois*, Technologie, 168.

Site web du projet : <http://robecolo.irccyn.ec-nantes.fr/>

## **Do biotic and abiotic factors have synergistic effects on the weathering of wood?**

BUCHNER Julia<sup>1</sup>, IRLE Mark<sup>1</sup>, MICHAUD Franck<sup>1</sup>, BELLONCLE Christophe<sup>1</sup>,  
MACCHIONI Nicola<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ecole supérieure du bois, LIMBHA, Nantes, France

<sup>2</sup>IVALSA, Florence, Italy  
[julia.buchner@ecoledubois.fr](mailto:julia.buchner@ecoledubois.fr)

### **Project**

Using wood for exterior applications is currently rather fashionable in Europe, but, it is still used only in small quantities compared to e.g. concrete, steel and glass. Customers seek homogeneous, colourfast facades with low maintenance requirements. The visual appearance of a wooden facade changes over time through and, often, the discoloration is heterogeneous.

Extensive research on the decay of wood by fungi and bacteria in soil and water (durability classes 4 and 5) has already been carried out. Much less research has been conducted on wood in exterior use that is not in ground contact, i.e. durability class 3, which typifies the exposure conditions of facades.

### **Aim**

The aim of the thesis is to identify any synergistic effects between biotic factors, such as bacteria, moulds and fungi and abiotic factors, such as light, temperature and moisture on the weathering of wood surfaces in durability class 3. This approach will facilitate the design of stable wooden facades that require little maintenance over a long period of time.

### **Objectives**

An appropriate start is to determine which bacteria, moulds and fungi occur on weathered wood facades. Microbiological and molecular biology methods will be used to identify and quantify bacteria, moulds and fungi present in degraded wood facades in western France.

Subsequently a microcosm-scale experiment may reveal if certain bacteria have an influence on the growth rate of certain fungi and moulds or vice versa.

Accelerated and outdoor weathering experiments will be carried out to see if conditions and in particular, the presence of micro-organisms significantly influence the weathering of wood.

### **Materials**

Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) and oak (*Quercus robur*) will be examined due to the fact that these two species are commonly used for exterior applications in Europe. Moreover this choice allows the comparison between softwood and hardwood.

### **Methods**

Several methods will be used to analyse the anatomical (SEM, light microscope), chemical (FTIR/ATR) as well as visual (colorimeter, roughness testing) changes in the degraded wood. The focus however is on the change in visual appearance of the weathered wood surface.

## **Elicitation et intégration des connaissances expert dans le domaine de fabrication d'un isolant à base de fibre de bois**

HOBALLAH Mohamad Hussein<sup>1,2</sup>, MICHAUD Franck<sup>1</sup>, NDIAYE Amadou<sup>2</sup>, IRLE Mark<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Lunam université, Ecole supérieure du bois, LIMBHA, Nantes

<sup>2</sup> INRA, I2M, Bordeaux

[mohamadhussein.hoballah@coledubois.fr](mailto:mohamadhussein.hoballah@coledubois.fr)

**Mots clefs :** Intégration des connaissances, Modélisation, Carte causale, Fibre Bois, Isolation

### **Introduction**

En France, l'utilisation d'isolants thermiques en composites bio-sourcés à base de fibres de bois reste relativement minime lorsqu'on la compare avec celle des isolants à base de fibres minérales [1]. Afin d'améliorer leurs performances économique, écologique et technique, il est capital de comprendre et maîtriser le processus de fabrication des composites à base de fibres de bois, ainsi que les variables influençant leurs performances. Une des difficultés que rencontre la filière de fabrication des matériaux complexe réside dans le fait que la conception intégrée des produits bio-sourcés nécessite une coopération entre de nombreuses disciplines (chimie, physique, écologie, sciences de l'ingénieur, procédés, économie ...) et l'assemblage de différentes expertises. La fabrication d'un produit ne se limite plus à sa dimension technique mais doit intégrer, dans sa conception, les aspects environnementaux et économiques. Pour ce faire, il est proposé de suivre une approche de modélisation des connaissances recueillis auprès des experts, qui permet de représenter et assembler les différents facteurs qui influencent les critères à prendre en compte lors de la conception du produit. L'objectif de ce travail est de recueillir les connaissances et de construire une carte causale [2] qui rassemble le savoir-faire et les connaissances des scientifiques tout en prenant en compte les contraintes des industriels.

### **Elicitation et modélisation des connaissances**

La technique d'élicitation des connaissances des experts utilisée a été l'interview semi structuré. Plusieurs interviews ont été conduites auprès de six experts dans le cadre du projet ADEME ECOMATFIB, elles ont durées entre 60 et 90 minutes chacune et une carte causale a été construite puis validée par les experts. Les connaissances expertes recueillies sont hétérogènes, elles sont relatives au processus de fabrication, aux propriétés mécaniques et thermiques de l'isolant ou aux risques liés aux divers modes de fabrication. Ces risques sont principalement liés au choix des matériaux premiers et à la similarité du processus de fabrication à un des processus maîtrisés. La carte causale (Fig. 1), qui unifie toutes les connaissances d'expert, montre l'interaction et l'influence des variables du processus de fabrication et du produit sur les performances techniques et économiques du produit. Elle montre que le type d'essence du bois et le diamètre des fibres influencent le degré de finesse des fibres et le rapport de la longueur de fibre sur son diamètre. Les experts indiquent que le degré de finesse des fibres et l'humidité relative jouent un rôle prépondérant dans la conductivité du produit. Par ailleurs, ils ne tiennent pas compte d'autres facteurs, tel que la conductivité du bois, dans leur raisonnement. Il est aussi indiqué que le type d'essence induit des limitations industrielles : certaines essences, surtout des feuillus, contiennent naturellement des fibres fines qui peuvent être rejetées lors du processus de défibrage. Ceci entraîne des pertes qui peuvent atteindre 40% de la quantité totale des fibres. Par ailleurs, même si les fibres fines sont meilleures en terme d'isolation thermique, leur production nécessite une quantité importante d'énergie, et donc influence très sensiblement les performances économiques et environnementales. Le type d'adhésion joue un rôle important dans le comportement mécanique des matériaux ; mais certaines limitations doivent être

considérées comme la possibilité d'accéder au type d'adhésion à proximité de l'usine. Ces limitations sont représentées dans la carte causale par « supply risk ».

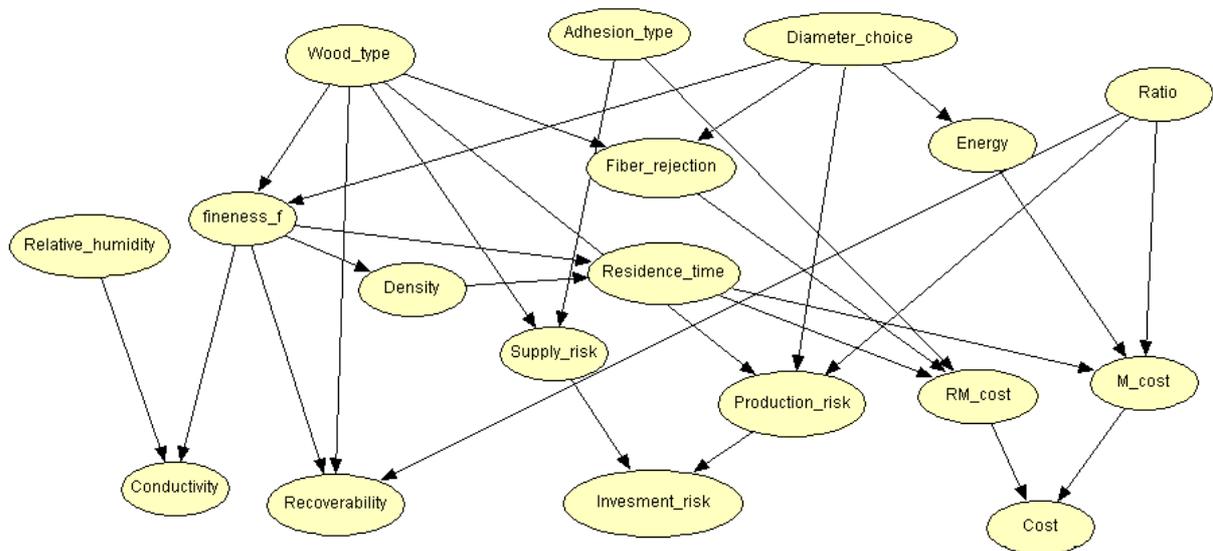


Fig. 1 : Carte causale des connaissances des experts

## Conclusion

Ce modèle permet l'assemblage des connaissances hétérogènes des différents experts, et de mettre en œuvre les avantages et inconvénients des alternatives de conception du produit ; en prenant en compte les différentes limitations, et en particulier les limitations industrielles. Ce modèle donne une vue globale du système, ce qui permet aux chercheurs d'avoir une idée des différentes variables et leurs dépendances et le comportement du produit lors du processus de fabrication du produit.

## Références

- [1] Alcimed. *Marché actuel des nouveaux produits issus du bois et évolutions à échéance 2020*, Dgcis prospective. Rapport PIPAME. (2012)
- [2] Eden, Colin. *On the nature of cognitive maps*. Journal of management studies 29.3 (1992): 261-265.
- [3] Milton, N.R., *Knowledge Acquisition in Practice: A Step-by-Step Guide*. 1st edition. Springer Publishing Company. (2007)

## **Non-cellulosic polysaccharide distribution during G-layer formation in poplar tension wood fibers: abundance of rhamnogalacturonan I and absence of xyloglucan**

GUEDES F T P<sup>1</sup>, LAURANS F<sup>1</sup>, QUEMENER B<sup>2</sup>, ASSOR C<sup>2</sup>, BOIZOT N<sup>1</sup>, VIGOUROUX J<sup>2</sup>, LESAGE-DESCAUSES M-C<sup>1</sup>, LEPLÉ J-C<sup>1</sup>, DEJARDIN A<sup>1</sup>, PILATE G<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INRA, UR0588 Amélioration, Génétique et Physiologie Forestières,  
F-45075 Orléans cedex, France ;

<sup>2</sup> UR 1268, PVPP, INRA, rue de la Géraudière, BP 71627, 44316 Nantes, France  
[gilles.pilate@inra.fr](mailto:gilles.pilate@inra.fr)

**Mots clefs** : Pectin, hemicellulose, arabinogalactan protein, mechanical strain, G-fiber maturation, hydrogel formation

### **Introduction**

Tension wood (TW) is produced by temperate hardwood trees in order to support their increasing load, orient their axes and cope with environmental cues such as wind. TW fibres often harbour a supplemental layer, the G-layer, rich in crystalline cellulose, containing matrix polysaccharides but no lignin. The tensile force responsible for the specific TW properties originates from the G-layer and is transmitted to cellulose microfibrils soon after their deposition during G-fibre maturation. This force is potentially generated from physical changes in the high porosity hydrogel recently identified in the G-layer.

### **In search for molecules with gelling properties...**

In order to identify molecules potentially involved in hydrogel formation, the distribution of the different classes of non-cellulosic polysaccharides was evaluated during xylem fibre differentiation by immunolocalization, both in TW and in opposite wood (OW), a wood devoid of G-fibres. In parallel, differentiating G-layers were isolated and their polysaccharide composition determined.

### **We found a few promising candidates...**

These complementary approaches provided us with data on the evolution of non-cellulosic polysaccharides during G-fibre differentiation: contrary to previous reports, we did not find any evidence for the presence of xyloglucan in poplar G-layers, but evidence was found for an abundance of rhamnogalacturonan type I pectins (RG-I) in the G-fibre, with an apparent progressive loss of RG-I side chains during G-layer maturation. Similarly, the intensity of immunolabeling signals specific to glucomannans, glucuronoxylans and AGP varies during G-layer maturation. This study leads to the identification of matrix components potentially involved in hydrogel formation.

## Session C : Mercredi 9 novembre (12h30-13h30/ pause 14h30-15h30)

Poster	Auteurs	Titres	Laboratoire Ville, pays	Page
<b>C01</b>	<u>GILLOT Isabelle</u> , NOEL Delphine, SORMANI Rodnay	Attaque fongique et altérations microscopiques de différentes essences de charbons de bois	CEPAM Nice	<b>113</b>
<b>C02</b>	<u>YANG Ming</u> , DUPONT Sylvain, DEFOSSEZ Pauline	Modélisation du comportement aérodynamique de l'arbre au vent	ISPA Bordeaux	<b>114</b>
<b>C03</b>	<u>ROSSELGONG Julien</u> , CHEMIN Maud, HAM-PHICHAVANT Frédérique, COLOIGNIER Maud, CHOLLET Guillaume, DA SILVA PEREZ Denilson, LABAT Gilles, CRAMAIL Henri, GRELIER Stéphane, LECOMMANDOUX Sébastien	Hemicelluloses as a source of xylan- based building-blocks for functional biomaterials	LCPO Bordeaux	<b>116</b>
<b>C04</b>	TERRYN Christine, HABRANT Anouck, SPIRIET Corentin, <u>CHABBERT Brigitte</u> , PAES Gabriel	L'exploration de l'architecture de la biomasse lignocellulosique : les apports de l'imagerie et de la spectroscopie de fluorescence en microscopie confocale	INRA-FARE Reims	<b>118</b>
<b>C05</b>	<u>CHALLANSONNEX Arnaud</u> , PIERRE Floran, PERRE Patrick	Caractérisation des transferts massiques en régime transitoire de matériaux hygroscopiques à double échelle de porosité : Formulation macroscopique prenant en compte le non-équilibre local	LGPM Châtenay-Malabry	<b>119</b>
<b>C06</b>	<u>LOUÉRAT Mathilde</u> , AYOZ Mehdi, PERRÉ Patrick	Diffusivités thermique et massique équivalentes de bois et panneaux déterminées par nanotomographie X et méthode Lattice Boltzmann	LGPM Châtenay-Malabry	<b>121</b>
<b>C07</b>	ROUSSEY Claire, <u>PIERRE Floran</u> , TEISSIER DU CROS Rémi, PERRE Patrick	Mesure de l'imprégnation du bois par le vin (rayons X) : application au chêne de tonnellerie	LGPM Châtenay-Malabry	<b>122</b>
<b>C08</b>	<u>BONNET Marie</u> , CARE Sabine, BORNERT Michel, ALCANTARA Rebecca, AIMEDIEU Patrick, MONTERO Cédric	Etude expérimentale du comportement hygromécanique du Douglas à l'échelle du cerne	Laboratoire Navier Champs-s-Marne	<b>123</b>
<b>C09</b>	FRANZONI Lorenzo, <u>LEBÉE Arthur</u> , LYON Florent, FORET Gilles	Etude du comportement mécanique de panneaux innovants en bois lamellé croisé	Laboratoire Navier Champs-s-Marne	<b>125</b>
<b>C10</b>	<u>PLAZANET Idelette</u> , COSTA Guy	Formation du duramen et qualité du bois de douglas	LCSN Limoges	<b>127</b>
<b>C11</b>	<u>VILLANDIER Nicolas</u> , GENEVOIS Nicolas, CHALEIX Vincent, JAUBERTY Loïc, GLOAGUEN Vincent	Biosorption du césium en solution par des écorces forestières modifiées	LCSN Limoges	<b>128</b>
<b>C12</b>	<u>MAIGRE Hubert</u> , SILVY Loïs	Caractérisation du comportement en cisaillement du bois sous impact	LaMCoS Lyon	<b>130</b>
<b>C13</b>	<u>GHISLAIN Barbara</u> , ALMERAS Tancrède, BEAUCHENE Jacques, CLAIR Bruno	Diversité des modalités de redressement des arbres en forêt tropicale	EcoFoG GUYANE	<b>132</b>
<b>C14</b>	<u>DJOUBISSIE DENOUWE Decroly</u> , MESSAN Adamah, FOURNELY Eric, BOUCHAÏR Abdelhamid	Étude Expérimentale du Comportement Mécanique des Poutres Mixtes Bois- Béton avec Connexion par Tige d'Acier HA Filetée	IP/LEMC - 2IE BURKINA FASO	<b>134</b>

<b>C15</b>	<u>PAMBOU NZIENGUI Claude Feldman</u> , MOUTOU Pitti Rostand, IKOGOUE Samuel, EKOMY ANGO Serge	comportement mécanique de l'Okoumé sous sollicitation cyclique en compression: effet de l'humidité	IP/ENEFClermont-Fd	<b>136</b>
<b>C16</b>	<u>BOSSU Julie</u> , TRENS Philippe, CORN Stephane, ZEMB Thomas, LE MOIGNE Nicolas, DI RENZO Francesco	Etude du gonflement du bois dans les solvants mixtes et influence sur les propriétés mécaniques du matériau. Vers une meilleure compréhension des interactions moléculaires solvant-matière ?	ICGMontpellier	<b>138</b>
<b>C17</b>	<u>GIRARDON Stéphane</u> , VIGUIER Joffrey, MARCON Bertrand, POT Guillaume, DENAUD Louis, COTTIN Fabrice	Optimisation des performances mécaniques élastiques des panneaux de LVL de peuplier par l'organisation et la géométrie des plis	LaBoMaP Cluny	<b>140</b>
<b>C18</b>	<u>MARCON Bertrand</u> , REMI Curti, VIGUIER Joffrey, POT Guillaume, COLLET Robert, LORONG Philippe, DENAUD Louis	Mesures de champs de déplacement sous chargements quasi-statiques et dynamiques appliquées au bois sec et vert	LaBoMaP Cluny	<b>142</b>
<b>C19</b>	<u>VIGUIER Joffrey</u> , BLERON Laurent, COLLET Robert, POT Guillaume	Classement mécanique des bois de structure. Prise en compte des singularités dans la modélisation du comportement mécanique.	LaBoMaP Cluny	<b>144</b>
<b>C20</b>	<u>LAVALETTE Anne</u> , DE BUSSAC Olivier, CANILLAS Sabine, DENAUD Louis, BUTAUD Jean-Claude	Etude des paramètres de déroulage de bois de hêtre destiné à la fabrication de moules de cuisson	Panibois Marcilly-en-Villette	<b>146</b>
<b>C21</b>	REINIATI Isabela, OSMAN Noridah, McDONALD Armando, <u>LABORIE Marie-Pierre</u>	Heat Compression of Wood and its influence on the morphology and viscoelastic properties of Wood Polymers	U.Fribourg Allemagne	<b>148</b>

## **Attaque fongique et altérations microscopiques de charbons de bois de différentes essences**

GILLOT Isabelle<sup>1</sup>, NOEL Delphine, SORMANI Rodnay<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CEPAM-UMR7264 CNRS-UNS, Université Nice Sophia Antipolis, Saint Jean d'Angély, 24, avenue des Diables Bleus, 06357 Nice Cedex 4, France,

<sup>2</sup>Université de Lorraine, UMR1136 INRA Université de Lorraine "Interactions Arbres/Micro-organismes", IFR 110 EFABA, Faculté des Sciences et Technologies, BP 70239, 54506 Vandoeuvre Cedex, France.

[gillot@unice.fr](mailto:gillot@unice.fr)

**Mots clefs** : Charbon de bois, attaque fongique, altération anatomique

### **Résumé**

Pour explorer l'économie des combustibles et les stratégies d'acquisition du bois des sociétés passées, l'étude des déformations anatomiques du bois ou du charbon de bois sont parfois très utiles. Ces signatures anatomiques peuvent avoir plusieurs origines simultanées ou successives au cours de l'existence de l'arbre sur pied ou coupé. Ainsi, les déformations post-carbonisation sont l'expression de processus post-dépositionnels.

Des études menées sur l'altération du bois (Théry-Parisot, 2001 ; Henry & Théry-Parisot, 2014) par des champignons de pourriture ont montré des pertes de masse variable et des altérations variées selon les espèces de champignons et les espèces ligneuses.

Nous avons cherché à savoir si l'attaque fongique du bois carbonisé conduit aussi à une perte de masse et si une l'altération de la microstructure est observable sur le charbon de bois.

Des charbons de bois actuels de trois essences différentes (peuplier, chêne et pin sylvestre) brûlés expérimentalement, ainsi que des charbons de bois médiévaux issus de sites archéologiques ont été soumis à l'attaque fongique de trois souches de *Phanerochaete chrysosporium* différentes. Les charbons ne semblent pas contenir de composé toxique inhibant complètement la croissance du champignon.

### **Références**

Théry-Parisot I., 2001, Economie des combustibles au Paléolithique. Dossier de Documentation Archéologique, n°20, CNRS Editions, 195p.

Henry A., Théry-Parisot I., 2014, From Evenk campfires to prehistoric hearts: charcoal analysis as a tool for identifying the use of rotten wood as fuel. J. Archaeological Science, 52, 321-336.

## Modélisation du comportement aérodynamique de l'arbre au vent

YANG Ming<sup>1</sup>, DUPONT Sylvain<sup>1</sup>, DEFOSSEZ Pauline<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ISPA, INRA, Bordeaux Sciences Agro, F-33140 Villenave d'Ornon, France  
[ming.yang@bordeaux.inra.fr](mailto:ming.yang@bordeaux.inra.fr)

**Mots clefs :** chargement dynamique, couplage de modèles, méthode des éléments finis, racines, sol, stabilité de l'arbre au vent

### Résumé

La forêt joue un rôle important dans nos sociétés par ses diverses fonctions écologiques, économiques, etc. Les tempêtes, incendies, insectes et champignons représentent les principales causes de dommages des forêts. En Europe, les tempêtes sont à l'origine de plus de 50% des dégâts au cours des soixante dernières années. Les dégâts liés aux tempêtes dans les forêts européennes ont tendance à augmenter depuis 1950. Plusieurs études prédisent un doublement, voire un quadruplement des dégâts d'ici la fin du siècle en lien avec le changement climatique (Gardiner et al. 2010). La vulnérabilité des forêts aux tempêtes résulte de l'interaction de processus complexes mettant en jeu la météorologie, la composition du peuplement, les opérations sylvicoles effectuées, les propriétés morphologiques et mécaniques des arbres, l'état du sol et sa modification au cours de la tempête, etc. Pour atteindre une prévision fiable des dégâts liés aux tempêtes, il est important de prendre en compte l'ensemble de ces facteurs dans les modèles de risque. Pour ce faire, une meilleure compréhension de la stabilité des forêts à l'échelle de l'individu est nécessaire.

La question de la stabilité de l'arbre au vent est par nature dynamique et repose essentiellement sur : (1) l'intensité moyenne et les rafales du vent, (2) le comportement aérodynamique de la partie aérienne de l'arbre, et (3) l'ancrage en fonction des propriétés du système racinaire et du sol environnant. D'un côté, la dynamique de la partie aérienne de l'arbre sous sollicitation aérodynamique du vent turbulent a été étudiée à partir de méthodes spectrales (Mayer et al. 1989) ou de modèles d'éléments finis (Sellier et al. 2008) mais sans considérer la partie souterraine de l'arbre. D'un autre côté, la réponse de la partie souterraine de l'arbre au vent n'a été étudiée que par des approches statiques, tant expérimentalement que numériquement (Cucchi et al. 2004 ; Dupuy et al. 2005 ; Yang et al. 2014 ; Yang et al. 2016). Les effets dynamiques du chargement sur l'ancrage sont donc peu connus.

Notre approche consiste à modéliser pour la première fois le processus physique de mouvement d'un arbre dans son ensemble, parties aérienne et souterraine, en réponse aux sollicitations d'un vent turbulent. Par rapport à d'autres méthodes numériques, la méthode des éléments finis est choisie pour sa capacité à : (1) résoudre numériquement une large gamme d'équations aux dérivées partielles décrivant les phénomènes physiques, et (2) décrire avec précision des géométries complexes telles que l'architecture d'une plante. Un modèle de dynamique des parties aériennes de l'arbre (Sellier et al. 2008) est couplé à un modèle de dynamique du système racinaire et de son sol environnant (Yang et al. 2016). Ce modèle couplé est forcé par un modèle d'écoulement turbulent (Dupont 2016). A partir de ce couplage de modèles, nous présenterons la sensibilité de la dynamique de l'arbre dans son ensemble, à différentes conditions de vent, en allant jusqu'à des conditions de tempête. Nous regarderons aussi l'impact de l'ancrage racinaire sur la dynamique de la partie aérienne de l'arbre, et inversement comment la dynamique de la partie aérienne se transfère aux racines.

## Références

- Cucchi V., Meredieu C., Stokes A., et al. (2004) Root anchorage of inner and edge trees in stands of Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) growing in different podzolic soil conditions. *Trees: Structure and Function* 18:460–466.
- Dupont S. (2016) A simple wind–tree interaction model predicting the probability of wind damage at stand level. *Agricultural and Forest Meteorology* 224:49–63.
- Dupuy L.X., Fourcaud T., Stokes A. (2005) A numerical investigation into the influence of soil type and root architecture on tree anchorage. *Plant and Soil* 278:119–134.
- Gardiner B., Blennow K., Carnus J.M. et al. (2010) Destructive Storms in European Forests: Past and Forthcoming Impacts. Final Report to European Commission – DG Environment.
- Mayer H., Raupach M.R., Kohsiek W. et al. (1989) Windthrow [and discussion]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 324(1223), 267–281.
- Sellier D., Brunet Y., Fourcaud T. (2008) A numerical model of tree aerodynamic response to a turbulent airflow. *Forestry* 81:279–297.
- Yang M., Défossez P., Danjon F., Fourcaud T. (2014) Tree stability under wind: simulating uprooting with root breakage using a finite element method. *Annals of Botany* 114:695–709.
- Yang M., Défossez P., Danjon F., Dupont S., Fourcaud T. (2016) Which root architectural elements contribute the best to anchorage of *Pinus* species? Insights from *in silico* experiments. *Plant and Soil*, 1–17. doi:10.1007/s11104-016-2992-0.

## Scaling up hemicelluloses production: a source of xylan-based building-blocks for functional biomaterials

ROSSELGONG Julien<sup>1</sup>, CHEMIN Maud<sup>1,2</sup>, HAM-PHICHAVANT Frédérique<sup>1,2</sup>,  
COLOIGNIER Maud<sup>3</sup>, CHOLLET Guillaume<sup>3</sup>, DA SILVA PEREZ Denilson<sup>4</sup>,  
LABAT Gilles<sup>4</sup>, CRAMAIL Henri<sup>1,2</sup>, GRELIER Stéphane<sup>1,2</sup>,  
LECOMMANDOUX Sébastien<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>CNRS, LCPO, UMR 5629, 16 av. Pey Berland, Pessac, F-33600, France

<sup>2</sup>Univ. Bordeaux, LCPO, UMR 5629, 16 av. Pey Berland, Pessac, F-33600, France

<sup>3</sup>ITERG, 11 rue Gaspard Monge, Parc Industriel, Pessac cedex, F-33600, France

<sup>4</sup>FCBA, New Materials Division, Domaine Universitaire, Grenoble cedex9, F-38044, France

[Julien.Rosselgong@enscbp.fr](mailto:Julien.Rosselgong@enscbp.fr)

**Key words:** hemicelluloses, functional biomaterials, click chemistry, xylan.

Knowing that the fossil fuel available on earth will be spent in the foreseeable future and that oil prices will raise sharply, the development of new chemicals from renewable resources is nowadays a strategic research area. Within the last two decades, there has been a growing interest in lignocellulosic biomass, which is a sustainable resource to produce fuels, chemicals, and materials [1]. Contrarily to cellulose that is the most industrialized polysaccharide, woody hemicelluloses are less valued. The most abundant hemicellulosic polymers are xylans – essentially linear heteropolysaccharides (Fig. 1) - accounting for 25-35% of the dry biomass of woody tissues. Extensive literature data report on the isolation, characterization, derivatization and applications of xylans [1 – 5]. Moreover the chemical modification and the degradation of hemicelluloses into oligosaccharides are still a challenging task and would open the route to biomacromolecular engineering.

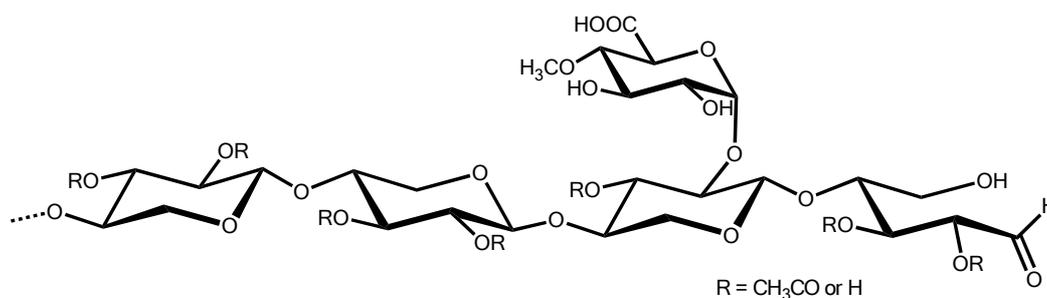


Fig. 1 : Chemical structural formula for O-acetyl-(4-O-methylglucurono)xylan

This work aims at studying chemical modification through acidic hydrolysis [6] of xylan from beechwood. More precisely, sulfuric acidic hydrolysis leads to well-defined oligomers with an average of six xylose units per chain and with an aldehyde group at the reductive end [7-8]. Reductive amination was used on the aldehyde functions of xylan derivatives to functionalize them with an azide function. Click chemistry will then open the route to macromolecular engineering and thus new opportunities to valorize this high potential bio-resource as functional materials. A scale up of the hydrophilic block will allow a potential large library of amphiphilic block copolymers to be made with different types of applications.

## Références

- (1) Deutschmann, R.; Dekker, R.F.H. *Biotechnology Advances*. 2012, *30*, 1627-1640.
- (2) Izydorczyk, M.S.; Biliaderis, C.G. *Carbohydrate Polymers*. 1995, *28*, 33-48.
- (3) Ebringerova, A.; Hromadkova, Z. *Biotechnol Genet Eng Rev*. 1999, *16*, 325-346.
- (4) Ebringerova, A.; Heinze, T. *Macromolecular Rapid Communication*. 2000, *21*, 542-556.
- (5) Mäki-Arvela, P.; Salmi, T.; Holmbom, B.; Willfor, S.; Murzin, D. Yu. *Chemical Reviews*. 2011, *111*, 5638-5666.
- (6) Sun, H.J.; Yoshida, S.; Park, N.H.; Kusakabe, I. *Carbohydrate Research*. 2002, *337*, 657-661.
- (7) Chemin, M.; Rakotovelo, A.; Ham-Pichavant, F.; Chollet, G.; da Silva Perez, D.; Petit-Conil, M.; Cramail, H.; Grelier, S. *Holzforschung*. 2015, *69*, 713-720.
- (8) Chemin, M.; Wirotius, A-L.; Ham-Pichavant, F.; Chollet, G.; Da Silva Perez, D.; Petit-Conil, M.; Cramail, H.; Grelier, S. *European Polymer Journal*. 2015, *66*, 190-197.

## **L'exploration de l'architecture de la biomasse lignocellulosique : Les apports de l'imagerie et de la spectroscopie de fluorescence en microscopie confocale**

TERRYN Christine<sup>1</sup>, HABRANT Anouck<sup>2</sup>, SPRIET Corentin<sup>3</sup>,  
CHABBERT Brigitte<sup>2</sup>, PAES Gabriel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université de Reims Champagne-Ardenne, Plateforme d'Imagerie Cellulaire et Tissulaire (PICT), 51 rue Cognacq-Jay, Reims, France.

<sup>2</sup>INRA, Université de Reims Champagne-Ardenne, UMR Fractionnement des AgroRessources et Environnement (FARE), 2 Esplanade Roland Garros, Reims, France.

<sup>3</sup>CNRS, Université de Lille, Plateau Traitement de l'Image et du Signal pour la Biologie (TSIBio), Parc de la Haute Borne, 50 avenue de Halley, Villeneuve d'Ascq, France.

[chabbert@reims.inra.fr](mailto:chabbert@reims.inra.fr)

**Mots clefs :** Accessibilité, FLIM, fluorescence, FRAP, lignocellulose, microscopie confocale

Afin de limiter notre dépendance vis-à-vis des ressources de carbone fossile non renouvelables à l'origine du changement climatique, l'utilisation des ressources de la biomasse lignocellulosique (bois, culture dédiées, résidus de culture) s'avère prometteuse pour la production de carburants, matériaux et produits chimiques. Ces ressources sont en effet renouvelables et ne rentrent pas en concurrence directement avec la production d'aliments. Cette biomasse lignocellulosique est très complexe aux niveaux structural et chimique, car elle est composée de trois polymères : la cellulose, les hémicelluloses et les lignines. C'est pourquoi sa transformation dans le cadre de la bioraffinerie est encore complexe et coûteuse. En particulier, l'utilisation de catalyseurs enzymatiques est limitée par des problèmes d'accessibilité des enzymes et d'efficacité d'hydrolyse. Des étapes de pré-traitement physico-chimiques sont donc la plupart du temps utilisées afin de lever en partie ces difficultés.

La microscopie confocale et les techniques d'imageries associées constituent un outil de choix pour appréhender, au niveau microscopique, les processus mis en œuvre dans la déconstruction raisonnée de la biomasse lignocellulosique. Ainsi, à partir d'un échantillon de biomasse donné, des coupes de quelques dizaines de  $\mu\text{m}$  peuvent être réalisés par microtomie. Ces coupes peuvent être observées grâce à leur fluorescence naturelle (autofluorescence), qui provient majoritairement des lignines. De façon plus précise, la mesure du temps de vie de fluorescence par la technique de FLIM (Fluorescence Lifetime Imaging Microscopy) permet d'obtenir de précieuses informations sur l'organisation des liaisons au sein des lignines et l'impact des pré-traitements sur ces liaisons. De plus, grâce à l'utilisation de la technique de FRAP (Fluorescence Recovery After Photobleaching), l'accessibilité des substrats et la présence de certains motifs chimiques peuvent facilement être mises en évidence. Enfin, les échantillons peuvent être également imagés et reconstruits en 3D ce qui permet de matérialiser les évolutions de l'architecture selon les traitements mis en œuvre. Ces outils viennent idéalement compléter les approches chimiques et biochimiques couramment utilisées dans les laboratoires de recherche.

