



**HAL**  
open science

# Etude fonctionnelle des facteurs de transcription impliqués dans la formation du bois de tension chez le peuplier

Wassim Lakhhal

► **To cite this version:**

Wassim Lakhhal. Etude fonctionnelle des facteurs de transcription impliqués dans la formation du bois de tension chez le peuplier. 1. Journées scientifiques du GDR 3544 “ Sciences du Bois ”, Nov 2012, Montpellier, France. 2012, Actes des 1ères journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois Thème: Les axes thématiques en Sciences du Bois. hal-02744897

**HAL Id: hal-02744897**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02744897v1>**

Submitted on 3 Jun 2020

**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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License



# Actes des 1ères journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois

Joseph Gril, Remy Marchal

► **To cite this version:**

Joseph Gril, Remy Marchal. Actes des 1ères journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois. 1ères journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois, Nov 2012, Montpellier, France. Volume 1, 2012, Journées Annuelles du GDR 3544 Sciences du Bois, <<http://www6.inra.fr/gdr-sciences-du-bois/Les-manifestations-du-GDR/2012>>. <hal-01295751>

**HAL Id: hal-01295751**

**<https://hal-enpc.archives-ouvertes.fr/hal-01295751>**

Submitted on 31 Mar 2016

**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.

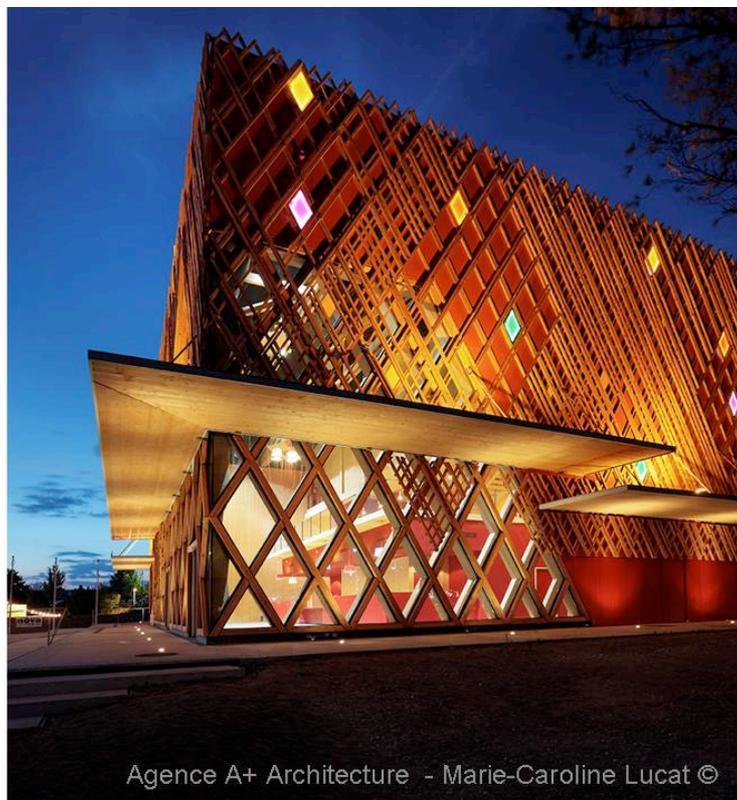


GDR 3544  
Sciences du Bois



## Actes des 1<sup>ères</sup> journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois

*Thème : Les axes thématiques en Sciences du Bois*



Agence A+ Architecture - Marie-Caroline Lucat ©

**26-28 Novembre 2012**  
**CIRAD, Montpellier, France**

**Manifestation :** 1<sup>ères</sup> journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois, Montpellier, Nov. 2012

**Collection :** Journées annuelles du GDR 3544 sciences du bois, Volume 1, 2012

**Coordination et édition des actes :** Joseph GRIL (LMGC Montpellier), Rémy MARCHAL (BioWooEB CIRAD Montpellier)



## SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	3
EDITORIAL.....	4
PARTENAIRES .....	6
COMITES .....	7
PROGRAMME.....	8
RESUMES.....	10
PARTICIPANTS.....	101

## EDITORIAL

Le **Groupement de Recherche en Sciences du bois** (GDR 3544 « Bois ») a été créé en 2012 par le CNRS. La mission du 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, 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 et de favoriser la participation des jeunes chercheurs (doctorants ou post-doctorants). Dans l'esprit du GDR, 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 premières journées scientifiques** ont été organisées par les laboratoires LMGC et BioWooEB CIRAD à Montpellier et comprenaient :

- une session d'1h30 consacrée à un hommage à Patrick Castéra, ancien directeur de l'US2B de Bordeaux récemment décédé, et auquel nous devons l'impulsion initiale ayant abouti au démarrage de ce GDR.

- des sessions « enjeux » d'1h30 consacrées aux enjeux transversaux (relations internationales, formation, partage des ressources) sous forme d'exposé introductif d'information suivi d'un échange libre (table ronde et débats).

- 4 sessions « exposés scientifiques » de 3h selon une logique « filière » reprenant des **axes thématiques en sciences du bois** avec 1h de présentations orales par des chercheurs confirmés, visant à évoquer les enjeux, verrous scientifiques et priorités de recherche associés, 1h d'exposés « flash » de 2' associés à des posters visant à présenter des travaux en cours et 1h de pause et session poster qui permettent d'échanger entre seniors et juniors. Les meilleurs posters ont été primés (prix du meilleur poster ou le plus original).

Par ailleurs des visites des laboratoires ont été proposées aux participants qui le souhaitaient, et une soirée conviviale a été organisée à la Brasserie du Corum.

Merci aux personnels des laboratoires qui se sont mobilisés pour accueillir cette manifestation.

Les actes de ces journées rassemblent les résumés des participants aux journées annuelles 2012.

Joseph GRIL

Directeur du GDR 3544 Sciences du bois

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



### Laboratoires hôtes (lieu et contact)

Lieu : Amphithéâtre du CIRAD, Avenue Agropolis, 34090 Montpellier.

UR BioWooEB<sup>1</sup> CIRAD Montpellier (Rémy Marchal, Catherine Méjean)

Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (LMGC), CNRS, Université Montpellier 2 (Joseph Gril)

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

Photographie nocturne du Théâtre Jean-Claude Carrière, Montpellier réalisée pour l'agence A+ Architecture par Marie-Caroline Lucat.

### Remarque :

Version pour les actes des journées annuelles 2012 déposés dans la collection HAL « sciences du bois » : <https://hal.archives-ouvertes.fr/BOIS/>.

Date d'édition : Mars 2016 – Auteur : Sabine Caré, Navier Champs-sur-Marne -

---

<sup>1</sup> L'Unité de Recherche (UR) « Biomasse, Bois, Energie, Bioproduits » (UR BioWooEB, acronyme issu de son intitulé anglais « Biomass, Wood, Energy, Bioproducts ») résulte de la fusion au 1<sup>er</sup> février 2013 des UR « Production et valorisation des bois tropicaux et méditerranéens » et « Biomasse énergie » du CIRAD. Les affiliations « BioWooEB » sont données a posteriori pour les participants à ces journées en remplacement du nom « BMLT » qui était utilisé en novembre 2012.

## PARTENAIRES

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



## COMITES

### Comité d'organisation (Coordinatrice: Catherine Méjean BioWooEB)

Nom	Laboratoire	Ville
Chalon Isabelle	BioWooEB	Montpellier
Gérard Jean	BioWooEB	Montpellier
Gril Joseph	LMGC	Montpellier
Marchal Rémy	BioWooEB	Montpellier
Mejean Catherine	BioWooEB	Montpellier
Romano Chantal	LMGC	Montpellier

### Comité scientifique (comité scientifique de pilotage du GDR)

Nom	Laboratoire	Ville
Belloncle Christophe	ESB	Nantes
Bléron Laurent	Lermab	Epinal
Caré Sabine	Navier	Champs-sur-Marne
Charrier Bertrand	Iprem	Pau
Coureau Jean-Luc	I2M	Bordeaux
Dubois Frédéric	GEMH	Egletons
Fournier Meriem	Lerfob	Nancy
Gérardin Philippe	Lermab	Vandoeuvre
Grelier Stéphane	LCPO	Bordeaux
Gril Joseph	LMGC	Montpellier
Marchal Rémy	BioWooEB	Montpellier
Maurin Emmanuel	LRMH	Champs
Perré Patrick	LGPM	Chatenay-Malabry
Roekel-Drevet Patricia	Piaf	Clermont
Rouger Frédéric	FCBA	Bordeaux
Théry-Parisot Isabelle	Cepam	Nice
Thévenon Marie-France	BioWooEB	Montpellier

## PROGRAMME

### Lundi 26/11/2012

09h30-12h00 Accueil, accrochage des posters, visites optionnelles de laboratoires  
13h30-14h00 Ouverture, présentation du GDR : J. Gril (LMGC Montpellier) et M. Fournier  
14h00-15h00 Session 1 : "**Xylologie**"  
15h00-17h00 Session poster A\*  
17h00-18h30 Débat "Relations internationales"  
18h30-20h00 Réunion du comité de pilotage scientifique puis de Xylomat (au LMGC)  
*Soirée libre*

### Mardi 27/11/2012

08h30-11h30 Session 2 : "**Déterminisme biologique des structures et propriétés**"  
09h30-11h30 Session poster B\*  
11h30-13h00 Débat "Formation"  
13h00-14h30 déjeuner  
14h30-15h30 Session 3 : "**Procédés de transformation et de traitement**"  
15h30-17h00 Session poster C\*  
17h30-19h00 Hommage à Patrick Castéra  
20h30 Dîner à la Brasserie du Corum

### Mercredi 28/11/2012

08h30-09h30 Session 4 : "**Usages du bois**"  
09h30-11h30 Session poster D\*  
11h30-13h00 Débat "Partage des ressources"  
13h00-14h30 déjeuner  
14h30-15h30 Discussion, remise des prix posters et conclusion des Journées  
15h30-16h30 Réunion du comité de pilotage (représentants des équipes)  
16h30-18h30 Visites optionnelles de laboratoires

\* Sessions poster : 1h de présentations flash (= 2min, 2 transparents) suivies d'1h de pause café et échanges devant les posters - Les grilles pour accrocher les posters feront 0.80 ou 1.20 m de large

**Exposés invités et animations des sessions**

no	auteurs	Unité	ville	Rôle ou Titre de l'exposé
	J. Gril	LMGC	Montpellier	<b>Introduction aux journées</b>
	B. Clair	Ecofog	Guyane	<b>Animation de la session "Xylogologie"</b>
1_1	B. Thibaut	LMGC	Montpellier	Xylogologie, un discours sur le BOIS
1_2	Beauchêne	Ecofog	Guyane	Les bois tropicaux de Guyane française
1_3	I. Théry-Parisot	Cepam	Nice	Le bois « archive », des paléoenvironnements à la gestion des ressources depuis la préhistoire
1d0	R. Rouger	FCBA	Bordeaux	<b>Animation du débat "relations internationales"</b>
1d1	J. Van Acker		Gent	Research opportunities in wood science as part of the international framework of forestry, wood industry and nature conservation
	T. Alméras	LMGC	Montpellier	<b>Animation de la session "Déterminisme biologique des structures et propriétés"</b>
2_1	G. Pilate	AGPF	Orléans	Déterminisme biologique des structures et propriétés
2_2	C. Rathgeber, H. Cuny, M. Fournier, <u>F. Colin</u>	Lerfob	Nancy	Dynamique intra-annuelle de la formation du bois des conifères. Avancées récentes & perspectives
2d0	P. Gérardin	Lermab	Nancy	<b>Animation du débat "formation"</b>
	M.-F. Thévenon	BioWooEB	Montpellier	<b>Animation de la session "Procédés de transformation et de traitement"</b>
3_2	P. Gérardin	Lermab	Nancy	Protection du matériau bois : état de l'art, challenges et opportunités
3_1	<u>R. Marchal</u> , D. Pioch, J.-M. Commandré	BioWooEB	Montpellier	Déconstruction de l'arbre - usinage
	P. Morlier	Xylofutur	Bordeaux	<b>Hommage à Patrick Castéra</b>
3d1	<u>C. Délisee</u> , P. Castéra, J. Malvestio	I2M	Bordeaux	Relations structure-propriétés des matériaux composites à base de bois
3d2	R. Pommier	I2M	Bordeaux	Le projet 'Above' (aboutage bois vert)
	N. Amusant	Ecofog	Guyane	<b>Animation de la session "Usages du bois"</b>
4_1	L. Bléron	Lermab	Epinal	Construction bois : enjeux et verrous, sur quoi devrait-on focaliser les efforts de recherche ?
4_3	E. Maurin	LRMH	Champs	Conservation des bois utilisés dans le patrimoine et sciences du bois
4_3	L. Van de Steen	BioWooEB	Montpellier	Valorisation thermochimique de la biomasse ligno-cellulosique
4d0	B. Charrier	Ipem	Pau	<b>Animation du débat "Partage des ressources"</b>
	M. Fournier	Lerfob	Nancy	<b>Remise des prix poster et conclusion des journées</b>

## RESUMES<sup>2</sup>

*Les résumés des posters sont classés selon l'ordre de passage dans les sessions de flash-talks.*

### Posters primés

**Prix du meilleur poster** (qualité scientifique sur le fond, pertinence du sujet et qualité sur la forme) :

Poster A18 - **A. Lavalette** - I2M, Bordeaux - Choix des paramètres de collage d'un contreplaqué destiné à la fabrication de coques de bateaux eco-conçus

Poster B02 - **L. Martin** - Piaf, Clermont-Ferrand - Acclimatation des arbres aux déformations dues au vent : du gène à la structure de la tige

Poster C18 - **J. Colmars** - LRRMM, Paris - Pré-contraintes de fabrication dans les instruments de musique en bois

Poster D04 - **F. Saulnier** - IP, Clermont-Ferrand - Application d'un traitement par fluoruration à de la farine de bois pour la mise en oeuvre de matériaux composites

**Prix du poster le plus original** (posters « coup de cœur » pour un ou plusieurs critères, incluant l'accroche du flashtalk) :

Poster A09 - **L. Liottier** - Cepam, Nice - Etude anthracologique de la Grotte sanctuaire du Rajal del Gorp, Millau – Aveyron (- IVème s. au 1er ap. J.C.)

Poster B12 - **K.N. Segla** - BioWooEB, Montpellier - Influence des conditions écologiques sur la qualité technologique de *Pterocarpus erinaceus* Poir. du Togo

Poster C05 - **A. Dupleix** - Labomap, Cluny - Faisabilité de la coupe du bois vert par déroulage assisté par chauffe infrarouge

Poster D09 - **J. Jover** - Cran, Epinal - Contribution à la réduction des pertes d'informations dans l'industrie du bois

### Session A

no	auteurs	Unité	ville	Titre de la présentation "flash" + poster
A01	S. Paradis, D. Guibal, M. Vernay, J. Beauchêne, L. Brancheriau, I. Châlon, C. Daigremont, P. Détienne, D. Fouquet, P. Langbour, S. Lotte, C. Méjean, MF. Thévenon, A. Thibaut, J. Gérard	BioWooEB	Montpellier	Tropix : les caractéristiques technologiques de 245 essences tropicales et tempérées
A02	M. Roohnia	BioWooEB	Montpellier	Vibration techniques in non-destructive testing of wood
A03	A. Arciniegas Mosquera	LMA	Marseille	Applications des ultrasons à l'imagerie des arbres sur pied

<sup>2</sup> Version de février 2013

A04	<u>R. Longo</u> , D. Laux , O. Arnould, T. Delaunay, S. Pagano, E. Le Clezio	IES	Montpellier	Spectroscopie ultrasonore résonante; application à un matériau biologique : le bois
A05	<u>C. Montero</u> , M. Burghammer	ID13	Grenoble	Une lumière pour les sciences du bois
A06	A. Gronvold, T. Almeras, C. Montero, B. Clair	LMGC	Montpellier	Etude multi-échelle du comportement élastique du bois a différents taux d'humidité
A07	<u>O. Arnould</u> , B. Clair, T. Alméras	LMGC	Montpellier	Caractérisation (nano)mécanique des parois cellulaires du bois à différents stades de leur maturation
A08	<u>A. Dufraisse</u> , R. Cornette, S. Coubray, J.L. Dupouey, M.S. Garcia-Martinez, O. Girardclos, M. Lemoine, N. Nocus, C. Rathgeber	AASPE	Paris	DENDRAC - Développements de nouveaux outils applicables à l'étude des charbons de bois
A09	L. Liottier	Cepam	Nice	Etude anthracologique de la Grotte sanctuaire du Rajal del Gorp, Millau – Aveyron (- IVème s. au 1er ap. J.C.)
A10	<u>A. Henry</u> , I. Théry-Parisot	Cepam	Nice	Quels modèles pour l'étude de la gestion des combustibles au Mésolithique?
A12	N. Saedlou	XyloTREE	Saintes	Utilisation du bois (chêne, if, et frêne) à la fin de l'âge du fer à travers l'étude d'un site exceptionnel : Trégueux (Côte d'Armor). Transformation et stockage des aliments
A13	<u>G. Brkojewitsch</u> , <u>S. Sedlbauer</u>	PAP-MM	Metz	La mise en œuvre du bois dans l'architecture au bas Moyen-âge : le cas du canal de dérivation d'eau découvert place Mazelle à Metz (Moselle, fouille préventive)
A14	<u>V. Bellavia</u> , M. Gazenbeek, J. Wiethold	Inrap-GEN	Metz	La cuisine d'une maison de maître du Haut Empire à Grand (Vosges). Utilisation du bois pour la combustion domestique et macrorestes végétaux
A15	C. Grazide	I2M	Bordeaux	Influence des hétérogénéités sur la résistance en flexion du bois de structure
A16	<u>R. Oum Lissouck</u> , R. Pommier, D. Breyse, L.M. Ayina Ohandja	I2M	Bordeaux	Ingénierie du bois comme outil de conservation de la diversité des essences ligneuses des forêts tropicales : cas du bassin du Congo
A17	G. Cueff	I2M	Bordeaux	Étude du comportement thermomécanique de matériaux cellulosiques : application à la résistance au feu d'un bloc-porte
A18	<u>A. Lavalette</u> , R. Pommier, M. Danis, C. Délisée	I2M	Bordeaux	Choix des paramètres de collage d'un contreplaqué destiné à la fabrication de coques de bateaux éco-conçus
A19	<u>J.J. Randrianarimanana</u> , T. Ramananantoandro, R. Pommier	I2M	Bordeaux	Etude de faisabilité de production de charbon à partir du bambou en vue de la lutte contre la déforestation

**Session B**

no	auteurs	Unité	ville	Titre de la présentation "flash" + poster
B01	<u>N. Goué</u> , E. Badel, T.S. Barigah, H. Cochard	Piaf	Clermont	Déterminismes biophysiques et moléculaires de la vulnérabilité à l'embolie chez le peuplier
B02	<u>L. Martin</u> , E. Badel, N. Leblanc-Fournier, M. Decourteix, C. Lenne, C. Coutand, B. Moulia, J.L Julien	Piaf	Clermont	Acclimatation des arbres aux déformations dues au vent : du gène à la structure de la tige
B03	W. Lakhali	AGPF	Orléans	Etude fonctionnelle des facteurs de transcription impliqués dans la formation du bois de tension chez le peuplier
B04	<u>G. Costa</u> , S. Lhernould, V. Gloaguen	LCSN	Limoges	Modifications glucidiques des polysaccharides pariétaux
B05	J. Ruelle	Lerfob	Nancy	Le Plateau Xyloscience
B06	M. Boudouaya	Lerfob	Nancy	Analyse microdensitométrique et physique du bois de <i>Pistacia atlantica</i> Desf.
B07	N. Bilot	Lerfob	Nancy	Comment raisonner la durabilité et la performance des systèmes de production de biomasse forestière pour l'énergie?
B08	J.B. Morisset, F. Mothe, F. Longuetaud, <u>F. Colin</u>	Lerfob	Nancy	La tomographie à rayons X : un outil prometteur d'étude du matériau bois
B09	<u>D. Bourreau</u> , Y. Aimene, J. Beauchêne, B. Thibaut	Lerfob	Nancy	Feasibility of glue laminated timber beams with neo-tropical hardwoods
B10	C.G. Makouanzi Ekomono	Agap	Montpellier	Relation composition chimique du bois et croissance des eucalyptus hybrides. Implications dans la sélection
B11	C. Arnaud	Amap	Montpellier	Mise en relation des cernes intra-annuels et du polycyclisme chez <i>Pinus brutia</i> Ten
B12	<u>K.N. Segla</u> , A.D. Kokutse, K. Kouami, D. Guibal, G. Chaix, P. Langbour	BioWooEB	Montpellier	Influence des conditions écologiques sur la qualité technologique de <i>Pterocarpus erinaceus</i> Poir. du Togo
B13	<u>S. Palu</u> , D. Pioch, A. Amor, S. Suchat, E. Tardan	BioWooEB	Montpellier	Un latex venu du désert: comment satisfaire la demande de caoutchouc naturel en développant de la biomasse
B14	N. Garcin, <u>L. Martin</u> , N. Amusant	BioWooEB	Montpellier	Projet Anib@rosa : fournir les bases pour une gestion durable du bois de rose en Guyane
B16	<u>I. Olmedo</u> , F. Bourrier, D. Bertrand, F. Berger, A. Limam	EMGR	Grenoble	Etude expérimentale et numérique de l'efficacité d'ouvrages ligneux de génie biologique pare-pierre
B17	<u>A. Hakam</u> , M. Magne Takam, M. Chokairi	U. Mohammed V	Rabat	Effet du démasclage sur l'impédance électrique des feuilles de chêne liège ( <i>Quercus suber</i> L.)

B18	S. Amirou, I. Haddadou, A. Zerizer	MPE	Boumerdès	Contribution à l'étude de quelques propriétés physique et mécaniques du bois de palmier dattier - Cas de la palmeraie de Tolga (Biskra, Sud Algérien)
B19	I. Haddadou, S. Amirou, P.F. Bonvin, A. Zerizer	MPE	Boumerdès	Etude comparative de quelques caractéristiques chimiques physiques et mécaniques du bois de deux espèces de chêne (Q. canariensis et Q. afares)
B20	J. Bossu, B. Clair, J. Beauchêne, M. Fournier	Ecofog	Guyane	Structure et propriétés des bois paradoxaux de forte densité mais à croissance rapide. Application à la gestion de l'exploitation des forêts tropicales humides en Guyane

### Session C

no	auteurs	Unité	ville	Titre de la présentation "flash" + poster
C01	H. Saad, F. Charrier-El Bouhtoury, A. Pizzi, K. Rode, B. Charrier, N. Ayed	Ipren	Pau	Caractérisation d'extraits de tanins d'écorces de grenade provenant de Tunisie. Utilisation potentielle dans la formulation d'adhésifs
C02	C. Motillon, A. Allal, F. Charrier, B. Charrier	Ipren	Pau	Elaboration et caractérisation de colles à bois bio-sourcées, en vue d'une utilisation industrielle
C03	L. Chupin, F. Charrier-El Bouhtoury, A. Allal, B. Charrier	Ipren	Pau	Etude de performances de colles naturelles, à base de tanins et de lignines
C04	M. Chemin, A.-L. Wirotius, F. Ham-Pichavant, D. Da Silva-Perez, M. Petit-Conil, G. Labat, B. Gadenne, C. Alfos, H. Cramail, S. Grelier	LCPO	Bordeaux	Préparation d'oligosaccharides issus de xylanes de hêtre et application en ingénierie macromoléculaire
C05	A. Dupleix	Labomap	Cluny	Faisabilité de la coupe du bois vert par déroulage assisté par chauffe infrarouge
C06	S. Hannouz, R. Collet, L. Bléron, K. Candelier, P. Gérardin	Labomap	Cluny	Caractérisation mécanique de bois de feuillus modifiés thermiquement en vue de leur mise en œuvre
C07	R. Pfeiffer	Labomap	Cluny	Analyse de la fragmentation des plaquettes de bois vert par slabber
C08	F. Pierre, G. Almeida, J. Colin, P. Perré	LGPM	Chatenay	Influence du traitement thermique sur la résilience mécanique du bois
C09	T.A. Nguyen, N. Angellier, S. Care, L. Ulmet, F. Dubois	GEMH	Egletons	Approches expérimentales et numériques pour l'étude des transferts hydriques dans le bois
C10	D. Medjelekh, F. Dubois, L. Ulmet	GEMH	Egletons	Caractérisation multi-échelles du comportement thermo-hydrique des enveloppes hygroscopiques
C11	F. Gouny, F. Fouchal, P. Maillard, S. Rossignol	GEMH	Egletons	Maçonnerie à base de bois et de terre-crue collés par une liant minéral

C12	H. Rafidiarison, E Mougel, R. Rémond	Lermab	Epinal	Caractérisations expérimentales des transferts couples de chaleur et de masse dans les parois en bois
C13	F. Obounou Akong, C. Gérardin, M.F. Thévenon, P. Gérardin	Lermab	Vandoeuvre	Préservation du matériau bois : formulation originale d'actifs hydrosolubles dans un hydrogel thermo-sensible.
C14	K. Candelier, S. Dumarçay, A. Petrisans, P. Gérardin, M. Pétrissans	Lermab	Vandoeuvre	Modifications chimiques du bois traité thermiquement par conduction thermique sous différentes atmosphères inertes : sous vide, sous azote
C15	M.T. Elaieb , R. Marchal, M. Petrisans	Lermab	Vandoeuvre	Essais d'amélioration de l'imprégnabilité à l'eau du duramen de Douglas
C16	Z. Benbrahim , A. Zerizer	MPE	Boumerdès	Elaboration et caractérisation des panneaux de particules à base de bois algérien
C17	J. Beaugrand, S. Dobosz, B. Clair	Fare	Reims	Preparation of Poplar wood plastic reinforced composites: influence of Tension and Normal wood fibers on defibrization and mechanical properties
C18	J. Colmars, C. Clarke, M. Vion, S. Leconte, S. Vaiedelich	LRRMM	Paris	Pré-contraintes de fabrication dans les instruments de musique en bois
C19	J. Graindorge Lamour, D. Jullien, A. Rouard, C. Gauvin, J. Gril	INP	Paris	Aide à la décision à chaque étape de la restauration, comparaison du comportement hygromécanique de deux renforts : deux doublages en balsa
C20	E. Renault, V. Chaleix, C. Calliste, A. Barbat, V. Gloaguen	LCSN	Limoges	Valorisation du bois de châtaignier : Etude de l'influence des modes de délignification et d'extraction sur la structure des composés isolés. Caractérisation de leur activité anti-oxydante

## Session D

no	auteurs	Unité	ville	Titre de la présentation "flash" + poster
D01	G. Pot, C. Coutand, J.-B. Le Cam, E. Toussaint	IP	Clermont	Étude du comportement mécanique du bois vert de peuplier lors d'essais de flexion avec mesure de champs de déplacement par corrélation d'images numériques
D02	E. Fournely, R. Moutou Pitti, A. Bouchair	IP	Clermont	Comportement mécanique des assemblages semi-rigides des poutres treillis en bois
D03	S. Fuentes, E. Fournely, H. Bouchair	IP	Clermont	Structures en bois sous sollicitations sismiques : Incidence de la torsion et de la rigidité des diaphragmes horizontaux
D04	F. Saulnier, M. Dubois, K. Charlet, L. Frezet, A. Beakou	IP	Clermont	Application d'un traitement par fluoration à de la farine de bois pour la mise en oeuvre de matériaux composites
D05	M. Taazount, S.Amziane, R.Moutou-Pitti, D. Molard	IP	Clermont	Structures de planchers mixtes bois-béton léger

D06	<u>O. Saifouni</u> , R. Moutou Pitti, J-F. Destrebecq	IP	Clermont	Un modèle mécanosorptif pour l'évaluation des déformations élastiques en phase de séchage du bois
D07	A. Akkaoui, S. Caré, M. Vandamme	Navier	Champs	Optimisation de bétons végétaux à base de bois sous sollicitations complexes hygromécaniques pour des applications « bâtiment »
D08	S. Caré, M. Bornert, F. Bertrand, N. Lenoir	Navier	Champs	Apport des techniques d'imagerie dans l'analyse du comportement hydro mécanique du bois
D09	J. Jover, V. Bombardier, A. Thomas	Cran	Epinal	Contribution à la réduction des pertes d'informations dans l'industrie du bois
D10	S. Girardon	Cribois	Epinal	Amélioration des performances mécaniques des assemblages bois sur bois chevillés par préparation des interfaces: Application à la réalisation d'éléments de structure
D11	X.Duret, E. Fredon, E. Masson, P. Gérardin	Cribois	Epinal	Préservation du bois à partir d'écorce liquéfiée
D12	D. Lathuillière	Lermab	Epinal	Etude de la compression transversale dans le bois lamellé-collé
D13	J. Viguier	Lermab	Epinal	Classement mécanique de bois à usage structurel
D14	J.-M. Commandre, A. Leboeuf, P. Rousset, <u>K. Lê Thành</u>	BioWooEB	Montpellier	Torréfaction de biomasse : influence de la nature des biomasses sur les produits et leur broyabilité
D15	S. Ghazil, J. Lemaire	ESB	Nantes	Etude comparative des propriétés mécaniques Intrinsèques de deux variétés de Chêne : le Quercus robur L., et le Quercus pubescens Willd
D16	D. Quivilic, A. Bouslamti, <u>C. Belloncle</u> , M. Irle	ESB	Nantes	Extraction chimique de contaminants du bois recyclé: méthode d'optimisation
D17	<u>D. Ludosky</u> , F. Fricoteaux, S. Ghazil, A. Copinet	ESB	Nantes	Facteurs influençant la migration des composés du bois lors d'un contact alimentaire
D18	<u>E. Tikhonova</u> , M. Lecourt, M. Irle	ESB	Nantes	Stratification des panneaux de fibres à base de bois
D19	F. Lanata	ESB	Nantes	Instrumentation de l'extension de l'Ecole Supérieure du Bois et suivi de son comportement à long terme
D20	<u>B. Almecija</u> , V. Bombardier, P. Charpentier	Cran	Epinal	Optimisation matière et flux en scierie par l'instrumentation multi-capteurs du parc à grumes

## Session A

A01 **PARADIS Sébastien** Cirad/BioWooEB (Montpellier) [sebastien.paradis@cirad.fr](mailto:sebastien.paradis@cirad.fr)

### **TROPIX : les caractéristiques technologiques de 245 essences tropicales et tempérées**

S. Paradis, D. Guibal, M. Vernay, J. Beauchêne, L. Brancheriau, I. Châlon, C. Daigremont, P. Détienne, D. Fouquet, P. Langbour, S. Lotte, C. Méjean, MF. Thévenon, A. Thibaut, J. Gérard

*Cirad, UR Production et Valorisation des Bois Tropicaux et Méditerranéens, 73 rue JF Breton, TA B-40/16, 34398 Montpellier Cedex 5*

Développé par l'Unité de Recherche Production et Valorisation des Bois Tropicaux et Méditerranéens du Cirad, Tropix 7 présente les caractéristiques technologiques de 245 essences tropicales et tempérées.

Pour chaque essence, Tropix fournit des informations et données sur : les noms scientifiques, appellations locales et provenances illustrées par une carte détaillée de distribution géographique, toute restriction commerciale listée dans une annexe de la CITES ; l'aspect de la grume et du bois illustrés par des photos du bois et d'exemples de mise en œuvre ; les principales propriétés physiques et mécaniques ; la durabilité naturelle contre les termites/ champignons/insectes et les traitements de préservation ; le comportement des bois durant le séchage, la transformation et la mise en œuvre ; le classement d'aspect des produits sciés et le classement visuel de structure ; les principales utilisations effectives ou potentielles associées à leur niveau de réaction au feu.

Certaines de ces informations peuvent être visualisées sous forme graphique.

Tropix 7 permet également d'effectuer des recherches d'essences à partir de multiples critères ou par similarité à d'autres essences. Il permet aussi des comparaisons entre espèces sous forme de représentation graphique des propriétés physiques et mécaniques.

Les fiches techniques des essences peuvent être imprimées ou exportées en fichier PDF, de même que les listes d'espèces correspondant aux résultats de recherche.

Mots clés : Bois tropicaux; logiciel; base de données; caractéristiques technologiques; utilisations

A02 **ROOHNIA Meran** Cirad/BioWooEB (Montpellier) [mroohnia@gmail.com](mailto:mroohnia@gmail.com)

### **Vibration techniques in non-destructive testing of wood**

Mehran Roohnia

*Agricultural Research Centre for International Development, UPR 40 CIRAD, Production and Processing of Tropical Woods, 34398 Montpellier Cedex 5, France*

Wood as a valuable engineering material has been always considered and tried to be verified in different structural uses. Those verification tests in which no harm or destruction would be occurred to the testing specimens were always preferred. Developments of nondestructive methods were finally transmitted to wood industry as a tool to quality control. Simplified methods using portable and cheaper devices pushed the method to outdoors e.g. forests and exterior wooden structures. Among the cheaper methodologies, the vibration based methods has been one of the most desirable approaches that are introduced in details within this presentation. Longitudinal and flexural free vibrations are older stories, but here the torsional vibration as a relatively newer

approach in wood science (orthotropic elasticity), is discussed after some basics in theories of longitudinal and flexural vibrations.

A03 **ARCINIEGAS MOSQUERA Andres** LMA (Marseille) [arciniegas@lma.cnrs-mrs.fr](mailto:arciniegas@lma.cnrs-mrs.fr)

### **Applications des ultrasons à l'imagerie des arbres sur pied**

A. Arciniegas<sup>a</sup>, L. Brancheriau<sup>b</sup>, P. Gallet<sup>b</sup>, P. Lasaygues<sup>a</sup>

*a. Aix-Marseille Université, CNRS, LMA UPR 7051, Marseille, France.*

*b. PERSYST/DIR, CIRAD, Montpellier, France.*

Le but du projet ARB'UST est de développer un appareil à ultrasons pour l'imagerie paramétrique des arbres sur pied. Le dispositif est conçu pour effectuer à la fois des mesures en transmission et en réflexion, utilisées pour l'imagerie tomographique quantitative. Il permet diverses acquisitions automatiques, car la position angulaire des capteurs peut être ajustée avec précision. L'électronique et la configuration associées permettent notamment la mesure de la vitesse et de l'atténuation des ondes ultrasonores pendant leur propagation à l'intérieur du milieu. Deux expériences de tomographie ont été réalisées sur un échantillon de platane (avant et après le perçage d'un trou) et des tomogrammes ont été calculés par l'algorithme "Layer Stripping".

A04 **LONGO Roberto** IES (Montpellier) [roberto.longo@univ-montp2.fr](mailto:roberto.longo@univ-montp2.fr)

### **Spectroscopie ultrasonore résonante; application à un matériau biologique : le bois** ***Wood elastic characterization from a single sample by resonant ultrasound spectroscopy***

R. Longo<sup>a</sup>, D. Laux<sup>a</sup>, O. Arnould<sup>b</sup>, T. Delaunay<sup>a</sup>, S. Pagano<sup>b</sup>, E. Le Clezio<sup>a</sup>

*a Institut d'Electronique du Sud (IES), Université Montpellier 2, UMR CNRS 5214, CC084 Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier, France*

*b Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (LMGC), Université Montpellier 2, UMR CNRS 5508, CC048 Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier, France*

The goal of this paper is to propose an experimental method allowing the identification of the complete elastic tensor of anisotropic biological materials such as wood using only one sample. To do so, two complementary methods are developed. First, the wood eigen-directions are defined from a sample of spherical shape that is then cut into a cube in a way to perform resonant ultrasound spectroscopy (RUS). The method is successfully applied on a reference beech sample with known orthotropic directions. A comparison of the identified elastic constants with those from the literature and some inferred from ultrasonic transmission measurements is given.

### **Une lumière pour les sciences du bois**

C.Montero and M.Burghammer

*European Synchrotron Radiation Facility, 6 rue Jules Horowitz, 38000 Grenoble*

Dans les dernières décennies, les usages des rayons X à vocations scientifiques sont devenus un excellent outil d'investigation de la matière à l'échelle des atomes et des molécules. Ils ont apportés des avancées majeures dans la connaissance de processus physico-chimiques des matériaux. Les interactions entre des rayons X et les matériaux à hauts niveaux d'intensité et de brillance sont de nos jours disponibles dans les synchrotrons. Les techniques d'adsorption, de diffraction ou encore de fluorescence y sont utilisées en routine pour mettre en évidence l'organisation et les interactions des constituants au sein des matériaux.

L'ESRF (European Synchrotron Radiation Facility) est un organisme de coopération scientifique européenne. La lumière synchrotron extrêmement brillante de l'ESRF ouvre des possibilités inégalées dans l'exploration des biomatériaux d'origine végétale, de protéines, de macromoléculaire, de fossiles ou encore d'objets précieux du patrimoine. L'ESRF reçoit environ 7000 scientifiques chaque année, qui viennent y réaliser les expériences les plus variées.

Des expériences nécessaires à l'identification des relations structures/propriétés à des échelles variées peuvent être réalisées pour l'étude de matériaux cellulosiques in-situ en contrôlant les conditions extérieures de température, de pression, de l'environnement chimique ou encore sous sollicitations mécaniques. Les techniques d'imagerie 2D ou 3D permettent de visualiser la structure externe et interne des matériaux et des phénomènes physiques.

Une présentation du potentiel de ces techniques pour les sciences du bois mises en œuvre à l'ESRF sera réalisée lors de ces journées scientifiques.

### **Etude multi-échelle du comportement élastique du bois a différents taux d'humidité**

Arthur Gronvold<sup>1</sup>, Bruno Clair<sup>1</sup>, Cédric Montero<sup>2</sup>, Tancrede Alméras<sup>1</sup>

*1 Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (LMGC), Université Montpellier 2, CNRS (France)*

*2 European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble (France)*

Le bois est un composite à fibre, dont la paroi cellulaire est composée majoritairement de cellulose enrobée dans une matrice de lignine et hémicelluloses. La majeure partie de la cellulose est cristalline. Son comportement mécanique a été largement étudié, et révèle une très forte rigidité qui semble indépendante du taux d'humidité. Le comportement de la paroi cellulaire dépend largement de la rigidité de la cellulose cristalline, mais aussi de l'organisation de cette dernière dans la paroi, et de ses interactions avec la matrice polymérique. Le but de notre approche micromécanique est de comprendre les relations entre le comportement macroscopique du bois, sa microstructure, les comportements des constituants ainsi que leurs liaisons.

L'état mécanique de la cellulose cristalline peut être apprécié via la technique de Diffraction de Rayons X (DRX) et la mesure de sa lattice. Cette étude tente de déterminer la contribution réelle de la cellulose cristalline au comportement macroscopique du bois, pour différents niveaux de déformation (domaine élastique linéaire et domaine non-linéaire du bois) et de taux d'humidité. Pour ce faire, une flexion 4 points a été effectuée sur des échantillons d'épicéa secs et humides, dans leur direction longitudinale, atteignant un niveau de déformation maximum de 6000µdéf. La

déformation macroscopique a été mesurée par jauges de déformations, pendant que la déformation des cristaux de cellulose était mesurée dans la hauteur de la poutre par DRX.

Les résultats montrent que la déformation des cristaux de cellulose est proportionnelle à la déformation macroscopique dans le domaine élastique linéaire macroscopique du bois. Toutefois, les cristaux de cellulose se déforment moins que le bois. L'ordre de grandeur de cette différence ne peut pas être expliqué par un effet AMF seulement. Il existerait donc une déformation additive à celle de la cellulose cristalline, et linéaire elle aussi avec la déformation macroscopique. Aussi, pour une même déformation macroscopique, la déformation additive augmente avec le taux d'humidité. Plusieurs hypothèses peuvent être formulées sur l'origine de la déformation additive, concordante avec une dépendance au taux d'humidité. Enfin, hors du domaine élastique linéaire du bois, la déformation des cristaux de cellulose atteint un seuil en compression, alors que la déformation macroscopique augmente. Ce phénomène semble commencer à la limite d'élasticité linéaire du bois, qui est donc elle-même aussi dépendante du taux d'humidité. Là encore, plusieurs hypothèses sont envisageables, comme par exemple l'hypothèse d'un flambement de la paroi cellulaire.