## **Caractérisation des transferts massiques en régime transitoire de matériaux hygroscopiques à double échelle de porosité : Formulation macroscopique prenant en compte le non-équilibre local**

CHALLANSONNEX Arnaud<sup>1</sup>, PIERRE Floran<sup>1</sup>, PERRE Patrick<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LGPM, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay, Grande Voie des Vignes, Châtenay-Malabry, France

[arnaudchallannex@gmail.com](mailto:arnaudchallannex@gmail.com)

**Mots clés :** bâtiments écologiques, double échelle de porosité, identification, matériaux hygroscopiques, transferts massiques

### **Résumé**

Le secteur du bâtiment est dans notre pays le plus gros consommateur d'énergie et demeure très polluant. La situation environnementale actuelle nous invite donc naturellement à diminuer nos consommations énergétiques et à nous tourner vers l'utilisation de matériaux renouvelables. A ce titre, les matériaux biosourcés tirent leur épingle du jeu en permettant une large gamme d'usages tout en respectant l'environnement. Concernant l'isolation des bâtiments les panneaux de fibres végétales offrent de bonnes performances énergétiques pour un prix de revient modeste ce qui en fait certainement des matériaux d'avenir. Malheureusement, pour ces matériaux la lenteur des transferts massiques au sein des fibres est telle que la constante de temps associée au transfert microscopique est comparable à la constante de temps macroscopique de la paroi. Dans les parois d'un bâtiment, les alternances jour/nuit conduisent alors à des situations de non-équilibre local, même avec des épaisseurs de plusieurs centimètres. L'objectif de ce travail est de proposer une formulation macroscopique prenant en compte ce non-équilibre local.

En se basant sur des travaux antérieurs traitant des écoulements dans les réservoirs pétroliers [1] l'équation de conservation de l'humidité a été modifiée afin de prendre en compte ces phénomènes. En pratique ceux-ci sont modélisés par un produit de convolution incorporant une fonction mémoire représentative de la réaction des fibres à une perturbation. Cette formulation a été incorporée dans le code de recherche *Transpore* et les premières simulations se révèlent prometteuses.

En parallèle, un nouveau dispositif expérimental basé sur ce qui a déjà été fait au laboratoire [2] et devant permettre d'alimenter cette formulation est en train d'être développé. Le principe est de soumettre des échantillons à un échelon d'humidité relative puis de prélever deux variables indépendantes au cours du temps, l'humidité relative en face arrière de l'échantillon et sa masse. Ce dispositif (figure1), est réalisé autour d'un robot « peseur d'échantillons » permettant de mesurer la masse des échantillons à intervalles de temps réguliers. Il peut supporter jusqu'à dix échantillons et est placé dans une chambre climatique dont les conditions hygrothermiques sont contrôlées. Les échantillons sont placés dans des supports semblables à ceux utilisés par Perré et al. [2], l'acquisition de l'humidité relative en face arrière de l'échantillon (exemple de résultat visible figure 2) se faisant au moment de la pesée.



Fig. 1 : Dispositif expérimental

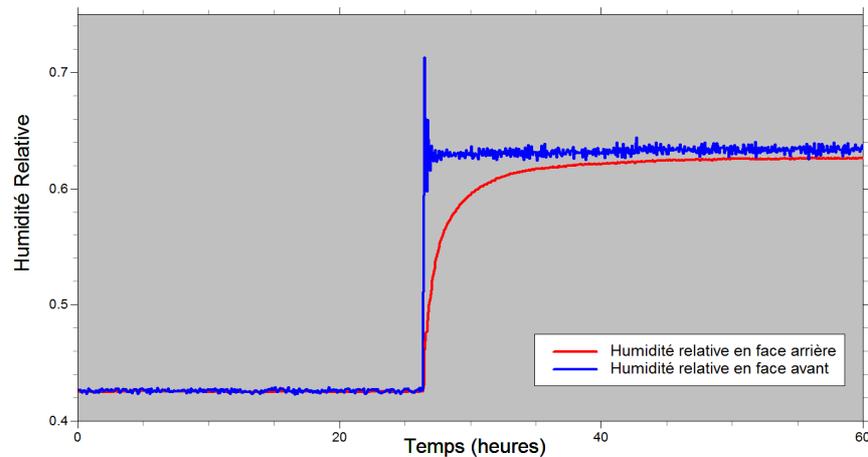


Fig. 2 : Evolution de l'humidité relative en face avant et arrière pour un échantillon de LDF

## Références

- [1]: Showalter R.E. (1991). Diffusion models with microstructure. *Transport in Porous Media*, 6(5-6), 567-580.
- [2]: Perré, P.; Pierre, F; Casalinho, J.; Ayouz, M. (2015). Determination of the Mass Diffusion Coefficient Based on the Relative Humidity Measured at the Back Face of the Sample During Unsteady Regimes, *International Journal of Heat and Mass Transfer*

## Diffusivités thermique et massique équivalentes de bois et panneaux déterminées par nanotomographie X et méthode Lattice Boltzmann

LOUËRAT Mathilde<sup>1</sup>, AYOUZ Mehdi<sup>1</sup>, PERRÉ Patrick<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Génie des Procédés et Matériaux (LGPM),  
CentraleSupélec, Université Paris- Saclay  
[mathilde.louerat@centralesupelec.fr](mailto:mathilde.louerat@centralesupelec.fr)

**Mots clés :** Diffusion massique, diffusion thermique, matériaux biosourcés, méthode Lattice Boltzmann, nanotomographie X, milieux poreux, morphologie

Avec la performance thermique croissante des bâtiments et le recours à des matériaux biosourcés qui sont hygroscopiques (ce qui signifie que leur teneur en eau s'équilibre avec l'air humide ambiant), il est maintenant admis que les codes de thermique du bâtiment doivent prendre en considération les transferts couplés de chaleur et de masse ainsi que les changements de phase induits par ces transferts. L'objectif du projet de recherche repose sur deux axes : (i) la description de la morphologie 3D de matériaux par nanotomographie aux rayons X et traitement d'images, (ii) le développement d'un code Lattice Boltzmann [Succi (2001)] 3D pour prédire leurs diffusivités massique et thermique macroscopiques.

La méthode numérique choisie pour modéliser les transferts de chaleur et de masse est la méthode Lattice Boltzmann car elle est simple à implémenter et à paralléliser et qu'elle a la capacité d'intégrer des morphologies complexes et différentes [Perré et al. (2016)].

Dans le travail présenté, un code Lattice Boltzmann 3D développé en interne est validé dans le cas simple d'un cube divisé en deux sous-domaines (cas série et parallèle) auxquels sont attribuées deux conductivités thermiques différentes. Les profils de température et les flux de chaleur obtenus sont en accord avec la solution analytique. Le code validé est ensuite utilisé pour déterminer les conductivités thermiques équivalentes et les diffusivités massiques de plusieurs matériaux biosourcés : épicea (bois initial et bois final) et panneaux de fibres de bois de densité moyenne (MDF) et faible (LDF). Les morphologies réelles présentées ont été obtenues par nanotomographie aux rayons X (échantillons préparés au LGPM, scans réalisés par l'entreprise Novitom à l'ESRF, ligne ID 19 et post-traitement effectués au LGPM). Les propriétés équivalentes sont calculées dans les trois directions principales du bois (radiale, tangentielle et longitudinale) et dans trois directions pour les panneaux (deux dans le plan et une orthogonale au plan). Les résultats montrent la forte anisotropie de ces matériaux.

Le code devra être amélioré pour prendre en compte le couplage chaleur/masse. Les propriétés macroscopiques d'autres matériaux biosourcés pourront être étudiées mais aussi celles de matériaux composites ciment/bois. Il serait également intéressant de valider les valeurs obtenues par des mesures expérimentales.

### Références

Perré P., Almeida G., Ayouz M., Frank X. (2016) New modelling approaches to predict wood properties from its cellular structure: image-based representation and meshless methods, *Annals Forest Sci.*, 73: 147-162.

Succi, S. (2001) *The Lattice Boltzmann Equation for Fluid Dynamics and Beyond*, Clarendon Press, Oxford.

## Mesure de l'imprégnation du bois par le vin (rayons X) : Application au chêne de tonnellerie

ROUSSEY Claire<sup>1</sup>, PIERRE Florian<sup>1</sup>, TEISSIER DU CROS Rémi<sup>2</sup>, PERRE Patrick<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LGPM, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay, Grande Voie des Vignes, 92295  
Châtenay-Malabry, France

<sup>2</sup>Chêne & Cie, 33240 Saint André de Cubzac, France  
[floran.pierre@centralesupelec.fr](mailto:floran.pierre@centralesupelec.fr)

**Mots clefs :** Alcool, Chauffe, Chêne, Imprégnation, Rayons X, Teneur en eau.

### Résumé

Traditionnellement les barriques étaient utilisées pour le transport des vins et des alcools. Aujourd'hui, leur rôle dans l'amélioration des qualités organoleptiques est reconnu et bien admis. Mais outre les apports d'arômes boisés et de tanins, la contribution essentielle jouée par les barriques réside dans la fonction d'interface entre le vin et l'environnement.

Le bois de chêne de la barrique n'est pas une interface passive entre le vin contenu dans la barrique et l'environnement extérieur. Il s'agit d'un véritable milieu d'échanges de gaz, notamment l'oxygène, et de liquide (pénétration du vin dans le bois). Ces phénomènes sont profondément régulés par l'anatomie du bois, la capacité du bois à s'imprégner de vin et l'aptitude des gaz, l'oxygène en tête, à traverser le bois de l'extérieur de la barrique vers le vin.

L'objet de ce travail est d'étudier ces phénomènes de manière approfondie grâce à des dispositifs expérimentaux originaux développés au Laboratoire de Génie des Procédés et Matériaux (LGPM) de CentraleSupélec. Pour cela nous avons notamment développé un dispositif autour d'une source microfocuse de rayon X et d'un détecteur digital de rayon X (capteur CCD avec scintillateur en face avant) (Fig. 1). Grâce à un support échantillon adéquat il est possible de prendre des images de l'échantillon à intervalles de temps réguliers après mise en contact avec le liquide (Fig. 2). Le traitement de ces données permet d'obtenir le profil de teneur en eau de l'échantillon et de bien comprendre les phénomènes d'imprégnation du bois par le vin.

Le bois a été fourni par Chêne & Cie. Les premiers résultats montrent une belle influence de l'espèce de chêne, de la chauffe et du degré d'alcool sur l'imprégnation.

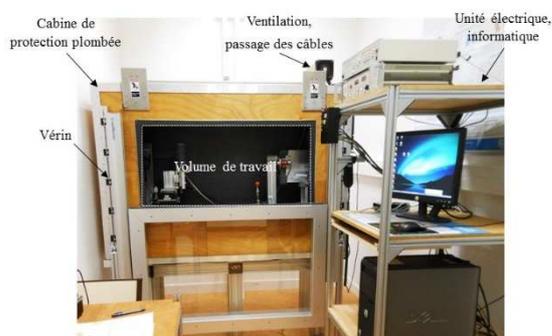


Fig. 1 : Dispositif d'imagerie par rayons X

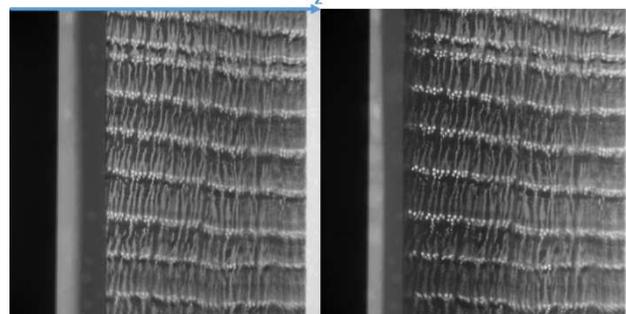


Fig. 2 : Imprégnation, Chêne pédonculé, gros grain, non chauffé

## Etude expérimentale du comportement hygromécanique du Douglas à l'échelle du cerne

BONNET Marie<sup>1</sup>, CARE Sabine<sup>1</sup>, BORNERT Michel<sup>1</sup>, ALCANTARA Rebecca<sup>1</sup>,  
AIMEDIEU Patrick<sup>1</sup>, MONTERO Cédric<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Navier, UMR 8205, Ecole des Ponts, IFSTTAR, CNRS, UPE,  
Champs-sur-Marne, France

<sup>2</sup>Laboratoire de Mécanique et de Génie Civil (LMGC), Université de Montpellier, CNRS,  
Montpellier, France

[marie.bonnet@enpc.fr](mailto:marie.bonnet@enpc.fr), [sabine.care@ifsttar.fr](mailto:sabine.care@ifsttar.fr)

**Mots clés :** Angle des microfibrilles, corrélation d'images volumiques, diffraction des rayons X, Douglas, gonflement, microtomographie aux rayons X, variabilité

### Contexte

Lorsque l'Humidité Relative (HR) varie, le bois se déforme de manière anisotrope à l'échelle macroscopique. Afin d'optimiser l'utilisation du bois dans ses applications et d'améliorer les modèles de prédiction de son comportement hygromécanique, il est nécessaire d'identifier les éléments microstructuraux à chaque échelle qui ont une influence notable.

Cette étude porte sur l'échelle du cerne dans lequel un gradient de microstructure existe et qui peut être divisé en deux constituants, le bois initial (BI) et le bois final (BF) (Figure 1), qui ont un comportement hygromécanique différent du fait de leur spécificité microstructurale.

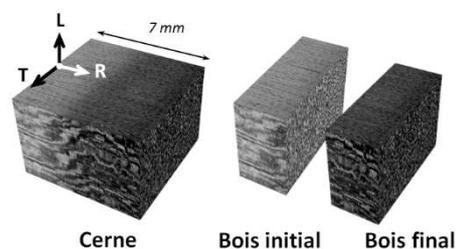


Fig. 1 : Echelle d'analyse de l'étude. Images obtenues par microtomographie aux rayons X de laboratoire à une résolution de 8 µm

Ainsi, l'objectif de ce travail est d'étudier le comportement hygromécanique du BI et du BF isolés, ainsi que celui du cerne complet. Une approche à l'échelle globale est dans un premier temps utilisée afin de caractériser leur comportement hygromécanique. En particulier, la variabilité inter-cernes est étudiée. Ce travail est ensuite complété par une approche à l'échelle locale pour établir des liens avec la microstructure.

### Matériaux et méthodes

Cette étude est menée sur un barreau de Douglas provenant de la forêt d'Ecouves (Orne, France) et âgé de 58 ans. Des échantillons de BI et BF (3x10x8 mm<sup>3</sup> (R, T, L)) ont été prélevés dans différents cernes du duramen afin d'étudier la variabilité inter-cernes. En particulier, l'étude du comportement hygromécanique est effectuée dans un cerne situé à la transition entre le bois juvénile et bois mature.

L'étude du comportement hygromécanique à l'échelle globale consiste à déterminer les isothermes de sorption des échantillons et les déformations associées dans les directions principales du bois. La teneur en eau est obtenue par pesée et les déformations à l'aide d'un comparateur. La localisation des déformations dans la microstructure du bois est obtenue par la

technique de corrélations d'images volumiques appliquées aux images 3D de microtomographie aux rayons X de laboratoire d'échantillons équilibrés à différentes HR. Enfin, l'Angle des Microfibrilles (AMF) est déterminé par diffraction des rayons X, car il a une influence notable sur le comportement hygromécanique du bois et nécessite donc d'être mesuré pour une meilleure compréhension des mécanismes de déformation.

## Résultats

Pour une teneur en eau donnée, les déformations volumiques des échantillons dépendent de leur densité et AMF. Ainsi, plus la densité du bois est élevée, plus les déformations volumiques sont importantes (e.g. le BF se déforme plus que le BI). Lorsque l'AMF diminue, les déformations volumiques augmentent (Figure 2). Enfin, la différence de microstructure d'un cerne à l'autre (Figure 3) induit une variabilité du comportement hygromécanique.

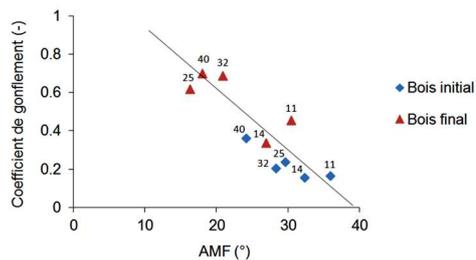


Fig. 2 : Evolution du coefficient de gonflement vs. AMF. Le numéro de cerne des échantillons est indiqué.

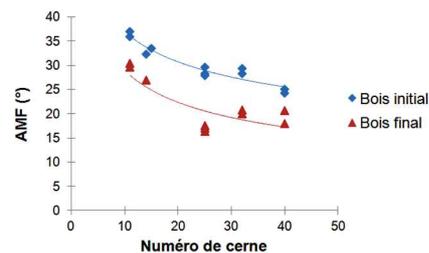


Fig. 3 : Evolution de l'AMF du BI et BF vs. numéro de cerne

Les déformations locales mettent en évidence une hétérogénéité de la composante tangentielle qui pourrait être corrélée avec la présence des rayons ligneux. La confirmation de ce résultat nécessite une étude similaire à l'échelle des cellules avec des images de résolution plus fine.

Par ailleurs, une évolution des déformations du cerne selon la direction radiale est mise en évidence pour les composantes radiale et tangentielle (Figure 4). Le couplage du bois initial et du bois final induit une modification de leur comportement hygromécanique.

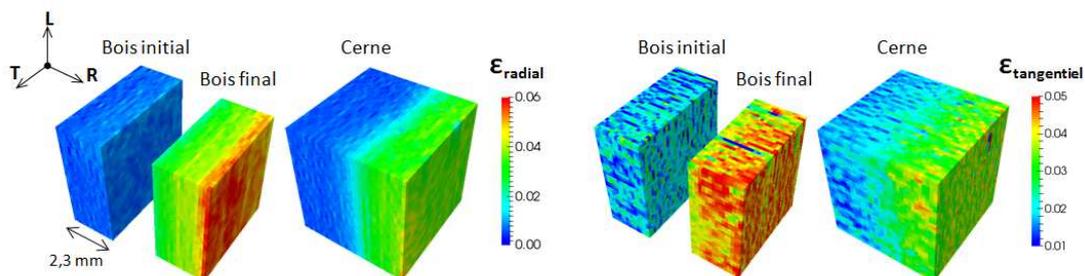


Fig. 4 : Déformations locales des bois initial et final isolés et du cerne induites par une variation d'HR de 44% à 97% HR (états équilibrés). Gauche : composante radiale. Droite : composante tangentielle.

## Remerciements

Nous remercions l'INRA de Nancy pour nous avoir fourni notre matériau d'étude, en particulier Julien Ruelle (LERFoB Nancy). Nous remercions aussi le GDR Sciences du Bois qui nous a permis de mettre en place la collaboration avec le LMGC Montpellier pour effectuer les mesures d'AMF.

## Etude du comportement mécanique de panneaux innovants en bois lamellé croisé

FRANZONI Lorenzo<sup>1</sup>, LEBÉE Arthur<sup>1</sup>, LYON Florent<sup>2</sup>, FORET Gilles<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Navier, Ecole des Ponts ParisTech, IFSTTAR/CNRS/UPE

<sup>2</sup> Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)

[arthur.lebee@enpc.fr](mailto:arthur.lebee@enpc.fr)

**Mots clés :** Construction bois, expériences, modélisation, flexion, plancher allégés

### Introduction

Les panneaux en bois massif lamellé croisé appelé communément CLT (de l'anglais Cross Laminated Timber, Figure 1-a) font partie des nouveaux systèmes constructifs qui ont permis au bois un nouvel essor en tant que matériau de construction. En fait, l'orientation croisée des plis donne au panneau des caractéristiques mécaniques et hygrométriques plus uniformes qui permettent l'utilisation des CLT en tant que plancher, mur ou toiture capable de prendre des charges dans le plan et hors plan. De plus, la préfabrication des éléments de structure et la facilité d'assemblage en chantier rendent les temps de construction très rapides. Un des besoins actuels en matière d'innovation dans le secteur de la construction bois concerne l'optimisation de la quantité de bois employée afin de rendre les structures en bois toujours plus légères, moins chères et d'exploiter au mieux la ressource bois. Ce principe est actuellement appliqué par un fabricant français qui produit des panneaux en lames de bois croisées et décalées ce qui a pour effet de générer des vides l'intérieur du panneau qui s'en trouve allégé (Figure 1-b).



Figure 1 Panneau CLT (a) et principe de fabrication des CLT innovants aérés (b)  
([www.techniwood.fr](http://www.techniwood.fr))

Les vides sont généralement remplis par des matériaux isolants afin de rendre le panneau plus performant pour l'isolation thermique et aussi plus résistant à la combustion en cas d'incendie. Cependant, l'utilisation de ces produits innovants est encore limitée de par leur comportement mécanique complexe qui n'a pas encore été complètement exploré.

### Expériences

Des essais de flexion 4-points sur des planchers CLT massifs et aérés ont été conduits. Cette campagne essais a montré la diminution de la performance mécanique et l'augmentation de la flèche de cisaillement quand le pourcentage des vides augmente. En plus, une transition entre mode de ruine en flexion et en cisaillement roulant (plan RT du bois) a été observée (Fig. 2-droite). Ensuite, les planches en bois des planchers ont été testées pour déterminer les propriétés mécaniques du bois. Les essais de caractérisation comprennent : traction parallèle aux fibres, compression selon les trois directions et cisaillement roulant.

## Modélisation

En ce qui concerne la modélisation, lors de la dernière journée du GDR (Franzoni et al, 2015), on avait montré la possibilité de prédire la raideur de flexion des planchers CLT aérés avec une méthode pour des panneaux massifs (Kreuzinger, 1999) simplement en réduisant les propriétés mécaniques du bois par la fraction volumique. Par contre cette approche simplifiée ne peut pas prédire la raideur en cisaillement transverse. Le modèle plus raffiné choisi est un schéma d'homogénéisation périodique géré par une théorie de plaque pour les stratifiés (Lebée, 2012). Cette approche relie le comportement du panneau avec celui d'une cellule périodique (Fig. 2-gauche) à travers une équivalence énergétique prédite avec un calcul aux éléments finis.

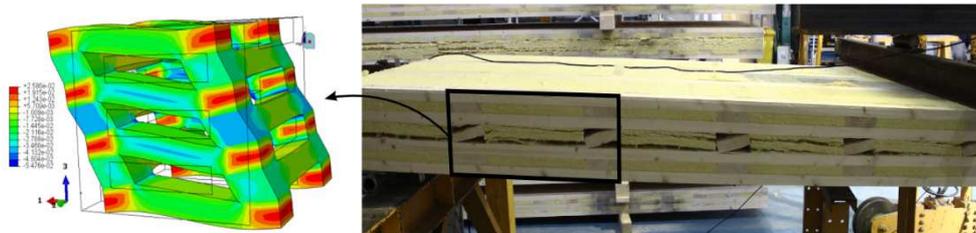


Figure 2 Rupture au cisaillement transverse d'un plancher CLT aéré sous flexion 4-points (droite) et cellule élémentaire périodique sous déformation de cisaillement (gauche)

Le calcul aux éléments finis est aussi capable de prédire les contraintes de rupture des planchers testés. Une bonne corrélation entre les résultats issus de la modélisation et les résultats expérimentaux a été obtenue, en ce qui concerne la raideur de cisaillement et les contraintes de rupture.

De plus, une approche analytique a été développée. La cellule élémentaire est ainsi modélisée comme un réseau de poutres connectées entre elles (Fig. 3) par des blocs en bois. La prise en compte des mécanismes de déformation des poutres et des blocs a permis l'estimation des raideurs des planchers CLT aérés ainsi que des contraintes à rupture.

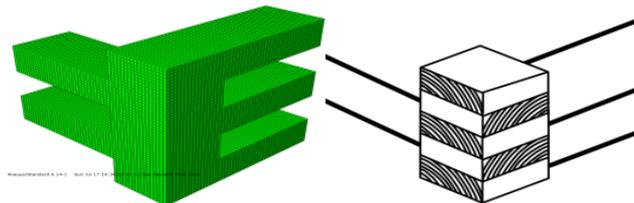


Figure 3 Cellule élémentaire d'un CLT espacé 5 plis sous éléments finis (gauche) et même cellule modélisée comme poutres connectées (droite)

Les formules analytiques simples obtenues donnent une bonne approximation du comportement mécanique de planchers CLT aérés et elles peuvent être utilisées dans le cadre d'une démarche pratique de dimensionnement par les ingénieurs.

## Références

- Franzoni, L. Lebée A. Lyon, F. Foret, G. (2015) Comportement en flexion de panneaux en bois lamellé croisé hétérogènes. 4<sup>ème</sup> Journées GDR bois, Clermont-Ferrand, 4-6 Nov. 2016
- Kreuzinger H (1999) Platten, Scheiben und Schalen. Ein Berechnungsmodell für gängige Statikprogramme (Allemand). Bauen mit Holz 1:34–39
- Lebée A, Sab K (2012) Homogenization of thick periodic plates: Application of the Bending-Gradient plate theory to a folded core sandwich panel. International Journal of Solids and Structures 49:2778–2792.

## Formation du duramen et qualité du bois de douglas

PLAZANET Idelette<sup>1</sup>, COSTA Guy<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université de Limoges, Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles,  
123 avenue Albert Thomas, 87060 Limoges, France  
[idelette.plazanet@etu.unilim.fr](mailto:idelette.plazanet@etu.unilim.fr)

**Mots clefs :** durabilité, immuno-marquages, polysaccharides pariétaux, *Pseudotsuga menziesii*.

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'une 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.

## Biosorption du césium en solution par des écorces forestières modifiées

VILLANDIER Nicolas<sup>1</sup>, GENEVOIS Nicolas<sup>1</sup>, CHALEIX Vincent<sup>1</sup>,  
JAUBERTY Loïc<sup>2</sup>, GLOAGUEN Vincent<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles, EA 1069, Université de Limoges, 123 av. Albert Thomas, 87060 Limoges cedex, France

<sup>2</sup> Pearl, 20 rue Atlantis, 87068 Limoges Cedex, France  
[nicolas.villandier@unilim.fr](mailto:nicolas.villandier@unilim.fr)

**Mots clefs :** biosorption, cesium, écorce, hexacyanoferrate de nickel, isotherme de Langmuir, oxydation

Les accidents nucléaires sont à l'origine du relargage dans l'environnement, et plus particulièrement dans les eaux, de différents éléments radioactifs dont le césium. La période radioactive du <sup>137</sup>Cs (30,1 ans), en fait un élément particulièrement persistant dans la nature à l'échelle de la vie humaine. Plusieurs catastrophes, dont deux dites « majeures », Tchernobyl (Ukraine, 1986) et Fukushima Daiichi (Japon, 2011), ont amené à l'étude de différents moyens de décontaminer les eaux polluées par le césium. Parmi eux, la biosorption présente l'avantage de l'utilisation d'un matériau renouvelable et peu coûteux.

Depuis de nombreuses années le laboratoire de chimie des substances naturelles (LCSN) s'intéresse à la valorisation chimique et biologique des écorces dans le domaine de la biosorption. Ainsi, les études précédentes réalisées par le LCSN ont montré que les écorces brutes de sapin de Douglas présentent intrinsèquement de bonnes capacités d'adsorption des éléments traces métalliques présents en solution aqueuse tels que l'uranium, le plomb, le cadmium et le baryum (Astier *et al.* (2010), Astier *et al.* (2012), Hachem *et al.* (2012) Jauberty *et al.* (2011)).

En modélisant le phénomène d'adsorption des ions cesium sur les écorces de Douglas à l'aide de l'isotherme d'adsorption de Langmuir, nous avons montré que les écorces possèdent une capacité d'adsorption vis-à-vis des ions césium de 0,2 mmol/g. Afin d'augmenter l'efficacité de rétention des écorces, différentes modifications chimiques ont été envisagées. Dans un premier temps, les écorces ont été fonctionnalisées par des fonctions acide carboxylique en utilisant le système oxydant TEMPO/NaOCl/NaBr ou l'oxydation de Fenton. Ces groupements sont susceptibles de capter les ions cesium suivant un mécanisme d'échange d'ions. D'autre part, les écorces ont été imprégnées avec de l'hexacyanoferrate de nickel (NiHCF), qui est un cristal cubique connu pour avoir une grande affinité pour les ions cesium (Ding *et al.* (2013), Parab *et al.* (2013)). Enfin, le système d'oxydation ayant donné les meilleurs résultats et l'imprégnation de NiHCF ont été combinés afin d'ajouter les effets de ces modifications (Fig. 1). Les différents biosorbants obtenus ont été caractérisés par spectroscopie infrarouge, DRX, microscopie électronique et dosage acido-basique. Les tests d'adsorption menés montrent que les modifications réalisées permettent de multiplier jusqu'à un facteur 7,5 la capacité de rétention des écorces pour les ions césium (Genevois *et al.* (2016)). De plus, le biosorbant le plus actif conserve ses propriétés d'adsorption sur une large gamme de pH.

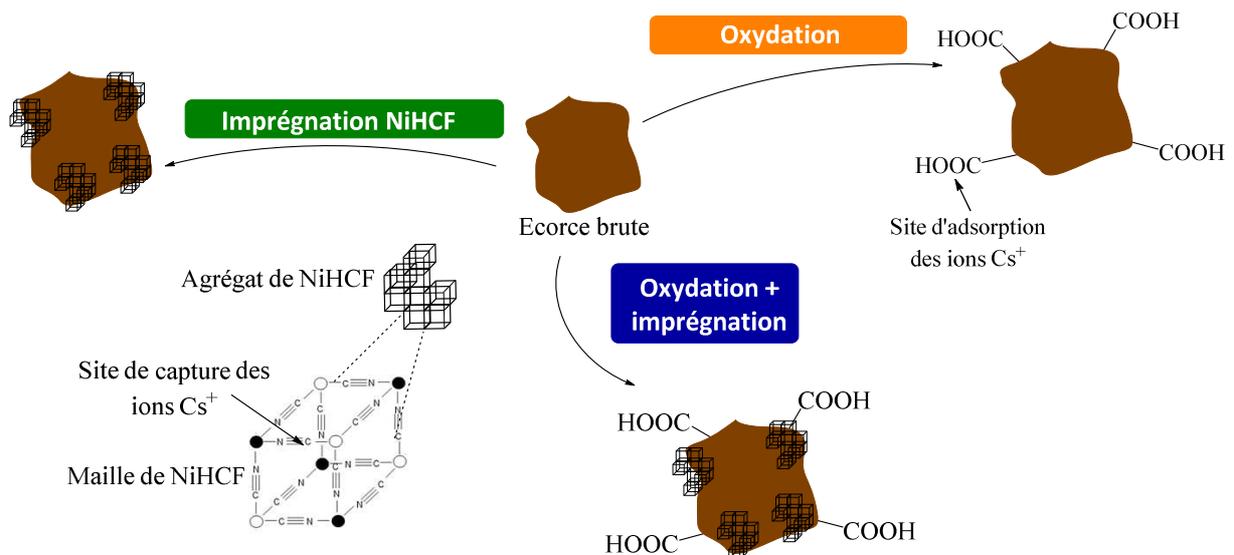


Fig. 1 : Stratégie de modifications chimiques des écorces pour la biosorption des ions césium.

## Références

- Astier C., Chaleix V., Faugeron C., Ropartz D., Gloaguen V., Krausz P. (2010) Grafting of aminated oligogalacturonans onto Douglas fir barks. A new route for the enhancement of their lead (II) binding capacities, *Journal of Hazardous Materials*, 182, 279-285.
- Astier C., Chaleix V., Faugeron C., Ropartz D., Krausz P., Gloaguen V. (2012) Biosorption of lead (II) on modified barks explained by the hard and soft acids and bases (HSAB) theory, *BioResources*, 7, 1100-1110.
- Ding D., Lei Z., Yang Y., Feng C., Zhang Z. (2013) Adsorption of cesium from aqueous solution using agricultural residue – Walnut shell: Equilibrium, kinetic and thermodynamic modeling studies, *Water Research*, 47, 2563-2571.
- Genevois N., Villandier N., Chaleix V., Poli E., Jauberty L., Gloaguen V. (2016) Removal of cesium ion from contaminated water: Improvement of Douglas fir bark biosorption by a combination of nickel hexacyanoferrate impregnation and TEMPO oxidation, *Ecological Engineering*, article soumis, ECOLENG-D-15-01503.
- Hachem K., Astier C., Chaleix V., Faugeron C., Krausz P., Kaid-Harche M., Gloaguen V. (2012) Optimization of lead and cadmium binding by oxidation of biosorbent polysaccharidic moieties, *Water Air Soil Pollution*, 223, 3877-3885.
- Jauberty L., Gloaguen V., Astier C., Krausz P., Delpech V., Berland A., Granger V., Niort I., Royer A., Decossas J. L. (2011) Bark, a suitable biosorbent for the removal of uranium from wastewater-From laboratory to industry, *Radioprotection*, 46, 443-456.
- Parab H., Sudersanan M. (2013) Engineering a lignocellulosic biosorbent – Coir pith for removal of cesium from aqueous solutions: Equilibrium and kinetic studies *Water Research*, 44, 854-860.

## Caractérisation du comportement en cisaillement du bois sous impact

MAIGRE Hubert<sup>1</sup>, SILVY Loïs<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université de Lyon, CNRS  
INSA-Lyon, LaMCoS UMR5259, F-69621, France  
[hubert.maigre@insa-lyon.fr](mailto:hubert.maigre@insa-lyon.fr)

**Mots clefs :** cisaillement ; comportement mécanique ; impact ; corrélation d'images

### Introduction

Les scieries sont un élément clé du processus de première transformation du bois, l'amélioration de leurs procédés est un levier important de la filière. En particulier, la maîtrise et la compréhension des phénomènes de coupe lors de l'opération d'ébauche des troncs par slabber représente un grand intérêt financier (taille des plaquettes issues de l'usinage, usure des couteaux etc). Le banc d'essai de barres de Hopkinson présent au LaMCoS l'INSA est à même d'étudier le comportement du bois en cisaillement à grande vitesse, comme c'est le cas sur les slabbers. C'est donc dans cette optique que cette étude se place.

### Dispositif d'impact en cisaillement

Le banc d'essai des barres de Hopkinson, a nécessité un travail d'adaptation afin de solliciter sous choc des échantillons de bois principalement en cisaillement. Au lieu d'aligner les barres comme cela se fait classiquement les deux barres ont été décalées (Fig. 1).

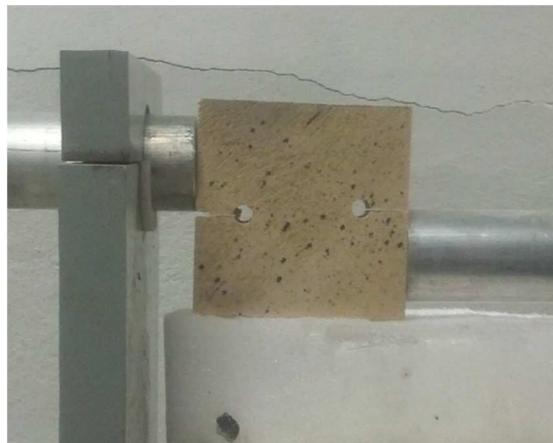


Fig. 1 : échantillon de bois maintenu entre les barres entrante et sortante, décalées, du dispositif de barres de Hopkinson

Une géométrie rectangulaire pour les échantillons a été retenue (Fig. 1). Afin de localiser la zone en cisaillement au cœur de l'éprouvette et d'éviter des effets de poinçonnement au contact des barres 2 entailles sont réalisées du bord vers le centre. La longueur du ligament est d'environ la moitié de la longueur totale.

Compte tenu du caractère anisotrope du bois plusieurs orientations de fil ont été testées : fil parallèle aux barres, fil à  $\pm 45^\circ$  par rapport aux barres.

Comme pendant l'impact l'état mécanique dans l'échantillon n'est pas modélisable simplement l'analyse des essais est effectuée à l'aide d'une caméra rapide cadencée à 80 000 i/s qui nous

montre les mouvements de l'éprouvette durant l'essai. Comme sa surface a été mouchetée avec de la peinture noire nous traitons les images obtenues avec des outils de corrélation d'images.

### Premiers résultats

Les premiers essais réalisés nous ont permis de voir (Fig. 2) comment les éprouvettes se déformaient avant une rupture éventuelle et de quantifier le niveau de déformation juste avant cette rupture.

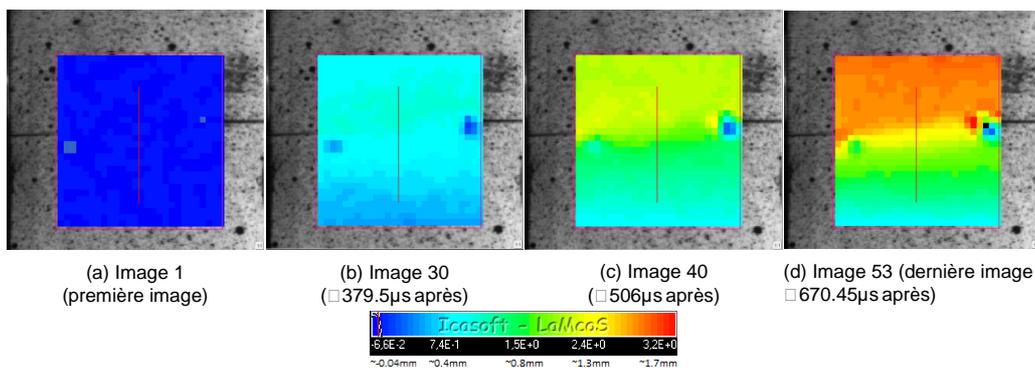


Fig.2 : champ de déplacement horizontal à différents instants obtenu par corrélation d'images. Mis en évidence de la distorsion au centre de l'éprouvette.

Les cas de rupture précoce apparaissent lorsque le fil du bois est parallèle aux barres et sont probablement dus à l'apparition de contraintes de traction transverse bien avant que le cisaillement ne devienne important. Pour limiter ce problème il faudra optimiser la position des entailles avec l'orientation du fil.

### Conclusions

Nous disposons donc d'une procédure pour solliciter en cisaillement sous impact et observer des échantillons de bois. Cette procédure ne donne que la cinématique de déformation en fonction du chargement appliqué. Pour pouvoir estimer l'état de contrainte il faudra postuler le comportement mécanique du bois et l'ajuster pour qu'il soit compatible avec le chargement appliqué.

## Diversité des modalités de redressement des arbres en forêt tropicale

GHISLAIN Barbara<sup>1</sup>, ALMERAS Tancrede<sup>2</sup>, BEAUCHENE Jacques<sup>3</sup>, CLAIR Bruno<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CNRS, UMR Ecologie des Forêts de Guyane (EcoFoG), AgroParisTech, CIRAD, INRA, Université des Antilles, Université de Guyane, Kourou, France

<sup>2</sup> CNRS, Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (LMGC), Université Montpellier, France

<sup>3</sup> CIRAD, UMR Ecologie des Forêts de Guyane (EcoFoG), AgroParisTech, CNRS, INRA, Université des Antilles, Université de Guyane, Kourou, France

[barbara.ghislain@ecofog.gf](mailto:barbara.ghislain@ecofog.gf)

**Mots clés :** bois de tension, couche G, diversité, efficacité, espèces tropicales

Les arbres sont soumis à de nombreuses contraintes (vent, 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 mal connu. 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 (Clair 2011, Chang 2015). Dans les espèces tropicales, le bois de tension ne contient de la couche G que dans un tiers des cas selon la littérature (Onaka 1949, Fisher 1981, Clair 2006).

Plus de 450 arbres répartis en 51 familles et 161 genres ont été échantillonnés en Guyane. Les bois de tension sans couche G ont été décrits et répartis en deux classes : ceux qui ont une couche G caché par une lignification tardive (Roussel 2015) et ceux qui n'en ont pas, et pour lequel on suppose 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 efficace qu'un autre, nous avons planté puis incliné tuteuré 19 espèces en serre, à raison de 10 individus par espèce. L'efficacité 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, des mesures de modules d'élasticité de la tige avec et sans écorce couplées à des mesures de contraintes résiduelles et des mesures descriptives des coupes 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'efficacité du redressement atteint un niveau similaire, malgré des anatomies contrastées.

### References

Chang S-S, Quignard F, Alméras T & Clair B. (2015) Mesoporosity changes from cambium to mature tension wood: a new step toward the understanding of maturation stress generation in trees. *New Phytol.* 205: 1277–1287.

Clair B, Alméras T, Pilate G, Jullien D, Sugiyama J & Riekel C. (2011) Maturation stress generation in poplar tension wood studied by synchrotron radiation microdiffraction. *Plant Physiol.* 155: 562–570.

Clair B, Ruelle J, Beauchêne J, Prévost M-F & Fournier M. (2006) Tension wood and opposite wood in 21 tropical rain forest species. 1. Occurrence and efficiency of G-layer. *IAWA J.* 27: 329–338.

Fisher JB & Stevenson JW. (1981) Occurrence of reaction wood in branches of dicotyledons and its role in tree architecture. *Bot. Gaz.* 142.

Onaka F. (1949). Studies on compression and tension wood. *Wood Res.* 1–88

Roussel J-R & Clair B. (2015) Evidence of the late lignification of the G-layer in Simarouba tension wood, to assist understanding how non-G-layer species produce tensile stress. *Tree Physiol.* 35: 1366–1377.

## Étude Expérimentale du Comportement Mécanique de Poutres Mixtes Bois-Béton avec Connexion par Tige d'Acier HA Filetée

DJOUBISSIE DENOUWE Decroly<sup>1</sup>, MESSAN Adamah<sup>1</sup>, FOURNELY Eric<sup>2,3</sup>,  
BOUCHAÏR Abdelhamid<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Institut International d'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE),  
Laboratoire Eco-Matériaux de Construction, 01 BP 594 Ouagadougou 01, Burkina Faso

<sup>2</sup> Clermont Université, Université Blaise Pascal, Institut Pascal, BP 10448, F-63000  
Clermont-Ferrand, France

<sup>3</sup> CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, F-63171 Aubière, France  
[dd.djoubissie@gmail.com](mailto:dd.djoubissie@gmail.com)

**Mots clés :** Béton, Bois, Connexion, Essais de flexion, Structures mixtes, Tige acier HA

### Introduction

La construction mixte bois-béton est une technique permettant d'optimiser les performances mécaniques de la structure. Le principe de ce système s'appuie sur l'efficacité de la connexion entre la dalle en béton et les poutres en bois. Avec cette connexion, les propriétés mécaniques de chaque matériau sont utilisées efficacement : le béton travaillant en compression, le bois en traction et en flexion (Ceccotti, 1995). Le système de connexion à l'interface du bois et du béton permet principalement la transmission des efforts de cisaillement (Lukaszewska et al., 2008) tout en assurant une fonction anti-décollement. La clef pour le développement de ces systèmes mixtes bois-béton repose sur le développement de connexions fiables et la maîtrise de leurs comportements au niveau mécanique. De plus, il est important de développer des systèmes de connexions permettant des coûts maîtrisés.

Notre étude porte sur l'analyse du comportement mécanique de poutres mixtes bois-béton avec une connexion réalisée par des barres filetées en acier haute adhérence. Nous présentons ici les résultats des essais expérimentaux de flexion 4-points effectués sur des poutres mixtes constituées d'une poutre en bois massif et une dalle en béton. Les essais ont été réalisés avec des matériaux disponibles localement et également testées localement dans le laboratoire de l'institut 2iE de Ouagadougou.

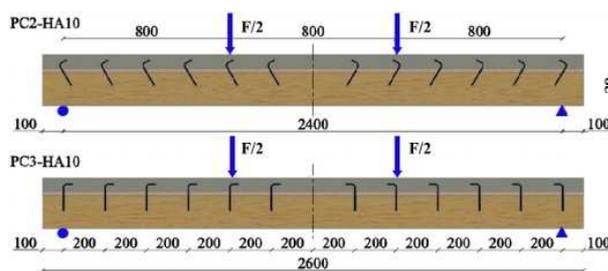


Fig. 1 : Géométrie des poutres testées

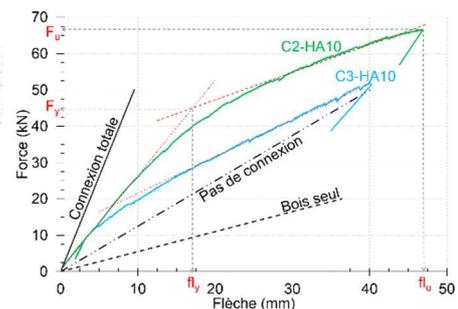


Fig. 2 : Courbes force-flèche

### Matériels et Méthodes

Les poutres testées sont regroupées en deux familles suivant le mode de connexion. Les connecteurs sont des barres d'armatures courantes en HA10 filetées. La famille 1 (PC2-HA10) est réalisée avec des connecteurs vissés à 120° par rapport au fil du bois et la famille 2 (PC3-HA10) utilise des connecteurs vissés à 90° (direction verticale) (Fig. 1). Les tiges sont fixées dans le bois après un pré-perçage. Ils sont espacés de 20 cm uniformément sur toute la portée

de 2,40 m des poutres. La figure 1 présente la géométrie des poutres testées. Les poutres sont testées sept mois après la mise en œuvre de la dalle en béton. La valeur moyenne de la résistance du béton en compression est de 24,7 MPa au jour de la réalisation des essais de flexion. Les éprouvettes en bois, prélevées dans les zones saines des poutres après essai, donnent une masse volumique moyenne de 563,4 kg/m<sup>3</sup> et un module d'élasticité moyen de 12,15 GPa.

Les essais de flexion 4-points sont réalisés en augmentant le chargement avec contrôle manuel à l'aide d'un vérin simple effet. Un capteur de force permet de mesurer la force appliquée à chaque instant de l'essai et les valeurs sont enregistrées en continue. La flèche à mi-portée de la poutre et les glissements à l'interface entre le bois et le béton sont également mesurés au niveau des connecteurs par des capteurs LVDT.

## Résultats et Discussions

La figure 2 présente les courbes force-flèche des familles de poutres testées et les courbes théoriques des poutres similaires en supposant d'une part une connexion parfaite, et d'autre part une connexion nulle ainsi que le cas de la poutre en bois sans la dalle en béton. On observe que les familles de poutres testées ont une même rigidité en service avec un taux de performance de connexion de 68,44% en comparaison avec une poutre similaire à connexion totale (100%) (LeBorgne et Gutkowski, 2010).

Tab. 1 : Résultats des essais de flexion

Poutres	F <sub>p</sub> (kN)	fl <sub>p</sub> (mm)	F <sub>y</sub> (kN)	fl <sub>y</sub> (mm)	F <sub>u</sub> (kN)	fl <sub>u</sub> (mm)
PC2-HA10	25,63	9,82	44,23	17,09	67,26	48,25
PC3-HA10	12,33	4,87	18,37	6,88	52,25	40,75

Le tableau 1 présente les valeurs de charge relative à la limite proportionnelle (F<sub>p</sub>), et des charges plastiques (F<sub>y</sub>) et ultimes (F<sub>u</sub>) des poutres ainsi que les valeurs des flèches correspondantes. La charge relative à la limite proportionnelle correspond à la valeur maximale de la phase linéaire. La charge plastique est définie par l'intersection entre la rigidité initiale (linéaire) et la rigidité tangente à la phase finale de la courbe. On note que La famille des poutres PC2-HA10 comportant des connecteurs inclinés est plus résistante que la famille des poutres PC3-HA10. Par exemple, en phase linéaire, la charge de la famille PC2-HA10 (25,63 kN) est deux fois plus élevée que celle de la famille PC3-HA10 (12,33 kN).

## Conclusion

Des essais de flexion 4-points sont effectués sur des poutres mixtes bois-béton et des connecteurs simples constitués de tiges en acier HA10 filetées et vissées suivant deux angles (90° et 120°) par rapport au fil du bois. Ces essais ont montré un comportement mécanique efficace en service pour les deux orientations des connecteurs avec une résistance plus élevée pour les connecteurs inclinés (120°).

## Références

- Ceccotti, A. (1995) Timber-concrete composite structures, Timber engineering, Step, vol. 2, no. E13, pp. 1–16.
- LeBorgne, M.R., Gutkowski, R.M. (2010) Effects of various admixtures and shear keys in wood–concrete composite beams, Construction & Building Materials, vol. 24, no. 9, pp. 1730–1738.
- Lukaszewska, E., Johnsson, H., Fragiaco, M. (2008) Performance of connections for prefabricated timber–concrete composite floors, Materials & structures, vol. 41, no. 9, pp. 1533–1550.

## Comportement mécanique de l'Okoumé sous sollicitation cyclique en compression: effet de l'humidité

PAMBOU NZIENGUI Claude Feldman<sup>1, 2, 3</sup>, MOUTOU Pitti Rostand<sup>2, 3, 4</sup>, IKOGOU Samuel<sup>1</sup>, EKOMY ANGO Serge<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ecole Nationale des Eaux et Forêts (ENEF), Libreville, Gabon.

<sup>2</sup> Université Clermont Auvergne (UBP-IP), Clermont Ferrand, France.

<sup>3</sup>CNRS, UMR 6602, I, Aubière, France.

<sup>4</sup>CENAREST, IRT, Libreville, Gabon

[claude\\_feldman.pambou\\_nziengui@etudiant.univ-bpclermont.fr](mailto:claude_feldman.pambou_nziengui@etudiant.univ-bpclermont.fr)

**Mots clefs :** Aucoumea Klaineana Pierre, compression cyclique, espèce tropicale, expérimentation

### Résumé

Cette étude présente les principaux résultats expérimentaux obtenus lors des essais en compression cyclique couplés à la variation d'humidité interne de l'Okoumé (*Aucoumea Klaineana Pierre*). Les résultats, mettent en évidence une forte corrélation entre la variation des paramètres mécaniques de l'Okoumé aux variations de l'humidité interne des éprouvettes pour un chargement en compression monotone. Par contre l'impact de la variation de l'humidité interne sur le comportement mécanique du bois est peu perceptible lors d'une compression cyclique. En effet les résultats obtenus montrent une forte corrélation entre le nombre de cycle de charge en compression et la légère augmentation de la rigidité des éprouvettes qui est effective après le 1<sup>er</sup> cycle. Cette augmentation se stabilise au bout de quelques cycles et montre une quasi indépendance à la variation du taux d'humidité interne des éprouvettes.

### Matériel et Méthode

L'espèce utilisée lors de cette étude est l'Aucoumea Klaineana Pierre, qui est une essence, tropicale, endémique de la forêt du bassin du Congo et que l'on retrouve particulièrement au Gabon, au Cameroun et au Congo (Medzegue, 2007). 22 éprouvettes d'Okoumé, ont été dimensionnées selon la norme américaine ASTM-D-143, qui préconise pour des essais de compression des dimensions de 50×50×200 mm<sup>3</sup>. Pour avoir l'effet de l'humidité sur le comportement du bois, les éprouvettes ont été au préalable portées à saturation ensuite par pesée régulière et en appliquant l'équation 1, chaque échantillon est ramené à des paliers de taux d'humidité interne spécifiques avant leur chargement. Les essais sont réalisés sur une presse électromécanique « United Testing Machine », de 100 kN de capacité statique maximale, pourvue d'un centralisateur qui assure l'envoi et la récolte des informations lors des essais. Tous ces essais ont été effectués dans une salle conditionnée à une température de 22°C et un taux d'humidité relatif moyen de 82,6 %.

$$H(\%) = [(M_H - M_0)/M_0] \times 100 \quad (1)$$

### Résultats

La figure 1 présente l'évolution du module d'élasticité (MOE) calculé sur chaque cycle en fonction du nombre de cycle totale. Cette figure montre l'impact du nombre de cycle sur le comportement mécanique des éprouvettes d'Okoumé. On observe une augmentation du module d'élasticité en fonction de l'augmentation des cycles de chargement. La figure 2, présente l'évolution du MOE déterminé sur chaque cycle de chargement en fonction de l'évolution de l'humidité interne de chaque éprouvette testée. Les résultats montrent que, pour le premier

cycle, il y'a un impact considérable de l'augmentation de l'humidité interne sur le comportement mécanique du bois, qui perd en rigidité lorsque le taux d'humidité augmente. Après le premier cycle on constate une légère augmentation puis une stabilisation quasi constante de l'évolution du MOE de chaque cycle.

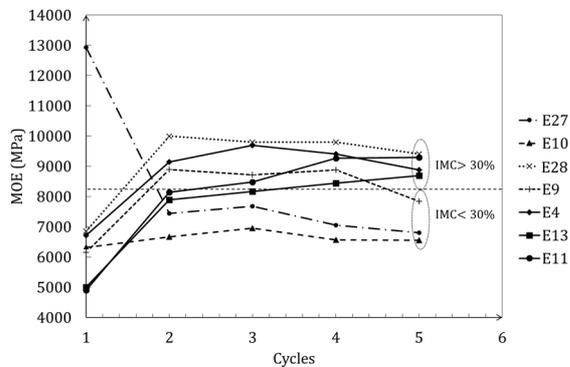


Fig. 1 : Evolution du module d'élasticité (MOE) en fonction du nombre de cycles de charge total

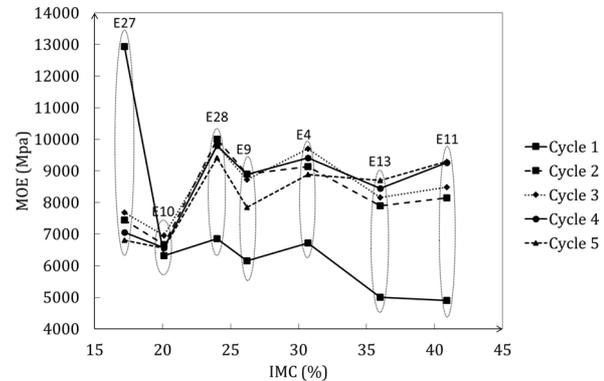


Fig. 2 : Evolution du module d'élasticité (MOE) sur chaque cycle en fonction du taux d'humidité interne (IMC)

### Conclusion et perspectives

L'objectif principal de cette étude était de montrer, l'impact des variations de l'humidité interne couplé à un chargement en compression cyclique d'intensité progressive sur le comportement mécanique du bois d'Okoumé. Les résultats montrent, que pour l'Okoumé, lors d'un chargement cyclique l'effet de l'humidité interne sur son comportement se fait ressentir dès le début du chargement mais à long terme les effets de l'humidité interne sont négligeables comparativement à l'effet de l'augmentation du nombre de cycle de chargement. Lors de cette étude l'intensité du chargement n'a pas été découplé au nombre de cycle. En effet, les essais ont été effectués de telle sorte que l'intensité du chargement augmente avec le nombre de cycle. Il serait judicieux, pour savoir s'il existe un réel impact du nombre de cycle sur le comportement de l'okoumé d'avoir une force maximale constante pour chaque cycle.

### References

- ASTM-D-143. Annual book of American Society for Testing Materials. ASTM-D-143-14, Standard Tests Methods for Smalls Clear Specimens of Timber.
- Ikogou S., Pambou Nziengui C.F., Moutou Pitti R., Ekomy Ango S. (2016). Experimental characterization of Gaboon specie under cyclic compressive loading. World Conference of timber Engineering (WCTE), viena, Austria, August 2016.
- Marcel J.M., et al. (2007). Radial growth and characterization of juvenil and adult wood in plantation grown okoumé (*Aucoumea Klaineana* Pierre) from Gabon, Annual of Forest Sciences, 64(8), pp. 815-824.
- Pambou Nziengui C.F., Ikogou S., Moutou Pitti R., Ekomy Ango S. (2015). Comportement mécanique de l'Okoumé sous sollicitation cyclique en compression. 4<sup>èmes</sup> journées du GDR 3544 « Sciences du bois » - Clermont-Ferrand, 4-6 novembre 2015

## **Etude du gonflement du bois dans les solvants mixtes et influence sur les propriétés mécaniques du matériau. Vers une meilleure compréhension des interactions moléculaires solvant-matière ?**

BOSSU Julie<sup>1</sup>, TRENS Philippe<sup>1</sup>, CORN Stephane<sup>2</sup>, ZEMB Thomas<sup>3</sup>,  
LE MOIGNE Nicolas<sup>2</sup>, DI RENZO Francesco<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ICGM - ENSCM Montpellier

<sup>2</sup> C2MA/EMA - Ecole des Mines d'Alès

<sup>2</sup> ICSM Marcoule

[juliebossu@enscm.fr](mailto:juliebossu@enscm.fr)

**Mots clefs :** peuplier, adsorption, gonflement, solvants mixtes, interactions moléculaires

### **Le gonflement du bois dans les liquides organiques, un phénomène complexe**

Le phénomène de gonflement du bois avec l'eau a été largement étudié et on possède aujourd'hui une connaissance précise de l'influence de l'humidité sur les variations dimensionnelles et propriétés mécaniques du bois. On connaît toutefois peu l'influence des autres solvants organiques sur le gonflement des matériaux lignocellulosiques. Ce phénomène est pourtant impliqué dans de nombreux procédés tels que la production de macromolécules pour l'industrie chimique, le traitement du bois par imprégnation pour améliorer ses propriétés de durabilité ou encore le contrôle du vieillissement des biocomposites. Les interactions solvants-biomasse sont complexes et restent encore aujourd'hui partiellement inexpliquées. Certains travaux ont par exemple mis en évidence l'existence de gonflements anormalement élevés lors d'essais d'adsorption dans des solvants mixtes, identifiant ainsi un phénomène de synergie entre solvants, non expliqué jusqu'à aujourd'hui (Meier, 2005 ; Chang, 2012). Etudier l'effet des solvants mixtes sur les fibres végétales représente donc une approche innovante dont les résultats peuvent permettre de mieux appréhender les interactions moléculaires à l'origine du processus de gonflement, pour mieux le contrôler et, à terme, le transformer en un outil technologique maîtrisé.

### **De la mécanique à la physico-chimie : une étude complète du phénomène de gonflement**

On propose ici d'étudier le gonflement du peuplier dans des solutions aqueuses de concentration variable et son influence sur les propriétés mécaniques du matériau. Ces travaux sont réalisés sur des tranchages de peuplier grisard (*Populus canescens*) non traités et non étuvés de 0.55mm d'épaisseur. Les éprouvettes sont découpées sous presse (L5\*R0.5\*T0.05cm<sup>3</sup>), au sein de la même zone d'aubier sur chaque tranche, permettant ainsi d'obtenir une reproductibilité maximale et des dimensions adaptées pour les essais mécaniques. Elles sont ensuite stabilisées deux mois dans la salle d'essai (T=30° ; RH=50%).

L'influence du gonflement sur les propriétés mécaniques des éprouvettes est analysée en couplant un appareil de DMA (Dynamic Mechanical Analysis) à un bain thermostaté dans lequel les éprouvettes sont plongées (solutions aqueuses de concentration croissante ; 40°C). Les paramètres de sollicitation sont choisis de façon à ne pas endommager le matériau (0.05Hz ; 5 µm) et l'essai se déroule en deux parties : 500 secondes à l'air libre ; puis 1h en immersion dans le solvant. Après chaque essai des coupes anatomiques sont réalisées à partir des éprouvettes pour observer l'effet de l'immersion sur les tissus.

En parallèle, des essais d'adsorption liquide et vapeur sont menés sur des éprouvettes jumelées. Ces mesures permettent de comparer les isothermes d'adsorption du peuplier dans les différents

solvants. Enfin, la composition chimique du mélange non adsorbé est analysée pour tester l'existence d'une sélectivité d'adsorption au cours de l'imbibition du matériau.

### Effet de la synergie des solvants sur le gonflement et les modifications des propriétés mécaniques des échantillons

Les résultats des essais permettent d'observer des comportements contrastés selon la concentration des solvants mixtes employés. L'éthanol par exemple, lorsqu'il est pur, provoque peu de gonflement et modifie légèrement les propriétés mécaniques. A l'inverse, en solution aqueuse, les éprouvettes gonflent jusqu'à 50% plus que dans l'éthanol pur et 40% plus que dans l'eau. En parallèle, on observe une diminution du module dynamique ainsi qu'une augmentation du module d'amortissement maximum pour les dilutions d'éthanol à 50%, (Figure 1). Le comportement de la grande majorité des éprouvettes est aussi caractérisé par un régime transitoire au cours duquel la perte des propriétés mécaniques est maximale puis par une recouvrance jusqu'à stabilisation.

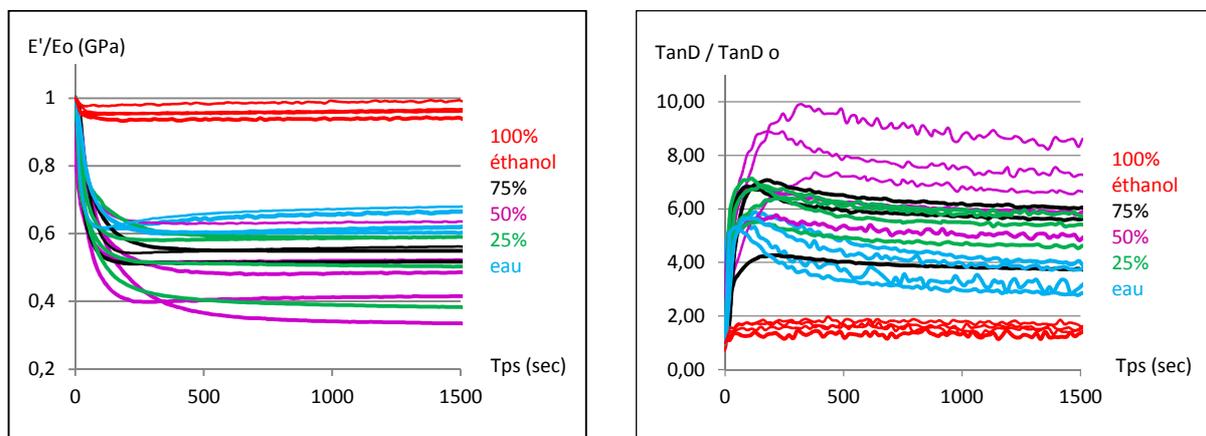


Fig. 1 : Evolution du module et de l'amortissement relatifs (rapportés au module et amortissement initiaux) en fonction du temps pour les différents mélanges.

En l'absence d'eau, l'éthanol semble donc pénétrer difficilement la paroi. A l'inverse, en mélange, le gonflement et la perte des propriétés mécaniques sont maximaux, suggérant ainsi une modification importante des interactions moléculaires au sein de la microstructure de l'échantillon. On peut alors supposer que les sites d'adsorption sur lesquels peuvent se fixer les molécules d'éthanol ne sont disponibles qu'en présence des molécules d'eau, ou alors que l'éthanol modifie les propriétés de la lamelle moyenne, permettant ainsi à l'eau de faire gonfler davantage la S2 sans restriction d'espace (hypothèse appuyée par les résultats de Meier qui mettent en évidence une dégradation de la LM en présence d'éthanol, Meier 2005). L'observation des coupes microscopiques avant et après essai montrent un effet, les essais d'adsorption et l'analyse chimique des mélanges donneront des informations clés pour répondre à ces questions. Ces essais sont actuellement en cours.

### Références

Meier P, Kaps T, Kallavus U (2005) Swelling of Pinewood (*Pinus Sylvestris*) in Binary Aqueous Solutions of Organic Substances, *Materials Science*, 11, 140

Chang S, Quignard F, Di Renzo F, Clair B (2012) Solvent polarity and internal stresses control the swelling behavior of green wood during dehydration in organic solution, *Bioresources*, 7, 418

## Optimisation des performances mécaniques élastiques des panneaux de LVL de peuplier par l'organisation et la géométrie des plis

GIRARDON Stéphane<sup>1</sup>, VIGUIER Joffrey<sup>1</sup>, MARCON Bertrand<sup>1</sup>, POT Guillaume<sup>1</sup>, DENAUD Louis<sup>1</sup>, COTTIN Fabrice<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LaBoMaP, Arts et Métiers ParisTech Cluny  
[Stephane.Girardon@ensam.eu](mailto:Stephane.Girardon@ensam.eu)

**Mots clés :** Peuplier, Bois juvénile, Bois mature, Lamibois, LVL

### Contexte

Le lamibois (LVL) est produit d'ingénierie à base de placages de bois assemblés pli par pli par collage afin de former un panneau. Le placage de bois est principalement obtenu par une dérouleuse qui effectue le déroulage par la mise en rotation à ses deux extrémités d'une bille devant un couteau parallèle à son axe d'où se détache le placage. Les lignes de déroulage sont appareillées pour la mesure de différentes propriétés du placage (Thibaut 2015) comme la nodosité, l'état de surface, l'humidité, etc. La juvénilité est aussi un caractère qui peut être identifié lors du déroulage, car le bois juvénile se trouve au cœur de l'arbre, entourant sa moelle. Le bois juvénile correspond en effet au bois élaboré par un cambium jeune lors de sa croissance secondaire (radiale). Le bois juvénile a généralement des propriétés mécaniques plus faibles que le bois mature, mais son impact dans le LVL est difficile à appréhender expérimentalement (Burdurlu 2007). Un modèle a été développé (Girardon 2016) pour déterminer le comportement du LVL à base de peuplier dans son domaine élastique en prenant en compte l'âge cambial des plis le composant. Le modèle est basé sur de nombreuses propriétés intrinsèques au matériau bois issu de la littérature. Dans la présente étude, le modèle de Girardon (2016) est utilisé afin d'étudier les arrangements des plis de LVL ainsi que leur épaisseur permettant d'intégrer le plus de bois juvénile (peu valorisable) en dégradant peu ou modérément la raideur des panneaux de LVL.

### Principe de l'étude

Le modèle de Girardon (2016) permet d'obtenir le module d'élasticité en continu du déroulé de placage de peuplier (voir figure 1). En utilisant ce modèle, il est possible de suivre différents scénarii de déroulage et obtenir ainsi des déroulés de placages de différentes épaisseurs classés selon leur degré de maturité. Ces placages peuvent être assemblés selon différents arrangement afin d'obtenir des panneaux de LVL.

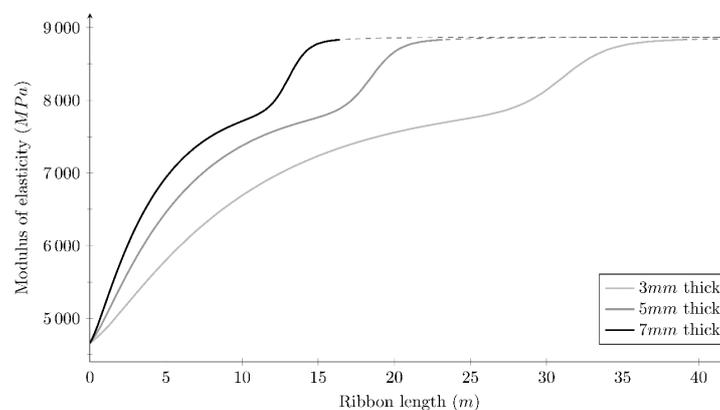


Fig. 1 : Exemple de module d'élasticité longitudinal le long du déroulé de placage pour trois différentes épaisseurs de déroulage (Girardon 2016)

Chaque panneau possède deux modules d'élasticités distincts selon qu'il est testé à plat ou sur chant (voir figure 2). Cette différence est due à une répartition hétérogène des contraintes lors de la flexion à plat, alors que les contraintes sont quasiment homogènes pour la flexion sur chant ce qui justifie l'optimisation des plis de panneau de LVL dans ce cas. En effet, la mesure du module d'élasticité sur chant n'est pas influencée par l'arrangement des plis mais seulement par les propriétés de chaque pli.