A07 **ARNOULD Olivier** LMGCG (Montpellier) olivier.arnould@univ-montp2.fr

### **Caractérisation (nano)mécanique des parois cellulaires du bois à différents stades de leur maturation**

#### ***Nanomechanical characterization of developing wood cell walls at different maturation steps***

Olivier Arnould<sup>1</sup>, Richard Arinero<sup>2</sup>, Bruno Clair<sup>1</sup>, Tancrede Alméras<sup>1</sup>

*1 Laboratoire de Mécanique et Génie Civil, Université de Montpellier 2/CNRS UMR5508 cc 048 – Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier*

*2 Institut d'Electronique du Sud, Université de Montpellier 2/CNRS UMR5214 cc 082 – Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier*

Trees are able to control their trunk and branches orientation by generating tensile longitudinal pre-stress asymmetry at their periphery [Mouliou et al., 2006]. This stress appears in wood cells at the end of their differentiation in the cambial zone in the so-called maturation phase. The origin of this maturation stress generation in tension wood is not yet elucidated and relies on different physico-mechanical modelisations [Yamamoto et al., 2002; Goswami et al., 2008] whose validity strongly depend on the time, including synchronization with stress development, and space evolution of the anisotropic viscoelastic properties of the different layers in the secondary cell wall during their deposition in the maturation phase. No reliable data are available up to day on this chronology. It is usually assumed that these different layers are stiffening at the same time as the pre-stresses appear. Our goal is to measure (as most as possible) mechanical properties evolution along the maturation phase within the different layers to know, for example, if the different layers stiffening is done along their deposition or if it's done simultaneously at the end of all deposits. In an other way, is there a mechanical properties gradient within the cell wall during maturation? The most used characterization techniques at the cell wall scale are based on instrumented nanoindentation [Gindl et al., 2002; Tze et al., 2007]. Unfortunately, the spatial resolution of these methods is not enough to measure neither gradient properties in the cell wall nor mechanical properties of a thin layer. In our case, we used a specific mode of an atomic force microscope, called contact resonance CR-AFM [Clair et al., 2003; Rabe, 2006], in contact mode. A mathematical processing [Arinero et al., 2007] associated with the used of measurement on reference materials allow us to draw semi-quantitative images of the contact average elastic modulus and damping of secondary cell wall layers at different maturation steps.

## Références

- Arinero, R., Lévêque, G., Girard, P. et Ferrandis, J.Y. (2007), Image processing for resonance frequency mapping in atomic force microscopy. *Review of Scientific Instruments*, 78, 6p.
- Clair, B., Arinero, R., Lévêque, G., Ramonda, M. et Thibaut, B. (2003), Imaging the mechanical properties of wood cell wall layers by atomic force modulation microscopy. *IAWA Journal*, 24, pp. 223-230.
- Gindl W., Gupta H.S., Grünwald C. (2002), Lignification of spruce tracheid secondary cell walls related to longitudinal hardness and modulus of elasticity using nano-indentation. *Canadian Journal of Botany*, vol. 80, pp. 1029-1033.
- Goswami L., Dunlop J.W.C., Jungnickl K., Eder M., Gierlinger N., Coutand C., Jeronimidis G. Fratzl, P. et Burgert, I. (2008), Stress generation in the tension wood of poplar is based on the lateral swelling power of the G-layer. *Plant Journal*, vol. 56, pp. 531-538.
- Moulija, B., Coutand, C. et Lenne, C. (2006), Posture control and skeletal mechanical acclimation in terrestrial plants: implications for mechanical modeling of plant architecture. *American journal of botany*, vol. 93, pp. 1477-1489
- Rabe U. (2006), Atomic force acoustic microscopy. In: *Applied Scanning Probe Methods II: Scanning Probe Microscopy Techniques*, Bhushan, B. and Fuchs, H. (Eds), Springer-Verlag, Berlin, 36-90.
- Tze W.T.Y., Wang S., Rials T.G., Pharr G.M. et Kelley S.S. (2007), Nanoindentation of wood cell walls: Continuous stiffness and hardness measurements. *Composites: Part A*, vol. 38, pp. 945-953.
- Yamamoto H., Kojima Y., Okuyama T., Abasolo W.P. et Gril J. (2002), Origin of the biomechanical properties of wood related to the fine structure of the multi-layered cell wall. *Transactions of the ASME*, vol. 124, pp. 432-440.

A08 **DUFRAISSE Alexa**

AASPE (Paris)

[dufraise@mnhn.fr](mailto:dufraise@mnhn.fr)

## **DENDRAC : Développements de nouveaux outils applicables à l'étude des charbons de bois**

Dufraise, A.<sup>1</sup>, Cornette R.<sup>2</sup>, Coubray S.<sup>3</sup>, Dupouey J.L.<sup>4</sup>, Garcia-Martinez M.S.<sup>5</sup>, Girardclos O.<sup>6</sup>, Lemoine M.<sup>1</sup>, Nocus N.<sup>1</sup>, Rathgeber C.<sup>4</sup>

1 CNRS- MnHn, UMR 7209, 55 rue Buffon, 75005 Paris, France  
([dufraise@mnhn.fr](mailto:dufraise@mnhn.fr), [mlemoine@mnhn.fr](mailto:mlemoine@mnhn.fr), [nocus@mnhn.fr](mailto:nocus@mnhn.fr))

2 MnHn, UMR 7205 CNRS-OSEB, 57 rue Cuvier, 75005 Paris, France ([cornette@mnhn.fr](mailto:cornette@mnhn.fr))

3 INRAP, UMR 7209, 55 rue Buffon, 75005 Paris, France ([sylvie.coubray@inrap.fr](mailto:sylvie.coubray@inrap.fr))

4 INRA-Université de Lorraine, UMR 1137, 54280 Champenoux, France ([dupouey@nancy.inra.fr](mailto:dupouey@nancy.inra.fr), [cyrille.rathgeber@nancy.inra.fr](mailto:cyrille.rathgeber@nancy.inra.fr))

5 Universidad de Murcia, Departamento de Prehistoria, C/ Santo Cristo, 1, 30001 Murcia, Espagne  
([msgarmar@um.es](mailto:msgarmar@um.es))

6 CNRS- Université de Franche-Comté, UMR 6249, 16 route de Gray 25030 Besançon cedex, France ([olivier.girardclos@univ-fcomte.fr](mailto:olivier.girardclos@univ-fcomte.fr))

Dans les sites archéologiques, les charbons de bois constituent d'excellents marqueurs des milieux parcourus par l'homme et des formations végétales qui s'y développent. Résidus émanant du bois de feu sélectionné et transporté par l'homme, ils sont aussi le reflet des usages, des techniques et des modes de gestion de l'espace forestier par les sociétés du passé. L'anthracanalyse reste néanmoins le plus souvent réduite à l'identification d'une liste d'essences et de leurs proportions sans que le potentiel d'information contenue dans les cernes du bois ne soit étudié. Ainsi, la reconstitution ne serait-ce que des caractéristiques morphologiques du bois exploité (taille, âge, forme) à partir des charbons de bois archéologiques pose encore aujourd'hui des

problèmes méthodologiques alors qu'il s'agit d'un élément fondamental pour la restitution des modes de sélection du bois, des paramètres environnementaux, populationnels ou encore pour évaluer l'impact des exploitations sur le milieu forestier.

Le principal objectif du programme DENDRAC « Développements d'outils DENdrométriques appliqués à l'anthrACologie : études des relations hommes-ressources-environnements » (Appel d'offre ANR JCJC 2010, resp. A. Dufraisse, site web : <http://dendrac.mnhn.fr>) est de remonter aux caractéristiques dendrométriques de l'arbre et/ou des peuplements exploités à partir de l'étude d'un assemblage anthracologique (matériel fragmenté, carbonisé avec perte de matière lors de la carbonisation et des processus postdépositionnels). Pour cela, nous mettons en place des protocoles d'analyse qui combinent les outils de l'anatomie quantitative, de la morphométrie géométrique, de la dendroécologie et de l'isotopie pour mettre en évidence les critères anatomiques discriminants nécessaires à l'identification de l'organe de l'arbre, de son âge, voire de son architecture. Les outils que nous développons sont d'abord construits à partir de rondelles de bois issues de peuplements forestiers actuels. Les protocoles de mesures sont ensuite appliqués sur des assemblages anthracologiques reproduits expérimentalement et issus de ces mêmes peuplements. Les approches expérimentales sont en effet indispensables à la progression de la discipline pour tester la résolution des outils d'analyses et comprendre les mécanismes à l'origine des variations observées dans les archives bioarchéologiques.

Dans ce poster, nous exposerons l'état d'avancement de trois ateliers de travail :

Encart 1 - Peuplements référentiels : distinction brins de futaie/brins de taillis

Pour le chêne, est-il possible de mettre en évidence des différences significatives entre des brins de taillis et des brins de futaie ? Les caractères mis en évidence sont-ils conservés sur les fragments de charbon de bois ?

Encart 2 - Mesure du rayon de courbure et restitution des diamètres exploités

Pour les essences les plus courantes de nos forêts tempérées, est-il possible de repositionner un fragment de charbon de bois par rapport au centre de la tige ? Peut-on restituer les diamètres de bois exploités ?

Encart 3 - La géométrie morphométrique : application à des rondelles de bois

L'application de la morphométrie géométrique au bois puis aux charbons de bois permet-elle de mettre en relation la forme des objets (ici définis par deux cernes consécutifs et deux rayons ligneux multisériés) avec des paramètres externes tels que des indicateurs paléoenvironnementaux (température, pluviométrie, etc.) ?

La combinaison de ces différentes approches aidera à mieux caractériser les arbres dont sont issus les charbons archéologiques, et donc à préciser leurs conditions de croissance. Nos inférences sur les modes de gestion passés des peuplements et l'histoire des contraintes de l'environnement (climat, sol) en seront améliorées.

## Etude anthracologique de la Grotte sanctuaire du Rajal del Gorp (-Vè s. au Ier s.)

Leonor Liottier

UMR 7264 CEPAM, 24 Av. des Diables Bleus 06375 Nice cedex 04

Ce poster présente les méthodes et résultats d'une étude des charbons de bois prélevés sur un site archéologique : le site du Rajal del Gorp, situé près de Millau. Il s'agit d'un aven fréquenté depuis la fin de la Préhistoire jusqu'à la période Romaine. Sur un intervalle de temps plus réduit, de -475 BC au changement d'ère, la grotte a revêtu une fonction de sanctuaire.

Cette étude soulève deux grandes problématiques :

- Quels ont pu être les usages du bois dans la grotte ? Il y a-t-il eu une utilisation spécifique de certaines essences, liée à l'activité du sanctuaire ?
- Dans quelles mesures ces bois et charbons de bois peuvent-ils nous renseigner sur le paléoenvironnement du Larzac et son évolution ?

Une restitution de l'évolution de l'environnement végétal ligneux, à partir du diagramme anthracologique est proposée dans une première partie. La seconde traite des hypothèses concernant l'activité culturelle et la gestion de la lumière.



**Figure 1 :** Vue intérieure de la grotte-sanctuaire en cours de fouille. Le sédiment est prélevé pour récupérer les charbons de bois.



**Figure 2 :** Vue extérieure, un paysage typique du Larzac. Paysage naturel ou « anthropisé » ? Comment la végétation a-t-elle évolué depuis la fréquentation du site ?

### Références

- Demierre M. (Dir.), 2009 : La grotte sanctuaire du Rajal del Gorp (Millau, Aveyron), Rapport de la campagne 2009 et analyse du mobilier des fouilles anciennes, 94 p.
- Liottier L., 2010 : Etude anthracologique et xylogologique de la grotte-sanctuaire du Rajal Del Gorp (Millau, Aveyron), Rapport de stage effectué au Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie de Montpellier (UMR 5059) sous la direction de L. Chabal.

### **Quels modèles pour l'étude de la gestion des combustibles au Mésolithique?**

Auréade Henry<sup>1</sup>, Isabelle Théry-Parisot<sup>2</sup>

1. UMR 7209 AASPE, MNHN, 55 rue Buffon 75005 Paris

2. UMR 7264 CEPAM, 24 Av. des Diablos Bleus 06375 Nice cedex 04

Le dépôt anthracologique en tant que témoin d'activités quotidiennes reflétant les usages du feu renvoie directement à l'importance du combustible dans l'économie des sociétés. Au Mésolithique, la diversité des activités liées au feu est attestée par des témoins directs (matériaux brûlés) et indirects tels que les matériaux (ou les traces de leur travail sur les artefacts) nécessitant un traitement thermique. Cette diversité renvoie à des processus de gestion des combustibles complexes et culturellement signifiants qui restent difficiles à mettre en évidence d'un point de vue archéologique : selon quelles modalités s'effectuait la collecte de combustible ? Quelle est la relation entre les combustibles disponibles et les combustibles choisis, entre la fonction des foyers et la fonction des sites ?

Afin d'aboutir à des modèles de travail adaptés à l'étude du Mésolithique, nous présentons une synthèse de nos travaux en archéobotanique portant sur l'apport de l'ethnoarchéologie et de l'expérimentation à la caractérisation des systèmes de gestion des combustibles.

Mots-clés : charbons de bois, combustible, archéologie, Mésolithique

### **Utilisation du bois à la fin de l'âge du fer à travers l'étude d'un site exceptionnel : Trégueux (Côte d'Armor)**

Nima Saedlou

*Xylotree, Saintes*

Le site de Trégueux (Côtes d'Armor) a permis la mise au jour d'un corpus de 716 objets en bois dont plus de 90% d'objets manufacturés datés de l'âge du fer, période peu connue pour ce type de matériel. Chaque pièce inventoriée a été observée macroscopiquement en relevant les dimensions, la typologie, les traces d'outils, les marques d'attaques fongiques ou de xylophages. Une analyse xylogique (identification des essences de bois) a alors été entreprise grâce à des observations microscopiques des trois plans d'étude du bois.

Des séries entières de mêmes objets (tels les récipients) nous ont permis de dégager de grandes lignes typologiques et d'essayer de mieux comprendre leur utilisation. La grande majorité du corpus concerne l'alimentation et plus particulièrement le stockage ou le transport des aliments (solide ou liquide) ainsi un grand nombre de douelles (environ 200), de couvercles (environ 27), de fonds (environ 42), et d'anses (environ 3) ont été étudiés. D'autres objets servant pour un usage culinaire ont également été découverts : un pétrin, un mortier et vraisemblablement son pilon ; deux demi-récipients formant une boîte fermée. Un grand nombre d'objets (46) sont sans doute des chevilles d'assemblage (fig.1). Leur forme est semblable et suit le même schéma : une « tête » pouvant être pyramidale ou rectangulaire sur un « corps » plat qui comprend la plupart du temps une mortaise au centre.



Fig.1 : Objet n°2357 interprété en tant que cheville d'assemblage- Trégueux, photo OA

Quelques objets remarquables sont également à signaler comme une tête d'animal sculptée. De nombreux restes de branches, de troncs, certains ayant pu servir de piquet, de bâton ou de poutre sont également présents.

L'analyse xylogologique a permis d'identifier une dizaine d'essence avec par ordre de décroissance quantitative : le chêne (*Quercus pedunculata* ou *Quercus petraea*), l'if (*Taxus baccata*), le sureau (*Sambucus nigra*), le frêne (*Fraxinus excelsior*), le noisetier (*Corylus avellana*), les rosacées genre pomoïdée, une papilionacée, le saule (*Salix* sp.), l'érable (*Acer campestre*), l'aulne (*Alnus glutinosa*).

Le choix de l'if, largement employé pour la fabrication des seaux (37%) et en particulier ceux qui sont de plus belle facture, laisse perplexe. En effet, le choix de cette essence est singulier car ses feuilles, ses rameaux, sa graine et son bois renferment un alcaloïde hautement toxique pour l'homme et la plupart des animaux domestiques, la taxine, poison narcotique et paralysant que ni la dessiccation ni l'ébullition ne dissipent. De plus, les ouvriers travaillant le bois d'if s'exposeraient à de violents maux de tête (Lieutaghi, 2004).

Les analyses typologique et tracéologique permettent également de se questionner sur la fabrication des récipients (qui pourront être classés parmi les seaux, tonnelets ou tonneaux suivant le diamètre des couvercles et des fonds ou la taille des douelles) : certains sont de très belles factures alors que d'autres ont subi des remaniements (trous de chevilles surnuméraires dont certains ne servent plus), des réemplois (douelles à double jable, trous de cheville se retrouvant mal placés (au niveau du jable). L'analyse des marques d'outils repérées sur de nombreux objets a permis d'émettre des hypothèses sur les outils dont se servaient les artisans de cette période.

Les bois de Trégueux constituent un corpus rare voire même exceptionnel par sa quantité mais également par sa qualité : les objets sont magnifiquement conservés et permettent d'enrichir nos connaissances de la relation de l'homme et du bois à cette période.

#### Références

Lieutaghi P., 2004, Le livres des arbres, arbustes et arbrisseaux, Actes Sud, 1322 p

Mots clés : xylogologie, archéologie, tracéologie, âge du fer, objets alimentaires, artisanat

**La mise en œuvre du bois dans l'architecture au bas Moyen-âge : le cas du canal de dérivation d'eau découvert place Mazelle à Metz (fouille préventive).**

G. Brkojewitsch<sup>1</sup>, S. Sedlbauer<sup>1</sup>

*1. Pôle Archéologie Préventive de Metz Métropole, Metz.*

La fouille préventive de la place Mazelle à Metz en 2009 a été menée par le pôle archéologie préventive de Metz Métropole (dir. Gaël Brkojewitsch). Elle a permis de mener des observations sur un canal de dérivation d'eau faisant partie du système défensif de la ville dès le Bas Moyen Âge. Ce fossé permettait d'alimenter en eaux une partie des douves. Le site se situe au sud-est du centre historique de Metz sur une emprise bordant la rive droite de la Seille, le principal affluent de la Moselle. Le substrat se compose de marnes et de calcaires daté du Lias. Il est recouvert par une succession de dépôts alluviaux résultant de crues et d'inondations, auxquelles succède un dépotoir (III<sup>e</sup> siècle apr. J.-C.). Le site est abandonné pendant près de dix siècles quand un canal, mêlant architecture de pierre et de bois, est excavé.

La mise en place de fondation en bois s'explique par la nature du sous-sol qui est gorgé d'eau et qui dispose d'une faible portance superficielle. Un tronçon de ce dispositif de onze mètres de largeur à l'ouverture a été dégagé lors de la fouille sur une longueur de trente mètres. Plusieurs états de construction ont été documentés. Dans chacun d'entre eux, le bois est employé. Au total, cent trente-cinq pieux ont été recensés. Quarante-quatre pièces ont fait l'objet d'une étude technomorphologique et dendrologique. L'étude des cernes de croissance permet de situer les dates d'abattages et de scander la chronologie générale de la construction en trois grandes phases entre le début du XIII<sup>e</sup> s. et le milieu du XV<sup>e</sup> s. (analyses : W. TEGEL, DendroNet, Labor für Holzanalyse, Bohlingen, Allemagne).

Trois grands ensembles de pieux se dégagent au sein de la construction. Dans son état initial, entre la fin du XII<sup>e</sup> s. et le début du XIII<sup>e</sup> s., le canal se présente comme un fossé creusé en pleine terre de 6 à 8 m d'ouverture dont les berges sont renforcées à l'aide de piquets de chêne (*Quercus* sp.) et de hêtre (*Fagus sylvatica*). Durant la seconde phase de construction, à la fin du XIII<sup>e</sup> s., des murs de berge fondés sur des radiers de pieux de chênes (*Quercus* sp.) sont édifiés. Dans une troisième étape au milieu du XV<sup>e</sup> siècle, le fond du canal est localement consolidé par le fonçage de trois grands pieux de chêne (*Quercus* sp.) munis de sabots métalliques.