Fig. 2 : Schémas d'essais de flexion 4 points sur chant (a) et à plat (b)

L'étude porte donc sur l'optimisation de panneaux de LVL de 7 à 25 plis en faisant varier soit les épaisseurs des plis, soit leur maturité, soit les deux, pour obtenir des panneaux d'épaisseur totale identique. Cette optimisation a pour contrainte d'inclure un maximum de volume de bois juvénile tout en garantissant un niveau de rigidité suffisant. Il est également important de prendre en compte l'augmentation de la variabilité du panneau de LVL lorsque du bois juvénile est inclus. Le grand nombre de combinaisons possibles de plis constitutifs d'un panneau de LVL impose une approche stochastique de la mesure du module d'élasticité pour un arrangement de plis. En effet, un placage catégorisé comme juvénile n'a pas une valeur fixe de module d'élasticité (voir début des courbes de la figure 1), contrairement au bois mature dont la valeur varie peu. Ainsi un même arrangement de plis répartis entre bois juvénile et bois mature donne des valeurs variables de module élastique global. Pour obtenir toutes les valeurs possibles, il semblerait donc être nécessaire de calculer toutes les combinaisons possibles de placages juvéniles. Ce calcul ne peut être réalisé dans des temps raisonnables dû au nombre extrêmement élevé de combinaisons lorsque le nombre de plis augmente. Le LVL étant un produit d'ingénierie, sa fiabilité doit être garantie ce qui ne peut se faire sans un spectre réduit de variabilité produit afin de garantir son dimensionnement au regard de la norme Eurocodes 5 (NF EN 1995).

### Remerciements

Ces travaux ont été menés à bien grâce à la Plateforme Technique Xylomat subventionnée par l'ANR-10-EQPX-16 XYLOFOREST.

### Références

- Burdurlu, E., M. Kilic, A. C. Ilce and O. Uzunkavak (2007). The effects of ply organization and loading direction on bending strength and modulus of elasticity in laminated veneer lumber (LVL) obtained from beech (*Fagus orientalis* L.) and lombardy poplar (*Populus nigra* L.). *Construction and Building Materials*. 21(8): 1720-1725.
- Thibaut, B., L. Denaud, R. Collet, R. Marchal, J. Beauchene, F. Mothe, P.-J. Méausoone, P. Martin, P. Larricq and F. Eyma (2015). Wood machining with a focus on French research in the last 50 years. *Annals of Forest Science*: 1-22.
- Girardon S., Denaud L., Pot G and Rahayu, I. (2016). Modelling the effects of wood cambial age on the effective modulus of elasticity of poplar laminated veneer lumber, *Annals of Forest Science*, 73(3), 615—624

## Mesures de champs de déplacement sous chargements quasi-statiques et dynamiques appliquées au bois sec et vert

MARCON Bertrand<sup>1</sup>, REMI Curti<sup>1</sup>, VIGUIER Joffrey<sup>1</sup>,  
POT Guillaume<sup>1</sup>, COLLET Robert<sup>1</sup>, LORONG Philippe<sup>2</sup>, DENAUD Louis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LaBoMaP, Arts & Métiers ParisTech, F-71250 Cluny

<sup>2</sup>PIMM, Arts & Métiers ParisTech, F-75013 Paris

[bertrand.marcon@ensam.eu](mailto:bertrand.marcon@ensam.eu)

**Mots clés :** Caméra ultra-rapide, Classement mécanique du bois, DIC, Modélisations DEM et FEM, Première transformation, Valorisation

### Introduction

Le présent travail expose les techniques mises en place dans notre laboratoire pour la caractérisation du comportement du bois que ce soit à l'état sec ou vert et ce sous chargements quasi-statiques ou dynamiques. Aussi, deux cas d'étude sont exposés dans la suite : tout d'abord la caractérisation et la modélisation des propriétés mécaniques pour le classement de la résistance des bois d'œuvre, puis l'étude d'une opération de fraisage réalisée en première transformation du bois.

### Classement mécanique des bois de structure

Cette étude propose d'améliorer le classement des bois de structure notamment par la prise en compte de la présence de singularités en comparant des mesures par corrélation d'images numériques (DIC) et les résultats d'un modèle aux éléments finis (EF). Ce modèle, présenté par (Viguié 2016), tient compte de la pente de fil (Viguié 2015), de la densité locale du bois et donc de la présence de nœuds. La corrélation d'images est, quant à elle, menée à l'aide d'une caméra CCD au format 1/2 munie d'un objectif grand angle permettant d'observer une zone entre les points d'applications d'efforts (zone de 500×100 mm<sup>2</sup> environ) lors d'un essai de flexion 4 points. Un mouchetis à la peinture ayant été appliqué sur la surface d'observation.

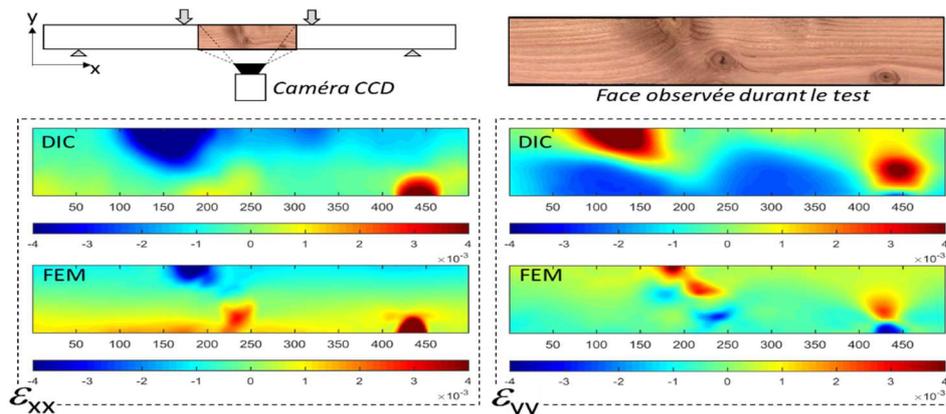


Fig. 1 : Photographie des faces d'une poutre testée en flexion 4 points ; comparaison des champs de déformation obtenus par corrélation d'images (DIC) au cours de l'essai et par le modèle aux éléments finis (FEM) dans les directions longitudinale ( $\epsilon_{xx}$ ) et transversale ( $\epsilon_{yy}$ )

La Fig. 1 montre que les champs de déformation dans les deux directions sont similaires et sont influencés par la présence de nœuds. Le modèle développé et sa validation par les mesures de corrélation devra permettre de mieux comprendre l'influence des nœuds sur le comportement mécanique de sciages à usage structurel. Ces connaissances nouvelles pourraient être

introduites dans des modèles de prédiction utilisables en industrie et ainsi augmenter les rendements de classement des bois de structure.

### Fraisage du bois vert lors d'une opération de première transformation

On s'intéresse ici au fraisage du bois vert à l'aide d'un slabber à de très fortes vitesses de déformation - sollicitations dynamiques - afin de pouvoir calibrer les simulations numériques menées par éléments discrets (DEM) montré en Fig. 4. Ce fraisage crée des copeaux fragmentés, appelés plaquettes, qui sont éventuellement valorisables par l'industrie papetière sous certaines conditions granulométriques pouvant être déterminées à l'aide du modèle en optimisant les paramètres de coupe. Ces travaux initiés par (Pfeiffer 2015) ont montré le fort potentiel de l'observation de la coupe avec une caméra rapide pour l'application de méthode DIC dans la description fine de la coupe, voir Fig. 3. Ils sont aujourd'hui poursuivis avec l'utilisation d'une caméra plus performante (Photron SAZ) et d'un montage dans un centre d'usinage 3 axes comme le montre la Fig. 2.

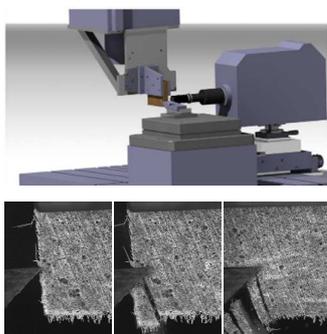


Fig. 2 : Représentation du montage d'observation et instantanés de la coupe

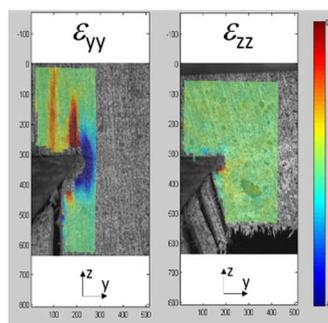


Fig. 3 : Champs de déformations obtenus par corrélation d'images

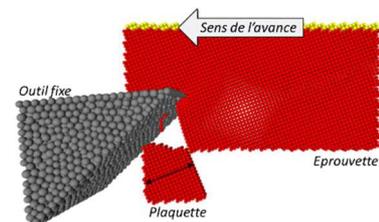


Fig. 4 : Modélisation DEM de la coupe montrant la création d'une plaquette

Ces champs obtenus par DIC et la mesure des efforts de coupe sont des outils essentiels pour la calibration du modèle DEM permettant de simuler différents scénarii de coupe avec des orientations matériels, des paramètres de coupes et éventuellement des géométries d'outils différentes afin d'optimiser cette étape de première transformation du bois.

### Remerciements

Ces travaux ont été menés à bien grâce à la Plateforme Technique Xylomat subventionnée par l'ANR-10-EQPX-16 XYLOFOREST et le projet ANR CLAMEB (ANR-11-RMNP-0015).

### Références

- Pfeiffer R., Collet R., Dénaud L.E., Fromentin G. (2015b) Analysis of chip formation mechanisms and modelling of slabber process, Wood Sci. Technol., vol. 49, pp. 41–58
- Viguié J., Pot G., Bléron L., Collet R. (2016) Comparison between a finite element model based on grain angle detection and full-field measurements of timber in bending, In-proceeding of the Wood Conference on Timber Engineering, Vienne, Austria
- Viguié J., Jehl A., Collet R., Bléron L., Meriaudeau F. (2015) Improving strength grading of timber by grain angle measurement and mechanical modeling, Wood Mater. Sci. Eng., vol. 10(1), pp. 145–156

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

VIGUIER Joffrey<sup>1</sup>, BLERON Laurent<sup>2</sup>, COLLET Robert<sup>1</sup>, POT Guillaume<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LaBoMaP, Groupe Matériaux et Usinage Bois, Arts & Métiers ParisTech, rue Porte de Paris, F-71250 Cluny, France

<sup>2</sup>Université de Lorraine, ENSTIB/LERMAB, 27 rue Philippe SEGUIN, BP1041 F88051 Epinal Cedex 9  
[joffrey.viguier@gmail.com](mailto:joffrey.viguier@gmail.com)

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

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 maîtrisés, 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 (régé 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. Un exemple de cette mesure sur un sciage en douglas est présenté sur la figure 1.

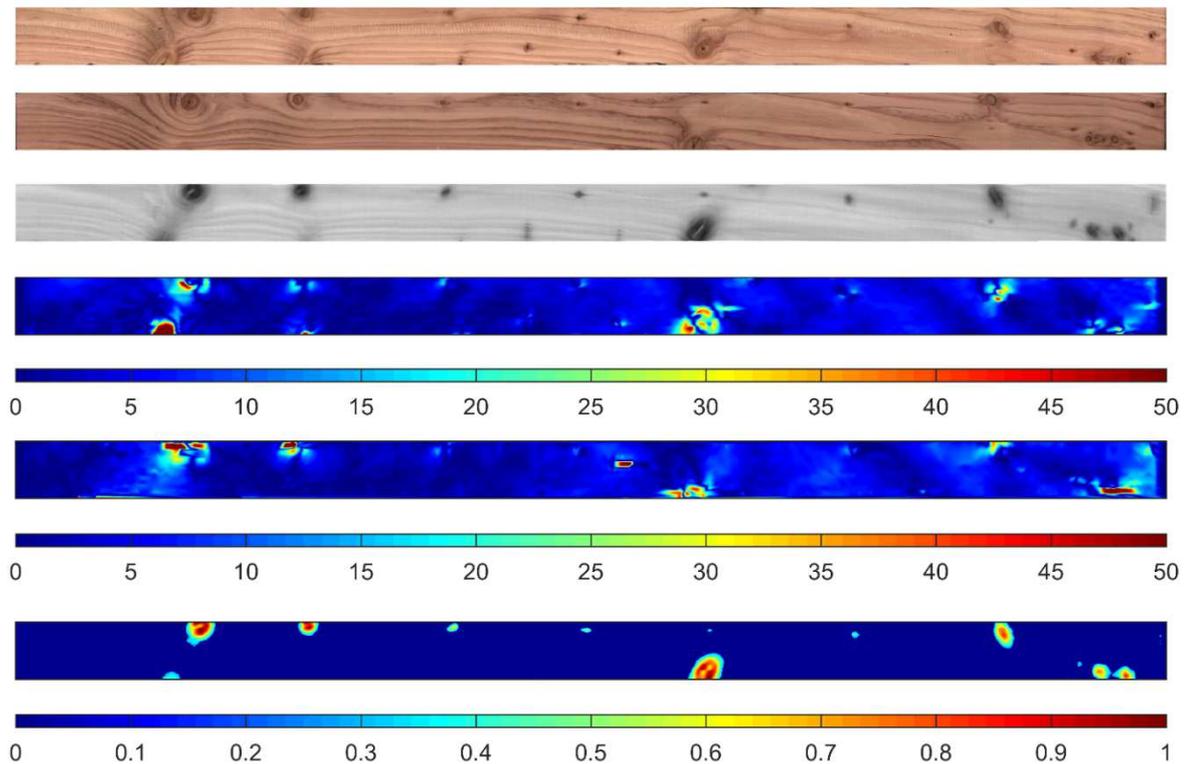


Figure 1 : Exemple de mesure des singularités locales, de haut en bas, photographies couleurs des deux faces du sciage, image rayons X, mesure de l'orientation des fibres sur les deux faces et cartographie de nodosité (Knot Depth Ratio)

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.

### Remerciements

Ces travaux ont été menés dans le cadre du projet ANR CLAMEB (ANR-11-RMNP-0015).

## **Etude des paramètres de déroulage de bois de hêtre destiné à la fabrication de moules de cuisson.**

LAVALETTE Anne<sup>1</sup>, DE BUSSAC Olivier<sup>1</sup>, CANILLAS Sabine<sup>1</sup>,  
DENAUD Louis<sup>2</sup>, BUTAUD Jean-Claude<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Panibois, 3 rue des Vignes, 45240 Marcilly-en-Villette, France

<sup>2</sup> Arts et Métiers ParisTech, LaBoMap, 71250 Cluny, France  
anne.lavalette@panibois.com

**Mots clefs :** déroulage, hêtre, tenue mécanique, moules de cuisson

### **Objectifs de l'étude**

L'entreprise Panibois, est spécialisée dans la fabrication de moules de cuisson à partir de feuilles de bois déroulé mises en forme et collées. Les moules sont ensuite utilisés dans divers corps de l'industrie alimentaire (boulangers, restaurants, charcutiers, traiteurs etc.). Le bois provient aujourd'hui de Russie, où le Tremble (*Populus Tremula*) répond à tous les critères qualité souhaités. Au contraire, aucune essence de bois française n'a permis à ce jour de répondre à ces critères. Une tenue mécanique trop faible lors des cuissons, un aspect du bois non apprécié des clients, ou une rupture des moules lors de leur mise en forme ou du séchage sont les principaux problèmes engendrés lors du process de fabrication, ou lors de l'utilisation des moules (cuisson à 240°C - 45 min).

L'utilisation d'une ressource proche du lieu de fabrication aurait entre autres l'avantage de réduire le taux de moisissures sur les feuilles de bois, défaut qui constitue aujourd'hui des pertes non négligeables de matière première. En effet, pour être mises en forme, les feuilles de bois doivent être utilisées à l'état vert [1]. Importées de Russie, elles sont congelées à l'état vert, puis transportées en France en camion frigorifique pour maintenir une forte teneur en eau tout en évitant les moisissures. La proximité du lieu d'approvisionnement permettrait d'éviter les phases de congélation/décongélation, propices au développement des moisissures. De plus, ces modes de transport et de conservation génèrent des frais et une empreinte écologique significative. L'étude présentée a donc pour objectif d'élargir la recherche à une essence de bois locale, le hêtre. Cette essence présente plusieurs atouts spécifiquement intéressants pour l'application Panibois. Il est mécaniquement plus performant que le Tremble (ce qui devrait permettre de réduire l'épaisseur des moules), moins riche en eau libre et connu pour son utilisation dans les produits moulés (chaises, lattes de sommier,...). Enfin, il existe une filière bien définie et il est possible de s'approvisionner facilement en placages de hêtre frais. Différents paramètres de déroulage seront testés dans le but de minimiser les défauts observés, afin de répondre à l'application développée en région Centre.

### **Paramètres étudiés**

Deux paramètres de déroulage susceptibles d'avoir un effet sur la mise en forme des bois et leur tenue à la cuisson ont été étudiés: l'épaisseur des feuilles (1,2/1/0,8 mm) et la présence (10%) / absence de la barre de pression. En effet, l'épaisseur déroulée et le taux de compression appliqué jouent un rôle essentiel sur la rigidité du pli en modifiant directement son moment d'inertie et en agissant sur la fissuration [2]. La température d'étuvage a été fixée dans un premier temps à 60°C. Plusieurs travaux scientifiques dont [3] ont montré qu'une température proche de 60°C permettait de limiter la fissuration du placage.

Des feuilles de 315 x 216 mm ont été utilisées au cours de cette étude. Pour une épaisseur de 1,2 mm, 67% des produits finis présentent une rupture du bois.



Fig. 1 : Rupture des moules en 1,2 mm lors du séchage

Pour limiter le phénomène de casse observé, les essais suivants ont été réalisés avec des feuilles plus fines (ép. : 0,8 mm et 1 mm), avec et sans barre de pression (10%). Les feuilles déroulées avec barre de pression sont plus planes que celles déroulées sans. Cela représente un avantage dans le procédé de transformation des feuilles en moules de cuisson.

Les moules mis en forme à partir des feuilles de 0,8 ou 1 mm présentent moins de rupture que les moules fabriqués à partir de feuilles plus épaisses, que ce soit en production, au cours du séchage, ou lors des tests de cuisson des moules produits. En effet, un maximum de 10% de moules cassés a été relevé sur les essais réalisés à 0,8 et 1 mm, avant optimisation.



Fig. 2 : Produit fini, après séchage



Fig. 3 : Après cuisson en boulangerie –  
T°C de 240°C pendant 30 min

Nous avons en parallèle observé le développement des moisissures sur ces différents bois. Celles-ci se propagent sur les feuilles déroulées après 3 jours dans les conditions très propices à leur développement (25°C, sous film plastique). Dans un local réfrigéré à 4°C, nous avons pu conserver les bois pendant 15 jours avant d'observer un développement de moisissures.

### **Perspectives d'avenir :**

Les résultats obtenus sont positifs, ce qui permet de continuer l'étude en vue d'un développement industriel. Au préalable, d'autres paramètres de déroulage pourront être affinés en laboratoire. Les conditions de conservation des bois et de séchage des produits finis devront également être approfondies.

### **Remerciements**

Cette étude a été menée dans le cadre d'un partenariat entreprise – laboratoire suite au GDR 2015. Nos remerciements vont aux organisateurs du GDR, à la plateforme de recherche Xyloforest, (ANR-10-EQPX-16), ainsi qu'à la Région Centre.

### **Références**

- [1] Navi P, Heger F. (2005) Comportement thermo-hydromécanique du bois. Application technologiques et dans les structures. Presses Polytechniques et universitaires romandes.
- [2] Thibaut B. (1988) Le processus de coupe du bois par déroulage. Thèse d'état, Montpellier.
- [3] Dupleix, A., Denaud, L.E., Bleron, L., Marchal, R. and Hughes, M. 2013. The effect of log heating temperature on the peeling process and veneer quality: beech, birch, douglas-fir and spruce case studies. *European journal of Wood and Wood Products*. 71, 2 (2013), 163–171.

## Heat Compression of Wood and its influence on the morphology and viscoelastic properties of Wood Polymers

REINIATI Isabela<sup>1,2</sup>, OSMAN Noridah<sup>3,4</sup>, McDONALD Armando<sup>4</sup>  
and LABORIE Marie-Pierre<sup>2,5</sup>

<sup>1</sup> Department of Chemical and Biochemical Engineering, University of Western Ontario, London, Ontario N6A 5B9, Canada.

<sup>2</sup> Composite Materials and Engineering Center, Washington State University, Pullman, WA 99164, USA

<sup>3</sup> Universiti Teknologi Petronas, Tronoh, Malaysia

<sup>4</sup> Department of Forest, Rangeland and Fire Sciences, College of Natural Resources, University of Idaho, Moscow, USA

<sup>5</sup> Chair of Forest Biomaterials and Freiburg Materials Research Center, Albert Ludwig University of Freiburg, 79085 Freiburg im Br., Germany  
[marie-pierre.laborie@biomat.uni-freiburg.de](mailto:marie-pierre.laborie@biomat.uni-freiburg.de)

**Keywords:** cellulose crystallinity, hotpressing, intermolecular cooperativity, lignin glass transition, time-temperature superposition, wood

### Abstract

Due to the relevance of hotpressing for the manufacture of engineered wood products, the influence of heat-compression on wood properties has been extensively studied. It is for example well established that heat treatment induces chemical changes to wood polymers (Tjeerdsma et al. 1998) as well as an alteration in wood viscoelastic response (Navi and Girardet 2000). To date little is known on the impact of heat compression on the morphology and *in situ* relaxations of wood polymers. The *in situ* relaxations of wood polymers are however critical to mat densification and to the final composite properties. A better understanding of the impact of heat compression on the molecular relaxations, thermal transitions and morphology of wood polymers is therefore necessary.

In this work we assess the impact of heat compression on the morphology, relaxations and viscoelastic properties of wood polymers *in situ*. In particular, we evaluate the impact of wood initial moisture content and compression temperature on cellulose microstructure and on the glass transition temperature and intermolecular cooperativity of lignin. Indeed, these polymeric parameters are expected to underlie wood amenability to densification during the manufacture of wood-based composites. These investigations demonstrate that heat compression of wood significantly alters cellulose *in situ* crystallinity, an effect directly related to cellulose hydrolysis (Reiniati et al. 2015). Cellulose morphology further appears to govern the viscoelastic properties of dry wood. Under plasticized conditions, the impact of heat compression is most apparent on lignin  $\alpha$  relaxation. Indeed, the *in situ* glass transition temperature of lignin decreases after thermal compression. Associated with this depression in glass transition temperature is a decrease in intermolecular coupling, as revealed by Ngai coupling model of relaxation (Plazek and Ngai 1991).

In this presentation, the specific effects of wood initial moisture content and compression temperature on the characteristics of wood polymers will be highlighted. Additionally, correlations between wood bulk viscoelastic properties and molecular changes in wood polymers will be presented.

### **Acknowledgments**

The project was supported by the USDA-CSREES National Research Initiative grant number 2005-35103-15277 and USDA-CSREES Wood Utilization Research grant number 2008-34158-19486. The authors are grateful to Dr. Karl Englund from Washington State University for support in statistical analyses.

### **References**

Navi, P. & Girardet, F. (2000), Effects of thermo-hydro-mechanical treatment on the structure and properties of wood. *Holzforschung*, 54, 287-293.

Plazek, D.J. & Ngai, K.L. (1991), Correlation of polymer segmental chain dynamics with temperature-dependent time-scale shifts. *Macromolecules*, 24(5), 1222-1224.

Reiniati I., N. Osman, A. McDonald & Laborie M.-P. (2015), Linear viscoelasticity of hot-pressed hybrid poplar relates to densification and to the in situ molecular parameters of cellulose, *Annals of Forest Sci.*, 72, 6, 693-703.

Tjeerdsma, B.F., Boonstra, M., Pizzi, A., Tekely, P., & Militz, H. (1998). Characterization of thermally modified wood: Molecular reasons for wood performance improvement. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 56, 149-153.

## Session D : Jeudi 10 novembre (9h30-10h30/ pause 10h30-11h30)

Poster	Auteurs	Titres	Laboratoire Ville, pays	Page
<b>D01</b>	<u>ARNOULD Olivier</u> , SINISCALCO David, BOURMAUD Alain, LE DUIGOU Antoine, BALEY Christophe	Evolution des propriétés nano-mécaniques de la paroi cellulaire des fibres de lin	LMGC Montpellier	<b>152</b>
<b>D02</b>	<u>CARLIER Capucine</u> , BREMAUD Iris, GRIL Joseph	La sélection des bois de résonance : Caractérisation et perception des luthiers	LMGC Montpellier	<b>153</b>
<b>D03</b>	<u>JULLIEN Delphine</u>	Instrumentation et suivi des déformations d'un panneau de bois peint du patrimoine	LMGC Montpellier	<b>155</b>
<b>D04</b>	<u>JAMAAOUI Amine</u> , POP Octavian, COSTA Guy, DUBOIS Frédéric, GLOAGEN Vincent	Effet du Patrimoine génétique du Douglas vis-à-vis de son comportement hygroscopique	GEMH Egletons	<b>157</b>
<b>D05</b>	<u>LAMY Frédéric</u> , TAKARLI Mokhfi, ANGELLIER Nicolas, DUBOIS Frédéric	Apports de l'émission acoustique dans l'analyse du processus de fissuration dans le bois sous sollicitations mécanique et climatique	GEMH Egletons	<b>159</b>
<b>D06</b>	<u>GAUVIN Cécilia</u> , JULLIEN Delphine, GRIL Joseph	La mécanique du bois au service de la restauration/conservation du patrimoine	LMGC/Eindhoven Pays-Bas	<b>161</b>
<b>D07</b>	<u>CARRE Benoît</u> , TENGBERG Margareta	La xylotheque du Museum National d'histoire Naturelle : potentiel de recherche, d'expertise et d'enseignement	AASPE Paris	<b>163</b>
<b>D08</b>	<u>GAUTHIER Vincent</u> , LE CONTE Sandie	Evolution des paramètres viscoélastiques de bois de lutherie soumis à des vibrations à long terme	M.Musique Paris	<b>164</b>
<b>D09</b>	<u>BORDESSOULLES Muriel</u> , LAVIER Catherine, VAN ELSLANDE Elsa, DE VIGUERIE Laurence, CLUZEL Jean-Sébastien, MITSUTANI Takumi, MERTZ Mechtild, ASENSI AMOROS Victoria, BRAGEU Rémi	Apports de l'archéométrie à l'étude de l'architecture japonaise : le cas des pavillons des jardins Albert Kahn (Hauts-de-Seine, France)	Equipe conservation et recherche -Cité musique Paris	<b>166</b>
<b>D10</b>	<u>EL KABIR Soliman</u> , MOUTOU PITTI Rostand, DUBOIS Frederic, LAPUSTA Yuri, RECHO Naman	Généralisation 3D des intégrales de contour	GEMH/IP Clermont-Fd	<b>168</b>
<b>D11</b>	<u>MOUTOU PITTI Rostand</u> , HAMDI Seif Eddiine, FOURNELLY Eric	Impact of Thermo-Visco-Hydro-Mechanical load on mixed-mode crack growth process in wooden material using MMCG specimen	IP Clermont-Fd	<b>170</b>
<b>D12</b>	<u>ODOUNGA Bernard</u> , MOUTOU PITTI Rostand, TOUSSAINT Evelyne, GREDIAC Michel	Etude de la fissuration du Milicia Excelsa par la méthode de la grille	IP Clermont-Fd	<b>172</b>
<b>D13</b>	<u>KHALDI Zineb</u> , BESSE Claire, OUK Tan-Sothéa, ZERROUKI Rachida, GLOAGUEN Vincent	Elaboration de nouveaux matériaux bioactifs	LCSN Limoges	<b>174</b>
<b>D14</b>	<u>PAIN-BOUTIN Manon</u> , BROUILLETTE François, ZERROUKI Rachida	Phosphorylation et hydrophobisation simultanée des fibres lignocellulosiques, vers un matériau ignifuge multifonctionnel	LCSN Limoges	<b>175</b>
<b>D15</b>	<u>CURTI Rémi</u> , COLLET Robert, LORONG Philippe, DENAUD Louis, POT Guillaume, MARCON Bertrand, BUTAUD Jean-Claude	Modélisation par la méthode des éléments discrets du matériau bois en vue de simuler son comportement à l'usage	LaBoMaP Cluny	<b>177</b>

<b>D16</b>	VIGUIER Joffrey, <u>DENAUD Louis</u> , MARCON Bertrand, BUTAUD Jean-Claude, COLLET Robert, POT Guillaume	Laboratoire mixte : BOurgogne PLacage Innovation (BOPLI)	LaBoMaP Cluny	<b>179</b>
<b>D17</b>	<u>FAYDI Younes</u> , BRANCHERIAU Loïc, POT Guillaume, COLLET Robert, LETOURNEAU Roger	Prédiction des propriétés mécanique du chêne à partir d'analyses vibratoires	LaBoMaP Cluny	<b>181</b>
<b>D19</b>	<u>SILVEIRA A. Edgar</u> , PÉTRISSANS Anélie, CALDEIRA-PIRES Armando, ROUSSET Patrick, GIRÃO V. Marcus, PÉTRISSANS Mathieu	Torréfaction du Bois: prédictions de la cinétique de dégradation thermo-chimique sous l'influence d'un champ acoustique par un modèle mathématique	Lermab Nancy	<b>183</b>
<b>D20</b>	<u>MORIN François</u> , LEBEL Luc, DE SANTA EULALIA Luis Antonio, DUBEAU Denise	Intermédiation et collaboration au sein des organisations impliquées dans l'approvisionnement des usines de transformation du bois : une perspective socio-structurelle	Université Laval Québec, Canada	<b>185</b>
<b>D21</b>	QUISTIN Paul, <u>FOURNELY Eric</u> , CADOR Luc, ROMANA Laurence	Bois Duramhen - durabilité, aménagement, humidité, environnement	IP Clermont-Ferrand	<b>187</b>

## Evolution des propriétés nano-mécaniques de la paroi cellulaire des fibres de lin

ARNOULD Olivier <sup>1,2</sup>, SINISCALCO David <sup>1</sup>, BOURMAUD Alain <sup>1</sup>,  
LE DUIGOU Antoine <sup>1</sup>, BALEY Christophe <sup>1</sup>

<sup>1</sup>IRDL, Université Européenne Bretagne, CNRS FRE 3744, Lorient, France

<sup>2</sup>LMGC, Université de Montpellier, CNRS UMR 5508, Montpellier, France

[olivier.arnould@umontpellier.fr](mailto:olivier.arnould@umontpellier.fr)

**Mots clefs :** Kevlar, Fibre de lin, Microscope à Force Atomique (AFM), PeakForce-QNM, Nanoindentation

### Résumé

Les propriétés nano-mécaniques de la paroi cellulaire de fibres de lin ont été étudiées, d'une part, en Microscopie à Force Atomique (AFM) à l'aide du mode de caractérisation mécanique « Peak-Force Quantitative Nanomechanics (PF-QNM) » et, d'autre part, par nanoindentation. Une première phase a porté sur la validation du potentiel de la technique PF-QNM pour mettre en évidence des gradients de propriétés mécaniques en étudiant la section droite de fibres d'aramide (Kevlar® 48). Dans ce cas, un effet cœur/peau, bien connu dans la littérature, est mis en évidence avec une peau d'environ 400 nm d'épaisseur et ayant un module d'indentation de  $16 \pm 2,9$  GPa, alors qu'au cœur de la fibre ce dernier est de  $21,2 \pm 2,9$  GPa (valeur confirmée par nanoindentation). Ces valeurs sont en accord avec d'autres données de la littérature (Wollbrett-Blitz et al, 2016) aussi bien pour l'épaisseur de la peau que pour les modules élastiques, en tenant compte de l'effet de l'anisotropie sur le module d'indentation (Delafargue et Ulm, 2004). Des mesures ont ensuite été effectuées sur des fibres du phloème d'une tige de lin en cours de croissance. Ces mesures ont mis en évidence la rigidification progressive de la paroi secondaire au cours de son épaissement. Ces résultats sont cohérents avec les observations faites par d'autres auteurs avec la coexistence de deux sous-couches distinctes, dites Gn et G (Gorshkova et al, 2010), au sein de la paroi secondaire en développement. Les modules d'indentation mesurés ici sont respectivement de  $13 \pm 3,8$  GPa et  $18 \pm 2,9$  GPa pour ces deux sous-couches. Enfin, des mesures ont été effectuées au sein de la section droite de fibres de lin techniques (matures, rouies, teillées et peignées). Dans ce cas, aucun gradient n'a été détecté au sein de la couche S2, que ce soit en PF-QNM ou en nanoindentation, avec un module d'indentation mesuré respectivement de  $21,3 \pm 2,2$  GPa et  $20,4 \pm 1,1$  GPa, en accord avec la littérature (Bourmaud and Baley 2012).

### Références

Bourmaud A., Baley, C., 2012. Nanoindentation contribution to mechanical characterization of vegetal fibers, *Compos. Part B-Eng.*, 43, 2861–2866.

Delafargue, A., Ulm, F.J., 2004. Explicit approximations of the indentation modulus of elastically orthotropic solids for conical indenters. *Int. J. Solids. Struct.*, 41, 7351-7360.

Gorshkova, T.A., Gurjanov, O.P., Mikshina, P.V., Ibragimova, N.N., Mokshina, N.E., Salnikov, V.V., Ageeva, M.V., Amenitskii, S.I., Chernova, T.E., Chemikosova, S.B., 2010. Specific type of secondary cell wall formed by plant fibers. *Russ. J. Plant Physiol.*, 57(3), 328–341.

Wollbrett-Blitz, J., Joannès, S., Bruant, R., Le Clerc, C., De La Osa, M.R., Bunsell, A., Marcellan, A., 2016. Multiaxial Mechanical Behavior of Aramid Fibers and Identification of skin/core structure from single fiber transverse compression testing. *J. Polym. Sci. Pol. Phys.*, 54, 374–384.

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

CARLIER Capucine<sup>1</sup>, BREMAUD Iris<sup>1</sup>, GRIL Joseph<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LMGC, Laboratoire de Mécanique et de Génie Civil  
[capucine.carlier@hotmail.com](mailto:capucine.carlier@hotmail.com)

**Mots clefs :** Bois de résonance - Caractérisation mécanique et acoustique – Evaluation psychosensorielle – Enquête profession

La lutherie du quatuor est un domaine à haute importance culturelle et économique où 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 qualités 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 analysés 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 conçue 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 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 perçus pour définir un bon fond et une bonne table ont été isolés. 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.

## Références

Bucur, V. (1992) Les bois de lutherie. Journal de physique IV 2: 59–65,

Ono, T. ; Norimoto, M. (1983) Study on Young's Modulus and Internal Friction of Wood in Relation to the Evaluation of Wood for Musical Instruments. Japanese Journal of Applied Physics, 22(4) : 611–614

Obataya ,E. ; Ono, T. ; Norimoto, (2000) M. Vibrational properties of wood along the grain. Journal of Materials Science, 35(12): 2993–3001

## **Instrumentation et suivi des déformations d'un panneau de bois peint du patrimoine**

JULLIEN Delphine<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Equipe Bois, LMGC, UMR5508 Université Montpellier-CNRS  
[delphine.jullien-pierre@umontpellier.fr](mailto:delphine.jullien-pierre@umontpellier.fr)

**Mots clés :** corrélation d'images, couche picturale, déformation, environnement hygrothermique, kits déformométriques, panneaux peints, patrimoine

### **Contexte de l'étude**

Une thématique de l'équipe Bois du LMGC concerne la conservation des objets en bois du patrimoine. Elle s'appuie sur de forts liens tissés depuis quelques années avec la communauté de la conservation du patrimoine que sont les conservateurs et les restaurateurs.

Dans ce contexte, nous avons pu mettre en place une expérimentation inédite visant à caractériser le comportement d'un panneau de bois peint du patrimoine soumis à des variations d'environnement hygrothermique contrôlées. Ce projet concerne une œuvre du musée Fabre de Montpellier, intitulée « La Sainte Trinité », une peinture flamande du 16<sup>e</sup> siècle, de type huile sur bois, de dimensions hors cadre : hauteur 137 cm, largeur 98 cm, épaisseur 3 cm.

### **Panneau, instrumentation et mesures**

Ce tableau peint sur bois présente depuis plusieurs années des variations mécaniques qui ont rendu obligatoire la pose de *facings* pour protéger sa couche picturale. Le panneau est constitué de planches de chêne verticales, 3 radiales et 1 sur dosse, assemblées par des traverses horizontales. Des montants verticaux recouvrent ces traverses à mi-bois, et sont cloués sur les traverses par morceaux. Le revers est recouvert d'un enduit qui semble très résistant et peu perméable.

Nous avons choisi ce panneau, qui devrait être restauré en 2017, en accord avec l'équipe du musée Fabre pour notre étude. Une équipe de recherche constituée de représentants du GESAAF, Université de Florence, de l'institut PPRIME, Université de Poitiers, du LMGC, Université de Montpellier, s'est jointe à l'équipe du musée Fabre de Montpellier et aux restaurateurs mobilier et couche picturale sollicités pour mettre en place l'expérimentation au sein même du musée.

3 kits déformométriques permettant de mesurer les déformations et courbures localement ont été installés sur les planches 2 et 3. Des marqueurs ont été positionnés sur les 2 faces du panneau pour permettre le suivi par corrélation d'images des déformations à l'aide des 4 caméras installées sur les 2 murs faisant face au panneau. Le panneau a été installé avec son cadre sur une balance, permettant de mesurer les variations de masse d'eau, dans une chambre climatique vitrée sur 2 faces, au centre de la pièce.



Fig. 1 : Face peinte



Fig. 2 : Revers

La chambre climatique assure des conditions de 52%RH et 25°C, semblables aux conditions hygrothermiques de la réserve dans laquelle était stocké le panneau depuis plusieurs mois. Une fois le panneau stabilisé, une augmentation de 15%RH sera effectuée dans la chambre afin d'observer les mouvements de celui-ci jusqu'à stabilisation. Les restaurateurs procéderont alors à l'enlèvement du cadre. Le panneau sans son cadre sera repositionné dans l'enceinte. Les mesures permettront de quantifier l'effet du cadre sur le panneau. Une baisse de l'humidité de 15%RH dans l'enceinte permettra de caractériser le comportement du panneau seul lors d'une telle variation hygrothermique.

Le dispositif expérimental mis en place permettra de simuler également des incidents de régulation hygrothermique pouvant subvenir dans un contexte muséal, et quantifier les déformations de la couche picturale d'un tel tableau dans cette situation.

Suite à la restauration du panneau, de nouvelles mesures pourront être effectuées afin de caractériser le comportement du « nouveau panneau » soumis à des variations hygrothermiques.

### Acteurs du projet

Equipe du musée Fabre  
Restaurateurs mobilier et couche picturale  
GESAAF, Université de Florence  
Institut PPRIME, Université de Poitiers  
Equipe Bois, LMGC, Université de Montpellier

## Caractérisation des paramètres de fissuration à partir d'un essai de fendage par coin et la corrélation d'images numériques

JAMAAOUI Amine<sup>1</sup>, POP Octavian<sup>1</sup>, COSTA Guy<sup>2</sup>,  
DUBOIS Frédéric<sup>1</sup>, GLOAGEN Vincent<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univ. Limoges, GEMH, EA 3178, F-19300 Egletons, France

<sup>2</sup> Univ. Limoges, LCSN, UPRES EA 1069, F-87000 Limoges, France

[amine.jamaaoui@etu.unilim.fr](mailto:amine.jamaaoui@etu.unilim.fr)

**Mots clefs :** Douglas, comportement hygrosopique, génétique.

### Contexte scientifique

Au regard des ouvrages bois du Génie Civil en extérieur, les problématiques de durabilité sont principalement liées aux risques des attaques biologiques tempérés par les conditions d'humidité de l'environnement. Naturellement durable en classe de risque 3, l'utilisation de Douglas demande des traitements particuliers et complexes sous des expositions plus sévère à l'humidité, et ce, avec des impacts environnementaux plus ou moins marqués.

Dans le cadre de la chaire 'Ressources Forestières & Usages du Bois' mise en place par l'Université de Limoges et en partenariat avec l'INRA d'Orléans, le PIAF et l'Institut Pascal de Clermont Ferrand, nous présentons une approche originale avec comme objectif d'accroître ce degré de durabilité naturelle afin de limiter le recours systématique aux traitements de préservation souvent agressifs vis-à-vis de l'environnement. Cette approche de la durabilité propose une transversalité entre patrimoine génétique de différentes familles de Douglas et la durabilité en structure en employant, comme 'marqueur', le comportement hygrosopique du matériau. L'objet de ce travail consiste à caractériser les propriétés hygrosopiques de 4 génotypes de Douglas, et plus précisément les propriétés de diffusion hydrique et isothermes de sorption. Cette étude statistique alimentera une base de données qui permettra, une fois complète, de mettre en exergue quelques marqueurs en lien avec des caractéristiques d'inertie hydrique limitant, à la fois, les pics hydriques et la pénétration du front hydrique dans les éléments massifs structuraux.

### Protocole expérimental et démarches

4 génotypes de Douglas ont été retenus pour ce travail, ils proviennent d'une parcelle située à Gimel (Corrèze 19) qui a été plantée en 1994 avec des jeunes plants issus de différentes populations clonales sélectionnées sur des caractères d'intérêt pour les sylviculteurs. Afin de vérifier que le patrimoine génétique de ces Douglas était identique entre arbres d'une même population et différent entre arbres de populations distinctes, un génotypage de tous les arbres prélevés a été réalisé. Des aiguilles ont été prélevées sur les arbres, broyées dans l'azote liquide afin d'extraire leur ADN par la suite en utilisant le kit « DNAeasy plant mini kit ». Ce génotypage a été effectué à partir de 11 séquences microsatellites nucléaires qui ont été identifiées chez le douglas et décrites comme étant des outils fiables pour l'identification de génotype. Les résultats obtenus confirment que les 4 populations clonales pouvaient être assimilées à 4 génotypes distincts.

Une campagne expérimentale est menée par la suite dans le but de caractériser le comportement hygrosopique de chacun des 4 génotypes, en termes de diffusion hydrique et isotherme de sorption. Le principe consiste à suivre la teneur en eau d'un échantillon subissant des variations contrôlées de l'humidité relative de l'ambiance dans lequel il se trouve. L'évolution de cette teneur en eau est mesurée par la technique de pesées successives.

Pour minimiser les bruits expérimentaux, et mieux isoler le comportement de chaque génotype, une enceinte climatique a été construite, avec un système de passage aux mains, pour faire en sorte que toutes les mesures puissent se faire à l'intérieur. L'humidité relative dans l'enceinte est contrôlée en utilisant des solutions salines ainsi que la température en maintenant une température constante dans la pièce où se trouve l'enceinte.

L'étude est menée dans les 3 directions d'orthotropie, longitudinale, radiale et tangentielle. Plusieurs simulations numériques avec différentes configurations de dimension ont été lancées. La dimension finalement retenue est de 20x15x10 mm (L R T). Ce choix résulte d'un compromis entre un équilibre hygroscopique obtenu simultanément dans les 3 directions et le temps nécessaire à l'expérimentation.

### Résultats

Après 7 mois d'essais, la phase d'adsorption touche à sa fin. Les résultats obtenus sont assez encourageante dans le sens où on arrive à différencier le comportement hygroscopique de nos 4 génotypes. Dans les figures ci-dessous on retrouve les cinétiques de diffusion (fig.2) ainsi que les isothermes de sorption (fig.2) pour la phase d'adsorption. En utilisant le modèle thermodynamique de Merakeb, on a identifié les constantes de calibration ( $\phi_a$ ,  $a_a$ ) correspondants à la phase d'adsorption ainsi que la teneur en eau d'équilibre en point de saturation des fibres (fig.1). Les paramètres de diffusions massives, seront identifiés par la suite, une fois la phase de désorption terminée en utilisant l'analyse inverse (simplexe).

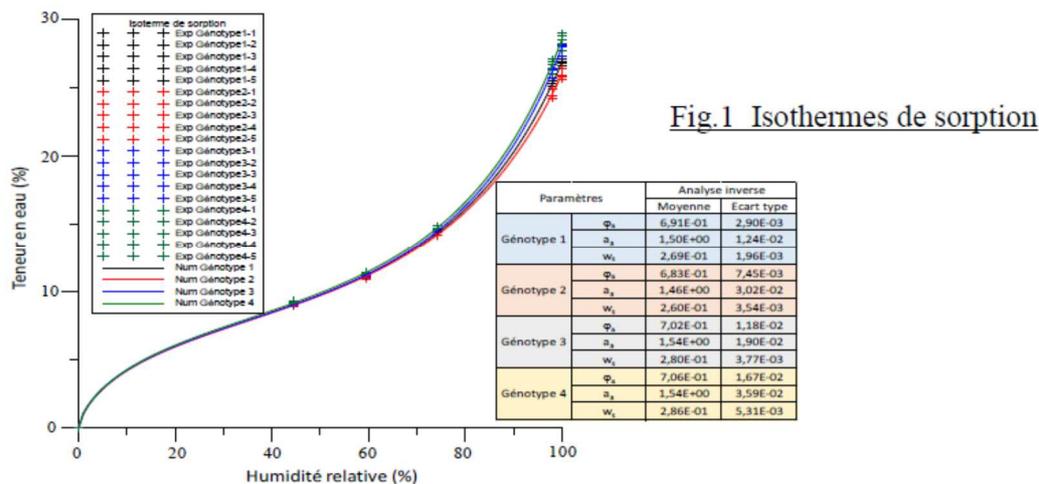


Fig.1 Isothermes de sorption

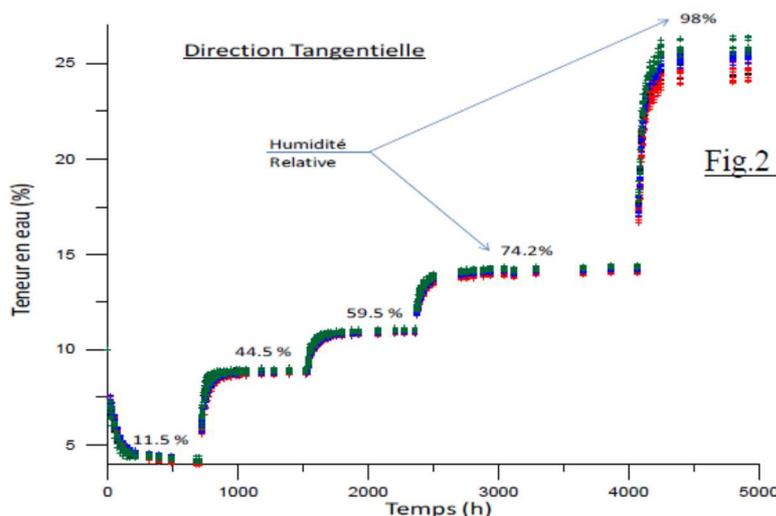


Fig.2 Cinétiques de diffusion

## Apports de l'émission acoustique dans l'analyse du processus de fissuration dans le bois sous sollicitations mécanique et climatique

LAMY Frédéric<sup>1</sup>, TAKARLI Mokhfi<sup>1</sup>, ANGELLIER Nicolas<sup>1</sup>, DUBOIS Frédéric<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Groupe d'Etude des matériaux Hétérogènes, Université de Limoges, 19300 Egletons, France  
[frederic.lamy@unilim.fr](mailto:frederic.lamy@unilim.fr)

**Mots clés :** Analyse par Composantes Principales, Analyse d'Images, Classification, Douglas, Émission Acoustique, Mode I, Suivi de fissuration.

### Contexte et objectifs

L'objectif de ce travail 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. Cet outil a été appliqué et des méthodes de suivi de la fissuration ont été développées. 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.

### Cinétique de fissuration

Nous avons constaté que la cinétique de fissuration était corrélée à l'énergie acoustique des signaux enregistrés (Lamy 2015). 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  $G_c$  (Fig. 1).

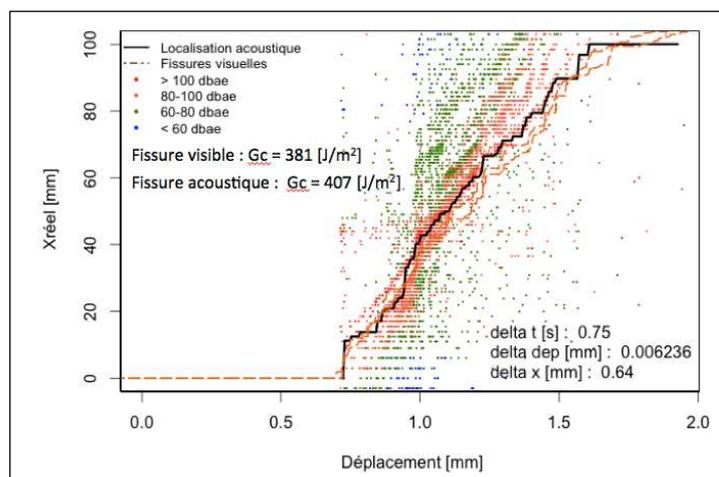


Fig. 1 : Evènements acoustiques, pointes de fissure visuelle et acoustique et taux de restitution d'énergie

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 événements acoustiques de forte amplitude sont localisés de part et d'autre de la pointe de fissure obtenue par imagerie.

### Identification des mécanismes de fissuration

En effectuant un parallèle avec les méthodes développées dans les matériaux composites (Deschanel 2005), le bois pouvant y être assimilé par certains aspects (Bucur 2006), 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 (Fig. 2 et Fig. 3).

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 mises 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.

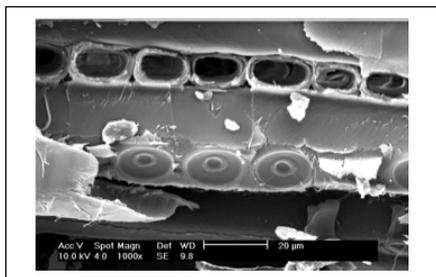


Fig. 2 : Facies de rupture d'une éprouvette

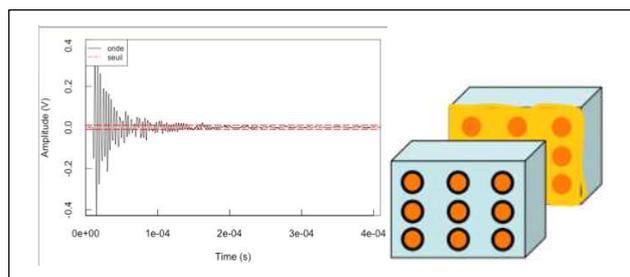


Fig. 3 : Exemple de signal type enregistré et assimilé à de la rupture de fibre

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.

### Conclusion et perspectives

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.

### Références

Bucur, V. (2006) Acoustic of Wood, Springer, ISBN 3540261230, 2006.

Deschanel, S (2005) Dynamique des précurseurs de la rupture des matériaux hétérogènes : application aux mousses polymères vitreuses, 2005, INSA Lyon

Lamy, F, Takarli M., Angellier N., Dubois F., Pop O. (2015) Acoustic Emission Technique for fracture analysis in wood materials International Journal on Fracture, Vol.192, p.57 - 70.

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

GAUVIN Cécilia<sup>1</sup>, JULLIEN Delphine<sup>2</sup>, GRIL Joseph<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherland

<sup>2</sup>Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (LMGC), Université de Montpellier, CNRS, Montpellier, France  
[cecilia.gauvin@gmail.com](mailto:cecilia.gauvin@gmail.com)

**Mots clefs :** bois, conservation, hygromécanique, panneau peint, patrimoine

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 (Marcon 2009), (Colmars 2011). 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 (Mohen 2006).

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 (Gauvin 2014). 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.

## Références

Colmars J. (2011) Hygromécanique du matériau bois appliquée à la conservation du patrimoine culturel : étude sur la courbure des panneaux peints. PhD thesis, Université de Montpellier 2

Gauvin C., Jullien D., Doumalin P., Dupré J.-C. et Gril J. (2014). Image correlation to evaluate the influence of hygrothermal loading on wood. *Strain*, vol. 50, no. 5, pages 428 – 436

Marcon, B. (2009). Hygromécanique des panneaux en bois et conservation du patrimoine culturel. PhD thesis, Université de Montpellier 2, Università degli studi di Firenze

Mohen J.P., Menu M. et Mottin B., éditeurs (2006). *Au cœur de la Joconde*. Gallimard, Paris

## La xylothèque du Muséum National d'histoire Naturelle : potentiel de recherche, d'expertise et d'enseignement

CARRE Benoît<sup>1</sup>, TENGBERG Margareta<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UMR 7209 Archéozoologie, archéobotanique : Sociétés, pratiques et environnements (CNRS, Muséum national d'Histoire naturelle, Sorbonne Universités)  
[carre@mnhn.fr](mailto:carre@mnhn.fr) ; [tengberg@mnhn.fr](mailto:tengberg@mnhn.fr)

**Mots clés :** anatomie, base de données, botanique, collections, herbiers, xylothèque

### Résumé

La complète rénovation de la Galerie de botanique et des collections de l'herbier du Muséum national d'histoire Naturelle à Paris, achevée en 2013, a permis le regroupement de plusieurs collections de bois dans un espace unique et la création d'une véritable « xylothèque » contenant plus de 18 000 spécimens.

La Xylothèque contient des échantillons de bois de différentes tailles et formats : petits blocs en forme de livre, disques, cubes, branches et morceaux de tronc, ainsi que des collections de racine et fibre.

Les spécimens proviennent de partout dans le monde : près de 80 pays sont représentés : Brésil, Madagascar, Australie, Inde, États-Unis et France principalement. D'un point de vue taxonomique, 220 familles botaniques (sur un total de 413 familles ligneuses) sont repérées, la plupart des taxons venant des régions tropicales et subtropicales. Environ 80% de la collection est disponible en ligne via la base de donnée botanique du MNHN, SONNERAT.

Plusieurs échantillons proviennent des expéditions du XIXe et XXe siècle, réalisées parfois par des collecteurs bien connus des botanistes tels que Humboldt et Bonpland, Claussen, Poilane et Chevalier. Les spécimens de bois étaient souvent recueillis en même temps que des échantillons d'herbier, permettant ainsi une actualisation taxonomique fiable. La collection contient ainsi un grand nombre de types nomenclaturaux.

D'autres échantillons ont été acquis grâce à des échanges avec des services forestiers et des instituts de recherche.

En plus d'être de grande valeur historique et patrimoniale, la xylothèque de Paris possède un grand potentiel de recherche, d'expertise et d'enseignement. Les spécimens peuvent par exemple faire l'objet d'études en systématique et écologie mais aussi servir de référentiel pour l'identification et la recherche dans des domaines comme la paléoécologie, la paléobotanique, l'archéobotanique et l'ethnobotanique.

La Xylothèque est associé à un laboratoire d'étude du bois, équipé de microscopes et d'une caméra numérique permettant l'analyse et la numérisation des échantillons de bois. Une collection de lames anatomiques conservées dans l'histothèque végétale du laboratoire de Botanique et associée à l'herbier complète le tableau. Cette dernière abrite par exemple la collection de Raymond Benoist, très bien documentée, de près de 500 lames des bois de Guyane Français.

## Evolution des paramètres viscoélastiques de bois de lutherie soumis à des vibrations à long terme

GAUTHIER Vincent<sup>1</sup>, LE CONTE Sandie<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Stagiaire ingénieur – Ecole Nationale d'Ingénieurs du Mans (ENSIM)

<sup>2</sup> Ingénieur de recherche – Equipe Recherche et Conservation, Cité de la Musique  
[vincent\\_gauthier@outlook.fr](mailto:vincent_gauthier@outlook.fr), [vincent.gauthier.etu@univ-lemans.fr](mailto:vincent.gauthier.etu@univ-lemans.fr)

**Mots clés :** Viscoélasticité, AMD, conservation, patrimoine.

### Contexte

Les praticiens de la musique occidentale s'accordent à dire que les instruments à table d'harmonie s'améliorent lorsqu'ils sont joués. En gardant à l'esprit la subjectivité de cette affirmation, il est possible de se questionner quant à l'impact du jeu d'un musicien sur l'évolution des instruments. Parmi les raisons possibles se trouve le vieillissement des matériaux. En particulier, le bois se retrouve dans bon nombre d'instruments, et il est légitime de penser qu'il a un rôle à jouer dans le fondement de ces dires.

En effet, ce matériau est connu pour être susceptible aux variations de son environnement. Est-ce que l'application de vibrations de longues durées, semblables à celles que le musicien impose à son instrument a une influence sur les propriétés physico-chimiques de ce matériau ?

Il est intéressant de se pencher du côté de la viscoélasticité et d'étudier le module d'élasticité en flexion et le facteur de pertes. Ce sont les paramètres qui pilotent en partie le rayonnement acoustique d'une plaque. Or, qu'est-ce qu'une table d'harmonie si ce n'est une plaque mince ? Cette étude est inspirée de celle réalisée par N. Sobue <sup>[1]</sup> en 1995.

### Théorie

Les paramètres viscoélastiques étudiés sont le module d'Young en flexion, noté  $E$ , et le facteur de pertes, noté  $\tan \delta$ . En toute rigueur c'est le facteur d'amortissement qui se retrouve dans le rayonnement acoustique, celui-ci pouvant être dû aux frottements visqueux avec l'air, au rayonnement acoustique, à la thermoélasticité et la viscoélasticité. Dans le cas d'une poutre élancée en bois il a été montré <sup>[2]</sup> que ce sont les pertes viscoélastiques qui prédominent.

Le travail s'appuie sur la théorie d'Euler-Bernoulli. Les poutres sont considérées en conditions libres aux limites et excitées en vibrations forcées. Finalement, le module d'Young s'obtient par la relation (1) et le facteur de pertes par la relation (2), avec  $f_1$  la fréquence de résonance du premier mode de flexion,  $\rho$  la masse volumique,  $A$  la section droite de la poutre,  $l$  la longueur de la poutre,  $I$  le moment quadratique de la section droite,  $\beta_1 l$  un coefficient issu des tables des solutions de poutres en flexion.  $Q$  est le facteur de qualité du pic de résonance.

$$E = \frac{4\pi^2 f_1^2 \rho A l^4}{I(\beta_1 l)^2} \quad (1) \quad \tan \delta = Q^{-1} \quad (2)$$

### Mise en œuvre de la mesure

Le système de mesure mis en place est inspiré de celui utilisé par N. Sobue. L'excitation est appliquée à distance sur la poutre à l'aide d'un électroaimant et d'une lamelle de clinquant. La mesure se fait à l'aide d'un capteur laser de déplacement. La poutre est suspendue en conditions aux limites libres sur ses lignes nodales à l'aide de fils de couture assimilables à des cordes infiniment souples. Ainsi la mesure n'induit pas d'amortissement supplémentaire dans le système étudié, ce qui assure une mesure des pertes intrinsèques au matériau.

Afin de différencier l'évolution « naturelle » des paramètres mécaniques de celle due à l'application de vibrations, une éprouvette témoin et une éprouvette test ont été utilisées pour chaque expérience. De plus l'expérience se fait en atmosphère stabilisée en température et humidité.

Les poutres de bois ont été conditionnées selon le protocole éprouvé par le LMGC<sup>[3]</sup>, c'est-à-dire un séchage « doux » à 65°C et 20% d'humidité. Les mesures ont été réalisées sur deux semaines en général, avec une mesure des paramètres mécaniques toutes les heures pour l'éprouvette test et tous les jours pour celle témoin. Des mesures de masse ont aussi eu lieu à intervalles réguliers.

## Résultats

Les poutres, élancées, sont soumises à deux expériences en conditions opposées et extrêmes : les unes sont stabilisées à 85% d'humidité, les autres sont séchées dans un état quasi-anhydre.

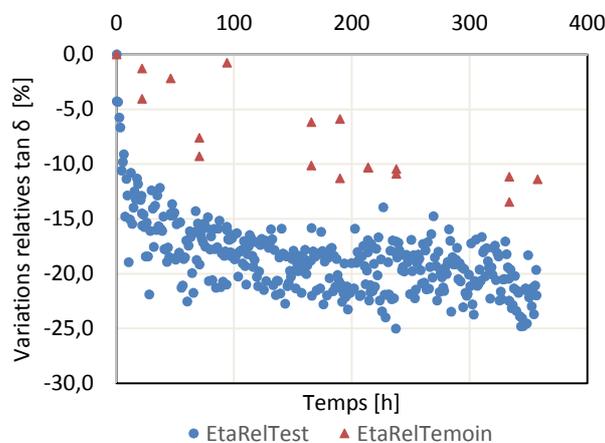


Fig. 1

Seuls des résultats en conditions saturées sont présentés ici. Les variations relatives des facteurs de pertes des deux éprouvettes sont données en Fig. 1.

Il est clairement visible que deux tendances se dégagent : l'éprouvette mise en vibration (bleu) voit son  $\tan \delta$  diminuer bien plus que celui de l'éprouvette témoin (rouge). Un phénomène supplémentaire au séchage naturel du bois a donc lieu, ce qui confirme les hypothèses de N. Sobue. Les résultats seront développés lors de la présentation du poster.

## Références

- [1] Sobue N. (1995) Effect of Continuous Vibration on Dynamic Viscoelasticity of Wood, Symp. on Musical Acoustics, p 326-334
- [2] David B. (1999) Caractérisations acoustiques de structures vibrantes par mise en atmosphère raréfiée. Thèse Université Paris VI - Sciences et Techniques du Languedoc, Département de mécanique. p169-174.
- [3] Bremaud I. (2006) Diversité des bois utilisés ou utilisables en facture d'instruments de musique [...]. Thèse Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc, Département de mécanique. p50.

## Apports de l'archéométrie à l'étude de l'architecture japonaise : le cas des pavillons des jardins Albert Kahn (Hauts-de-Seine, France)

BORDESSOULLES Muriel<sup>1</sup> avec la collaboration de LAVIER Catherine<sup>2</sup>, VAN ELSLANDE Elsa<sup>2</sup>, DE VIGUERIE Laurence<sup>2</sup>, CLUZEL Jean-Sébastien<sup>1</sup>, MITSUTANI Takumi<sup>3</sup>, MERTZ Mechtild<sup>4</sup>, ASENSI AMOROS Victoria<sup>5</sup> et BRAGEU Rémi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université Paris Sorbonne

<sup>2</sup> UMR8220 : CNRS-UPMC Sorbonne universités

<sup>3</sup> Nara National Research Institute for Cultural Properties

<sup>4</sup> Kyoto University

<sup>5</sup> Xylodata

[bordessoulles.muriel@gmail.com](mailto:bordessoulles.muriel@gmail.com)

**Mots clés :** Archéométrie, Architecture japonaise, Bois, France, Japon, Polychromie.

### Résumé

Cette étude se déroule dans le cadre d'un ambitieux projet de restauration de deux pavillons japonais situés à Boulogne-Billancourt, en France. Le banquier philanthrope Albert Kahn a fait construire un ensemble de jardins au XIX<sup>e</sup> siècle avec un « village » japonais. Malmenés par le temps, des restaurations ont été décidées avec, en parallèle, une enquête archéologique complète de ces bâtiments. Le projet AKAHN : « Albert Kahn : Archéologie d'un Héritage Nippon » a débuté en 2015. Des analyses ont été effectuées afin d'orienter une partie des travaux et notamment retrouver les couleurs originelles employées. L'étude s'est déroulée en deux parties : la première *in situ* et selon des méthodes et des techniques non destructives avant la restauration puis la seconde combinant les techniques précédentes et des analyses en laboratoire sur prélèvements au cours de la restauration. Les résultats ne sont actuellement pas exhaustifs, notamment pour le bois.

### Présentation de l'étude

Les jardins Albert Kahn sont situés dans les Hauts-de-Seine, près de Paris. Nous y trouvons plusieurs bâtiments japonais dont deux pavillons rapportés du Japon par Albert Kahn vers 1900 et étudiés ici (Fig. 1 et 2). Cluzel *et al.* (2007) et Bordessoulles (2015 et 2016)



Fig. 1 : Pavillon Est



Fig. 2 : Pavillon Ouest

Dans le cadre du projet AKAHN, ces derniers ont été restaurés en 2015 et 2016 selon une méthode traditionnelle japonaise : démontage et remontage complets. Ce projet a pour but de mieux connaître ce patrimoine (provenance, construction au Japon puis en France, etc.) par le biais d'une approche pluridisciplinaire mêlant l'archéologie, l'archéométrie, l'architecture, l'histoire, les représentations 3D, etc. Cluzel (2014), Lavier (2014) et Lavier *et al.* (2015).

L'étude présentée ici a été réalisée dans le cadre du volet scientifique du projet. Nous avons décidé d'étudier les bois (Fig. 3), composants principaux des bâtiments, mais aussi les plâtres peints (Fig. 4), mal connus.

Les objectifs sont les suivants :

- Obtenir les informations nécessaires à la restauration.
- Etat des lieux le plus complet possible avant restauration.
- Faire avancer la recherche sur ces pavillons.
- Améliorer nos connaissances concernant l'architecture japonaise et le japonisme architectural en France et en Europe.
- Echanger les données obtenues avec des chercheurs japonais afin d'alimenter les bases de données dendrométriques.



Fig. 3 : Détail de la planche 2, porte 1, pavillon Est : prise de mesure in situ et mesure en laboratoire.



Fig. 4 : Vue de dessous de différentes couches de peinture. La peinture bleue, très visible, permet de cibler les analyses.

## Références

- Bordessoulles M. (2015) Etude exploratoire des pavillons japonais du jardin Albert Kahn : apports préliminaires de la caractérisation des bois et des polychromies. Université Bordeaux Montaigne, Master Histoire de l'art et patrimoine, spécialité recherche matériaux du patrimoine culturel et archéométrie, 78 p.
- Bordessoulles M. (2016) Apports de l'archéométrie à l'étude de l'architecture japonaise : le cas des pavillons des jardins Albert Kahn (Hauts-de-Seine, France). Université Paris Sorbonne, UFR Histoire de l'art et Archéologie, Master 2 Archéologie : textes, terrain, vestiges, 166 p.
- Cluzel J.-S., Hyuga S., Nishida M., Yagasaki Z. (2007) Expertise des pavillons japonais du musée Albert Kahn. Musée départemental des Hauts-de-Seine. Rapport.
- Cluzel J.-S. (2014) AKAHN : Albert Kahn : Archéologie d'un Héritage Nippon. Programme Convergence - Projets « Sciences et Patrimoine culturel », Sorbonne Universités, Paris. Rapport.
- Lavier C. (2013) Archéodendrométrie sur objets et œuvres d'art à support-bois : savoir-faire technique, capacités, obstacles et alternatives, Spectra ANALYSE, 292 : 67-73.
- Lavier C., Cluzel J.-S. (2014) Albert Kahn, Archéologie d'un Héritage Nippon. In International Symposium WoodSciCraft 2014. Montpellier, Septembre 2014.
- Lavier C., Bordessoulles M., Brageu R., De Viguierie L. (2015) AKAHN: Albert Kahn, Archaeology of a Japanese Heritage. In International Conferences Daylight simulation in historical buildings and urban environments, Université de Technologie de Compiègne - Sorbonne Universités, 6-17 juillet 2015.