L'étude morphologique et dendrologique de ces bois a mis en évidence les particularités des pieux, de la sélection du bois d'œuvre au façonnage de la pointe, nous renseignant ainsi sur leur rôle dans l'ouvrage. Ces observations ponctuelles permettent d'évaluer à une plus juste valeur la place du bois dans les substructures en milieu humide. La mise en perspective de cette découverte avec d'autres constructions médiévales similaires connues dans l'Est de la France, nous laisse entrevoir la fonction qu'a le bois dans les fondations. A Strasbourg et à Metz notamment, la mise au jour de nombreuses fondations sur pieux de bois tant en contexte fluvial (jetée maçonnée de débarcadère, chenal, renforts de berge) que dans les substructures de murs de caves, d'édifices religieux et publics témoigne de l'importance de ce matériau dans l'architecture civile, religieuse et militaire.

Mots-clés : construction en milieu humide, canal, fondation, pieux, renforts de berge.

**La cuisine d'une maison de maître du Haut Empire à Grand (Vosges). Utilisation du bois pour la combustion domestique et macrorestes végétaux**

V. Bellavia<sup>1</sup>, M. Gazenbeek<sup>2</sup>, J. Wiethold<sup>1</sup>

1 INRAP Grand Est-nord, Laboratoire archéobotanique, 12 rue de Méric, 57063, Metz cedex 2, [valentina.bellavia@inrap.fr](mailto:valentina.bellavia@inrap.fr), [julian.wiethold@inrap.fr](mailto:julian.wiethold@inrap.fr)

2 INRAP Grand Est-nord, 12 rue de Méric, 57063, Metz cedex 2, [michiel.gazenbeek@inrap.fr](mailto:michiel.gazenbeek@inrap.fr)

*Les données présentées aux « Premières journées d'étude du GDR de Montpellier » ont fait l'objet d'un article en cours de publication sur un numéro spécial de « GALLIA ».*

L'objectif des analyses effectuées sur deux structures de combustion identifiées dans la cuisine de la villa de Grand (Vosges), était de connaître les espèces exploitées comme essences pour les feux domestiques.

De plus, les informations issues des assemblages concentrés de charbons de bois ont été enrichies par les données issues de l'analyse des charbons de bois dispersés dans le sol de la cuisine. L'ensemble de ces données nous permettra de mieux comprendre les stratégies d'approvisionnement du bois par rapport au milieu naturel autour du site.

Au total, 850 charbons de bois de dimensions supérieurs à 2 mm<sup>2</sup> ont été identifiés ; pour un poids total de 61,30 grammes. Les taxa identifiés sont au nombre de onze.

Le diagramme anthracologique de la cuisine de la villa nous montre la présence exclusive du hêtre, des chênes à feuilles caduques et du charme dans les deux principales structures de combustion, ST 55 et 109. Les trois espèces sont normalement exploitées pour toutes les activités liées au feu ; grâce à leurs caractéristiques technologiques elles représentent un très bon combustible, notamment pour leur capacité d'atteindre des hautes températures et à les maintenir stables pour une longue période.

La prédominance du hêtre entre les espèces identifiées s'explique avec sa présence comme principal composant de la forêt du plateau lorrain (Ruffaldi et alii 2007, 69-78) et de la plaine sous-vosgienne à partir du Subatlantique. Pour cette raison il est l'espèce plus facilement exploitable comme combustible.

La grande variété d'espèces identifiées dans le sol de la cuisine (érable champêtre, frêne, peuplier), a été interprétée comme issue de l'action de vidange continue dans le temps des structures de combustion.

Les taxa plus faiblement représentés sont interprétés comme les restes d'allume-feu. La présence de ces espèces dans les sols de la cuisine reflète partiellement la couverture végétale, soit naturelle soit anthropisée, autour du site.

La faible présence du noisetier *Corylus avellana*, identifié aussi au cours des analyses carpologiques, nous permet d'émettre l'hypothèse d'une exploitation principale pour l'alimentation et, secondairement, comme combustible. Le noisetier se trouve fréquent dans un paysage anthropisé, dans les bords de forêt et dans les buissons limitant les parcelles cultivées.

La présence d'autres espèces fruitières, dont les prunoidées et les pomoïdées utilisées comme combustibles, témoignent d'un paysage ouvert et bien anthropisé autour du site.

Le corpus de macro-restes végétaux provenant des 10 prélèvements à 10 litres du sédiment brut, traités par flottation manuelle avec une colonne de tamis de 0,315 mm et de 1,0 mm. Ils n'ont fourni qu'un faible nombre des restes végétaux, 43 en tout. Les fragments de la matière organique carbonisée (MOC) composent 22 de 43 restes végétaux attestés. Il s'agit des petits morceaux de

structure poreuse, interprétés comme restes du pain, des galettes ou de la bouillie ou gruau à base de céréales ou de légumineuses.

Les 21 autres restes sont des macro-restes végétaux déterminables. Les plantes cultivées représentent 19 restes, appartenant à des groupes fonctionnels différents. La présence de céréales se limite à un grain fragmenté et corrodé et non déterminable. 19 restes sont des semences de légumineuses, deux restes de la coque du noyer *Juglans regia* et un fragment d'un noyau de cerise ou griotte *Prunus avium/cerasus*.

La rareté des restes céréaliers n'est pas très étonnante car le traitement de céréales s'effectuait probablement dans un autre endroit. Dans la cuisine on a vraisemblablement utilisé simplement la farine et les céréales déjà écrasées. Par contre, le spectre de céréales se compose de trois taxons les plus importants : la lentille *Lens culinaris*, la fève *Vicia faba var. minor* et le pois *Pisum sativum*.

L'analyse de la couche charbonneuse de la cuisine a fourni relativement peu des macro-restes végétaux et les informations concernant la préparation culinaire se limitent à un spectre réduit. Le faible taux de macro-restes végétaux déterminés peut s'expliquer par un nettoyage régulier du sol. On peut cependant envisager que le nettoyage des récipients culinaires ait lieu à un autre endroit de la cour, en partant de l'hypothèse que c'est la vaisselle qui produit le plus d'épandage de macro-restes cuits.

La présence d'un seul grain de céréale suggère que leur traitement a été effectué dans d'autres espaces de la villa. Ces restes ont été éventuellement utilisés pour alimenter les porcs et les autres animaux domestiques ou mélangés avec du fumier. L'analyse des autres prélèvements provenant de la fouille de 2011, doivent fournir plus d'éclairage sur le spectre alimentaire de la villa.

#### Référence

Ruffaldi P., Ritz F., Richard H., Dambrine E., Dupouey J.-L. 2007: Analyse pollinique de la mardelle d'Assenoncourt (Moselle, France) : impact des pratiques agricoles sur la biodiversité végétale en milieu forestier In J.-L. DUPOUEY, E. DAMBRINE, C. DARDIGNAC, M. GEORGES-LEROY, La mémoire des forêts, Actes du colloque « Forêt, archéologie et environnement » (14 - 16 décembre 2004), Coédité par l'Office national des forêts, l'Institut national de la recherche agronomique et la Direction régionale des affaires culturelles de Lorraine, Nancy 2007, 294 p.

A15 **GRAZIDE Cécile** I2M (Bordeaux) [cecile.grazide@u-bordeaux1.fr](mailto:cecile.grazide@u-bordeaux1.fr)

#### **Influence des hétérogénéités sur la résistance en flexion**

Cécile Grazide

*Université de Bordeaux, I2M, UMR 5295.*

#### Contexte scientifique

Dans le bois de structure, les nœuds sont considérés comme des inclusions qui peuvent réduire de manière significative la résistance du bois ; la déviation du fil du bois engendrée par la présence des nœuds affecte de manière significative la rigidité élastique mais également la résistance en traction et en flexion. La littérature montre clairement que le module d'élasticité et la masse volumique sont des paramètres décrivant la résistance du bois sans défaut, avec des coefficients de déterminations ( $R^2$ ) variant de 0,66 à 0,76, lorsque ces variables sont prises individuellement. Dans le bois de structure, les propriétés ne sont pas uniformément réparties. Le matériau peut être idéalisé en première approximation comme une structure incluant du bois sans

défaut et des nœuds. Les coefficients de détermination annoncés précédemment diminuent et mènent à des  $R^2$  de 0,52 pour le module d'élasticité et 0,3 pour la masse volumique [1] [2]

Il est actuellement difficile de modéliser et de caractériser le bois de structure avec les règles classiques d'homogénéisation. Les bases des méthodes de classement du bois massif considèrent ce dernier comme homogène. La résistance en flexion des composants de structure est déduite en fonction des paramètres non destructifs tels que le module d'élasticité, la masse volumique et le KAR (Knot Area Ratio) [3]. La stratégie choisie pour établir la corrélation entre les indicateurs et la résistance, est souvent basée sur une régression linéaire dans laquelle l'effet de ces variables est étudié au moyen du coefficient de détermination.

L'objectif de ces travaux est de caractériser l'influence des morphologies (disposition des nœuds et évolution de la pente de fil) sur la variabilité du module de rupture des éléments de construction. Les paramètres caractérisant la distribution géométrique des défauts sont extraits à partir d'images. Les propriétés mécaniques sont obtenues au moyen d'essais destructifs réalisés en flexion 4 points. Les corrélations des paramètres morphologiques, physiques et mécaniques avec la résistance en flexion (MOR) sont étudiées à l'aide de deux approches statistiques (linéaire et non linéaire utilisant les réseaux de neurones). La pertinence et la faisabilité des deux méthodes sont étudiées.

### Méthodes

Un lot de 200 poutres en Pin Maritime (longueur de 4,5m et section transversale 200x100mm<sup>2</sup>) est testé. Les poutres sont préalablement photographiées (huit images par faces longitudinales) puis, testées en flexion selon leurs plus fortes inerties. Les caractéristiques physiques et mécaniques du matériau comme la masse volumique, le taux d'humidité, le module d'élasticité et le module de rupture, sont alors répertoriés dans une base de données. A l'aide d'un logiciel de traitement et d'analyse d'images, les faces latérales (200x4500mm<sup>2</sup>) ont été reconstituées et les hétérogénéités (nœuds) ont été caractérisées : surfaces, positions, circularités,... De plus, un intérêt particulier a été porté à la zone de rupture photographiée après l'essai, et les caractéristiques morphologiques de cette zone sont alors incrémentées à la base de données.

### Résultats

Une régression linéaire simple est établie au préalable dans le but d'estimer la pertinence potentielle de chaque paramètre sur la corrélation. Le module d'élasticité apparaît comme étant la variable la plus explicative de la résistance en flexion (module de rupture), avec un  $R^2$  de 0,59. Par la suite, les paramètres propres aux hétérogénéités sont successivement associés au module d'élasticité afin de tenter d'augmenter le coefficient de détermination. Cette incrémentation des paramètres est réalisée pour les deux méthodes statistiques (linéaire et non linéaire). Au final, les variables permettant une augmentation du coefficient de détermination sont le nombre de nœuds, et la position du nœud le plus excentré du centre géométrique dans la partie tendue (avec ses propriétés géométriques).

La base de données a été divisée afin que les deux tiers soient intégrés dans le logiciel pour l'apprentissage de la fonction et le tiers restant utilisé pour la validation. La régression linéaire multiple menée en parallèle aboutit à un coefficient de détermination égal à 0,66 en apprentissage et 0,64 en validation.

Le gain entre la régression simple et multiple est seulement égal à 8% bien que le nombre de variables explicatives ait significativement augmenté (six fois plus de variables). Concernant l'usage des réseaux de neurones, il est important de souligner que plus le nombre de neurones dans la couche cachée est élevé, meilleure est l'approximation de la fonction, cependant le surapprentissage est vite atteint (à partir de quatre neurones dans la couche cachée) et entraîne rapidement des résultats décevants en validation. Le choix d'un réseau de neurones à trois neurones dans la couche cachée a été fait, pour un même nombre de variables d'entrée. Il a alors

été obtenu un coefficient de détermination R<sup>2</sup> égale à 0,73 en apprentissage et égale à 0,78 en validation, soit un gain non négligeable de 20% par rapport à la régression linéaire simple.

### Conclusion

Bien que les hétérogénéités soient seulement décrites via leurs caractéristiques géométriques, celles-ci augmentent significativement le coefficient de détermination. Dans cette optique, la régression non linéaire par réseaux de neurones permet une meilleure estimation de la résistance en flexion comparée à la régression linéaire multiple. Bien que la robustesse du modèle nécessite être analysée pour d'autres essences de bois et pour d'autres dimensions, la prédiction de la résistance en flexion par cette méthode améliore le classement actuel du bois. L'enjeu est à présent d'alimenter la base de données, à partir des informations morphologiques des chants comprimés et tendus des poutres, et par la réalisation d'essais de traction/compression dans lesquels le comportement mécanique du bois au voisinage des nœuds sera précisément étudié.

### Références

- [1] Guitard D., « Mécanique du matériau bois et composites », CEPADUES Edition ISBN : 2-85428-157-7, 1987.
- [2] Thelandersson S., Larsen H. J., « Timber Engineering », Wiley Editor, ISBN 0-470-84469-3
- [3] Roblot G., Bléron L., Mériaudeau F., Marchal R., « Automatic Computation of the knot area ratio for machine strength grading of Douglas Fir and Spruce timber », EJECE 14, 1317-1332, 2010

A16 **OUM LISSOUCK René** I2M (Bordeaux) [rene.oumlissouck@u-bordeaux1.fr](mailto:rene.oumlissouck@u-bordeaux1.fr)

### **Ingénierie du bois comme outil de conservation de la diversité des essences ligneuses des forêts tropicales : cas du bassin du Congo**

René Oum Lissouck, Régis Pommier, Denys Breysse, Louis Max Ayina Ohandja

*Université de Bordeaux, I2M, UMR 5295.*

### Introduction

L'exploitation intensive d'un nombre extrêmement faible d'espèces parmi les centaines utilisables dans le massif forestier du Congo conduit à leur raréfaction, voire leur disparition à terme. Sur cinq cent essences inventoriées au Cameroun (écosystème représentatif de cette région), seulement six (ayous, azobé, fraque, iroko, sapelli, tali) représentent plus de 80 % de la production de bois [ATI 03]. La première solution d'ingénierie qui a été développée est le regroupement mécanique de 19 espèces en 4 classes de résistance de type Eurocode 5 [MVO 11]. Le principal intérêt de cette approche est la garantie des propriétés mécaniques des essences de bois d'œuvre du bassin du Congo. Cependant, elle est limitée notamment par les pratiques des marchés internationaux du bois, ancrées dans le commerce des essences nobles ou essences de référence. En outre, la résistance mécanique n'est pas le seul critère de choix d'une essence dans l'industrie de la construction en bois. Une approche nouvelle axée sur les Engineered Tropical Wood Products (ETWP) de type lamellé collé est proposée.

### Sélection multicritère des essences

77 essences de bois potentiellement intéressantes (commercialisation et prélèvements réguliers) ont servi de base à notre étude. Les données technologiques concernant ces essences sont produites et actualisées par le CIRAD depuis plusieurs décennies [GUI 97]. Les renseignements les plus récents ont été fournis par la base de données Tropix 7.0 [CIR 11]. Afin d'obtenir un choix optimal d'essences qui prend en compte les préoccupations des principaux acteurs de la filière des

bois tropicaux, six critères correspondant aux étapes les plus importantes de la vie des ETWP et aux objectifs des produits d'ingénierie éco-conçus ont été retenus. Il s'agit de : la menace d'extinction, du potentiel exploitable à l'hectare, l'aptitude au collage traditionnel, la durabilité naturelle ou conférée, la résistance mécanique et la difficulté de transformation du bois massif.

La menace d'extinction traduit le risque d'épuisement de la ressource ligneuse en forêt à court ou à moyen terme. Les essences de bois ont été regroupées en 5 catégories caractérisant le statut de conservation des espèces: « Préoccupation mineure», « Vulnérable», « En danger », « En danger critique d'extinction» [UIC 11], et « Non menacé».

Le potentiel exploitable détermine la viabilité d'une ligne de production industrielle des ETWP. 31 essences représentent 90% du volume exploitable en forêt, qui varie de 0,1 à 2m<sup>3</sup>/ha environ. Cet indicateur a permis de hiérarchiser les essences de bois en 5 catégories de disponibilité: « très faible », « faible », «moyen», « élevé », « très élevé ».

Tableau 1 : Catégorisation de certaines essences de bois selon la menace d'extinction

Menace d'extinction	Noms botaniques	Familles	Noms pilotes
En danger critique d'extinction	<i>Austranella congolensis</i>	sapotaceae	Mukulungu
En danger	<i>Diospyros crassiflora</i>	ebenaceae	Ebène d'Afrique
Vulnérable	<i>Lophira alata</i>	ochraceae	Azobé
Préoccupation mineure	<i>Triplochytton scleroxylon</i>	sterculiaceae	Ayous
Non menacé	<i>erythrophleum ivorense</i>	erythroxyllaceae	Tali

Le collage structural des bois tropicaux peut être contrarié par des singularités comme le contrefil, les résines et matières grasses [ELB 91]. Ces singularités sont en général corrélées à la densité de ces essences de bois [GER 99]. Une bonne aptitude au collage confère au lamellé collé une continuité de ses propriétés mécaniques. L'aptitude au collage est selon les essences de bois, « correcte », « difficile » ou « mauvaise ».

La pérennité des ouvrages en bois ne dépend pas seulement de leurs caractéristiques mécaniques, mais aussi de leur environnement de fonctionnement qui est plus sévère en zone tropicale que tempérée en terme d'attaques des agents biotiques : champignons, coléoptères et termites [FOU 99]. La résistance simultanée aux attaques de ces 3 agents a conduit à définir 3 catégories de durabilité naturelle ou conférée : « faible », « moyenne » et « élevée ».

Les bois tropicaux sont 4 fois plus difficiles à transformer que les bois tempérés [CTF 83]. Ce qui freine l'utilisation des essences peu connues [COL 76]. Cinq niveaux de difficulté de mise en œuvre ont été définis : « nul », « faible », « moyen », « élevé » et « très élevé ».

Tableau 2 : Résultats de l'analyse multicritère.

Désignation	Total	Noms pilotes
Essences vertes (compromis élevé)	8	Fraké, tali, dabema, okan, movingui, bété, lotofa, niové
Essences jaunes (compromis moyen)	12	Ayous, padouk, bubinga, difou, limbali, longhi, awoura, pao rosa, alep, emien, ilomba, fromager,
Essences rouges (compromis faible)	57	Azobé, wengé, mukulungu, bilinga, etc...

Après avoir classé les essences de bois selon chaque critère, deux méthodes de type ELECTRE (Elimination et Choix Traduisant la Réalité) sont utilisées : ELECTRE III qui traite du rangement des essences de bois (de la meilleure à la moins bonne) et ELECTRE TRI dont la finalité est de catégoriser les essences en niveaux hiérarchisés de compromis souhaités. Les résultats (résumés

dans le tableau 2) montrent que 20 essences sont intéressantes pour une utilisation en lamellé collé.

### Premiers collages à l'état vert

Des échantillons sans défaut d'ayous (*triplochyton scleroxylon*) et de fraké (*terminalia superba*) ont été utilisés à l'état vert. Des poutres sont réalisées à l'état vert avec une colle polyuréthane. Les collages sont caractérisés par des essais de délamination (EN 302-2) et de cisaillement par compression (EN 392), en condition tropicale d'utilisation du bois. Les collages sont réalisés au laboratoire de l'Institut FCBA (Forêt Cellulose Bois-construction et Ameublement) de Bordeaux en France, par un personnel assermenté et dans les conditions normatives européennes.

Essai de délamination : Les échantillons sont soumis à 3 cycles d'imprégnation sous pression-séchage. L'humidité des bois au collage était de  $48 \pm 6$  % pour l'ayous et  $65 \pm 16$  % pour le fraké. Le grammage de la colle était de 400 g/m<sup>2</sup> pour des temps ouverts et fermés respectifs de 2 et 10 mn. Les lamelles ont été doublement encollées. La pression de serrage était de 9,6 bars et d'une durée de 20 heures. 3 scénarii de séchage ont été élaborés. Le scénario 1 est le plus sévère, avec un pré-séchage initial brutal à 65°C, suivi de 3 cycles d'imprégnation-séchage.