## Généralisation 3D des intégrales de contour

EL KABIR Soliman<sup>1,2</sup>, MOUTOU PITTI Rostand<sup>2,3</sup>, DUBOIS Frederic<sup>1</sup>, LAPUSTA Yuri<sup>4</sup>,  
RECHO Naman<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Université de Limoges, Centre du génie Civil, GEMH, 19300 Egletons, France

<sup>2</sup>Université Clermont Auvergne, Université Blaise Pascal, Institut Pascal, BP 10448, 63000  
Clermont-Ferrand, France

<sup>3</sup>CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, 63171 Aubière, France

<sup>4</sup>Institut Français de Mécanique Avancée (IFMA), Institut Pascal, 63171 Aubière, France  
[soliman.el-kabir@etu.unilim.fr](mailto:soliman.el-kabir@etu.unilim.fr)

**Mots clés :** Eprouvette DCB, Eléments finis, Intégrale invariante, Modélisation numérique, Fissurations 3D, Bois.

### Formulations analytiques et résultats

Les structures en bois sont souvent soumises à des chargements mécaniques sous des environnements variables. Le bois est un matériau hygroscopique, dont le taux d'humidité est lié à la température dont le gradient de température est défini en 3D. Lors du séchage de forts retraits sont observés sur le bois ce qui influence sur la durabilité des structures. Ceci implique la nécessité de prendre en compte le cas 3D dans l'approche énergétique. L'objectif principal de ce travail est de présenter une nouvelle intégrale invariante adaptée aux problèmes de fissuration dans le cas 3D. Ce travail est basé sur le développement numérique de l'intégrale J pour des problèmes 3D. Pour cela l'éprouvette appelée DCB (Compact Tension Shear) est utilisée. Cette éprouvette permet d'observer une plage importante de stabilité le long de la fissure en mode d'ouverture (mode I). Le travail réalisé est une étude numérique appliquée à l'éprouvette DCB pour s'assurer de la nouvelle forme de l'intégrale invariante.

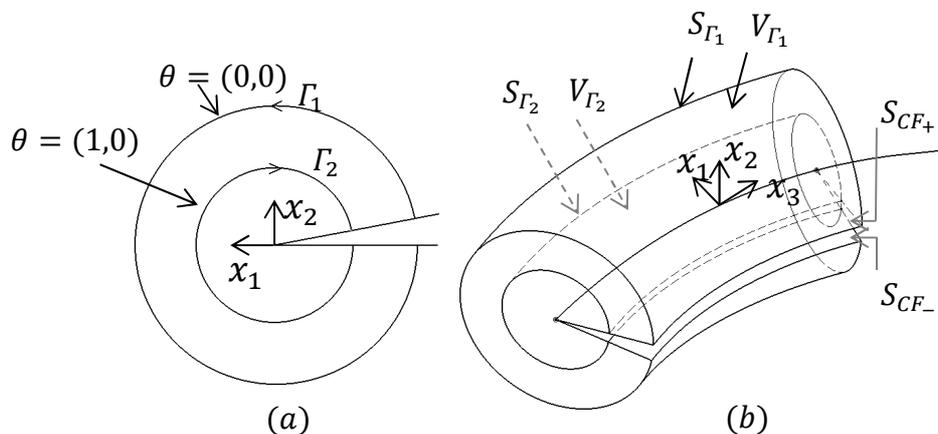


Fig. 1 : representation du domaine d'intégration pour le cas 2D (a) et 3D (b) de l'intégrale J

Grace à l'utilisation du théorème de Noether généralisée et après un ensemble de développements mathématiques, on obtient :

$$J^{3D} = \int_{S_{\Gamma_{out}}} (W \cdot n_1 - (\sigma_{ij} \cdot n_j \cdot u_{i,1})) \cdot dS - \int_{S_{cr}} \sigma_{ij} \cdot u_{i,1} \cdot n_j \cdot dS - \int_{V_{\Gamma_{out}}} (W_{,1} - \sigma_{ij} \cdot (\epsilon_{ij})_{,1}) \cdot dV \quad (1)$$

$J^{3D}$  représente l'expression généralisée de l'intégrale J dans le cas d'un problème 3D. Grace à la méthode du champ  $\theta$  l'intégrale  $G_{\theta}^{3D}$  est développée dans le cas d'un front de fissure arbitraire.

$$G_{\theta}^{3D} = \int_V \left( (\sigma_{ij} \cdot u_{i,k}) \cdot \theta_{k,j} - W \cdot \theta_{k,k} \right) \cdot dS - \int_{S_{cr}} \sigma_{ij} \cdot u_{i,k} \cdot n_j \cdot \theta_k \cdot dS + \int_{V_{\Gamma_{out}}} \left( \sigma_{ij} \cdot (\varepsilon_{ij})_{,k} - W_{,k} \right) \cdot \theta_k \cdot dV \quad (2)$$

Un calcul élément finis est réalisé via le logiciel Castem. L'éprouvette DCB est sollicitée en mode I. Les résultats obtenus représentent l'évolution du taux de restitution d'énergie  $G$  en fonction du rayon du maillage rayonnant  $R_c$  autour du front de la fissure (Fig. 2), et le taux de restitution d'énergie ponctuel en fonction de l'épaisseur de l'éprouvette (Fig. 3).

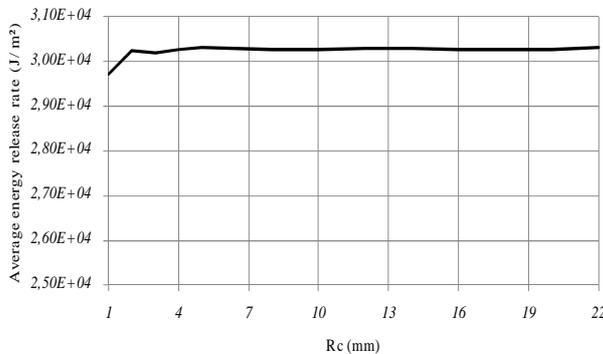


Fig. 2 : Indépendance du domaine d'intégration introduit par le champ  $\theta$

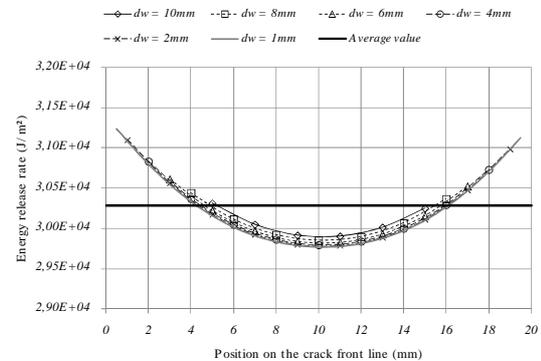


Fig. 3 : Taux de restitution d'énergie ponctuel le long du front de la fissure

Ces résultats montrent d'une part l'indépendance du chemin d'intégration de la nouvelle intégrale développée, et d'autre part que l'épaisseur influe sur l'évolution du taux de restitution d'énergie lors de la propagation de la fissure.

En perspective une étude comparative à la fois avec les études 2D réalisées El kabir et al. (2016), et aussi avec l'étude des problèmes 3D de Sih (1971) sont nécessaires. L'extension de l'intégrale actuelle vers une nouvelle intégrale invariante qui prend en compte la mixité des modes de rupture et l'effet des variations climatiques est prévu.

## Remerciements

Les auteurs remercient l'ANR pour le financement du projet ANR JCJC CLIMBOIS N° 13-JS09-0003-01 ainsi que le pôle de compétitivité ViaMéca pour sa labélisation.

## Références

El kabir S., Moutou Pitti R., Recho N., Lapusta Y., Dubois F. (2016) Numerical study of crack path by MMCG specimen using M integral, Journal of Fracture and Structural Integrity, 35 64-73.

Sih G.C. (1971) A review of the three-dimensional stress problem for a cracked plate, International Journal of Fracture Mechanics, 7(1) 39-61.

## Impact of Thermo-Visco-Hydro-Mechanical load on mixed-mode crack growth process in wooden material using MMCG specimen

MOUTOU PITTI Rostand<sup>1, 2, 3</sup>, HAMDI Seif Eddiine<sup>1, 2</sup>, FOURNELY Eric<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Université Clermont Auvergne, Université Blaise Pascal, Institut Pascal, BP 10448, F-63000 Clermont Ferrand, France

<sup>2</sup> CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, F-63171, Aubière, France

<sup>3</sup> CENAREST, IRT, BP 14070, Libreville, Gabon

[Rostand.moutou\\_pitti@univ-bpclermont.fr](mailto:Rostand.moutou_pitti@univ-bpclermont.fr)

**Keywords:** Mixed modes fractures; Thermo-Visco-Hydro-Mechanical; Wood; Finite element.

### Abstract

The Massif Central's Picea-Alba mill covers 40% of the Auvergne forest and is a strategic resource for the wood's industry. Moreover, Douglas Fir is one of the most used species in France and especially in Macif Central Region (Pambou Nziengui et al, 2016). Utilization of these species in external conditions more or less protected constitute an important outlet. However, in presence of climatic variations, the long terms loads and especially the crack initiations, the mechanical behavior of these structures is found highly modified disturbing their implementation and shortening their life in service. In this specific case, it appears necessary to study these species submitted to extreme loadings conditions and crack growth process.

However, the crack growth rate in wood-based structures is commonly expressed as a function of stress intensity factor  $K$  or energy release rate  $G$ . It is shown that for a stable crack propagation ( $G$  is a decreasing function of crack length), crack growth resistance is not constant, but changes with crack propagation. Temperature ( $T$ ) and moisture content ( $MC$ ) appears to be responsible for the changes, and leads to the formation of the so-called process zone (Riahi et al, 2016). For an unstable crack growth, the effect of the process zone even more dramatic (Hamdi et al, 2016). The aim of this paper is to investigate the effect of  $T$  and  $MC$  changes on wood fracture properties, focusing on crack driving forces, such as viscoelastic energy rate.

### Results and analysis

Mixed-mode crack growth analysis coupling mechanical and thermal loads in orthotropic MMCG wood-based specimen is conducted through an incremental finite element approach (Moutou Pitti et al. 2010). The effect of Thermo-Visco-Hydro-Mechanical (TVHM) loading coupling with viscoelastic effect is shown in wood material for all mixed mode configurations. In this case, Fig. 1 illustrates the impact of  $T$  effects on the viscoelastic  $Gv$  in opening (a) and shear (b) modes for different  $MC$  rate under the fiber point saturation. This result confirms also the efficiency of the model to show the sensitivity of  $MC$  when the  $T$  increases significantly. The evolutions of  $Gv$  vs. crack length for various  $MC$  rates are presented in Fig. 2. We note that the sensitivity of  $Gv$  is more important in the case of mode II; also,  $Gv$  increases when  $MC$  increases as confirmed by some experimental results posted in the literature.

In the coming works, the Griffith criteria will be introduced in order to perform automatic crack growth process by using critical time and dichotomy method. At the end, the numerical results will be compared to experimental data in order to validate the THVM routine.

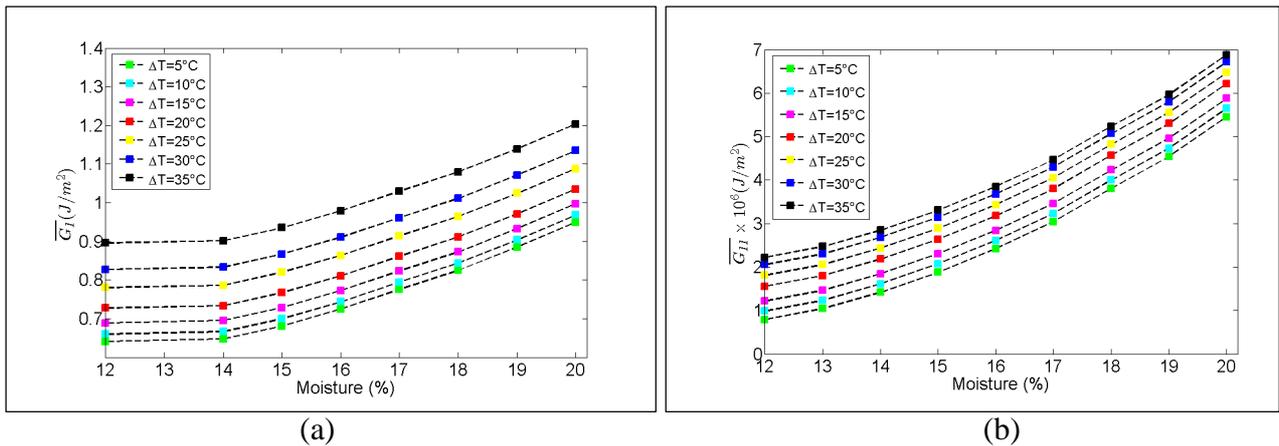


Fig. 1 : Effect of temperature (T) variation on energy release rate (Gv) in mixed mode configuration for various moisture content : Opening mode part (a), Shear mode part (b).

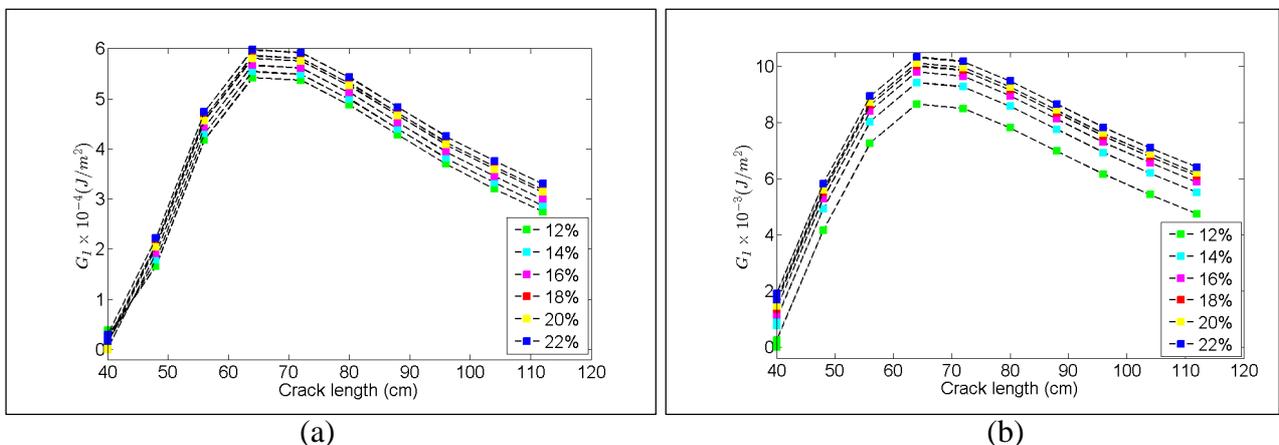


Fig. 2 : Effect of moisture content (MC) variation on energy release rate (GV) vs. crack length during heating process :  $\Delta T = 10^\circ\text{C}$  (a),  $\Delta T = 30^\circ\text{C}$  (b).

## References

- Pambou Nziengui DF., Moutou Pitti R., Fournely E., Godi G., Dubois F. Mechanical characterization of European species: Picea-Alba mill and Douglas-fir. SEMC Conference, Cap
- Moutou Pitti, R., Dubois, F., Petit, C., 2010. Generalization of T and A integrals to time-dependent materials: analytical formulations. International Journal of Fracture 161, 187–198.
- Riahi H., Moutou Pitti, R., Dubois, F., Chateauneuf A., 2016. Mixed-mode fracture analysis combining mechanical, thermal and hydrological effects in an isotropic and orthotropic material by means of invariant integrals. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, doi.org/10.1016/j.tafmec.2016.06.002
- Hamdi, S., Moutou Pitti, R., Dubois, F., 2016. Impact of Hydro-Mechanical Loadings On Rupture Process In Wood Material, Society for Experimental Mechanics.

## Acknowledgements

The authors wish to strongly acknowledge the National Agency of Research (ANR) for its financial support of this work through the project CLIMBOIS N° ANR-13-JS09-0003-01 labeled by ViaMeca.

## Etude de la fissuration du *Milicia Excelsa* par la méthode de la grille

ODOUNGA Bernard<sup>1,2,3</sup>, MOUTOU PITTI Rostand<sup>2,3,4</sup>, TOUSSAINT Evelyne<sup>2,3</sup>,  
GREDIAC Michel<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Université des Sciences et Techniques de Masuku, BP 901 Franceville, Gabon

<sup>2</sup>Université Clermont Auvergne, Université Blaise Pascal, IP, BP 10448, Clermont-Ferrand, France

<sup>3</sup>CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, 63171, Aubière, France

<sup>4</sup>CENAREST, BP. 2246, Libreville, Gabon

[Rostand.moutou\\_pitti@univ-bcplermont.fr](mailto:Rostand.moutou_pitti@univ-bcplermont.fr)

**Mots clés :** Rupture ; Mode I, Essence tropicales ; Eprouvette MMCG ; Méthode de la grille.

### Résumé

L'objectif de ce travail est d'étudier la fissuration du *Milicia excelsa* (Iroko). Le dispositif expérimental est composé d'une éprouvette Mixed Mode Crack Growth (MMCG) et d'une presse de traction. Les courbes forces-déplacements, l'ouverture et l'avancée de fissure, déduites des images enregistrées et traitées par la méthode de la grille, sont présentés. Les essais ont été conduits en mode d'ouverture de fissure (mode I). Les courbes de l'évolution du taux de restitution d'énergie estimées via la méthode énergétique sont présentées.

### Introduction

Le Gabon, pays d'Afrique équatoriale, avec 85% de son territoire recouvert de forêt contribue donc à la régulation du climat de notre planète. C'est dans le but de connaître le comportement des essences et orienter les populations locales dans leur choix de matériaux de construction autre que le béton et l'acier que les études de la fissuration sont menées. L'éprouvette MMCG [1] est utilisée et en mode I. Dans la présente étude, une caméra CCD permettant d'acquérir des images est utilisée lors de l'essai. Les images sont traitées par la méthode dite de la grille [2] et permettent de mesurer l'ouverture et la longueur de fissure de l'Iroko. Les éprouvettes seront couplées à un système Arcan monté dans une presse électromécanique.

### Matériaux et Méthode

Les éprouvettes MMCG en bois Iroko (densité 0,64, Humidité interne 7,94%), de dimensions ( $L \times l \times e$ )  $105 \times 70 \times 15 \text{ mm}^3$  sont testées. La fissure initiale, de longueur  $a_i = 15 \text{ mm}$  est orientée dans le sens des fibres. Sur une des faces des éprouvettes, une grille de pas régulier de  $200 \mu\text{m}$  est collée. Les trous de fixation, les congés de raccordement et la partie supérieure de l'éprouvette sont renforcés par des plaques d'aluminium figure 1 (a, b).

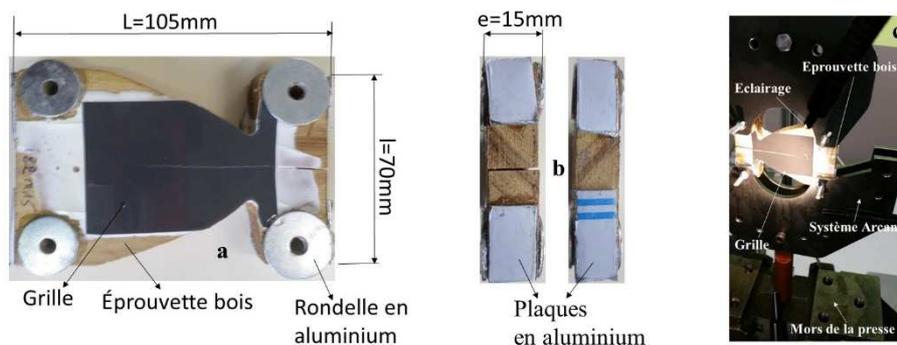


Fig. 1 : Face avec grille (a), vues de dessus et dessous (b), montage expérimental (c)

Une caméra est installée à une distance de 67,5 cm de l'éprouvette afin d'enregistrer les images qui sont ensuite traitées par la méthode de la grille. La température de la salle au moment des essais est de 21°C pour une humidité relative de 35%.

### Résultats expérimentaux

Les cartes de déplacements ci-dessous (voir figure 2 (a)), obtenues par la grille, présentent l'évolution de la fissure pour les différentes éprouvettes. Nous avons remarqué durant tous les essais que les fissures ont tendance à se propager suivant l'orientation et l'inclinaison des fibres.

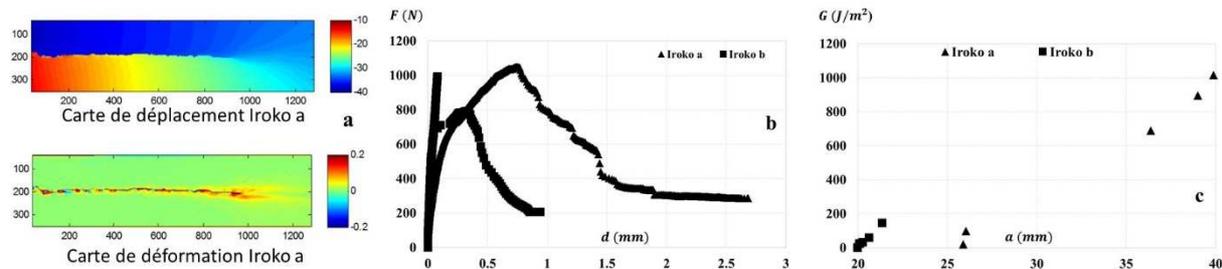


Fig. 2 : cartes de déplacement et de déformation de l'Iroko (a), Force-déplacement Iroko (b) ; Taux de restitution d'énergie vs. Longueur de fissure (c).

La figure 2 (b) représente les courbes de forces-déplacement de l'Iroko. Nous constatons que pour l'éprouvette Iroko (a) la rupture intervient pour une force  $F_{RI}=1048 N$ , occasionnant un déplacement  $d_I = 0.102 mm$ . En ce qui concerne la seconde courbe Iroko (b), nous voyons que la force à la rupture est d'environ  $F_{RI} = 763N$  pour un déplacement  $d_o = 0.406mm$ .

Les forces critiques ont été identifiées afin de nous permettre de calculer les différents taux de restitution d'énergie  $G_c$  calculés grâce à la méthode énergétique. On note que  $G_c$  augmente continuellement jusqu'à la rupture (figure 2 (c)) avec un pontage des fibres qui persiste au-delà du pic de résistance à la fissuration. Cette ténacité va diminuée après la rupture incitée par une décroissance continue de la force.

### Conclusion

Le présent travail a consisté à tester en mode I des éprouvettes MMCG d'Iroko. A partir des cartes de déplacement obtenues par la technique de la grille, l'ouverture et l'avancée de la fissure ont été détectées et permettent de calculer l'évolution du taux de restitution d'énergie. Dans les travaux à venir, les paramètres de fissuration seront étudiés en mode mixte pour trois essences tropicales via l'éprouvette MMCG.

### Références

- [1] Moutou Pitti R., Dubois F., & Pop O. (2008). Sur une éprouvette assurant la stabilité de la propagation de fissure en mode mixte dans le matériau bois. *Comptes Rendus Mécanique*, 336(9), 744-749.
- [2] Grédiac M, Sur F, Blaysat B (2016). The Grid Method for In-plane Displacement and Strain Measurement: A Review and Analysis. *Strain*, 52(3), 205-243.

## Elaboration de nouveaux matériaux bioactifs

KHALDI Zineb<sup>1</sup>, BESSE Claire<sup>1</sup>, OUK Tan-Sothéa<sup>1</sup>, ZERROUKI Rachida<sup>1</sup>,  
GLOAGUEN Vincent<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de chimie des substances naturelles, Université de Limoges, 123 avenue  
Albert Thomas 87060 Limoges, France.

[Zineb.khaldi@etu.unilim.fr](mailto:Zineb.khaldi@etu.unilim.fr)

**Mots clefs :** antibactérien, fibres lignocellulosiques, pâte Kraft.

### Résumé

La diminution de la sensibilité de la plupart des germes aux antimicrobiens ne cesse de se développer et touche notamment les bactéries les plus courantes. Une majorité d'entre elles est présente naturellement chez l'homme (flore cutanée et flore intestinale) et ne cause pas d'effets néfastes à la santé, et certaines sont même essentielles à l'organisme humain. Les risques pour la santé apparaissent lorsque les concentrations de certaines espèces deviennent anormalement élevées. Cette contamination consiste en l'adhésion de bactéries pathogènes ou opportunistes qui peuvent former des biofilms. Ces derniers sont à l'origine de la mise en place de résistance de certaines souches aux traitements conventionnels, et sont responsables de près de 65 à 80 % des infections nosocomiales. Les infections nosocomiales qui, par définition sont des infections contractées dans des établissements de santé et qui s'étendent aujourd'hui aux infections associées aux soins comptent parmi les plus meurtrières.

En France, ces infections sont la cause directe de 4000 décès, et représentent un coût de prise en charge important pour la société évalué jusqu'à 800 millions d'euros par an. Cela en fait actuellement un problème majeur en santé publique. Il s'avère ainsi essentiel de développer des nouvelles-stratégies et/ou de nouveaux procédés pouvant freiner la multiplication de ces souches bactériennes.

Dans un souci de répondre à ces problèmes de prolifération bactérienne, et de contaminations des surfaces, le présent projet a porté sur le développement de nouveaux matériaux lignocellulosiques bioactifs, par un greffage covalent de nouvelles molécules aromatiques via un lien triazole (Fig. 1). L'objectif est de démontrer leur capacité à limiter la dissémination, voire empêcher la croissance de germes de l'environnement.

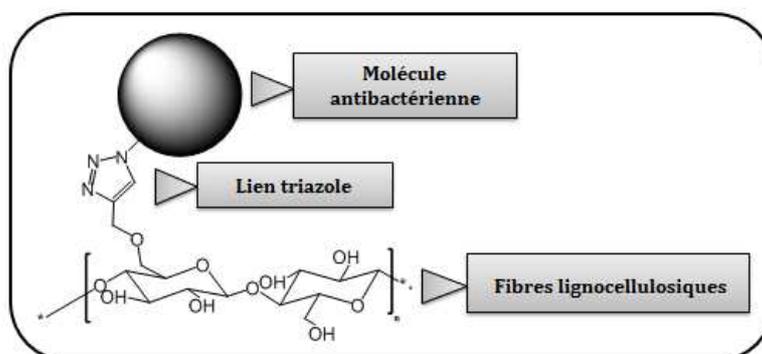


Fig. 1 : Schéma général de greffage des molécules sur le support cellulosique

De plus nous avons fixé des molécules aromatiques qui n'acquièrent leur potentiel antimicrobien qu'après greffage sur le support via le lien triazole. Une telle stratégie constitue une réelle avancée pour la protection de l'environnement. Elle représente une solution durable, non nocive et inscrite dans les principes de chimie verte.

## Phosphorylation et hydrophobisation simultanée des fibres lignocellulosiques Vers un matériau ignifuge multifonctionnel

PAIN-BOUTIN Manon <sup>1,2</sup>, BROUILLETTE François <sup>1</sup>, ZERROUKI Rachida <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université du Québec à Trois-Rivières, 3351, boul. des Forges, C.P. 500, Trois-Rivières (Québec)

<sup>2</sup> Université de Limoges, 123 Avenue Albert Thomas, 87060 LIMOGES Cedex (France)  
[boutin.manon.mb@gmail.com](mailto:boutin.manon.mb@gmail.com)

**Mots clés :** Fibres Krafts, Esters de phosphate, Phosphorylation, Retardateurs de flamme

Le secteur des pâtes et papiers québécois est en pleine transformation suite à la disparition de plusieurs de ses marchés traditionnels. De nouvelles voies de valorisation des ressources forestières sont donc en cours d'implantation comme par exemple l'utilisation de fibres lignocellulosiques dans les matériaux composites. En raison de leur caractère renouvelable, biodégradable et biocompatible ainsi que de la présence de groupements hydroxyles réactifs, les fibres lignocellulosiques constituent un polymère très intéressant pour une valorisation par modification chimique. Les dérivés cellulotiques peuvent présenter une variété de propriétés selon le type de groupements fonctionnels qu'ils portent et sont donc utilisables dans différents domaines d'applications.

L'objectif du présent projet consiste à conférer aux fibres lignocellulosiques issues de l'industrie papetière deux propriétés spécifiques : un caractère ignifuge grâce au procédé de phosphorylation des fibres, ainsi qu'une réduction de leur hydrophilicité en leur greffant de longues chaînes alkyles. Les fibres utilisées sont extraites du bois par le procédé kraft. Elles contiennent plus de 85 % de cellulose. Leur phosphorylation permet le greffage de groupements phosphate qui jouent le rôle de retardateurs de flamme. Cette technique est généralement réalisée à haute température avec de l'acide phosphorique dans l'urée fondue.

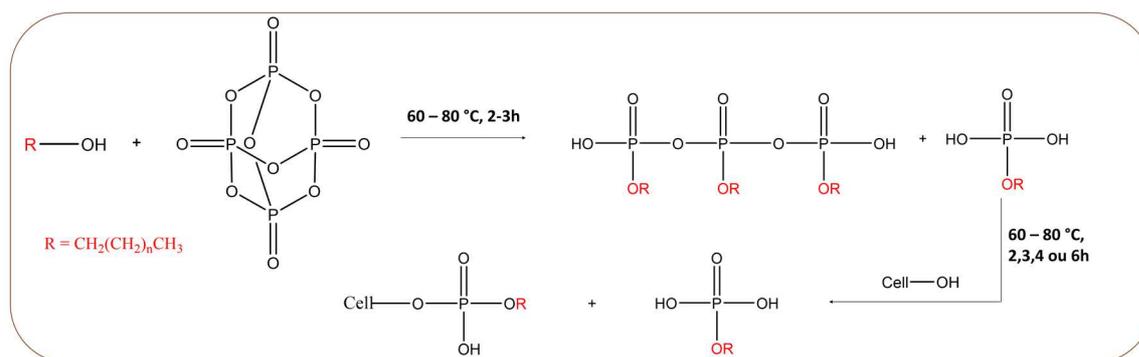


Figure 6. Nouvelle méthode de phosphorylation des fibres Krafts

Une méthode remplaçant l'acide par un ester de phosphate portant une longue chaîne aliphatique a été mise au point par notre équipe de recherche avec l'objectif de réaliser simultanément la phosphorylation et le greffage d'une chaîne alkyle sur la cellulose (Shi et al, 2014). Un taux de phosphore intéressant (3-6% en masse) est obtenu mais la chaîne alkyle est éliminée lors de la réaction. Pour pallier à ce problème, une nouvelle méthode de phosphorylation a été testée. Cette dernière est réalisée en deux étapes « one pot » (Figure 1). Elle consiste dans un premier temps à faire réagir un alcool gras et du pentoxyde de phosphore pour former un polyester de phosphate sur lequel vont réagir les hydroxyles de la cellulose pour former un phosphate de cellulose alkylé.

### Référence

Shi, Y., et al., *Phosphorylation of kraft fibers with phosphate esters*. Carbohydrate polymers, 2014. **106**: p. 121-127.



## Modélisation par la méthode des éléments discrets du matériau bois en vue de simuler son comportement à l'usinage

CURTI Rémi<sup>1</sup>, COLLET Robert<sup>1</sup>, LORONG Philippe<sup>2</sup>, DENAUD Louis<sup>1</sup>, POT Guillaume<sup>1</sup>, MARCON Bertrand<sup>1</sup>, BUTAUD Jean-Claude<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LaBoMaP, Arts et Métiers ParisTech Cluny

<sup>2</sup>PIMM, Arts et Métiers ParisTech Paris

[remi.curti@ensam.eu](mailto:remi.curti@ensam.eu)

**Mots clefs :** Bois vert ; Comportement dynamique ; Coupe ; Densification ; Fraisage ; Modélisation numérique ; DEM

### Contexte

Lors de son entrée en ligne en scierie, les dosses d'une bille sont fraisées et transformées en copeaux à l'aide de slabbers. Ces copeaux se fragmentent généralement en plaquettes qui alimentent plusieurs industries, notamment celle de la pâte à papier, exigeante quant à leur granulométrie.

Pour maîtriser cette granulométrie, un modèle de coupe qualitatif, basé sur la méthode des éléments discrets (DEM), a été proposé par (Pfeiffer 2015). Ce dernier a pour but de mieux comprendre les mécanismes liés à la fragmentation du copeau. Cependant ce modèle doit être calibré afin de devenir quantitatif et pourvoir des résultats exploitables dans l'industrie.

### Comportement à modéliser

Afin de simuler le procédé de fraisage du bois, son comportement mécanique aux taux de déformations et sollicitations adaptés doit être modélisé. À partir des essais de compression dynamique réalisés par Pfeiffer (2015) et basés sur le modèle d'Adalian (2012), un modèle simplifié de comportement du bois a été proposé en considérant un modèle tri-linéaire en compression. (Fig. 1).

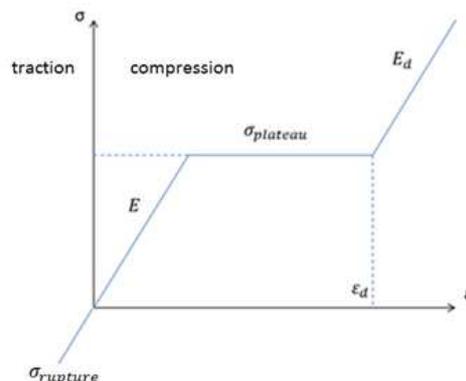


Fig. 1: Modèle du comportement du bois en traction/compression implémenté

Les valeurs des propriétés mécaniques du hêtre listées Tab.1 sont issues d'essais de compression dynamiques réalisés par Pfeiffer. Seule la contrainte à la rupture est issue d'essais de traction quasi statique et la déformation de consolidation d'essais de compression quasistatique. En effet des essais sur barres d'Hopkinson ont été menés par Pfeiffer (2015), mais ils n'apportent pas suffisamment d'énergie aux éprouvettes pour atteindre un tel niveau de déformation.

Tab. 1: Propriétés mécaniques du hêtre (en l'état vert) en traction / compression longitudinale

Propriété	valeur
$E$	3,33 GPa
$E_d$	3,33 GPa (fortement approximé)
$\varepsilon_d$	40%
$\sigma_{rupture}$	-33 MPa
$\sigma_{plateau}$	60 MPa

### Modèle et calibration

Le modèle élément discret nouvellement créé reprend ainsi les données expérimentales des travaux précédents, mais il est de plus enrichi du comportement de plastification du bois en compression. Initialement, le modèle était limité à un comportement élastique fragile. Les mécanismes de ruptures en traction et en cisaillement ont été séparés en intégrant deux critères de rupture distincts. Pour ce premier modèle les données utilisées se basent néanmoins quasi-statiques à cause du manque d'essais dynamiques visant à les identifier.

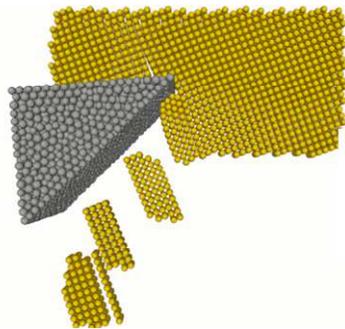


Fig. 2: Simulation de coupe idéalisée



Fig. 3: Essai de coupe par Pfeiffer R.

### Résultats

Le modèle présente, en concordance avec les essais réalisés par Pfeiffer (2015) une fragmentation du copeau en plaquettes, des fissurations sous l'arrête de coupe, et des efforts d'un ordre de grandeur cohérent. Cependant les dimensions des plaquettes obtenues par la simulation ne sont pas encore exactes et la calibration du modèle doit encore être affinée. En particuliers tous les paramètres ayant été fixé à partir de données issues d'essais quasi-statiques devront faire l'objet d'une étude complémentaire d'essais en dynamique pour gagner en pertinence.

### Perspectives

Des essais de coupes sont en cours de préparation pour valider les résultats du modèle. Ce dernier sera amélioré grâce à de nouveaux essais qui permettront d'affiner son comportement dans le domaine dynamique.

### Remerciements

Ces travaux ont été menés à bien grâce au support de la région Bourgogne Franche-Comté et à la Plateforme Technique Xylomat subventionnée par l'ANR-10-EQPX-16 XYLOFOREST.

### Références

Pfeiffer R. (2015) Analyse et modélisation du fraisage du bois vert, PHD thesis, 226 pp.  
 Adalian C., Morlier P. (2002) « Wood model » for the dynamic behaviour of wood in multiaxial compression, Holz als roh-und werkstoff, 60(6), pp. 433-439.

## Laboratoire mixte : BOurgogne PLacage Innovation (BOPLI)

VIGUIER Joffrey<sup>1</sup>, DENAUD Louis<sup>1</sup>, MARCON Bertrand<sup>1</sup>, BUTAUD Jean-Claude<sup>1</sup>,  
COLLET Robert<sup>1</sup>, POT Guillaume<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LaBoMaP, Groupe Matériaux et Usinage Bois, Arts & Métiers ParisTech, rue Porte de Paris,  
F-71250 Cluny, France  
[louis.denaud@ensam.eu](mailto:louis.denaud@ensam.eu)

**Mots clés :** Contreplaqués, déroulage, multiplis innovants, placages, traçabilité.

### Introduction

Le laboratoire mixte BOurgogne PLacage Innovation rassemble quatre partenaires :

- La région Bourgogne Franche-Comté
- La société BRUGÈRE (groupe Hess) : une entreprise bourguignonne qui transforme principalement du hêtre sous forme de placages et de contreplaqués. Elle dispose d'une grande expérience dans le déroulage et la fabrication de contreplaqués spécifiques. Avec 80 salariés et une capacité de transformation de 40 000 m<sup>3</sup> de bois par an, elle occupe une place de leader au niveau européen.
- L'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (ENSAM) de Cluny, et plus particulièrement l'équipe MUB du LaBoMaP
- AM Valor, filiale de l'ENSAM chargé notamment de la valorisation de la recherche.

La société BRUGERE, et le LaBoMaP collaborent autour du déroulage, de la fabrication de placages et de panneaux à base de bois hêtre. Ce laboratoire mixte devra permettre de structurer le secteur R&D de BRUGERE (formation et embauche d'un ingénieur responsable du laboratoire mixte pour la durée du projet) et de mieux maîtriser la fabrication et la qualité des produits (placages et panneaux). Pour le LaBoMaP et AM VALOR, cette association permettra au travers d'un contrat d'ingénieur R&D (36 mois), d'un contrat d'étude post doctoral (12 mois), de contrats d'études ingénieur (24 mois) et de stages d'élèves ingénieurs de poursuivre les développements scientifiques engagés sur la maîtrise du processus de fabrication par déroulage et la fabrication de produits d'ingénierie à base de bois locaux. Deux axes principaux ont été dégagés :

- L'amélioration de la qualité des placages et la maîtrise du processus de première transformation de hêtre
- Maîtrise du procédé de seconde déformation (fabrication de panneaux contreplaqués) et innovation produits

### Axe 1 : Amélioration de la qualité des placages et maîtrise du processus de première transformation de hêtre

Cet axe doit permettre à la société BRUGERE de mieux répondre aux cahiers des charges des clients et d'optimiser son rendement matière pour développer sa compétitivité. Il permettra aussi au LaBoMaP et à ARTS de développer une étude fondamentale de l'effet de l'état initial des bois dans le process de fabrication de placages déroulés. Ce verrou est aujourd'hui inaccessible à l'échelle d'un laboratoire universitaire où les quantités de bois traités ne permettent pas de s'affranchir de « l'effet arbre ». L'objectif est double : permettre au LaBoMaP et à AM Valor de mieux faire le lien entre sylviculture, origine géographique dont l'impact sur les propriétés physicochimiques du bois de hêtre est grand et propriétés des produits afin de communiquer ses résultats aux acteurs de la filière, et permettre à BRUGERE de mieux cibler ses approvisionnements en fonction des produits fabriqués en contrôlant son rendement

matière. Ces informations permettront aussi de mieux associer les commandes des clients lors de la fabrication toujours dans un souci d'amélioration du rendement matière.

Les travaux en cours dans cet axe de recherche portent sur la compréhension du phénomène d'ondulation des placages qui peut apparaître après séchage. En effet, si des différences de retrait entre deux zones adjacentes existent, il peut alors apparaître des ruptures (dans les zones à fort retrait) ou des ondulations (dans les zones à plus faible retrait) pour compenser ces variations dimensionnelles (voir figure 1).



Figure 1 : Illustration du phénomène d'ondulations des placages secs

Actuellement, il est possible d'accéder à de nombreuses informations sylvicoles et climatiques sur les hêtres sélectionnés par BRUGERE et disponibles sur le parc à grume. Ces informations devraient permettre de déterminer l'influence de la provenance des bois sur la propension des placages à onduler.

## **Axe 2 : Maîtrise du procédé de seconde déformation (fabrication de panneaux contreplaqués) et innovation produits**

La société BRUGERE a récemment investi dans sa ligne de fabrication de contreplaqués hêtre afin de se placer sur ce marché très concurrentiel. L'objectif principal de cette collaboration est de proposer des produits de qualité innovants adaptés à demande des clients et fabriqués à partir de bois locaux (éventuellement plusieurs essences, composites d'origine naturelle, bois traité thermiquement,...) à des coûts maîtrisés. En parallèle, il permettra au LaBoMaP de poursuivre les développements engagés en matière de modélisation (en particulier mécanique) des produits d'ingénierie Bois.

Des travaux sont actuellement en cours au LaBoMaP sur l'influence de la sylviculture sur les propriétés mécaniques finales de poutres en LVL. Les premiers résultats semblent montrer que les poutres fabriquées à partir de bois issus de haute futaie possèdent de meilleures propriétés mécaniques en comparaison à des bois issus de taillis sous futaie. De plus une analyse par imagerie rayons X des défauts de ce même type de produit est en cours pour en évaluer l'impact sur les propriétés mécaniques. Les premiers résultats montrent que les défauts dus au procédé de fabrication possèdent une influence comparable aux défauts naturels du bois sur la résistance à la flexion.

## **Remerciements**

Cette étude est supportée par la société BRUGERE et la région Bourgogne Franche-Comté. Ces travaux ont été menés à bien grâce à la Plateforme Technique Xylomat subventionnée par l'ANR-10-EQPX-16 XYLOFOREST.

## Prédiction des propriétés mécaniques du chêne à partir d'analyses vibratoires

FAYDI Younes<sup>1</sup>, BRANCHERIAU Loïc<sup>2</sup>, POT Guillaume<sup>1</sup>,  
COLLET Robert<sup>1</sup> et LETOURNEAU Roger<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LaBoMaP, Arts et Métiers ParisTech, F-71250 CLUNY

<sup>2</sup> CIRAD - Département PERSYST, UPR 114 "Biomasse, bois, énergie, bio-produits", TA  
B114/16 73 Rue Jean François Breton 34398 Montpellier Cedex 5  
[younes.faydi@ensam.eu](mailto:younes.faydi@ensam.eu)

**Mots clefs :** Classement mécanique, Analyse vibratoire, Régression pas à pas

### Introduction

Les constructions en bois connaissent une croissance importante ces dernières années en raison de leur aspect écologique et esthétique. Il demeure néanmoins des obstacles pour une large commercialisation du bois d'origine française pour ces applications. Le classement des performances mécaniques des sciages par machine est l'une des problématiques majeures qui doit être améliorée, notamment pour les essences de feuillus qui représentent en France un fort potentiel de ressource forestière disponible [1]. Ce travail vise à étudier le classement du chêne de qualité secondaire à partir d'une analyse acoustique appuyée par une méthode statistique.

### Matériels et méthodes

#### ➤ Echantillonnage

Un lot de 170 planches de chêne de qualité secondaire avec quatre sections différentes a été sélectionné dans le but de montrer que la technique utilisée est indépendante des sections étudiées.

#### ➤ Appareillage

L'un des intérêts de cette étude réside dans le fait que seul un appareil de mesure, relativement peu coûteux, est nécessaire. Il s'agit de l'instrument BING développé par le CIRAD. Il repose sur une mesure vibratoire [2] qui est employée pour déterminer les caractéristiques élastiques à partir de la fréquence de résonance sous des sollicitations de traction/compression ou de flexion. L'échantillon repose sur deux supports élastiques. Le signal vibratoire est enregistré à l'aide d'un microphone. Trois types de sollicitations ont été réalisés : la compression, correspondant à des vibrations longitudinales, la flexion à plat, et la flexion sur chant correspondant à des vibrations transversales.

#### ➤ Méthode statistique

La méthode statistique employée ici est la régression pas à pas. Il s'agit d'une technique de construction de modèle statistique qui vise à constituer le meilleur sous-ensemble de variables prédictives (paramètres globaux issus du test vibratoire dans ce cas) afin de déterminer de manière non-destructive le module de Young (MOE) et la résistance à la rupture (MOR) obtenus par un essai de flexion statique normalisé.

La validation du modèle se fait par une validation croisée qui consiste à répartir le lot en trois segments. Le modèle est calibré sur deux segments et validé sur le troisième. Cette opération est réalisée successivement sur chaque segment. L'erreur du modèle RMSECV, exprimée en MPa, est égale à la racine carrée de la moyenne des erreurs quadratiques de prédiction pour chaque segment.

## Résultats et discussions

On décompte 31 paramètres globaux issus d'un essai vibratoire. La régression pas à pas va sélectionner les plus pertinents pour déterminer le MOE et le MOR.

Concernant le MOE, trois paramètres ont été retenus :

- MOE 1<sup>er</sup> mode sur chant
- Rapport entre les MOE à plat et sur chant du mode 2
- Rapport entre le MOE à plat et sur chant du mode 3

Concernant le MOR, cinq paramètres ont été retenus :

- MOE 4<sup>ème</sup> mode sur chant
- Module de cisaillement sur chant
- Rapport entre la fréquence au 3<sup>ème</sup> mode et au 1<sup>er</sup> mode sur chant
- Le coefficient de détermination sur les quatre modes entre les fréquences à plat
- Le coefficient de détermination sur les quatre modes entre les fréquences sur chant

L'essentiel de l'information permettant de prédire le MOE et le MOR est contenu dans le module de Young vibratoire. Le choix d'un module au 1<sup>er</sup> ou au 4<sup>ème</sup> mode est similaire car ces derniers sont corrélés entre eux.

Les tableaux 1 et 2 présentent les coefficients de détermination obtenus grâce aux régressions faites sur ces paramètres ainsi que les erreurs de validation croisée des modèles. Les régressions simples entre les variables observées et les MOE sur chant et en compression ont été ajoutées pour permettre la comparaison avec les modèles plus "classiques".

Table 1 : Résultats de prédiction de MOE

Prédiction du MOE	R <sup>2</sup>	RMSECV
MOE vibratoire sur chant	0,84	893
MOE vibratoire en compression	0,76	1109
Régression pas à pas	0,86	883

Table 2 : Résultats de prédiction de MOR

Prédiction du MOR	R <sup>2</sup>	RMSECV
MOE vibratoire sur chant	0,32	19,0
MOE vibratoire en compression	0,27	19,3
Régression pas à pas	0,42	17,9

Au niveau du MOE, par rapport à une régression simple en compression souvent employée en industrie, la régression pas à pas améliore le coefficient de détermination de 10 % et réduit l'erreur de 226 MPa. L'amélioration est moins claire par rapport à une régression sur le module de Young sur chant.

Au niveau du MOR, l'erreur de prédiction est réduite de 1 MPa et le gain sur le coefficient de détermination est supérieur à 10 % par rapport aux deux modèles basés sur une régression linéaire. La méthode proposée de régression pas à pas permet donc d'améliorer sensiblement la prédiction du MOR du chêne de qualité secondaire.

Ce travail a permis de montrer qu'un essai vibratoire couramment employé en industrie pour prédire les propriétés mécaniques pourrait être davantage exploité afin d'améliorer le classement mécanique du bois et du chêne de qualité secondaire en particulier.

## Remerciements

Cette étude est soutenue par le Conseil régional de Bourgogne Franche-Comté et l'Institut Carnot ARTS.

## Références

- [1] R.Collet, L.Bleron, J. Croisel, JD. Lanvin (2011), The processing of small low-grade French oaks into solid cross laminated panels, International Scientific Conference on Hardwood Processing
- [2] L.Brancheriau (2002), Expertise mécanique des sciages par analyses des vibrations dans le domaine acoustique

## Torréfaction du Bois: prédictions de la cinétique de dégradation thermo-chimique sous l'influence d'un champ acoustique par un modèle mathématique

SILVEIRA A. Edgar<sup>1,2</sup>, PÉTRISSANS Anélie<sup>1</sup>, CALDEIRA-PIRES Armando<sup>2</sup>,  
ROUSSET Patrick<sup>3</sup>, GIRÃO V. Marcus<sup>4</sup>, PÉTRISSANS Mathieu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LERMAB, IUT Epinal – Hubert Curien, 7 Rue des Fusilliés 88000 Epinal, France

<sup>2</sup> LEA, Faculty of Science and Technology, University of Brasília, Brazil.

<sup>3</sup> French Agriculture Research Centre for International Development (CIRAD), Montpellier, France.

<sup>4</sup> System Dynamics Group of Mechanical Engineering Department, University of Brasília, Brasília, Brazil.

[edgar.silveira@univ-lorraine.fr](mailto:edgar.silveira@univ-lorraine.fr)

**Mots clefs :** Acoustique, Bois, Dégradation Thermique, Modèle numérique, Torrefaction.

### Introduction

Le torrefaction est un processus de prétraitement thermo-chimique qui améliore les caractéristiques d'utilisation de la biomasse tels que la valeur calorifique gravimétrique, la broyabilité et l'hygroscopicité (Van der Stelt *et al.* 2011). Au cours de la torréfaction, la biomasse est traitée à des températures comprises entre 200 et 300 °C sous une atmosphère inerte. Les paramètres pertinents de la torréfaction sont la température, le temps de réaction, la vitesse de chauffage, la qualité de la matière première (essences, teneurs en humidité, etc) et la taille des particules. Typiquement, le produit torréfié conserve 80 à 95% de l'énergie et de 70 à 90% de la masse de la biomasse brute initiale. Les 10-30% restants sont libérés sous forme d'espèces gazeuses. Une approche nouvelle présentée dans ce travail concerne l'ajout technique d'ondes acoustique dans l'enceinte de traitement, afin de réduire la couche limite gazeuse et ainsi de réduire la résistance au transfert thermique. Cette approche expérimentale est couplée à une modélisation des phénomènes.

Les modèles existant pour décrire en détail l'évolution des produits volatils ou la composition du solide ainsi que le bilan énergétique durant une thermodégradation du bois ou de la biomasse restent assez éloignés des productions industrielles. Prins (2005) a proposé et validé le modèle de cinétique qui décrit la perte de masse solide du Saule pendant la torréfaction. Sur la base d'expériences de torréfaction sur l'eucalyptus, Almeida *et al.* (2010) ont montré que la perte de masse solide peut être utilisée comme un indicateur quantitatif de l'ampleur de la torréfaction. Plusieurs régressions linéaires ont été développées liant la perte de masse aux caractéristiques des produits solides tels que le rendement énergétique, la valeur de chauffage, et la composition chimique. Ces régressions empiriques ne décrivent pas la composition des produits de torréfaction volatils ou solides. Pétrissans *et al.* (2012) ont étudié la cinétique de perte de masse pour la torréfaction des échantillons de bois en utilisant un équipement spécialement conçu pour mesurer les pertes de masse au cours du traitement thermique. Bates et Ghoniem (2012) a modélisé la cinétique de la composition du produit volatil et solide pendant la torréfaction couplée à un mécanisme deux étages de la cinétique de perte de masse. Dans notre travail une méthode de prédiction directe couplée à un modèle de réactions consécutives est développée pour estimer le rendement en charbon et la composition élémentaire dans un processus de torréfaction de biomasse sous un champ acoustique. Afin de prédire le taux de décomposition de la particule de biomasse et de caractériser la dynamique thermo-fluide sous l'influence d'un champ acoustique, un modèle de réacteur thermo-fluide sera structuré dans un logiciel de méthodes d'éléments finis. Dans ce modèle, la cinétique de dégradation des particules construit et validé par les méthodes utilisées pour Bates et Ghoniem (2012), Pétrissans (2011) et Bach *et*

*al.* (2016) sera couplé au module acoustique. Les données expérimentales du transfert de chaleur et de masse dans le processus de torréfaction de la biomasse, soumis à un champ acoustique permettront de valider le modèle.

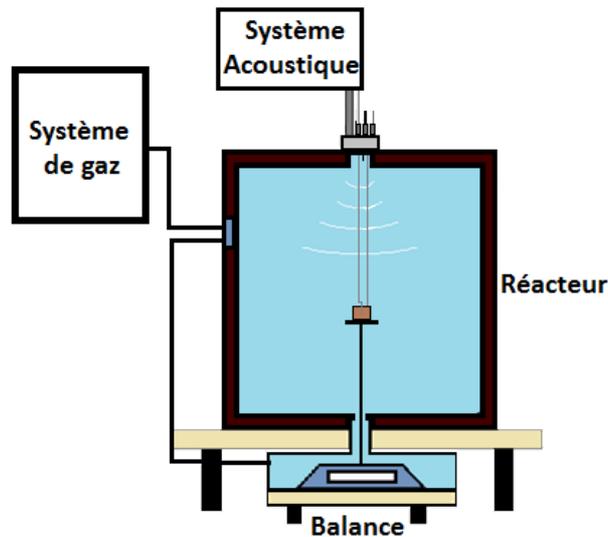


Fig. 1 : Système de torréfaction avec acoustique

## Références

- Almeida G., Brito J.O., Perre P. (2010) Alterations in energy properties of eucalyptus wood and bark subjected to torrefaction: The potential of mass loss as a synthetic indicator. *Bioresource Technology* 101, 9778–9784.
- Bach, Q. V. et al. (2016) Predictions of biochar yield and elemental composition during torrefaction of forest residues. *Bioresource Technology*, v. 215, p. 239–246.
- Bates R.B., Ghoniem A.F. (2012) Biomass torrefaction: Modeling of volatile and solid product evolution kinetics. *Bioresource Technology*, v. 124, p. 460–469, 2012. Elsevier Ltd.
- Di Blasi C., Lanzetta M. (1997) Intrinsic kinetics of isothermal xylan degradation in inert atmosphere. *J. Anal. Appl. Pyrol.* 40–41, 287–303.
- Neves D., Thunman H., Matos A., Tarelho L., Gomez-Barea A. (2011) Characterization and prediction of biomass pyrolysis products. *Progress in Energy and Combustion Science* 37, 611–630.
- Pétrissans A., Younsi R., Chaouch M., Gérardin P., Pétrissans M. (2012) Experimental and numerical analysis of wood thermodegradation. *J. of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 109, n. 2, p. 907–914.
- Prins M.J. (2005) Thermodynamic analysis of biomass gasification and torrefaction, Ph.D. Thesis. Eindhoven University of Technology.
- Ranzi, E., Cuoci, A., Faravelli T., Frassoldati A., Migliavacca G., Pierucci S., Sommariva S. (2008). Chemical kinetics of biomass pyrolysis. *Energy Fuels* 22, 4292–4300.
- Van Der Stelt, M. J. C. et al. (2011) Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: A review. *Biomass and Bioenergy*, v. 35, n. 9, p. 3748–3762.

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

MORIN François<sup>1</sup>, LEBEL Luc<sup>1,2</sup>, DE SANTA EULALIA Luis Antonio<sup>2,3</sup>,  
DUBEAU Denise<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup> Université Laval, Département des sciences du bois et de la forêt

<sup>2</sup> Encadrants

<sup>3</sup> Université de Sherbrooke, École de gestion

<sup>4</sup> Ministère des forêts, de la faune et des parcs, Direction de la recherche forestière  
[francois.morin.6@ulaval.ca](mailto:francois.morin.6@ulaval.ca)

**Mots clés :** Collaboration, chaîne d’approvisionnement, foresterie, organisations

### **Approvisionnement dans les forêts du Nord-est canadien**

Les usines de transformation du bois du Nord-est canadien vivent des difficultés d’approvisionnement associées aux caractéristiques des forêts dans lesquelles elles s’approvisionnent. Ces vastes forêts 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 matière ligneuse. 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 convention d’intégration 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.

### **Objectifs et méthodologie**

Nous cherchons à comprendre comment il est possible de favoriser la collaboration dans ce contexte d’interdépendance au sein de chaînes d’approvisionnement. La littérature scientifique propose des pistes de réflexion et de solutions, mais elles ne s’adaptent pas adéquatement au contexte forestier à l’étude (Cao et al., 2010 ; Cao et Zhang, 2013; Spulber, 1996, 2003). Par exemple, les approches de planification collaborative centralisée au sein d’une entité tierce ne semblent pas fonctionner dans certains contextes régionaux (Azouzi et al., 2012). 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 de l’influence de la collaboration sur la performance de la planification forestière. Finalement, nous visons produire un guide de bonnes pratiques offrant un support à la réflexion des décideurs de l’administration publique et de l’industrie dans l’amélioration des structures organisationnelles.

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 (Yin, 2014). 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.

## Résultats préliminaires

Les résultats préliminaires confirment que la confiance est un élément fondamental à la collaboration. La confiance demande toutefois un certain temps pour se développer. Il semble d'ailleurs 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. En effet, 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, c'est la comparaison entre les différents cas d'étude qui permettra le développement du cadre conceptuel supportant l'évaluation de la collaboration dans les chaînes d'approvisionnement forestier. La contribution de ce cadre conceptuel est au niveau du lien existant entre les structures organisationnelles et le phénomène de la collaboration dans les chaînes d'approvisionnement. Il semble que les structures organisationnelles d'une chaîne d'approvisionnement jouent un rôle important dans la mise en œuvre d'une bonne collaboration dans le contexte forestier à l'étude.

## Références

- Azouzi, R., Lebel, L. et D'Amours, S. 2012. Restructuring the forest value chain using intermediaries: a methodology with application to community-managed forest. Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport (CIRRELT).
- Barratt, M. 2004. Understanding the meaning of collaboration in the supply chain. *Supply Chain Management: An International Journal*, 9 (1), pp. 30-42.
- Cao, M., Vonderembse, M. A., Zhang, Q. et Ragu-Nathan, T. S. 2010. Supply chain collaboration: conceptualisation and instrument development. *International Journal of Production Research*, 48 (22), pp. 6613-6635.
- Cao, M. et Zhang, Q. 2013. *Supply Chain Collaboration - Roles of Interorganizational Systems, Trust, and Collaborative Culture*. Springer.
- Spulber, D. F. 1996. Market microstructure and intermediation. *The journal of economics perspectives*, 10 (3), pp. 135-152.
- Spulber, D.F. 2003. The Intermediation Theory Of The Firm: Integrating Economic And Management Approaches To Strategy. *Managerial and Decision Economics*, 24 (4), pp. 253–266.
- Yin, R. 2014. *Case study research: Design and methods*. Publication SAGE, 5<sup>e</sup> éditions.

## **Bois Duramhen - durabilité, aménagement, humidité, environnement**

QUISTIN Paul<sup>1</sup>, FOURNELY Eric<sup>2</sup>, CADOR Luc<sup>3</sup>, ROMANA Laurence<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Groupe ANCO, ANCO Guadeloupe route de la Jaille, 97122 Baie Mahault

<sup>2</sup>Université Clermont Auvergne, Université Blaise Pascal, Institut Pascal, BP 10448, F-63000 Clermont Ferrand, France

<sup>3</sup> S3CB, galerie de Houelbourg, 97122 Baie Mahault, France

<sup>4</sup> Université des Antilles, Fouillole, Pointe-à-Pitre 97157, Guadeloupe  
[eric.fournely@univ-bpclermont.fr](mailto:eric.fournely@univ-bpclermont.fr)

**Mots clefs :** climat, taux d'humidité des bois en œuvre, classe de service, Guadeloupe.

### **Résumé**

La définition des classes de service des bois dans le formalisme de l'Eurocode 5 se base sur le taux d'humidité dans ces bois. Les cartes reliant ce taux d'humidité à l'humidité relative de l'air et d'une manière plus générale aux conditions climatiques sont disponibles pour la métropole. Il n'en est pas de même pour les DOM. Pour les Antilles françaises, par manque d'études disponibles, le bois est considéré en classe de service 3, la plus contraignante. Ainsi la résistance des bois à prendre en compte est plus faible, les exigences de préservation des bois et des pièces métalliques utilisées notamment pour les assemblages sont elles aussi plus contraignantes. Certains produits à base de bois sont également exclus du marché antillais de la construction. Tout ceci freine le développement de la filière bois aux Antilles. Le projet Bois Duramhen, construit dans le cadre de l'action Synergîle, déclinaison guadeloupéenne du projet FEDER-Synergie, propose de répondre à ces questions : doit-on classer tout le territoire guadeloupéen en classe de service 3 ? Peut-on définir des zones où le classement serait classe de service 2 ?

Cette campagne est essentiellement orientée vers les bois résineux qui constituent la part la plus importante des réalisations. Elle intègre également des bois dits "exotiques" pour lesquels les conditions d'humidité à la mise en œuvre de l'Eurocode 5 sont très défavorables pour ces essences.

Ce projet réunit un bureau de contrôle ANCO, une entreprise de charpente locale S3CB, le département matériaux de l'université des Antilles à Pointe-à-Pitre et le département Génie Civil de Polytech, université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand.

### **Objectif du projet**

L'objectif premier de ce projet est de valoriser les données des relevés de Météo-France sur les îles des Antilles pour réaliser des cartes bisannuelles, ou autres, comme il existe en métropole, de mener une campagne de mesure de taux d'humidité des bois dans des structures existantes sur différents sites en intégrant des zones exposées au vent ou non, permettant un classement en classe de service selon l'implantation.

Le second objectif est de répertorier les essences bois feuillus utilisées localement dans les structures et de qualifier leurs qualités et caractéristiques mécaniques en fonction des paramètres de la norme Eurocode NF EN 1995-1.

### **Organisation, livrables attendus & suites de l'opération**

Le pilotage effectué par ANCO. S3CB accueillera deux stagiaires qui auront en charge une grande partie des mesures sur sites et des essais de caractérisation. ANCO et S3CB, de par leurs fonctions et leur implantation permettront de définir les sites et assurer les accès aux ouvrages visés. L'Université des Antilles interviendra sur la caractérisation des bois "exotiques" et sur le

recueil des données climatiques. L'Université Blaise Pascal interviendra sur les analyses structurales et les protocoles de mesure. Le projet a été structuré en lots présentés en figure 1.

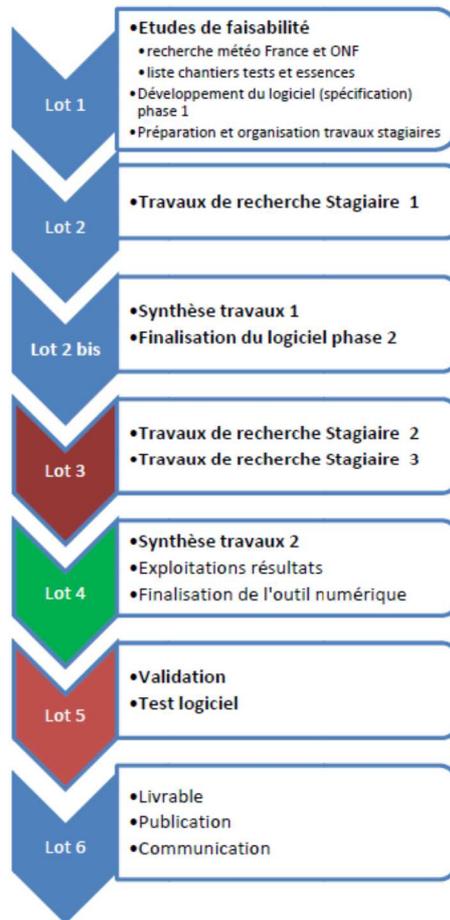


Fig. 1 : distribution des tâches en lots, base du travail des partenaires et du calendrier d'actions

Le projet conduira à termes à :

- la réalisation d'une cartographie à l'échelle de la Guadeloupe sur les propriétés du bois dans son environnement et son état d'équilibre hygroscopique pour aide à la détermination de la classe de service conventionnelle (pour les zones et sites étudiés),
- l'élaboration d'un outil numérique comportant une base de donnée des humidités relevées pendant la campagne de mesures effectuée sur la Guadeloupe et dépendances,
- la réalisation d'un listing et une base de données sur la caractérisation des bois feuillus tropicaux et résineux après inventaire des essences trouvées localement.

Ce projet devrait trouver une suite dans le projet Bois Duramhen972 qui a été déposé dans le cadre de l'appel d'offre PACTE ; c'est le territoire de la Martinique qui sera étudié dans le cadre de ce projet. Une extension pour la Guyane est également prévue.