Essai de cisaillement et d'adhérence : Une contrainte de cisaillement par compression parallèle aux fibres du bois est appliquée dans le joint de collage entraînant la rupture. Deux échantillons de dimension 108x100x45 mm ont été prélevés sur chaque poutre après stabilisation. Leur teneur en eau moyenne lors de l'essai était de  $15 \pm 2$  %, ce qui correspond à l'équilibre hygroscopique en milieu tropical.

### Résultats

Le tableau 3 présente les valeurs maximales des taux de délamination obtenus.

Tableau 3. Résultats de l'essai de délamination des joints de colle (EN 302-2)

Joints de colle	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Exigences normatives
Ayous-Ayous	1,5%	2,4%	0,6%	≤ 10% usage extérieur ≤ 5% usage intérieur
Fraké-fraké	2,1%	0,0%	0,3%	
Ayous-fraké	0,6%	0,0%	0,3%	

Après avoir rempli, l'exigence de la EN 302-2, la résistance au cisaillement et l'adhérence des joints de colle ont été mesurées et résumées dans le tableau 5.

Tableau 5. Résistance moyenne au cisaillement et adhérence des joints de colle

Joints de colle	Moyenne (MPa)	Nombre	Adhérence (%)	Densité à 15%
Ayous	$8,75 \pm 0,75$	22	$78 \pm 27$	0,36
Fraké	$9,86 \pm 0,60$	22	$82 \pm 14$	0,45
Exigences EN 386	Pour une résistance moyenne de 8 MPa, l'adhérence minimale requise est de $72\% \geq 72$ A 9 MPa de résistance, l'adhérence minimale est de $63\% \geq 63$			

### Conclusion

La démarche multicritère de choix des essences aboutit à une forte diversification des prélèvements des essences de bois du bassin du Congo en vue de la réalisation des ETWP de

type lamellé collé. Les essais de collage ont montré que l'ayous (*triplochyton scleroxylon*) et le fraké (*terminalia superba*) sont utilisables en lamellé collé. Les ETWP ainsi obtenus, contribueront de manière significative à une meilleure conservation de la richesse spécifique du massif forestier du bassin du Congo.

### Références

- [ATI 03] ATIBT. « Newsletter, Association Internationale Technique des Bois Tropicaux ». Int. Techni. Trop. Wood. 18. 2003, p.35-37.
- [CIR 11] CIRAD. Tropix 7.0 : Synthèse des Caractéristiques technologiques de 245 essences tropicales (Technological Characteristics of 245 tropical species). 2011.
- [COL 76] COLLARDET, J. « Transformation des espèces difficiles à travailler et peu connues. Archives de la FAO ». Unasyva, N° 112-113. 1976, 20p
- [CTF 83] CTFT. 1983. Bois Tropicaux, 5eme édition. Publication n°12. 143 p
- [ELB 91] ELBEZ G., BENTZ D., Le collage du bois. Centre technique du bois et de l'ameublement. Paris, France. 216 p. 1991.
- [FOU 09] FOUQUET D., Durabilité naturelle et préservation des bois tropicaux. Collection Guide Pratique. Editions Quae. 131p. 2009.
- [GER 99] GERARD J. Les spécificités du collage des bois tropicaux : essences secondaires et collage multiessences. Annales GC Bois. Numéro spécial. Collage structural. 1999.
- [GUI 97] GUISCAFRE J., SALES C., « La belle aventure des bois tropicaux », Revue Bois et Forêts des Tropiques, n° 252 (2), 1997, p. 39-46.
- [IUC 11] IUCN. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.2. 2011
- [MVO 11] MVOGO J.K., AYINA OHANDJA L.M., SEBA MINSILI L., CASTERA P. «Mechanical grading of structural timber and species conservation in the forest of Congo Basin». African Journal of Environmental Science and Technology. vol.5 (2), 2011, p. 111-125.

---

A17 **CUEFF Guillaume** I2M (Bordeaux) [guillaume.cueff@efectis.com](mailto:guillaume.cueff@efectis.com)

### **Étude du comportement thermomécanique de matériaux composites cellulosiques : application à la résistance au feu d'un bloc-porte en bois**

Guillaume Cueff

*Université de Bordeaux, I2M, UMR 5295.*

La sécurité incendie demeure une préoccupation majeure dans le domaine de la sécurité civile, dans la mesure où les incendies sont une des principales causes d'accidents domestiques (plusieurs centaines de décès annuels).

La sécurité incendie repose sur la combinaison de protections actives et passives, les éléments empêchant ou ralentissant la propagation des fumées ou des flammes jouant un rôle essentiel.

Les professionnels de la construction développent de nouveaux produits qui doivent satisfaire à une procédure d'agrément techniques comprenant notamment des essais de classement en résistance au feu dans des fours d'essai. La certification de ces composants est lourde et peut constituer un frein à l'innovation : les essais sont coûteux et ne peuvent être multipliés.

Ces raisons justifient le projet global de développer des moyens de simulation permettant de constituer un « four virtuel ». Un tel ensemble doit permettre : (a) de reproduire les phénomènes aérodynamiques et thermiques dans l'ambiance du four d'essai, (b) de quantifier la propagation des effets du feu dans les composants (matériaux, éléments de construction) soumis au chargement, (c) de simuler les couplages fluide/solide à l'interface, (d) de reproduire le comportement du

produit testé. Il doit s'appuyer sur une bonne connaissance des essais réels, base de validation, la maîtrise des méthodes numériques et la connaissance des phénomènes impliqués, en particulier au sein des matériaux.

Disposer d'un tel ensemble « four virtuel » permettrait également d'analyser et d'évaluer un nombre élevé de variantes techniques. On pourrait ainsi, en phase de conception des produits, orienter le dimensionnement vers des solutions plus efficaces. On pourrait aussi s'appuyer sur la simulation pour améliorer le contrôle de la sollicitation (pilotage du four) ou la métrologie de l'essai.

Des travaux de thèse en cours sont actuellement menés en collaboration avec Efectis France, laboratoire agréé en résistance au feu, et l'Institut de Mécanique et d'Ingénierie de l'Université de Bordeaux (I2M). Ils s'inscrivent dans cette démarche de four virtuel pour l'élaboration d'un outil intégré pour la modélisation de la résistance au feu des produits de la construction.

Les recherches présentées ici se concentrent sur l'étude thermomécanique de matériaux composites cellulósiques (panneau de bois reconstitué) et du bois massif. Les travaux de doctorat consistent à créer un modèle de simulation d'un essai de résistance au feu appliqué à un bloc-porte en bois.

Cette étude se découpe en trois grandes phases: une première phase d'état de l'art du comportement thermomécanique des matériaux cellulósiques, une seconde phase de caractérisation des propriétés physiques et mécaniques à haute température et enfin une dernière phase de modélisation sur le logiciel de calcul par Eléments Finis CAST3M pour retranscrire le transfert thermique et le comportement des matériaux.

La phase d'état de l'art du comportement thermomécanique du bois a été effectuée. Les données recueillies vont nous permettre d'enrichir le modèle de simulation développé. Ces résultats sont une base précieuse pour comparer les résultats de caractérisation des matériaux et les différentes lois de comportement thermiques et mécaniques qui seront utilisées.

De multiples essais de caractérisations seront réalisés. Une étude approfondie des caractéristiques physiques (conductivité thermique, chaleur spécifique) permettra d'étudier et de modéliser le transfert thermique et les réactions de dégradation à haute température. Des mesures de conductivités thermiques et des essais de thermogravimétrie seront ainsi menés. Un four spécifique sera créé en laboratoire afin de réaliser les essais mécaniques à haute température (jusqu'à 400 °C). La mesure des déformations s'effectuera par un matériel optique sans contact (stéréovision). Nous mesurerons en particulier le module d'élasticité et la dilatation thermique du matériau.

Ces résultats de caractérisation seront directement utilisés dans le modèle de simulation par éléments finis. Ils permettront entre autre de simuler les réactions de dégradation thermique de l'élément simulé. En parallèle, des essais de résistance au feu à l'échelle 1:1 seront menés au sein du laboratoire d'Efectis France à Maizières-lès-Metz (57).

La phase de simulation consiste à créer un modèle thermomécanique modélisant le comportement de dégradation d'un bloc-porte en bois. Ce modèle prendra ainsi en compte les phénomènes de dégradation thermique (séchage, pyrolyse et combustion) ainsi que la réduction des propriétés mécaniques du bois. La validation du modèle de simulation se basera sur la comparaison avec les essais grandeurs réels effectués par Efectis France.

Au cours du GDR seront présentés les premiers résultats de caractérisation du matériau et les premières simulations par éléments finis.

## **Elaboration et caractérisation d'un contreplaqué à destination de coques de bateaux**

Anne Lavalette<sup>1,2</sup>, Régis Pommier<sup>1</sup>, Michel Danis<sup>1</sup>, Christine Délisée<sup>1</sup>

*1 Université de Bordeaux, I2M, UMR 5295, F-33400 Talence, France*

*2 Chantier Naval Dubourdieu 1800, 33470 Gujan Mestras, France*

### Introduction et objectifs

Cette étude a pour but la conception d'un matériau composite innovant destiné à la fabrication de coques de bateaux. S'agissant d'une structure complexe par sa forme, ses conditions d'usage et la nécessité d'obtenir un bénéfice environnemental, le matériau doit satisfaire aux performances mécaniques requises dans la construction navale, permettre d'ajuster le panneau à la forme de la coque, minimiser l'impact environnemental de la structure.

Dans cette optique, un composite à base de bois a été étudié. Le bois est un matériau organique susceptible d'avoir une teneur en eau élevée. L'expression "bois vert" est employée pour une teneur en eau supérieure à 30% (point de saturation des fibres). A ce stade, le bois a une meilleure aptitude au cintrage, par ses propriétés viscoélastiques.

Depuis quelques années, de nouveaux adhésifs ont été développés pour le collage du bois à l'état vert [1-3]. Cette technologie améliore le rendement matière et permet des économies d'énergie. En effet, au cours du procédé "bois vert", les chutes ou autres défauts ne sont pas séchés, contrairement aux procédés traditionnels. Ces recherches ont été appliquées en majorité au procédé d'aboutage du bois. Cependant, les propriétés du bois vert (notamment sa viscoélasticité) permettent le développement de nouveaux produits ou procédés. Dans notre étude, l'intérêt majeur de cette technique est la possibilité de concevoir des contreplaqués courbes. Habituellement produits à partir de plis de déroulage encollés, les panneaux sont cintrés entre des moules, à l'aide de fortes pressions et/ou températures. La technologie du vide est un autre procédé utilisé pour la fabrication de bois moulé [4-7]. Elle a plusieurs avantages, tels que des dimensions et formes non limitées, une épaisseur variable possible au sein d'un même produit et une pression identique répartie sur l'ensemble du matériau formé. La technique du moulage sous vide, ajoutée à la formabilité du bois vert est une perspective intéressante pour l'élaboration de coques de bateaux sans ajout de forte pression ni température.

La réalisation de ce contreplaqué implique dans un premier temps l'identification des paramètres de fabrication optimums. Plusieurs paramètres influant sur les propriétés du panneau ont été testés, à travers différentes campagnes expérimentales. Des méthodes conventionnelles de flexion et de cisaillement du joint de colle ont été utilisées pour la caractérisation mécanique du contreplaqué. Puis l'analyse du comportement de l'assemblage des plis de bois au sein du contreplaqué a été effectuée grâce à un dispositif s'inspirant de l'essai Arcan [8]. Les résultats sont présentés pour des sollicitations mixtes de traction - cisaillement.

### Faisabilité du produit

Cette première partie a pour objectif l'optimisation des paramètres de fabrication et la vérification de l'aptitude du matériau à être utilisé sur un bordé de bateau. 5 plis de bois déroulé (*Pinus pinaster* ait.) de 2,4 mm d'épaisseur ont été collés avec l'adhésif Polyuréthane (PU) développé pour le collage du bois humide [2]. Les effets de la teneur en eau du bois au collage (12 % à 100%), de la température (10°C à 70°C) et du grammage de colle appliqué (200 g/m<sup>2</sup> à 600 g/m<sup>2</sup>) ont été évalués. Les propriétés des contreplaqués formés ont été mesurées par des essais de flexion (NF EN 408) et de cisaillement du joint de colle (NF EN 314). Ces tests normatifs ont révélé que la quantité d'adhésif appliquée semble être corrélée à la teneur en eau du bois lors du collage. En effet, les résultats des tests indiquent qu'un collage à 30% de teneur en eau avec un grammage de colle de 300 g/m<sup>2</sup> (panneau A) possède les mêmes propriétés mécaniques qu'un

collage à 65% de teneur en eau avec un grammage de colle de 500 g/m<sup>2</sup> (panneau B). La réaction du PU avec l'eau libre et liée du bois peut expliquer ce phénomène. Ainsi, les panneaux sont optimisés en relation avec la teneur en eau au collage. Les panneaux A et B ont des propriétés en flexion 4 point et en cisaillement (MOR, MOE) satisfaisant les exigences du bureau d'étude. Le procédé de moulage (à 60°C sous vide) convient donc pour la fabrication des panneaux de contreplaqué collés à forte teneur en eau (Figure 1).

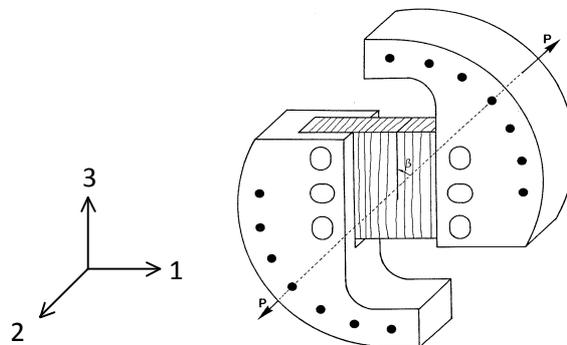


**Figure 1 :** Contreplaqué mis en oeuvre sous vide

### Analyse du comportement sous sollicitations mixtes

De nombreuses recherches [8-11] ont établi que la fissure inter- ou intra-laminaire est la cause la plus fréquente de rupture des matériaux composites. En effet, la rupture en traction-cisaillement peut avoir lieu pendant le procédé de moulage du contreplaqué ou pendant son cycle de vie, dans le bois ou dans le joint de colle. Les paramètres de fabrication étant fixés précédemment, la seconde partie de ce travail est centrée sur la caractérisation inter-laminaire du contreplaqué.

Un montage spécifique a été utilisé [12] pour imposer des sollicitations en traction, en cisaillement ou des modes de chargement mixtes sur l'échantillon (Figure 2). Des angles de 90° (tension pure), 0° (cisaillement pur), 15° et 45° (mode mixte) ont été choisis pour la direction de la charge P. Les résultats sont utilisés pour définir une fonction d'état limite du matériau.



**Figure 2 :** Montage utilisé pour l'analyse du mode de rupture de l'échantillon [12]

Une équation a été établie pour caractériser la rupture en mode mixte du contreplaqué collé vert :

$$\left( \frac{\sigma_3}{\sigma_{3u}} \right)^2 + \left( \frac{\tau_{13}}{\tau_{13u}} \right)^3 = 1$$

Lors des tests réalisés aux différents angles de sollicitation, la rupture est observée majoritairement dans les plis de bois. Cette équation dépend donc des contraintes de cisaillement et de traction dans les plis de bois. L'influence du joint de colle n'est pas observée sur la résistance du composite.

## Perspectives d'évolution

La suite des travaux permettra la fabrication de panneaux à formes complexes. Les propriétés élastiques des panneaux seront déterminées. De plus, afin de mieux comprendre la relation teneur en eau / grammage de colle, des observations microscopiques du joint dans les différentes configurations étudiées seront réalisées.

## Remerciements

Les auteurs remercient l'ANRT (Association Nationale de la Recherche Technologique) et le conseil régional d'Aquitaine pour le financement de la thèse CIFRE, ainsi que le Cluster ABOVE pour les fournitures de matière première.

## References

1. M. Sterley. Green gluing of wood. Licentiate thesis, KTH civil and architectural engineering Stockholm Sweden, 2004.
2. G. Daude. Synthèse d'une colle pour le Pin Maritime vert. Patent FR 2,842,818, 2002.
3. R. Pommier. Compréhension de l'aboutage du bois vert : détermination du procédé et principes physico mécaniques appliqués au Pin maritime. *XXV<sup>èmes</sup> rencontres du génie civil 2007-Prix René Houpert*, 2007.
4. R. J. Nebesar. Molded boat Hull, US Patent No. 2,617,126, 1952.
5. B. G Heebink. Bag molding of plywood. *Forest products library*, 1943
6. NGo D. and Pfeiffer E.: The art of plywood furniture. Princeton Architectural Press New York, 2003.
7. M. Gougeon: Gougeon Brothers on Boat Construction: Wood and West System Materials. Gougeon Brothers, fifth edition Michigan, 2005.
8. M. Arcan, Z. Hashin, A. Voloshin. A method to produce uniform plane stress states with applications to fiber reinforced materials. *Experimental Mechanics*, 18:141-146, 1978.
9. R. Rikards. Interlaminar fracture behaviour of laminated composites. *Computers and structures*, 76:11-18, 2000.
10. N. Choupani. Mixed-mode I/II interlaminar fracture of CF/PEI composite material. *Journal of aerospace science and technology*, 3(4):185-193, 2006.
11. J. Y. Cognard, L. Sohier and P. Davies. A modified Arcan test to analyze the behavior of composites and their assemblies under out-of-plane loadings. *Composites, Part A* 42(1):111-121, 2011.
12. P. Caumes. Rupture d'un matériau anisotrope en conditions polymodales (le bois). PhD thesis, Bordeaux1 University, France, 1987

## **Etude de faisabilité de production de charbon à partir du bambou en vue de la lutte contre la déforestation**

Randrianarimanana Jean Jacques<sup>1,2</sup>, Ramananantoandro Tahiana<sup>1</sup>, Pommier Régis<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Département des Eaux et Forêts, BP 175 Antananarivo 101, Madagascar*

<sup>2</sup> *Université de Bordeaux 1, Institut de Mécanique et d'Ingénierie, Département Génie Civil Environnemental, 351, cours de la libération, 33405 Talence CEDEX, France*

La déforestation fait partie des plus graves problématiques environnementales et participe au réchauffement climatique. Elle se produit partout dans le monde, en particulier dans les pays en voie de développement. A Madagascar, cette déforestation s'explique par trois activités principales: la culture sur brûlis, l'exploitation forestière, et la production de combustible et de charbon de bois pour les usages domestiques. Madagascar a perdu la moitié de son couvert forestier au cours de ces cinquante dernières années; les forêts y sont coupées à un taux alarmant pour produire du charbon de bois et dans certaines régions, les locaux se tournent même souvent vers les espèces d'arbres endémiques comme par exemple *Alluaudia* spp.. Etant une ressource à croissance rapide, l'utilisation du bambou comme charbon végétal à la place du bois permettrait de lutter contre la déforestation et les changements climatiques. Par ailleurs, étant donné que Madagascar est le pays le plus riche en bambou parmi les pays africains, le développement de la filière Bambou y représente une grande opportunité non seulement pour les artisans, mais aussi pour tous les acteurs qui œuvrent dans les filières fortement demandées tant au niveau local qu'à l'extérieur.

La présente étude a pour objectif de caractériser les propriétés physiques (densité et humidité sur pied) de trois espèces de bambous malgaches (*Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris constrictinoda*, *Arundinaria marojejensis*) en vue de la fabrication de charbons. Il s'agit ensuite de caractériser les propriétés des charbons de bambou carbonisés selon la technique traditionnelle à travers la mesure de la teneur en cendres, etc. Cette méthode de carbonisation consiste à creuser une fosse dans laquelle on place la charge que l'on couvre hermétiquement par des matières végétales et une couche de terre pour assurer la cuisson.