## LISTE DES PARTICIPANTS

NOM	Institution	Mail
Rahamanou ABDOU	Biwooeb/Yaoundé - CAMEROUN	abdourahamanou@yahoo.fr
Alexis ACHIM	Univ. Laval - CANADA	alexis.achim@sbf.ulaval.ca
Tancrède ALMÉRAS	LMGC - Montpellier	tancrede.almeras@umontpellier.fr
Jérôme ALTEYRAC	ECAM - Lyon	jerome.alteyrac@ecam.fr
Olivier ARNOULD	LMGC - Montpellier	olivier.arnould@umontpellier.fr
Benjamin AUDIARD	CEPAM - Nice	benjamin.audiard@outlook.fr
Nesrine AYARI	I2M-GCE - Bordeaux	nesrine.ayari@u-bordeaux.fr
Sandrine BARDET	LMGC - Montpellier	sandrine.bardet@umontpellier.fr
Cédric BAUDRIT	I2M-GCE - Bordeaux	cbaudrit@bordeaux.inra.fr
Jacques BEAUCHENE	EcoFoG - GUYANE	beauchene.j@cirad.fr
Robert BEAUREGARD	Univ. Laval - CANADA	robert.beauregard@sbf.ulaval.ca
Rachid BELALIA	FINSA - Bordeaux	r.belalia@finsa.com
Christophe BELLONCLE	ESB-LIMBHA - Nantes	christophe.belloncle@ecoledubois.fr
Mohamed BENSALÉM	I2M-TREFFLE - Bordeaux	mohamed.bensalem@u-bordeaux.fr
Didier BERT	BIOGECO - Bordeaux	didier.bert@pierroton.inra.fr
Pierre BLANCHET	Univ. Laval - CANADA	pierre.blanchet@sbf.ulaval.ca
Vivien BONNESOEUR	PIAF Clermont-Fd - LMGC Montpellier	bonnesoeur.vivien@gmail.com
Marie BONNET	Laboratoire Navier – Champs/Marne	marie.bonnet@enpc.fr
Muriel BORDESSOULLES	Ivry-sur-Seine	bordessoules.muriel@gmail.com
Julie BOSSU	ICG - Montpellier	juliebossu@hotmail.fr
Abdelhamid BOUCHAIR	IP - Clermont-Fd	abdelhamid.bouchair@univ-bpclermont.fr
Clément BOUDAUD	ESB-LIMBHA - Nantes	clement.boudaud@ecoledubois.fr
Julia BUCHNER	ESB-LIMBHA - Nantes	julia.buchner@ecoledubois.fr
Agnès BURGERS	LMGC - Montpellier	agnes.burgers@umontpellier.fr
Sylvain BURRI	LAMMM - Aix-en-P	burri@msh.univ-aix.fr
Thomas CABARET	IPREM - Pau	thomas.cabaret@etud.univ-pau.fr
Sabine CARÉ	Laboratoire Navier – Champs/Marne	sabine.care@ifsttar.fr
Capucine CARLIER	LMGC - Montpellier	capucinecarlier@hotmail.com
Jean-Michel CARNUS	BIOGECO - Bordeaux	jean-michel.carnus@pierroton.inra.fr
Benoît CARRÉ	MNHN - Paris	carre@mnhn.fr
Laurent CASTETS	Gascogne Bois - Bordeaux	lcastets@gascognebois.com
Brigitte CHABBERT	FARE, INRA - Reims	chabbert@reims.inra.fr
Arnaud CHALLANSONNEX	LGPM - Châtenay-M	arnaud.challansonnex@centralesupelec.fr
Myriam CHAPLAIN	I2M-GCE - Bordeaux	myriam.chaplain@u-bordeaux.fr
Jean Paul CHARPENTIER	AGPF - Orléans	Jean-Paul.charpentier@inra.fr
Bertrand CHARRIER	IPREM - Mont-de-Marsan	bertrand.charrier@univ-pau.fr
Fatima CHARRIER - EL BOUHTOURY	IPREM - Mont-de-Marsan	fatima.charrier@univ-pau.fr
Zhou CHEN	MSME - Marne la vallée	ZhouCHEN9112@gmail.com
Bruno CLAIR	EcoFoG - GUYANE	bruno.clair@cnrs.fr
Alain COINTE	I2M-GCE - Bordeaux	alain.cointe@u-bordeaux.fr
Robert COLLET	LaBoMaP - Cluny	Robert.Collet@ensam.eu
Thierry CONSTANT	LERFoB - Nancy	thierry.constant@inra.fr

NOM	Institution	Mail
Guy COSTA	LCSN - Limoges	guy.costa@unilim.fr
Jean-Luc COUREAU	I2M-GCE - Bordeaux	jean-luc.coureau@u-bordeaux.fr
Rémi CURTI	LaBoMaP - Cluny	remi.curti@ensam.eu
Frédéric DANJON	BIOGECO - Bordeaux	frederic.danjon@pierroton.inra.fr
Pauline DEFOSSEZ	ISPA - Bordeaux	pauline.defossez@bordeaux.inra.fr
Christine DÉLISÉE	I2M-GCE - Bordeaux	christine.delisee@agro-bordeaux.fr
Louis DENAUD	LaBoMaP - Cluny	louis.denaud@ensam.eu
Jean-François DESTREBECQ	IP - Clermont-Fd	J-Francois.destrebecq@univ-bpclermont.fr
Benjamin DHUIEGE	LCPO - Bordeaux	bdhuiege@enscbp.fr
Francesco DI RENZO	ICG - Montpellier	direnzo@enscm.fr
Decroly DJOUBISSIE DENOUWE	LEMC - 2IE - BURKINA FASO	dd.djoubissie@gmail.com
Patricia DREVET	PIAF - Clermont-Fd	patricia.drevet@univ-bpclermont.fr
Frédéric DUBOIS	GEMH - Egletons	frederic.dubois@unilim.fr
Anna DUPLEIX	LMGC - Montpellier	anna.dupleix@riseup.net
Serge EKOMY ANGO	CENAREST - Congo	ekomyango@yahoo.fr
Soliman EL KABIR	GEMH/IP - Clermont-Fd	soliman.elkabir@yahoo.fr
Sidi Mohammed ELACHACHI	I2M-GCE - Bordeaux	sm.elachachi@i2m.u-bordeaux1.fr
Florent EYMA	ICA - Tarbes	florent.eyma@iut-tarbes.fr
Younes FAYDI	LaBoMaP - Cluny	younes.faydi@ensam.eu
Carole FAYE	FCBA - Bordeaux	carole.faye@fcba.fr
Eric FOURNELY	IP - Clermont-Fd	eric.fournely@univ-bpclermont.fr
Mérim FOURNIER	LERFoB - Nancy	meriem.fournier@agroparistech.fr
Philippe GALIMARD	I2M-GCE - Bordeaux	philippe.galimard@u-bordeaux.fr
Vincent GAUTHIER	M.Musique - Paris	vincent.gauthier.etu@univ-lemans.fr
Cécilia GAUVIN	LMGC/Eindhoven - PAYS-BAS	cecilia.gauvin@gmail.com
Eric GELHAYE	IAM - Nancy	eric.gelhaye@univ-lorraine.fr
Jean GÉRARD	Biwooeb - Montpellier	jean.gerard@cirad.fr
Philippe GÉRARDIN	Lermab - Nancy	philippe.gerardin@univ-lorraine.fr
Barbara GHISLAIN	EcoFoG - GUYANE	barbara.ghislain@ecofog.gf
Isabelle GILLOT	CEPAM - Nice	gillot@unice.fr
Stéphane GIRARDON	LaBoMaP - Cluny	Stephane.Girardon@ensam.eu
Xiaojing GONG	ICA - Tarbes	xiaojing.gong@iut-tarbes.fr
Stéphane GRELIER	LCPO - Bordeaux	sgrelier@enscbp.fr
Joseph GRIL	LMGC - Montpellier	joseph.gril@umontpellier.fr
Daniel GUIBAL	Biwooeb - Montpellier	daniel.guibal@cirad.fr
Erwan GUICHOUX	BIOGECO - Bordeaux	erwan.guichoux@pierroton.inra.fr
Alban GUYOT	CIRAD-Biwooeb - Montpellier	alban.guyot@cirad.fr
Mohamad HOBALLAH	ESB-LIMBHA - Nantes	mohamadhussein.hoballah@ecoledubois.fr
Jean-Louis JULIEN	PIAF - Clermont-Fd	jean-louis.julien@univ-bpclermont.fr
Delphine JULLIEN	LMGC - Montpellier	delphine.jullien-pierre@umontpellier.fr
Pascal KAMDEM	Michigan - USA	kamdem@msu.edu
Zineb KHALDI	LCSN - Limoges	zineb.khaldi@etu.unilim.fr
Quentin KLEINDIENST	Lermab - Nancy	quentin.kleindienst@univ-lorraine.fr
Gilles LABAT	FCBA - Bordeaux	gilles.fcba@fcba.fr
Marie-Pierre LABORIE	U.Fribourg - ALLEMAGNE	marie-pierre.laborie@biomat.uni-freiburg.de
Frédéric LAMY	GEMH - Egletons	frederic.lamy@unilim.fr

NOM	Institution	Mail
Jean-Denis LANVIN	FCBA - Bordeaux	jean-denis.lanvin@fcba.fr
Pierre LARRICQ	ICA - Tarbes	pierre.larricq@iut-tarbes.fr
Anne LAVALETTE	Panibois - Orléans	anne.lavalette@panibois.com
Robert LE ROY	Laboratoire Navier – Champs/Marne	robert.leroy@enpc.fr
Arthur LEBÉE	Laboratoire Navier – Champs/Marne	arthur.lebee@enpc.fr
Patrick LEGER	BIOGECO - Bordeaux	patrick.leger@pierroton.inra.fr
Jonathan LENGLET	LERFoB - Nancy	jonathan.lenglet@agroparistech.fr
Camille LEPOITTEVIN	BIOGECO - Bordeaux	camille.lepoittevin@pierroton.inra.fr
Hang LI	ICA - Tarbes	hang.li@iut-tarbes.fr
Bo-Jhih LIN	Lermab - Nancy	bo-jhih.lin@univ-lorraine.fr
Philippe LORONG	PIMM - Paris	philippe.lorong@ensam.eu
Sylvain LOTTE	Biowoeb - Montpellier	sylvain.lotte@cirad.fr
Mathilde LOUÉRAT	LGPM - Châtenay-M	mathilde.louerat@gmail.com
Hubert MAIGRE	LaMCoS - Lyon	hubert.maigre@insa-lyon.fr
Valentin MAKOMRA	I2M-GCE - Bordeaux	valentin.makomra@u-bordeaux.fr
Zaratiana MANDRARA	FCBA - Bordeaux	zaratiana.mandrara @fcba.fr
Nicaise MANFOUMBI BOUSSOUGOU	GEMH/LMM - Gabon	nicaise.manfoumbi@gmail.com
Bertrand MARCON	LaBoMaP - Cluny	bertrand.marcon@ensam.eu
Corinne MARTIN	LERFoB - Nancy	corinne.martin@agroparistech.fr
Emmanuel MAURIN	LRMH – Champs-s-Marne	emmanuel.maurin@culture.gouv.fr
Sylvain MÉNARD	Université du Québec - Canada	sylvain_menard@uqac.ca
Sébastien MENECHIER	IP - Clermont-Fd	sebastien.menechier@univ-bpclermont.fr
Juliette MERLE	IPREM/EPCP - Mont-de-Marsan	juliette.merle.univpau@gmail.com
Franck MICHAUD	ESB-LIMBHA - Nantes	franck.michaud@ecoledubois.fr
Jean-Christophe MINDEGUIA	I2M-GCE - Bordeaux	jean-christophe.mindeguia@u-bordeaux.fr
Cédric MONTERO	LMGC - Montpellier	cedric.montero@umontpellier.fr
Jérôme MOREAU	I2M-GCE - Bordeaux	jerome.moreau@u-bordeaux.fr
Stéphane MOREL	I2M-GCE - Bordeaux	stephane.morel@u-bordeaux.fr
François MORIN	Univ. Laval - CANADA	francois.morin.6@ulaval.ca
Bernard MOURLAN	Ch Peuplier - Bordeaux	bmourlan@wanadoo.fr
Rostand MOUTOU PITTI	IP - Clermont-Fd	rostand.moutou_pitti@univ-bpclermont.fr
Bernard ODOUNGA	IP - Clermont-Fd	bernard.odounga@etudiant.univ-bpclermont.fr
Marc OUDJENE	Lermab - Nancy	marc.oudjene@univ-lorraine.fr
René OUM LISSOUCK	I2M-GCE/LMM - CAMEROUN	re_oum@yahoo.fr
Manon PAIN-BOUTIN	LCSN - Limoges	manon.pain-boutin@uqtr.ca
Yadav PANKAJ	LMGC -Montpellier	yadav.pankaj@umontpellier.fr
Sébastien PARADIS	Biowoeb - Montpellier	sebastien.paradis@cirad.fr
Frédéric PERISSE	IP - Clermont-Fd	frederic.perisse@univ-bpclermont.fr
Marianne PERRIN	ICA - Tarbes	marianne.perrin@iut-tarbes.fr
Anélie PETRISSANS	Lermab - Nancy	anelie.petrissans@univ-lorraine.fr
Ngoc Anh PHAN	I2M-GCE - bordeaux	na.phan@i2m.u-bordeaux1.fr
Floran PIERRE	LGPM - Châtenay-M	floran.pierre@ecp.fr
Isabelle PIERREJEAN	EcoFoG - GUYANE	isabelle.pierrejean@univ-guyane.fr
Luc PIGNOLET	Biowoeb - Montpellier	pignolet@cirad.fr
Gilles PILATE	AGPF - Orléans	gilles.pilate@inra.fr
Idelette PLAZANET	LCSN - Limoges	idelette.plazanet@etu.unilim.fr

NOM	Institution	Mail
Laurence PODGORSKI	FCBA - Bordeaux	laurence.podgorski@fcba.fr
Régis POMMIER	I2M-GCE - Bordeaux	regis.pommier@u-bordeaux.fr
Octavian POP	GEMH - Egletons	ion-octavian.pop@unilim.fr
Guillaume POT	LaBoMaP - Cluny	guillaume.pot@ensam.eu
Christophe PRADERE	I2M-TREFFLE - Bordeaux	c.pradere@i2m.u-bordeaux1.fr
Jonathan PRUNIER	EcoFoG / get - GUYANE	jonathan.prunier@get.omp.eu
Fanjamalala RAJAONALISON	ISPA - Bordeaux	r.fanjama@gmail.com
Miora RAMANAKOTO	ICA - Tarbes	miora.ramanakoto@iut-tarbes.fr
Julien ROSSELGONG	LCPO - Bordeaux	julien.rosselgong@enscbp.fr
Frédéric ROUGER	FCBA - Bordeaux	frederic.rouger@fcba.fr
Julien RUELLE	LERFoB - Nancy	julien.ruelle@inra.fr
Jean Bosco SAHA TCHINDA	Biowoob/Yaoundé - CAMEROUN	saha_jb@yahoo.fr
Wissems SAHMIM	Lermab - Nancy	Wissemsah@hotmail.fr
Clément SAINT CAST	BIOGECO - Bordeaux	clement.saint-cast@u-bordeaux.fr
Jacqueline SALIBA	I2M-GCE - Bordeaux	jacqueline.saliba@u-bordeaux.fr
Nicolas SAUVAT	GEMH - Egletons	nicolas.sauvat@unilim.fr
Mehdi SBARTAI	I2M-GCE - Bordeaux	zm.sbartai@i2m.u-bordeaux1.fr
Arnaud SERGENT	IRSTEA - Bordeaux	arnaud.sergent@irstea.fr
Edgar SILVEIRA	Lermab - Nancy	edgar.silveira@univ-lorraine.fr
Jamik SOHOUNHLOUE	I2M-GCE - Bordeaux	s.agbecin@yahoo.fr
Alain SOMMIER	I2M-TREFFLE - Bordeaux	a.sommier@I2m.u-bordeaux1.fr
Edouard SORIN	I2M-GCE - Bordeaux	edouard.sorin@u-bordeaux.fr
Franck TAILLANDIER	I2M-GCE - Bordeaux	franck.taillandier@u-bordeaux.fr
Mokhfi TAKARLI	GEMH - Egletons	mokhfi.takarli@unilim.fr
Bernard THIBAUT	LMGC - Montpellier	bernard.thibaut@umontpellier.fr
Evelyne TOUSSAINT	IP - Clermont-Fd	evelyne.toussaint@univ-bpclermont.fr
Maximin VARNIER	GEMH - Egletons	maximin.varnier@etu.unilim.fr
Mathieu VERDET	I2M-GCE - Bordeaux	mathieu.verdet@u-bordeaux1.fr
Antoine VERNAY	Piaf - Clermont-Fd	antoine.vernay@clermont.inra.fr
Pierre VIGNON	I2M-GCE - Bordeaux	pierre.vignon@u-bordeaux.fr
Joffrey VIGUIER	LaBoMaP - Cluny	joffrey.viguier@ensam.eu
Nicolas VILLANDIER	LCSN - Limoges	nicolas.villandier@unilim.fr
Imen YAHYA OUI	ICA - Tarbes	imenyahyaoui212@gmail.com
Ming YANG	ISPA - Bordeaux	ming.yang@bordeaux.inra.fr
Meng ZHOU	Laboratoire Navier – Champs/Marne	meng.zhou@ifsttar.fr

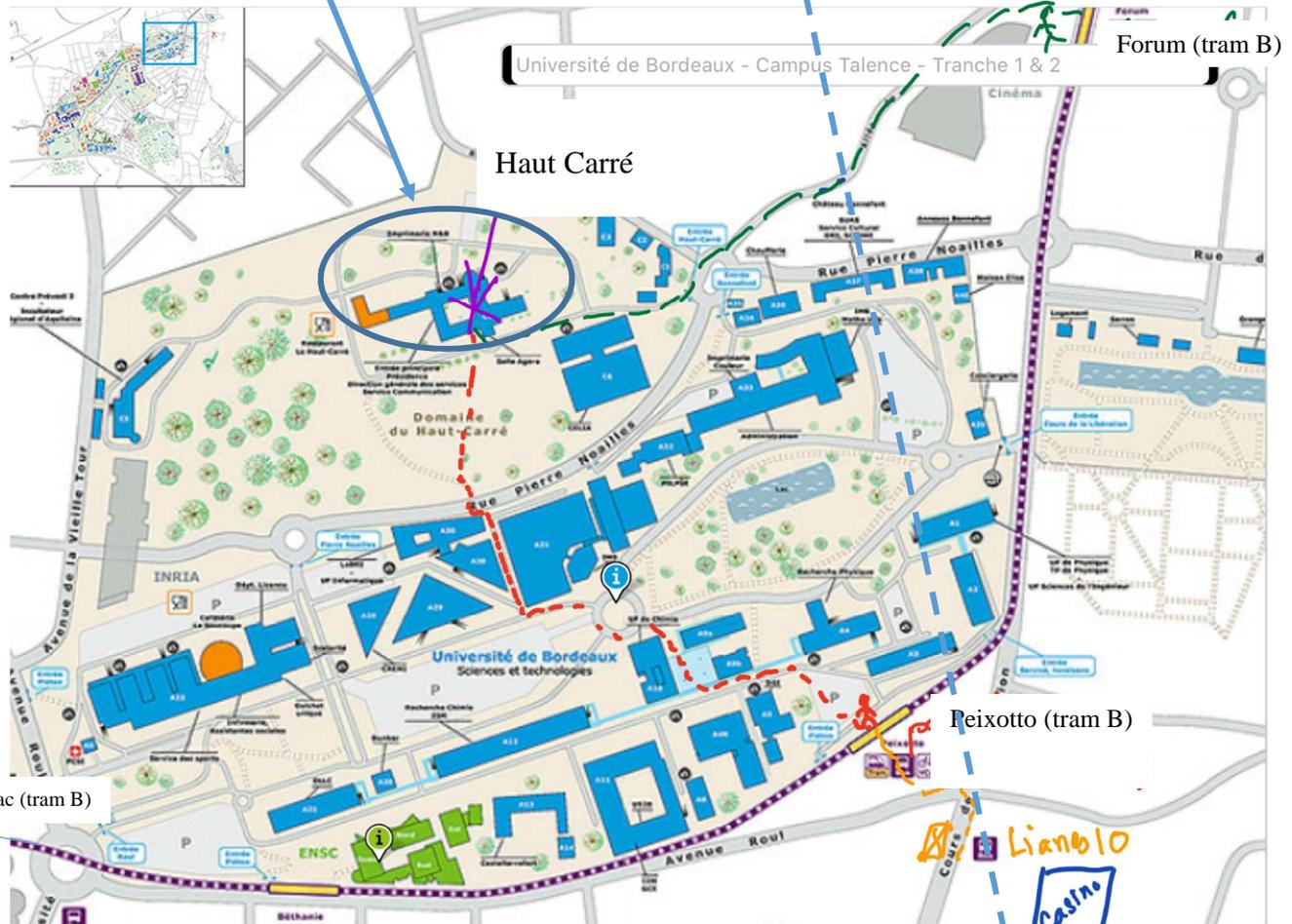
## INFORMATIONS DIVERSES

### Haut Carré (lieu colloque)

Bâtiment [C4] -43 rue Pierre Noailles

33400 TALENCE- Tram B : arrêt FORUM (ou Peixotto - bus 10-21)

↑ Vers Bordeaux (tram B)

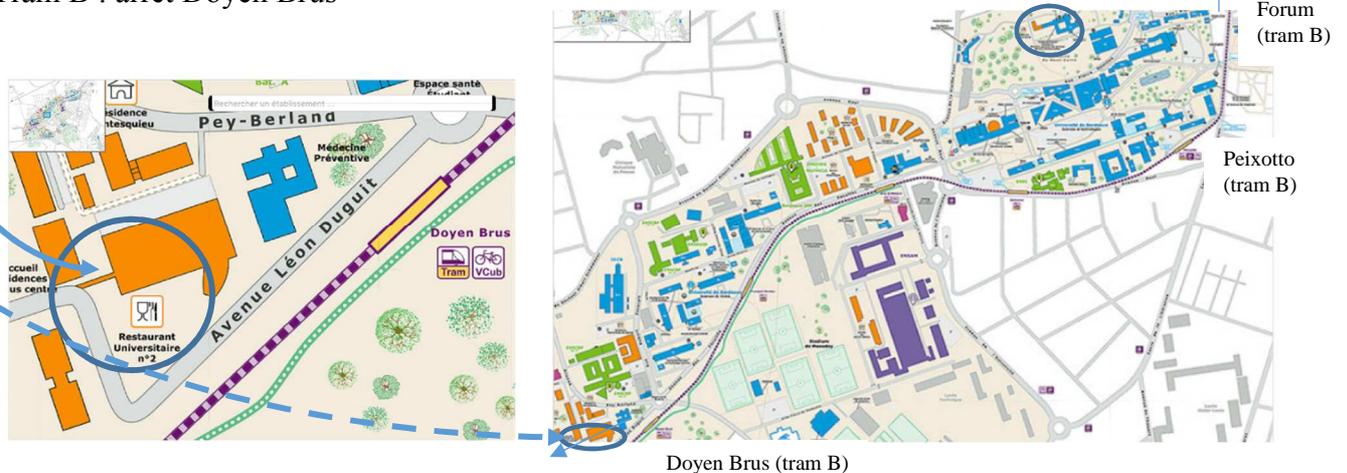


### Repas de Gala : la passerelle - Restaurant universitaire n°2

Domaine universitaire - 33608 PESSAC (Entrée : avenue Léon Duguit)

Tram B : arrêt Doyen Brus

↑ Vers Bordeaux (tram B)



Vers Pessac (tram B)

## DESCRIPTIFS DES SPONSORS ET SOUTIENS

Le GDR 3544 sciences du bois est soutenu principalement par le CNRS (<http://www.cnrs.fr/>), et le Ministère MCC (<http://www.culturecommunication.gouv.fr/>) ainsi que par l'INRA (<http://institut.inra.fr/>). Des soutiens financiers supplémentaires ont permis l'organisation de ces journées 2016 dont les descriptifs sont donnés ci-dessous. Hormis ces soutiens, les laboratoires qui ont contribué à l'organisation ont mis à disposition du personnel. Des missions de conférenciers invités ou de participants ont aussi été prises en charge par Xyloforest via le plateau Xylomat (<http://www.xyloforest.org/Equipex/Plateaux/Xylomat-produits-composites-a-base-de-bois/r108.html>), Bordeaux Sciences Agro (<http://agro-bordeaux.fr/>), le pôle de compétitivité Xylofutur (<http://xylofutur.fr/>) et l'Université Laval (<http://www2.ulaval.ca/>).

### Laboratoire I2M (<http://i2m.u-bordeaux.fr/>)



Le Laboratoire « Institut de Mécanique et d'Ingénierie – Bordeaux » (I2M, CNRS UMR 5295) a été créé le 1er janvier 2011, sous l'impulsion conjointe du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, du CNRS et des tutelles locales et nationales. En outre elle a un statut d'Unité Sous Contrat (USC) avec [l'INRA \(Dpt CEPIA\)](#).

L'I2M est le résultat de la fusion-recomposition profonde de trois UMR (*ex-UMRs CNRS : LMP, TREFLE, US2B*); et de 3 EA (*ex-EAs : LAMEFIP, LGM2B, GHYMAC*) rassemblant la quasi-totalité des personnels sur le site bordelais relevant des CNU 60 et 62 et des sections CNRS 9 et 10. Ainsi tout le spectre de la Mécanique au sens large, puisqu'allant de la Mécanique des Solides et des Systèmes, de la Mécanique des Fluides et les Transferts, au Génie Civil, au Génie Mécanique et au Génie des Procédés est couvert. La mise en place du Projet scientifique de l'I2M s'est traduite par la création de 6 Départements par recombinaison profonde des anciennes entités: dont le département « GCE » autour du Génie Civil Environnemental des Structures et Milieux Naturels, regroupant les membres de l'ex LRBB/US2B (Laboratoire de rhéologie du bois de Bordeaux). Un des axes transversal de l'I2M est consacré à l'ingénierie bois."

### IUT de Génie Civil de Bordeaux (<http://www.iut.u-bordeaux.fr/gc/wp/>)



Le département Génie Civil – Construction Durable de l'IUT de Bordeaux compte environ 350 étudiants préparant des diplômes de techniciens (DUT et Licences Professionnelles) dans divers domaines d'activité du BTP. Les diplômes délivrés par l'IUT sont exclusivement de nature professionnalisante et s'appuient sur une implication forte des entreprises du BTP : interventions devant les étudiants, accueil en stage ou sous contrat d'alternance, accompagnement dans les projets de fin d'études (DUT) et mémoires professionnels (LPROs), etc.

Ces liens étroits avec le monde socio-économique du BTP assurent une bonne insertion des diplômés et une adaptation continuelle des contenus pédagogiques aux besoins nouveaux des entreprises ainsi qu'à l'évolution des publics étudiants.

## Université de Bordeaux (<https://www.u-bordeaux.fr/>)



Créée par décret le 3 septembre 2013, quelque 573 ans après sa création originelle en 1441, l'université de Bordeaux retrouve son unité. La recherche à l'université de Bordeaux est organisée en 3 grands départements : biologie-santé, sciences et technologies et sciences humaines et sociales. Ils rassemblent les laboratoires de recherche de l'établissement, dont la majorité sont des unités mixtes, en co-tutelle avec les établissements publics à caractère scientifique et technologique (CNRS, Inserm, Inra, Inria, etc.).

L'université de Bordeaux est composée de différents campus dont le campus de Talence Pessac Gradignan, situé à 5 km au sud-ouest du centre de Bordeaux.

Chiffres clés:

- + de 4 000 enseignants et chercheurs (université de Bordeaux et organismes de recherche : CNRS, Inserm, Inra, Inria, CEA, Irstea, Ifremer...) + de 800 chercheurs internationaux
- 1 900 doctorants > 8 écoles doctorales > 465 thèses soutenues par an (hors santé)
- + de 50 disciplines scientifiques
- 70 laboratoires dont 70 % labellisés par les organismes de recherche
- 150 projets européens de recherche
- 230 familles de brevets déposées
- 7<sup>e</sup> université française au classement « *Best universities in Europe 2016* », Times Higher Education
- 20 prix scientifiques nationaux et internationaux en 2014 et 2015
- 8 écoles d'été internationales

## Région Nouvelle Aquitaine (<https://www.nouvelle-aquitaine.fr/>)



La Nouvelle-Aquitaine bénéficie de ressources importantes pour faire rayonner son offre universitaire en Europe et à l'international et être une région phare de l'innovation et de l'économie de la connaissance.

1. Structurer la Recherche et favoriser son rapprochement avec les entreprises
2. Accompagner le développement de thématiques scientifiques régionales d'excellence
3. Favoriser la réussite et l'épanouissement de chacun grâce à des conditions d'étude optimale
4. Renforcer l'internationalisation et créer un espace transfrontalier dans le cadre de l'Eurorégion
5. Un cadre stratégique : le Schéma Régional de l'Enseignement Supérieur et de l'Innovation

Chiffres clés :

- **6 pôles universitaires** : La Rochelle, Poitiers, Limoges, Bordeaux, Bordeaux-Montaigne, Pau et pays de l'Adour
- **23 écoles supérieures** dont 15 écoles d'ingénieurs, 6 écoles de commerce et 2 grandes écoles : l'IEP (Institut d'étude politique) et l'ENM (Ecole nationale de la magistrature)
- **180 000 étudiants**
- **66 projets retenus** au titre des Investissement d'Avenir (1<sup>re</sup> vague)
- **+ de 17 000 chercheurs**

## AUGC – Association Universitaire de Génie Civil (<http://www.augc.asso.fr/>)



Fondée en 1981, l'AUGC a pour mission de développer et de promouvoir l'enseignement (formation initiale, continue, 3<sup>ème</sup> cycle) et la recherche dans le domaine du Génie Civil et dans les établissements d'enseignement supérieur relevant du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

Elle établit des liaisons avec les autres groupements ou associations qui participent au développement du Génie Civil et de ses spécialités, facilite la coopération internationale, identifie les débouchées professionnelles des diplômés et stimule les contacts entre ses membres.

L'AUGC représente la communauté des Universitaires auprès des différents partenaires du secteur large du Génie Civil.

## Agence Universitaire de la Francophonie (<https://www.auf.org/>)



L'Agence universitaire de la Francophonie (AUF) est une association internationale. Elle regroupe des universités, grandes écoles, réseaux universitaires et centres de recherche scientifique utilisant la langue française dans le monde entier.

Avec un réseau de 817 adhérents dans 106 pays, elle est l'une des plus importantes associations d'institutions d'enseignement supérieur et de recherche au monde. Elle est également l'opérateur pour l'enseignement supérieur et la recherche du Sommet de la Francophonie. À ce titre elle met en œuvre, dans son champ de compétences, les résolutions adoptées par la Conférence des chefs d'État et de gouvernement des pays ayant le français en partage

Sa mission : agir pour soutenir un espace scientifique d'excellence au service du développement des sociétés. Consciente des enjeux du savoir universitaire et de leur impact sur le développement des sociétés, l'AUF intervient depuis plus de cinquante ans auprès des acteurs universitaires francophones à travers le monde. Elle soutient un enseignement de qualité accessible à tous, partout dans le monde. C'est pour la francophonie universitaire un enjeu majeur en termes de rayonnement international ; c'est une nécessité pour le développement des sociétés. Son action est triple :

- Elle fédère la coopération universitaire francophone mondiale.
- Elle accompagne les institutions universitaires et leurs acteurs.
- Elle s'engage sur la scène internationale.

## Gascogne – Division Bois (<http://www.gascognebois.com/en/home/>)



*Technologie, Ecologie, Tendances*

Alliant esthétique et performances, tous nos produits sont reconnus pour leur fiabilité et leur qualité. Précurseur en matière de certification forestière et de traçabilité des produits, Gascogne Bois est un acteur historique du développement durable de la filière bois en Aquitaine. Ainsi, la grande majorité de nos produits est transformée en France dans le respect des normes environnementales en vigueur.

La compétitivité de Gascogne Bois repose notamment sur la R&D. Elle permet l'innovation via la recherche de nouveaux produits et l'amélioration des process industriels. Notre cellule RD2I allie compétences et outils techniques pour dessiner les produits répondant aux tendances de demain et saisir les opportunités.



Pour des extérieurs remarquables et remarqués, Hylor® sublime l'essence du bois avec une sélection de bardages et terrasses.



Faites le plein d'inspiration avec Imberty® : des parements bois et parquets massifs haut de gamme, empreint d'authenticité pour une touche de chaleur dans votre maison

## SMURFIT KAPPA (<http://www.smurfitkappa.com/>)



Smurfit Kappa est une entreprise majeure de la Nouvelle Aquitaine au cœur d'une économie circulaire centrée autour d'une matière première renouvelable (le bois) et de la valorisation de l'ensemble de la chaîne de valeur, de l'arbre au papier en passant par la chimie verte.

Adossé à Smurfit Kappa Cellulose du Pin (SKCP) basée à Biganos en Gironde, Smurfit Kappa Comptoir du Pin (SKCDP) assure l'approvisionnement en bois certifiés (FSC/PEFC) de cette unité ainsi que de la centrale biomasse Dalkia implantée sur le même site.

SKCP est le premier producteur français de papier kraft pour emballage et fabrique des produits recyclables et aptes au contact alimentaire pour le marché du packaging européen. Présente sur le territoire depuis près de 90 ans, elle fait partie du patrimoine industriel régional, et développe son activité autour d'un plan d'investissement ambitieux.

**FINSA Solutions bois, Innovateurs par tradition** (<http://www.finsa.com/>)



Pionnière dans la fabrication de tableaux en bois aggloméré et en MDF dans la péninsule Ibérique, Finsa a vu le jour en 1931 dans une scierie de Portanxil (Ames). Quelques années plus tard, en 1937, D. Manuel García Cambón a transformé le projet en entreprise, devenue FINANCIERA MADERERA S.A. en 1946.

Dès le commencement, nous avons pris conscience de la responsabilité qui nous incombait du fait d'utiliser le bois comme matière de base pour transformer et développer des solutions. Nous avons appris de lui et avons incorporé à notre organisation nombreux de ses atouts : sa flexibilité, sa solidité, sa proximité émotionnelle, son confort et la qualité qu'il apportait à la société. Nous avons toujours avancé dans la même direction et aujourd'hui, notre large gamme commerciale est présente dans la vie quotidienne des personnes, comme une partie intégrante de leur environnement qu'elles affectionnent particulièrement.



Nous n'avons jamais perdu de vue nos origines et nous avons évolué sans jamais oublier l'aspect durable de notre activité et de notre matière première. Grâce à cette attitude, Finsa a su gagner le respect de la société et des principaux marchés dans lesquels elle est présente.

Nous vous invitons à vous rapprocher de FINSA, à découvrir les produits que nous mettons à votre disposition et à constater du sens des responsabilités dont fait preuve Finsa tout au long du processus.

**CODEFA, Comité de Développement Forêt Bois Aquitaine** (<http://www.codefa.fr/>)



Le CODEFA est un comité opérationnel qui a vocation à rassembler et de fédérer les acteurs de la filière forêt-bois autour d'un programme d'actions ayant pour objectif le développement des activités et des emplois en région.

Le CODEFA a été créé en 2012 par l'ONF, les Communes Forestières, Alliance Forêt Bois, la FIBA, la CAPEB et la FFB. Le CODEFA permet ainsi de mettre en œuvre ou de soutenir des actions de promotion et de développement sur des thèmes qui vont des ressources forestières à la valorisation des produits de la filière. Le CODEFA est membre du réseau des interprofessions régionales : France Bois Régions (FBR). Ainsi, il participe à l'action "*Prescription bois*", portée par France Bois Régions, soutenu par France Bois Forêt, dont la mission est de promouvoir l'utilisation du bois dans la construction sur le territoire français.

Le prescripteur bois accompagne les maîtres d'ouvrage dans leur projet de construction ou de réhabilitation bois, en répondant à leurs questions sur le matériau bois, en leur présentant des retours d'expériences en accord avec leur projet et en les mettant en relation avec un réseau de professionnels compétents.