Les résultats montrent que *Dendrocalamus giganteus* peut être classé parmi les bois mi-lourds et *Bambusa vulgaris constrictinoda* parmi les bois légers, leurs densités sont respectivement 0,68 et 0,54. Ces densités sont équivalentes aux densités de plusieurs espèces de bois transformés en charbons à Madagascar. Quant à la technique de carbonisation, deux ajustements ont dû être apportés: fendage des bambous et orientation des bambous parallèlement au sens de circulation de l'air. Même si la technique présente des inconvénients en raison d'un rendement assez faible et d'une variation grossière de la qualité du charbon, les résultats nous montrent qu'il est possible de fabriquer du charbon avec les trois espèces de bambou étudiées. Ce procédé a permis d'obtenir des charbons de bambous qui satisfont la majorité des exigences des normes concernant les propriétés physico-chimiques des charbons de bois telles que NF EN 1860-2 (2005) et les recommandations de la FAO (1983), exceptée pour la teneur en carbone fixe.

La caractérisation des propriétés physico-chimiques effectuées montrent que les charbons des trois espèces de bambous sont moins performants que les charbons d'*Eucalyptus robusta*. Ainsi, les pouvoirs calorifiques inférieurs des trois espèces de bambous *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris constrictinoda* et *Arundinaria marojejensis* sont respectivement de 7516, 7605 et 7742 Kcal/Kg contre 7892 Kcal/Kg pour l'*Eucalyptus robusta* et 7816 Kcal/Kg pour l'*Eucalyptus* du marché. Les tests d'ébullition d'eau confirment également ces résultats, les valeurs de la consommation spécifique des charbons de bambous sont supérieures à celle du charbon d'eucalyptus.

Tous les résultats permettent d'affirmer que les trois espèces de bambou peuvent constituer une alternative à l'utilisation du bois dans la fabrication des charbons de bois.

De très grands chantiers de plantations de bambou (par exemple mis en œuvre par des fondations chinoises et des ONG malgaches) ainsi que de nouvelles études pour la connaissance de ce produit par les populations locales, permettront peut-être à la population de se détourner de la forêt endémique. La suite de la thèse va se concentrer sur de nouveaux usages du matériau, notamment la mise en œuvre de panneaux.

Mots-clés : bambou, charbon, technique traditionnelle, Madagascar, propriétés physico-chimiques.

## Session B

B01 **Goué Nadia**

PIAF (Clermont)

nadia.goue@clermont.inra.fr

### **Déterminismes biophysiques et moléculaires de la vulnérabilité à l'embolie chez le peuplier**

N. Goué, E. Badel, T.S. Barigah, H. Cochard

*Université BLAISE PASCAL, UMR547 PIAF, F-63177 AUBIERE*

L'arbre fixé au sol doit s'adapter aux contraintes environnementales (température, disponibilité en eau et en lumière, ...). La transpiration est la force majeure permettant le transport de l'eau des racines vers le houppier via des cellules spécialisées du bois appelées vaisseaux xylémiens chez les angiospermes. L'eau y circule sous pression négative et de manière continue. Lorsque les conditions climatiques deviennent défavorables pour l'arbre, cette pression négative s'accroît et peut conduire à une rupture de la colonne d'eau. Ce phénomène induit l'embolie et peut s'avérer fatal à la survie de l'arbre (Sperry and Tyree, 1988). La vulnérabilité à l'embolie diffère selon les espèces et les conditions de croissance de ces espèces (Choat et al., 2012). Elle serait liée à l'anatomie des vaisseaux (Awad et al., 2010) et en particulier, à l'échelle pariétale, à la structure des ponctuations qui réalisent la jonction hydraulique entre les vaisseaux (Awad et al., 2012).

Pour valider cette hypothèse, des peupliers ont été soumis à différentes contraintes hydriques. Le bois produit a été analysé selon une approche pluridisciplinaire :

- (i) écophysiologique, en caractérisant les fonctions hydrauliques telles que la conductance stomatique, la transpiration, la pression de sève et la vulnérabilité à la cavitation ;
- (ii) anatomique, par une approche de microscopie optique permettant l'analyse de la structure des vaisseaux. En effet, il existe des corrélations entre la sensibilité à la cavitation, l'épaisseur des parois et la densité des vaisseaux. Cette approche est associée à une observation par tomographie à rayon X permettant de caractériser la distribution spatiale de l'embolie; et enfin, la caractérisation de la structure des ponctuations (épaisseur et diamètre de la membrane) par microscopie électronique à transmission ;
- (iii) biomécanique en déterminant les propriétés physiques du bois produit ;
- (iv) moléculaire par une analyse transcriptomique à l'échelle des tissus. La formation du bois étant sous contrôle moléculaire, il est fort probable que des gènes impliqués dans la vulnérabilité à l'embolie soient également impliqués dans la biosynthèse et/ou des modifications de la paroi des vaisseaux et des ponctuations.

Les résultats préliminaires obtenus sur des plantes stressées obtenues au cours de la saison de végétation 2012 sont présentés. Le niveau de stress hydrique subi par les plantes au cours de leur conditionnement en serre a été évalué. Les plantes stressées ont montré une plus faible conductance stomatique, transpiration foliaire et un potentiel hydrique plus bas que les plantes témoins. Les résultats de tomographie à rayon X indiquent que le bois produit en conditions de stress hydrique est également plus résistant à l'embolie.

### Références

- Awad, H., Barigah, T., Badel, E., Cochard, H. and Herbette, S. (2010) Poplar vulnerability to xylem cavitation acclimates to drier soil conditions. *Physiol Plant* **139**, 280-288.
- Awad, H., Herbette, S., Brunel, N., Tixier, A., Pilate, G., Cochard, H. and Badel, E. (2012) No trade-off between hydraulic and mechanical properties in several transgenic poplars modified for lignins metabolism. *EEB* **77**, 185-195.
- Choat, B., Jansen, S., Brodribb, T.J., Cochard, H., Delzon, S., Bhaskar, R., Bucci, S.J., Feild, T.S., Gleason, S.M., Hacke, U.G., Jacobsen, A.L., Lens, F., Maherali, H., Martinez-Vilalta, J., Mayr, S.,

Mencuccini, M., Mitchell, P.J., Nardini, A., Pittermann, J., Pratt, R.B., Sperry, J.S., Westoby, M., Wright, I.J. and Zanne, A.E. (2012) Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature* **491**, 752-755.

Sperry, J.S. and Tyree, M.T. (1988) Mechanism of water stress-induced xylem embolism. *Plant Physiol* **88**, 581-587.

B02 **MARTIN Ludovic**

Piaf (Clermont)

[ludovicmartin63@yahoo.fr](mailto:ludovicmartin63@yahoo.fr)

### **Acclimatation des arbres aux déformations dues au vent : du gène à la structure de la tige**

Martin L.<sup>1</sup>, Badel E.<sup>2</sup>, Leblanc-Fournier N.<sup>1</sup>, Decourteix M.<sup>1</sup>, Lenne C.<sup>1</sup>, Coutand C.<sup>2</sup>, Moulia B.<sup>2</sup>, Julien J.L.<sup>1</sup>

1 *Université BLAISE PASCAL, UMR547 PIAF, F-63177 AUBIERE*

2 *INRA, UMR547 PIAF, F-63100 CLERMONT-FERRAND*

Les plantes répondent aux stimulations mécaniques environnementales, comme le vent, en acclimatant leur structure interne et externe. Les réponses de croissance, ou thigmomorphogenèse, se caractérisent généralement par une diminution de la croissance primaire, une augmentation de la croissance secondaire et de l'allocation racinaire et une modification des propriétés mécaniques des tiges. Des approches biomécaniques portant sur l'effet d'une flexion contrôlée de la tige sur la croissance longitudinale de plants de tomate (Coutand et Moulia, 2000), puis sur la croissance secondaire et la réponse moléculaire de jeunes peupliers (Coutand, Martin et al., 2009) ont abouti à la proposition d'un modèle intégratif mécanique de la mécanoperception, modèle S3m. Ce dernier suppose que la mécanoperception au niveau des territoires cellulaires compétents est proportionnelle à leur déformation locale et au volume du territoire considéré.

Dans la nature, les plantes étant soumises à des alternances d'épisodes venteux et d'épisodes calmes, nous avons cherché à comprendre comment les arbres sont capables de s'acclimater aux déformations induites par le vent. Pour cela nous avons étudié, chez de jeunes peupliers (*Populus tremula* x *Populus alba*), l'effet de flexions contrôlées répétées journalières de la tige sur la croissance en diamètre, et sur l'expression de gènes mécanosensibles connus : PtaZFP2 code pour un facteur de transcription (Martin et al., 2009) et PtaTCH4 code pour une xylogucane endotransglycosylase intervenant dans la modification de la paroi des cellules. Les résultats que nous avons obtenus montrent qu'après une première forte augmentation de croissance suite à une première sollicitation, les plantes présentent une période de désensibilisation rapide et quasi complète de la réponse de croissance secondaire. Ce phénomène est visible de manière anticipée au niveau de la réponse de ces deux gènes (Martin et al., 2010). Nos travaux ont également mis en évidence des modifications de l'anatomie des tiges et leurs conséquences sur les propriétés mécaniques. Ainsi, nous avons observé la formation d'un bois particulier sur la partie de tige en tension lors de la flexion. Ce bois se caractérise par des vaisseaux moins nombreux et rassemblés en clusters. De plus, on peut noter la présence d'un épaississement interne de la paroi constitué de cellulose rappelant la couche G caractéristique du bois de tension au niveau des fibres du xylème.

### Références

Coutand C and Moulia B. (2000). Biomechanical study of the effect of a controlled bending on tomato stem elongation: local strain sensing and spatial integration of the signal. *Journal of Experimental Botany* 51(352): 1825-1842.

- Coutand C.\*, Martin L.\*, Leblanc-Fournier N., Decourteix M., Julien J.L. and Moulia B. (2009). Strain mechanosensing quantitatively controls diameter growth and PtaZFP2 gene expression in poplar. *Plant Physiology* 151: 1-10.
- Martin L., Leblanc-Fournier N., Azri W., Lenne C., Henry C., Coutand C. and Julien J.L. (2009). Characterization and expression analysis under bending and other abiotic factors of PtaZFP2, a poplar gene encoding a Cys2/His2 zinc finger protein *Tree Physiology* 29: 125-136
- Martin L., Leblanc-Fournier N., Julien J.L., Moulia B. and Coutand C. (2010). Acclimation kinetics of physiological and molecular responses of plants to multiple mechanical loadings. *Journal of Experimental Botany* 31: 2403-2412.

---

B03 **LAKHAL Wassim** AGPF (Orléans) [wassim.lakhal@orleans.inra.fr](mailto:wassim.lakhal@orleans.inra.fr)

### **Etude fonctionnelle des facteurs de transcription impliqués dans la formation du bois de tension chez le peuplier**

Wassim Lakhal

AGPF, Orléans

Le bois est une ressource renouvelable, utilisée comme matériau, matière première et source d'énergie. Chez le peuplier, l'inclinaison de tige aboutit à la formation du bois de tension, caractérisé par des fibres de bois particulières, appelées fibres G, avec une paroi très épaisse, très riche en cellulose cristalline et dépourvue de lignines. La formation de ce type de bois résulte de l'expression coordonnée de nombreux gènes. Cette expression est sous le contrôle d'un nombre de gènes régulateurs, dont font partie les facteurs de transcription (FT) qui agissent au sein de complexes de régulation multiprotéiques. La disponibilité de la séquence du génome du peuplier (Tuskan et al., 2006), ainsi que les données croissantes en transcriptomique permettent d'envisager le décryptage des réseaux de régulation génique aboutissant à la différenciation de la fibre G dans le bois de tension. Le projet de thèse vise à identifier différents acteurs majeurs de ces réseaux, FT, leurs cibles ADN et leurs protéines partenaires dans le but de mieux comprendre les mécanismes de la formation de la fibre G. Après la sélection de quelques FT potentiellement importants pour la formation du bois de tension et pour mener aux objectifs de la thèse, diverses techniques sont envisagées : (1) l'immunoprécipitation de la chromatine associée à du séquençage nouvelle génération (ChIP-SEQ) pour identifier les cibles ADN des FT. (2) La transformation génétique des plantes pour étudier l'effet de la modification de l'expression du FT in planta sur la formation du bois de tension.

---

B04 **COSTA Guy** LCSN (Limoges) [guy.costa@unilim.fr](mailto:guy.costa@unilim.fr)

### **Modifications glucidiques des polysaccharides pariétaux**

G. Costa, S. Lhernould, V. Gloaguen

*LCSN-EA1069, Université de Limoges, Faculté des Sciences et techniques, 123 Avenue Albert Thomas, F-87060 Limoges, France*

Parmi les macromolécules présentes dans le bois, les xylanes forment la classe polysaccharidique hémicellulosique la plus abondante. La biosynthèse, le remodelage de ces molécules, ainsi que leur distribution et leur valorisation chimique sont d'autant de voies de recherche explorées par le laboratoire de Chimie des Substances Naturelles. Si classiquement les

xylanes sont extraits à l'aide de KOH 1 ou 4M, leur analyse structurale nous montre que ces molécules extraites sont altérées. Pour ce faire nous avons mis au point des méthodes physiques d'extraction, utilisant les micro-ondes, nous permettant de conserver en partie certaines fonctions chimiques, comme les groupements acétyls. La distribution de ces derniers au sein du polymère a été suivie chez plusieurs essences, comme le châtaignier et le peuplier. Après avoir caractérisé la structure des xylanes, le laboratoire de Chimie des Substances Naturelles c'est intéressé à leur distribution dans le bois. A l'aide d'anticorps anti-xylanes, nous avons pu suivre la distribution des ces polysaccharides au cours de la formation du bois. Ces études nous ont conduit à développer et à caractériser un modèle in vitro de formation d'un bois particulier : le bois de tension. Ce dernier nous a permis ensuite de caractériser certains gènes impliqués dans le remodelage des xylanes au cours de la formation du bois. A l'aide d'approches multidisciplinaires nous avons affiné à la fois nos connaissances quant à la structure moléculaires des 4-O methyl glucuronoxylane, ainsi qu'à leur distribution et leur remodelage au cours de la formation du bois. Le modèle bois de tension, a été l'un des modèles de formation du bois étudié par notre équipe.

B05 **RUELLE Julien**

Lerfob (Nancy)

julienruelle@hotmail.com

### Le plateau xylosciences

Julien Ruelle

UMR LERFoB INRA-AgroParisTech Nancy

Le plateau Xylosciences mutualise des équipements scientifiques permettant d'accéder aux différentes échelles du bois et aux questions de recherche afférentes. Il fédère ainsi des compétences humaines, des équipements remarquables, et plusieurs chaînes de mesures et d'analyses permettant de couvrir les différentes modalités de variations des matériels étudiés. Hébergé par 2 laboratoires localisés autour de Nancy, le Lerfob et le Lermab, il est ouvert aux autres acteurs impliqués dans ces thématiques.

Tableau 1 : organisation du plateau sous la forme de divers ateliers

Atelier	Echelle	Equipement / activités
Morphologie	Placette / Individu	LIDAR
Biomasse / Dendrométrie	Individu / Echantillon macroscopique	- Chaîne de mesure de largeur de cernes - Estimation de biomasse
Tomographie à Rayons X	Grume / Echantillon macroscopique	- Scanner médical à rayons X - Microtomographe
Anatomie quantitative / Formation du bois	Microcarotte / Cerne / Tissus / Paroi cellulaire	- Chaîne de préparation et d'inclusion - Microtomie - Microscopie / Analyse d'image
Diffraction et mesures physiques sur micro-échantillons	Paroi cellulaire / macromolécules	- Diffractomètre à rayons X
Analyse de la composition chimique du bois	Molécules	- UHPLC/MS/MS - Thermodesorbeur-GC/MS - Chromatographie ionique - chromatographie d'exclusion stérique

Les recherches menées autour du plateau (tableau 1) ont pour objectif une caractérisation intégrée de la ressource Forêt – Bois aux différentes échelles d'observation pertinentes : formes et volumes d'arbres à l'échelle de la placette forestière ; croissance et ramification, et les variations de densités associées, dans l'arbre ; variations de densité, de structure et de propriétés aux échelles du tissu et/ou des cellules ; caractéristiques chimiques et répercussions sur les possibilités de transformation enfin. L'originalité de Xylosciences réside au premier chef dans la caractérisation multi-échelle tout au long de la chaîne de transformation (l'arbre, le matériau en allant de la planche à la paroi cellulaire et ses constituants, le produit bois transformé ou en cours de transformation). La traçabilité des données entre ces différentes échelles est une des volontés de Xylosciences. Les outils et les prestations développées s'inscrivent dans cette démarche très multi-échelle.

B06 **BOUDOUAYA Manel** Lerfob (Nancy) [Manel.Boudouaya@nancy.inra.fr](mailto:Manel.Boudouaya@nancy.inra.fr)

**Contribution à l'étude des propriétés physiques et mécaniques du bois de *Pistacia atlantica* Desf. en Algérie occidentale**

Manel Boudouaya

*UMR LERFoB INRA-AgroParisTech Nancy*

Les propriétés du bois de pistachier sont très mal connues. Nous présentons ici les premiers résultats d'une analyse portant sur 6 arbres provenant de 2 régions algériennes, la région de M'sid géographiquement localisée à 50 km au nord-est du chef lieu de la wilaya de Sidi bel abbés et de la forêt de Rechaïga de la wilaya de Tiaret (Algérie occidentale). Les propriétés suivantes ont été mesurées : la microdensitométrie, les mesures vibratoires et physiques, la colorimétrie, la durabilité naturelle. L'âge des arbres échantillonnés varie entre 23 ans et 51 ans, leur masse volumique moyenne entre 840 et 1040 kg/m<sup>3</sup> et leur module d'élasticité entre 7,71 et 11,53 GPa. Au niveau intra arbre, de bonnes corrélations entre module d'élasticité et masse volumique ont été mises en évidence dans l'aubier comme dans le duramen. Cependant, le duramen présente une densité sensiblement plus élevée que l'aubier (1151kg/m<sup>3</sup> dans le duramen contre 854 kg/m<sup>3</sup> dans l'aubier) pour un module d'élasticité équivalent (10,18GPa dans le duramen contre 9,66 GPa dans l'aubier).

B07 **BILOT Nicolas** Lerfob (Nancy) [nicolas.bilot@nancy.inra.fr](mailto:nicolas.bilot@nancy.inra.fr)

**Comment raisonner la durabilité et la performance des systèmes de production de biomasse forestière pour l'énergie?**

Nicolas Bilot

*UMR LERFoB INRA-AgroParisTech Nancy*

Dans le cadre des prérogatives liées au paquet climat énergie, la France doit amener la part de ses énergies renouvelables à 23% d'ici à 2020 (8% en 2008, 12% en 2011). Le bois représente environ 50% de ces énergies renouvelables, la filière de production française est donc sujette à une forte pression d'exploitation.

Le but de la thèse est de mettre au point une méthode de caractérisation d'indicateurs de productivité (rendement énergétique à l'hectare) et de maintien de la fertilité des sols (quantité et qualité de la minéralomasse exportée) permettant de comparer différents systèmes de production de plaquettes forestières combustibles, c'est-à-dire différents choix d'itinéraires techniques sylvicoles (choix de l'essence, de la durée de la révolution, en fonction de la classe de fertilité du sol voire du climat), d'exploitation et de transformation (scénarios traduits en terme de quantité de plaquettes forestières produites, directement lors de la récolte initiale ou dans les produits connexes à différentes étapes de la filière). Des couplages entre indicateurs sont envisageables (réutilisation des cendres pour fertiliser le sol). Le travail fera appel à la modélisation (assemblage de modèles de croissance forestiers et de modèles de transformation permettant de simuler des flux de matière et d'énergie, méthodes dérivées de l'analyse de cycle de vie des produits) sous la plate-forme CAPSIS. Les enjeux sont environnementaux et économiques (les modèles seront ultérieurement couplés à des modèles économiques) dans le cadre d'une intensification de l'exploitation.

B08 COLIN Francis

Lerfob (Nancy)

colin@nancy.inra.fr

### **La tomographie à rayons X : un outil prometteur pour étudier le matériau bois**

Morisset JB., Mothe F., Longuetaud F., Colin F.

*UMR LERFoB INRA-AgroParisTech Nancy*

La tomographie à rayons X (TRX) est une méthode non destructive d'analyse rétrospective simultanée de la croissance primaire, de la ramification, de la croissance secondaire et de la duraminisation. Plus particulièrement, dans son état d'avancement actuel au LERFoB, elle permet :

- de quantifier automatiquement la croissance en hauteur de l'apex de l'arbre à la souche et particulièrement aux stades juvéniles (Epicéa et Sapin) ;
- de quantifier manuellement l'ontogénèse raméale, concernant aussi bien la ramification séquentielle qu'épicormique (diverses essences) ;
- de quantifier l'impact de l'architecture et particulièrement de la phyllotaxie sur l'agencement des traces raméales dans le bois (diverses essences) ;
- de quantifier la qualité des bois liée à la nodosité séquentielle et épicormique ;
- d'inférer les conditions de croissance passée, particulièrement pour les essences tolérantes à l'ombrage, le bois devenant ainsi bio-indicateur (étude en cours sur Sapin) ;
- d'identifier les caractéristiques du bois (effectifs de bourgeons latents) permettant de quantifier la fonction de réparation, régénération du bois (travaux bien avancés sur Chêne) ;
- de quantifier l'aubier et le duramen et donc de quantifier la fonction de conduction du bois ;
- d'analyser la ramification passée de systèmes racinaires (étude en cours sur Pin sylvestre).

Le poster, présenté en anglais, illustre quelques résultats de la thèse de JB Morisset ; il permet d'illustrer les apports de la TRX dans l'analyse de l'ontogénèse des épicormiques et ses implications pour la gestion forestière.

**Feasibility of glue laminated timber beams with neo-tropical hardwoods**D. Bourreau<sup>a</sup>, Y. Aimene<sup>a</sup>, J. Beauchêne<sup>a</sup>, B. Thibaut<sup>b</sup>*a UAG-UMR Ecofog, Pôle Universitaire Guyanais, 97337 Cayenne Cedex.**b CNRS-LMGC, Université de Montpellier2, 34095 Montpellier.*

Gluing successfully wood depends on how well we understand and control the complexity of factors that constitute the individual links in the adhesive bonding of wood components. Moreover, in tropical climates, the principal problem in glulam manufacturing is the high temperature and humidity which weakens the adhesive. Another issue with tropical hardwood properties could be their high specific gravity which is highly correlated to wood porosity, high shrinkage coefficient... All these factors make the adequate selection of wood species for glulam manufacturing a real challenge. In addition, the gluing step during the glulam manufacturing process could be the most critical factor affecting the mechanical properties of the timber beams. In other words, under tropical conditions, manufacturing a timber beam requires adequate settlement between gluing step parameters, appropriate wood and moisture content, careful surface preparation of the lamellas before gluing, homogeneous glue joint thickness, and sufficient penetration of adhesive in lamellas. Due to a glulam importation increase in French Guiana, and to avoid chemical treated wood product, a feasibility study of glued-laminated timber beams was carried out. Using local wood species chemical treatment could be avoid and local resource valorize. The objective is to evaluate parameters that could ensure good mechanical properties for the manufactured glued-laminated beams in tropical climate. Thus, this study attempt to highlight wood and gluing parameters influences on delamination risks and shear resistance of glued assembly used in construction.

Due to a wide variety of wood species in French Guiana, industrial constraints, and wood properties imposed a rigorous choice of species. Three abundant wood species were selected: *Qualea rosea*, *Dicorynia guianensis* and *Peltogyne venosa*. One reference wood, *Larix decidua*, a softwood commonly used in temperate countries was also considered. Resorcinol-Phenol-Formaldehyde resin was used for gluing. The main gluing parameter considered in the study is the adhesive spread rate. To manufacture glulam samples in accordance to the European standards, three lamellas are glued (with a double face spread resin), stuck together during a Closed Assembly Time of 40 mn and then pressed with a manual screw press for at least, six hours. The gluing pressure applied at the interface of the lamellas was around 1 MPa. These parameters are imposed by the manufacturing equipment and processes. The adhesive spread rate applied on the lamella's surfaces is higher than 250 g/m<sup>2</sup>.

Using European standardized laboratory procedures, several laboratory tests were performed on normalized samples. The criteria used to evaluate the lamella's gluing success was based on delamination and shearing elementary tests. The delamination test consists of two cycles of water immersion at high pressure and drying which induces severe hygroscopic variation in wood thus causing joints opening. The block shear test permits to evaluate the shear mechanical resistance parallel to the grain of the glued assembly. After the failure of the assembly, the adherence of the glue joint is also assessed in order to appreciate the weaken part of the composite (adhesive or wood).

According to the standardized test, shear results show an adequacy between shear resistance  $f_v$  and the adherence coefficient  $A$ . In addition, shear resistance in glue joint is equal to the one found on the massive wood. This result shows that used gluing parameters give rise to a high mechanical joint. Resin joints seem to resist well to shearing. This is not the case for delamination test which involves both joint opening by traction and shearing. Delamination results show; first, that this factor decreases with the increases of the adhesive spread rate. Secondly it appears that less than 40% of the resin is missing for all species, but the *Q. rosea* shows the highest loss. Moreover,

delamination risks arise when ambient temperature increase, due to a quicker polymerisation of the adhesive prior to create a sufficient assembly under pressure. At last, by varying lamellae thicknesses, delamination factor decreased when thickness too. This revealed the impact of wood properties (specific gravity, shrinkage coefficient ...) and gluing parameters (spread rate, CAT and pressure) on the joint resistance and the mechanical properties of the product. It appears that, porosity combines with hydraulic conductivity explain adhesive penetration into the wood, and the arising of thin joint. A porous but dense wood, presenting weak hydraulic capacity (*P. venosa*) can squeeze out the adhesive of the gluing surface when pressure is applied. On contrary, porous wood with high hydraulic capacity (*Q. rosea*) presents excessive penetration of the resin into the lamellae. Both scenarios conduct to a thin joint assembly, weaken the resistance toward delamination. However, the flow of the resin into the vessels did not only depend on the geometrical factors of the wood those are quantified with permeation and porosity. This resin flow also depends on the surface chemistry of the resin in contact with the wood. Wettability tests were performed to evaluate the chemistry affinity between wood and resin and to evaluate the capacity of the supports to create a chemical bond. The wettability results show that the reference softwood, *L. Decidua*, has higher wettability than the used tropical hardwoods. Nevertheless. this observation may explain the positive delamination tests obtained with the *D. guianensis* which has a comparable wettability with the *L. Decidua*. At the end of the delamination tests, these two species got the higher adhesive spread rate. Despite the small porosity index, the *D. guianensis* with its high wettability, allowed parts of the resin to flow in its vessels. This specific part of the resin which penetrates the vessels, associated to a satisfactory resin joint thickness makes the adhesion resin/wood higher after the polymerization of the resin.

Joint resistance depends on the bonding of the resin to the wood support. This bonding process is controlled by both resin and wood properties. The study found that the key wood parameters affecting this bonding process are the wettability of the wood surface, the wood geometrical properties like porosity and permeation, and finally wood physical properties such as specific gravity and shrinkage. When all these parameters are well controlled, they may lead to a resistant glue laminated timber beams.

**B10** **MAKOUANZI-EKOMONO Chrissy-Garel** Agap (Montpellier) [garelmak@yahoo.fr](mailto:garelmak@yahoo.fr)

### **Relation composition chimique du bois et croissance des eucalyptus hybrides - Implications dans la sélection**

Chrissy-Garel Makouanzi-Ekomono

*Agap, Montpellier*

La variabilité conjointe des de croissance (hauteur et circonférence) et des propriétés chimiques du bois (teneur en lignine, rapport syringyl/guaiacyl, taux d'extrait) a été étudiée sur 34 clones âgés de 5 ans de l'hybride *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* du Congo. Les propriétés chimiques du bois ont été prédites par le NIRS en utilisant des poudres de bois prélevées sur des échantillons d'arbres à 1,30 m. L'étude rapporte que les propriétés chimiques du bois sont moins variables et plus héréditaires que les caractères de croissance. La corrélation génétique entre la croissance et la teneur en lignine est négative et faible, tandis que la corrélation environnementale entre les deux types de variables est positive et faible. La sélection des clones d'*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* basée sur la croissance réduit très faiblement le taux de lignine et la proportion de syringyl, elle augmente très faiblement le taux d'extrait.

Mots clés : Variabilité, hérédité, Amélioration génétique, corrélations, propriétés chimiques du bois.

B11 **ARNAUD Charlène** Amap (Montpellier) [charlene.arnaud30@gmail.com](mailto:charlene.arnaud30@gmail.com)

**Mise en relation des cernes intra-annuels et du polycyclisme chez *Pinus brutia* Ten.**

Charlène Arnaud

*Amap, Montpellier*

Les variations cambiales inter et intra-annuelles, en fonction du climat, chez les conifères en contexte méditerranéen est un objet d'étude depuis de nombreuses années. L'apparition chez des espèces du genre *Pinus* de « faux cernes » ou de « fluctuations de densité intra-annuelles » (IADFs), a été à plusieurs reprises liée à des facteurs climatiques tels que des épisodes de sécheresse ou des précipitations supérieures à la normale. Seules quelques études récentes ont tenté de faire le lien entre la croissance primaire (allongement des pousses et mise en place des feuilles) et la croissance radiale des arbres. De plus, les méthodes utilisées dans l'étude de l'activité cambiale permettant la lecture de ces fluctuations intra-annuelles s'avèrent coûteuses en temps, et l'utilisation de micro-carottes de bois ne permettent qu'une observation très localisée dans la plante. Nous proposons, dans cette étude, de mettre en place une chaîne opératoire permettant un suivi multi-échelles des variations cambiales intra-annuelles à partir de sections de bois prélevées à différents niveaux dans l'arbre afin de trouver des marqueurs morpho-anatomiques reflétant d'un couplage entre l'activité des méristèmes primaire et secondaire. Les résultats montrent la présence de deux types de variations intra-annuelles dans les cernes de croissance que l'on appellera cernes intra-annuels. Les résultats concluants de l'approche protocolaire novatrice permettent d'envisager à plus grande échelle une étude plus approfondie de ces mécanismes afin de mettre en évidence ou non une relation entre l'activité des méristèmes et leur fonctionnement à différents niveaux de la plante.

B12 **SEGLA Kossi-Novinyo** Cirad/BioWooEB (Montpellier) [seglos003@yahoo.fr](mailto:seglos003@yahoo.fr)

**Influence des conditions écologiques et de gestion des ressources forestières sur la qualité technologique de *Pterocarpus erinaceus* (Poir) au Togo**

Segla K., Kokutse A.D., Kouami K., Guibal D., Chaix G., Langbour P

*BioWooEB, CIRAD, Montpellier*

*Pterocarpus erinaceus*, le Vène, est l'une des espèces des domaines climatiques soudanien et guinéen du Togo revêtant une importante contribution socio-économique. Dans ce contextes et pour donner des éléments de réponses aux gestionnaires, Le présent travail vise d'une part à déterminer les propriétés physiques et mécaniques (retraits, densité, PSF, MOE, MOR, compression, dureté) de son bois et d'autre part à évaluer l'efficacité de la spectroscopie proche infra rouge à prédire ces propriétés. Les résultats observés sur 20 arbres, agés entre xx et yy ans environ, prélevés dans deux zones écologiques différentes (Kéran, zone soudanienne ; Abdoulaye, zone soudanienne), montrent des différences de données dendrométriques (diamètres, hauteur du fût,...) qui sont liées à l'âge des arbres et du type du milieu (fermé/ouvert). Nous n'avons pas observé de différences entre les deux sites pour ce qui concerne les retraits, le PSF, le MOE, la contrainte de rupture en flexion et la dureté. Par contre, la densité, la contrainte de rupture en compression et l'anisotropie du bois de *Pterocarpus erinaceus* sont plus élevées à Kéran qu'à Abdoulaye. Cette étude a mis en évidence des corrélations attendues entre la densité et la dureté, les retraits T et R et le PSF, l'anisotropie et le retrait R et enfin le PSF et l'infra densité. Nous avons montré que la spectrométrie proche infra rouge pouvait être utilisée pour prédire les propriétés physiques et mécaniques du bois de Vène. En effet, les modèles de prédiction pour les propriétés physiques montrent des coefficients de déterminations ( $R^2$ ) entre

mesures de référence et prédictions allant jusqu'à 0,92 (mettre la propriété).. Pour les propriétés mécaniques étudiés, le R<sup>2</sup> atteint 0,68 (mettre la propriétés). Par ailleurs, ces résultats donnent un ensemble d'éléments de décision quant à la gestion des ressources de cette espèce que ce soit pour la gestion sylvicole des peuplements existants, celle des ressources génétiques et enfin pour un éventuel programme d'amélioration et sélection en vue de plantations.

Mots clés : *Pterocarpus erinaceus*, propriétés physiques et mécaniques, spectrométrie, modèle, Togo.

B13 **PALU Serge** Cirad/BioWooEB (Montpellier) [serge.palu@cirad.fr](mailto:serge.palu@cirad.fr)

### **Un latex venu du désert: comment satisfaire la demande de caoutchouc naturel en développant de la biomasse**

Palu S., Pioch D., Amor A., Suchat S., Tardan E.

*CIRAD, UPR 40/42S*

L'hévéa (*Hevea brasiliensis*), cultivé surtout en Asie, pourrait ne plus de couvrir la demande croissante en caoutchouc naturel, notamment par les pays émergents comme la Chine, Brésil et Inde. Les principaux pays transformateurs de caoutchouc envisagent d'en produire eux-mêmes en Europe, en exploitant une plante productrice d'un caoutchouc aux propriétés comparables à celles du latex d'hévéa: un buisson du Mexique, le guayule (*Parthenium argentatum*). La culture du guayule en Europe du Sud est un des objectifs du projet européen EU-PEARLS (European based Production and Exploitation of Alternative Rubber and Latex Sources). La mise en place de parcelles expérimentales dans le cadre du projet européen EU-PEARLS ont permis d'évaluer le potentiel de cette culture en Europe, d'apprendre à maîtriser cette culture nouvelle, de développer un procédé d'extraction de latex non-allergénique, de caractériser les bioproduits des résines dont certains constituants ont des propriétés anti-termites connues, et d'éliminer les idées préconçues sur le guayule. Il y a encore beaucoup d'efforts à faire pour améliorer le procédé d'extraction du latex, pour mieux valoriser les co-produits de la chimie verte par le bioraffinage, pour adapter les variétés américaines les plus performantes aux conditions climatiques de l'Europe du Sud. Le challenge pour produire du caoutchouc naturel en Europe à partir de biomasse de guayule est ouvert.

B14 **MARTIN Luc** Cirad/BioWooEB (Montpellier) [luc.martin@cirad.fr](mailto:luc.martin@cirad.fr)

### **Le projet Anib@rosa : fournir les bases pour une gestion durable du bois de rose en Guyane**

Luc Martin

*BioWooEB, CIRAD, Montpellier*

En Guyane française, le projet Anib@rosa a pour objectif de relancer la filière bois de rose (*Aniba rosaeodora* Ducke) de manière durable. Les actions de recherches menées prennent en compte le contexte social, économique, environnemental et historique de la Guyane. Le projet s'articule autour de trois volets principaux : l'étude des conditions stationnelles et leur impact sur la biomasse et le rendement en huile essentielle. La levée des verrous réglementaires grâce à deux approches, l'utilisation de marqueurs génétiques et la création d'un système de traçabilité

documentaire. L'étude de faisabilité économique, là aussi au travers de deux approches, macro et micro-économique. Au sein de ce projet, la réunion et la cohésion des équipes aux multiples compétences (chimistes, botanistes, généticiens, économistes, agriculteurs etc..) permet d'aborder ce sujet dans sa globalité. Le bois de rose de Guyane *Aniba rosaeodora* Ducke, est un arbre de la famille des lauracées, il produit une huile essentielle contenant majoritairement du linalol. Cette huile essentielle possède des caractéristiques olfactives exceptionnelles. Cette dernière était très recherchée par les parfumeurs de luxe au siècle dernier et fut donc une des principales ressources économique de la Guyane. Mais l'engouement pour ce produit a entraîné une surexploitation de l'espèce qui a conduit à sa protection par arrêté ministériel en 2001. Compte tenu de l'importance historique et économique qu'a joué cette espèce en Guyane et au vu du contexte économique et social actuel difficile de la Guyane, les équipes du projet Anib@rosa se sont rassemblées pour proposer des solutions durable pour la relance de cette filière. L'éco responsabilité est ainsi au cœur de ce projet.

Mots-clés : Guyane, *Aniba rosaeodora* Ducke, filière, huile essentielle, éco responsabilité.

B16 **OLMEDO-MANICH Ignacio** EMGR (Grenoble) ignacio.olmedo@irstea.fr

### **Étude expérimentale et numérique des systèmes ligneux en génie biologique pare-pierre".**

Olmedo-Manich.I, Bourrier.F, Bertrand.D, Berger.F, Limam.A.

*EMGR, IRSTEA Grenoble*

L'utilisation des arbres en travers comme systèmes de protection contre le chute de bloc et stabilisation du manteau neigeux est en train d'augmenter significativement. Ces systèmes temporaires et financièrement très intéressantes n'ont pas été étudiés jusqu'à l'actualité. L'objectif du projet de thèse « étude expérimentale et numérique des systèmes para bloc avec du bois mort (arbres en travers) » est d'analyser le rôle protecteur de ces ouvrages et la capacité de dissipation de l'énergie des pierres se propageant le long du versant.

Au cours de ce projet de thèse la modélisation par la méthode des éléments finis et notamment la modélisation par la méthode des éléments discrets (MED) est utilisé pour modéliser l'impact d'un bloc contre une tige de bois (arbre). Ces modèles intègrent des paramètres concernant la rhéologie du bois, les caractéristiques physiques et géométriques de l'arbre ainsi que les paramètres physiques et dynamiques du bloc.

Les modèles numériques sont ajustés et validés à partir des résultats des essais expérimentaux. Il est envisagé d'obtenir un modèle MED prédictif qui permette simuler des scénarios variées. Une étude statistique est souhaitée à fin de déterminer la configuration plus efficace et les limites de ces ouvrages

B17 **HAKAM Abdelillah** U.Mohammed V (Rabat, Maroc) [hakam\\_abdelillah@yahoo.fr](mailto:hakam_abdelillah@yahoo.fr)

**Effet du démasclage sur l'impédance électrique des feuilles de chêne liège (Quercus suber L.)**

***Effect of bark stripping on the electrical impedance of Quercus suber leaves***

Abdelillah Hakam, Mariange Magne Takam, Mustapha Chokairi

*Equipe Sciences du bois, Faculté des Sciences de Rabat, Université Mohammed V – Agdal, 4, Avenue Ibn Battouta B.P. 1014 Rabat, Morocco.*

This study examined the effect of bark stripping on the electrical impedance parameters of cork oak young leaves between 40Hz and 100 kHz. This was a new application of the electrical impedances spectroscopy (EIS) in plant science. Various stripping coefficients (CD) were applied on the trees. Bark stripping is expected to affect water metabolism of leaves and therefore changes in the EIS parameters are expected as well. Single-DCE (ZARC) model was used as equivalent circuit for leaves. Several electrophysiological parameters of this model were compared with moisture content (MC) of the leaves. Intracellular resistance (Ri), extracellular resistance (Re) and relaxation time ( $\tau$ ) of the leaves increased during 14 days after stripping while the distributed coefficient ( $\Psi$ ) and MC decreased. Significant correlation between EIS parameters, MC and trees treatments were found.

**Keywords:** Quercus suber L., Electrical impedance, Equivalent circuit, Single DCE, Leaves, Bark-stripping, Bark-stripping coefficient.

B18 **AMIROU Siham** MPE (Boumerdès, Algérie) [amirou.siham@gmail.com](mailto:amirou.siham@gmail.com)

**Elaboration des composites à base de la matière fibreuse de palmier dattier**

Amirou S., Haddadou I., Zerizer A.

*Unité de Recherche : Matériaux-Procédés & Environnement (UR-MPE)-UMBB, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Cité Frantz Fanon, 35000, Boumerdes, Algérie*

Face à une évolution croissante du secteur de la construction, l'importation de différents bois et dérivés reste l'une des solutions technico-économiques au su de la faible exploitation de nos ressources forestières. En effet, la majorité du potentiel végétal algérien de moyenne qualité et dans la perspective de se voir un jour sérieusement exploité, a été orienté au sud beaucoup plus vers une activité de protection contre l'érosion et la désertification par méconnaissance de certaines de ses caractéristiques.

Selon nos sources (Direction Générale des Forêts), on estime que les besoins de l'industrie du bois en Algérie avoisinent les 1,5 millions de m<sup>3</sup> de bois massif. Devant cette situation de déficit de matière première, le secteur des industries du bois algérien sous l'égide de « wood manufacture » s'est tracé un programme avec le secteur universitaire pour étudier la possibilité de recenser les espèces locales les plus faibles à même de donner des bois exploitables. En dehors du Pin d'Alep, des différents chênes et Eucalyptus, une réflexion a été orientée vers le bois de palmier dattier comme étant une alternative non négligeable du fait qu'il est disponible, abondant et moins coûteux qu'un bois massif.

Il est à noter que l'utilisation du bois du palmier dattier en tant que matière première pour produire des produits à valeur ajoutée ne réduit pas uniquement les coûts globaux de production mais il accroît aussi le rendement économique. On estime que le nombre de palmiers dattiers en Algérie

est supérieur à 10 millions, dont 76% sont productifs et donnant une production annuelle de 270 000 tonnes de dattes, dont 45% sont de Deglet Noor [1].

Généralement, les palmiers dattiers ont une durée de vie économique d'environ 50 ans et peuvent rester productifs jusqu'à 150 ans [2]. Il a été noté que le vieillissement des palmeraies en Algérie est une contrainte non négligeable puisque 30% des palmiers Algériens ont dépassé l'âge de production [3]. Il y a donc une grande opportunité à tirer de cette quantité de bois qui peut être utilisée et dont les propriétés physiques et mécaniques sont mal connues. L'objectif de cette présente étude est de déterminer les propriétés mécaniques et physiques du bois de palmier dattier de Deglet Noor. Une maîtrise et compréhension du végétal aidera d'une part à développer différents usages et réduira d'un autre côté les problèmes environnementaux issus des déchets de palmier.

Le dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est une culture importante dans les régions arides et semi-arides du monde. Il a toujours joué un rôle important dans la vie économique et sociale de la population issue des régions où il est planté. Il est largement cultivé pour ses fruits sucrés comestibles. Le Phoenix est une plante dioïque, on trouve donc deux organismes avec des palmiers mâles et femelles.

Selon la bibliographie, beaucoup d'auteurs considèrent le palmier dattier comme source de matières premières pour des applications industrielles. Le tronc du palmier dattier est composé de faisceaux vasculaires maintenus ensemble par du tissu conjonctif vers la périphérie, où les bases des feuilles sont intégrés, dans cette partie le tissu a tendance à devenir plus lignifiée et dure [4].

Notre activité s'articulera sur la prise en charge de deux (02) palmiers dattier (Deglet Noor) de sexe féminin âgés de 90 ans prélevés de la région de Tolga (administrativement rattachée à la wilaya de Biskra, sud est algérien), nous permettant de déterminer les principales caractéristiques physiques et mécaniques du palmier dattier de Deglet Noor.

A partir d'éprouvettes de dimensions normalisées, débitées et conditionnées, les principales caractéristiques physiques telles que l'humidité (NF B 51-004) ; la densité (NF B 51-005) ; le retrait radial total, le retrait tangentiel total (NF B 51-006) et celles mécaniques se rapportant au module d'élasticité longitudinale, de contrainte de rupture en flexion longitudinale (EN 408:2010), de contrainte de rupture en compression axiale (NF B 51-007), de contrainte de rupture en cisaillement axial (EN 314-1:2004) ont été déterminés.

À l'issue des essais effectués, les résultats (Tableau1) obtenus ont montré que la teneur en humidité du bois du palmier dattier à l'état vert peut atteindre plus de 200% pour une moyenne d'ensemble de 175%. La densité du bois de palmier dattier est d'environ 549 Kg/m<sup>3</sup> dans une fourchette comprise entre 467 kg/m<sup>3</sup> et 616 kg/m<sup>3</sup>. Il est à noter que cette différence pourrait être la conséquence de différences au sein de la structure anatomique (l'épaisseur de paroi cellulaire, le diamètre de cellule, le contenu chimique du bois, etc) [5].

Les résultats de retrait montrent que les valeurs des retraits (volumique, axial et tangentiel) sont assez élevées. Les résultats de module d'élasticité et de contrainte de rupture en flexion et la contrainte de rupture en compression sont respectivement de 6647,04, 35,04 et 2,34 MPa. Il est important de relever que les fibres dans le tronc du palmier dattier sont disposées dans le sens longitudinal et essentiellement parallèlement les uns aux autres sur toute la longueur du tronc et c'est pour cette raison que la contrainte de rupture en cisaillement est faible. Les propriétés physiques et mécaniques des troncs de palmier, varient fortement suivant la section transversale et la hauteur. La teneur élevée en eau entraînent des coûts de transport et de séchage élevés et font que le bois de palmier dattier n'est pas pour le moment aussi un produit de substitution économique pour le bois massif.

Quoi qu'il en soit la recherche que nous avons initiée est toujours en cours et que des essais utilisant des fibres de palmier dattier dans des procédés mécaniques et chimiques de réduction du

bois en pâte peuvent donner des résultats encourageants. Notons que la recherche sur l'utilisation du palmier dattier dans les panneaux de bois et de charbon actif est également à l'étude.

En guise de conclusion, nous nous permettons de souligner que cette étude, bien qu'apportant quelques résultats prometteurs est toujours en cours. Elle nous a permis d'initier une base de données sur cette espèce encore inconnue du point de vue technologique et qui nécessite un approfondissement de son étude lesquelles seront prises en charge dans les prochaines étapes de notre mission.

En effet, plusieurs points seront à développer en augmentant le nombre d'arbres à tester afin de pouvoir prendre en charge l'aspect variabilité des propriétés de cette espèce.

Tableau 1: les propriétés physiques et mécaniques

	Moyenne	Ecart-type
Densité à 12% (kg/m <sup>3</sup> )	549.62	25.64
Infradensité (kg/m <sup>3</sup> )	377.02	28.56
Retrait volumique total %	53.79	9.16
Retrait axial total (RA) %	17.96	3.41
Retrait tangentiel total (RT) %	15.32	3.32
Retrait radial total (RR) %	1.17	1.05
Ratio RT/RR	1.17	
Module d'élasticité (MPa)	6647.04	1542.34
Contrainte de rupture en flexion (MPa)	35.04	7.66
Contrainte de rupture en compression axiale (MPa)	2.34	0.37
Contrainte de rupture en cisaillement axial (MPa)	1.40	0.26



Figure1: L'ensemble des différents tests mécaniques

NF B 51 004: « Bois, Détermination de l'humidité ».

NF B 51 005: «Bois, Détermination de la masse volumique du bois ».

NF B 51 006 : «Bois, Détermination du retrait ».

EN 408 : «Bois, Essais de flexion ».

NF B 51 007 : «Bois, Essais de compression axiale ».

EN 314-1 «Bois, Essais de cisaillement ».

## Références

- [1] C.D.A.R.S : Le patrimoine phoenicicole national, potentiel et diversité, stage de perfectionnement sur la phoeniculture, INFSAS Ouargla, Janvier 1996.
- [2] Chao C.T, Krueger R.R (2007) .The date palm (Phoenix dactylifera L.): overview of biology, uses and cultivation. HortScience 42:1077-1082.
- [3] Messar, E.M. 1996. Le secteur phoenicicole algérien: situation et perspectives à l'horizon 2010. Options méditerranéennes A 28, 23-44
- [4] Barreveld W.H., Date palm products, FAO agricultural services bulletin No. 101, Food and agriculture organization of the united nations, Rome, 1993, M-17, ISBN: 92-5-103251-3
- [5] Cave I.D, Walker J.C.F (1994). Stiffness of wood in fast-grown plantation softwoods: The influence of microfibril angle. Forest products journal 44(5):43-48.

### Étude comparative de quelques caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques du bois de deux espèces de chêne (*Q. canariensis* et *Q. afares*)

I. Haddadou<sup>1</sup>, S. Amirou<sup>1</sup>, P. Favre-Bonvin<sup>2</sup>, A. Zerizer<sup>1</sup>

1. *Unité de Recherche : Matériaux-Procédés & Environnement (UR-MPE)-UMBB Faculté des sciences de l'Ingénieur, Boumerdes Algérie.*

2. *Labomap - Centre Arts et Métiers ParisTech de Cluny-France.*

La forêt algérienne couvre près de 4,7 millions d'hectares, dont seuls 1,38 sont constitués de forêts productives, l'Algérie pourrait produire la quasi-totalité du bois dont elle a besoin (1 200 000 m<sup>3</sup>). Le chêne Afarès et le chêne Zéen, sont des essences forestières relativement méconnues en Algérie, couvrent une surface de 75 000 ha (Messaoudène, Tessier, 1991).

Le chêne afarès (*Quercus afarès*) est une espèce hybride issue du croisement entre deux chênes : le chêne liège (*Quercus Suber*) et le chêne zéen (*Quercus Canariensis*) (Mir et al 2006).

La filière bois Algérienne est actuellement en pleine restructuration. Cependant, avant une utilisation industrielle de ces bois, il est nécessaire de les caractériser aussi bien chimiquement, physiquement et mécaniquement afin de pouvoir déterminer l'usage le plus adéquat de ces bois. Dans cette étude on s'intéresse à l'étude physique, chimique et mécanique des bois de chêne zéen et chêne afarès.

Les prélèvements ont été effectués dans la forêt de l'Akfadou. Pour chaque espèce, des éprouvettes normalisées ont été extraites des arbres échantillonnés et soumises aux essais de qualification définis par les normes suivantes : essais de flexion (NF EN 314-1), compression (NF B51-007), cisaillement (NF EN 314-1), humidité (NF B51-004), retrait et densité (NF B51-006), taux de lignines (ASTM D 1106-84) (ASTM 1998b), taux d'extractibles (ASTM D 1107-96) (ASTM 1998a).

Les résultats obtenus ont montré que la répartition de l'eau dans le bois de chêne afarès semble plus homogène par rapport au chêne zéen. Ce dernier se caractérise par une humidité légèrement plus faible, cela est dû à son écorce moins épaisse comparée à celle du première essence.

La densité à 12% d'humidité indique que les deux espèces étudiées sont lourds ( $\geq 822$  g/cm<sup>3</sup>). Le chêne zéen possède le bois le plus dense. La valeur de retrait volumique total est moyennement élevée, plus de 15%, pour les deux espèces, c'est un bois nerveux (tableau 1).

Tableau 1: Propriétés physiques et mécaniques des bois de chêne afarès and chêne zéen

		Chêne Zeen	Chêne Afares
		Moy $\pm$ écart-type	Moy $\pm$ écart-type
Densité à 12%	(g/cm <sup>3</sup> )	844,89 $\pm$ 43,42	822,43 $\pm$ 38,65
Infradensité	(g/cm <sup>3</sup> )	725,80 $\pm$ 26,73	716,01 $\pm$ 28,11
Retrait volumique total	(%)	16,38 $\pm$ 3,44	15,36 $\pm$ 2,56
Retrait longitudinal	(%)	0,38 $\pm$ 0,17	0,40 $\pm$ 0,15
Retrait tangentiel	(%)	9,68 $\pm$ 2,38	9,25 $\pm$ 1,05
Retrait radial	(%)	4,41 $\pm$ 0,86	4,08 $\pm$ 1,38
Coefficient d'anisotropie (T/R)		2,19	2,26
Contrainte de rupture en compression*	(MPa)	61 $\pm$ 17	50 $\pm$ 11
Contrainte de rupture en flexion*	(MPa)	117 $\pm$ 21	99 $\pm$ 13
Module d'élasticité*	(MPa)	20 960 $\pm$ 1340	17 200 $\pm$ 957

\* : à 12% d'humidité, avec 1 MPa = 1N/mm<sup>2</sup>

Les essais mécaniques réalisés ont décelé une légère différence significative entre les deux espèces pour la contrainte de rupture en compression axiale et en flexion. Le chêne zéen présente

la plus grande rigidité, avec un module d'élasticité supérieur de 21,86% à celui de chêne afarès (tableau 1). Ces contraintes spécifiques nous montrent que le chêne Zéen a des caractéristiques proches des autres essences de chêne mais que le chêne Afarès est moins bon mécaniquement. D'un point de vue pratique, les deux essences étudiées s'avèrent aptes à la réalisation de charpentes nécessitant une résistance élevée à la compression (piliers, échafaudages, montants, etc.) (tableau 1).

Entre les différentes espèces de chêne, les différences de structure chimique qui existent au niveau des trois constituants principaux, la cellulose, la lignine et les hémicelluloses, sont minimales dans les différentes parties du bois (duramen, aubier et écorce). Les deux essences sont riches en extractibles qui sont responsables de la couleur, l'odeur, l'hygroscopicité, la durabilité ainsi les propriétés physiques et mécaniques du bois (Royer M et al., 2010) (tableau 2).

Tableau 2: la composition chimique des deux espèces de chêne

	Chêne Zéen			Chêne Afarès		
	Duramen	aubier	écorce	Duramen	aubier	écorce
Cellulose (%)	44,3	43,78	30,28	46,75	45,12	28,28
Hémicelluloses (%)	25,8	29,86	14,09	27,08	28,54	11,35
Lignine (%)	22,16	20,87	29,27	20,34	18,71	32,71
Taux de cendres (%)	0,05	2,07	12,97	0,07	3,25	10,39
Extractibles (%)	7,69	3,42	13,39	5,76	4,38	17,27

La connaissance des différents types de cellules (fibres, vaisseaux, rayons ...), leur organisation et la nature des canaux intercellulaires (perforations et ponctuations) nous permet de prédire le comportement macroscopique du bois (figure 1).

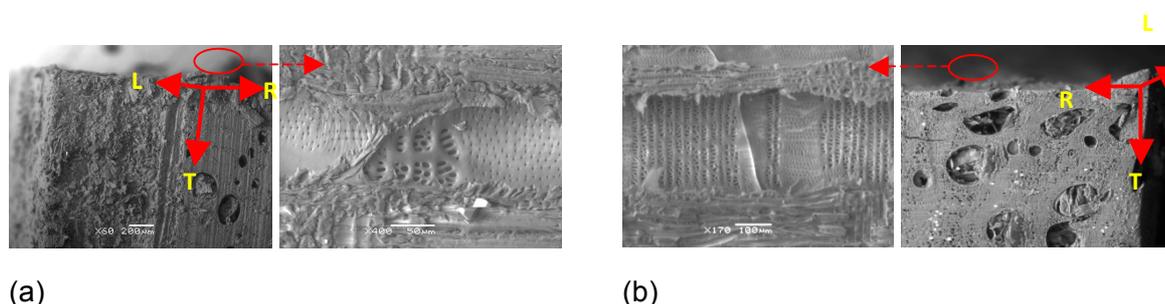


Figure 1: l'organisation cellulaire du chêne afarès (a) et du chêne zéen (b) observée au microscope électronique (P. Bonvin-Labomap).

### Références

M. Messaoudene, L. Tessier: Radial growth of *Quercus Canariensis* Willd and *Quercus Afarès* Pomel in Kabylie (Algeria). *Ecologia Mediterranea*, 17 (1991), 119-133.

C. Mir, L. Toumi, P. Jarne, V. Sarda, F. Di Giusto, Lumaret: Endemic north african *Quercus Afarès* Pomel originate from Hybridisation between two genetically very distant oak species (*Q. Suber* L. and *Q. canariensis* Willd). Evidence from nuclear and cytoplasmic markers, 2006.

Royer M., Stien D., Beauchêne J., Herbette G.T., Mclean J.P., Thibaut A. And Thibaut B. (2010) Extractives Of The Tropical Wood Wallaba (*Eperua Falcata* Aubl.) As Natural Anti-Swelling Agents. *Holzforschung* 64(2): 211-215.

**Mots clés :** chêne, bois, caractérisation chimique, caractérisation physique, caractérisation mécanique.

## Structure et propriétés des bois paradoxaux de forte densité mais à croissance rapide. Application à la gestion de l'exploitation des forêts tropicales humides en Guyane.

J. Bossu<sup>1,4</sup>, B. Clair<sup>1,2</sup>, J. Beauchêne<sup>1,3</sup>, M. Fournier<sup>4</sup>

1. *EcoFog Kourou*
2. *LMGC Montpellier*
3. *CIRAD, Kourou*
4. *ENGREF, Nancy*

La densité est une donnée primordiale dans l'étude des espèces forestières: C'est un indicateur de l'habitat, du fonctionnement écophysologique et des préférences écologiques des espèces. La densité est directement liée aux propriétés physiques et mécaniques du bois et souvent liée à sa durabilité. Une espèce à croissance lente est généralement synonyme d'un bois de forte densité et durable. Malgré tout il existe certaines espèces dites « espèces paradoxales » qui ne répondent pas à cette tendance et qui sont capables d'associer une croissance rapide à une forte densité et/ou une bonne durabilité (Figure 1).

L'intérêt de ce projet est d'une part l'amélioration des connaissances sur les relations entre écologie et propriétés du bois et, d'autre part, la contribution à la valorisation d'espèces peu valorisées en Guyane, qui présentent toutefois d'excellentes propriétés. Après une sélection des espèces paradoxales présentant un potentiel d'exploitation, on localisera les arbres à prélever pour étudier leurs caractéristiques mécaniques, physiques et leur durabilité. Cette description complète par espèce permettra d'établir des scénarios de sylviculture qui révéleront quelles sont les espèces d'avenir pour la filière bois en forêt tropicale humide. Ces considérations permettront d'établir des recommandations pour le développement durable de l'exploitation forestière guyanaise.

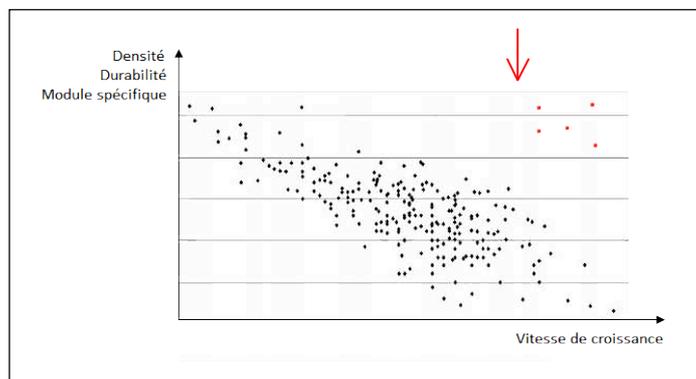


Fig.1 : Intérêt pour la filière bois des espèces paradoxales : Un lien singulier entre vitesse de croissance, densité, durabilité et module spécifique.

### Références

- Chave J, Coomes D, Jansen S, Lewis SL, Swenson NG, Zanne AE (2009) Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters* 12:351–366.
- Clair B. 2005. WOODDIVERSITY: Study of wood structures diversity and biophysical analyses of ecological strategies of woody plants in tropical rainforest. 1st Workshop of Cost Action E50 "Cell-wall macromolecules and reaction wood", Montpellier : France.
- Favrignon V. (1994) Classification des espèces arborées en groupes fonctionnels en vue de la réalisation d'un modèle de dynamique de peuplement en forêt guyanaise, *Rev. Ecol. (Terre et Vie)* 49 379-403

**Mots-clés** : vitesse de croissance, exploitation forestière, Guyane, durabilité, espèces d'avenir

## Session C

C01 SAAD Houda

Iprem (Pau)

houda.saad@univ-pau.fr

### **Caractérisation d'extraits de tanins d'écorces de grenade provenant de Tunisie - Utilisation potentielle dans la formulation d'adhésifs**

H. Saad<sup>1,2</sup>, F. Charrier-El Bouhtoury<sup>2</sup>, A. Pizzi<sup>3</sup>, K. Rode<sup>4</sup>, B. Charrier<sup>2</sup>, N. Ayed<sup>1</sup>

*1 Unité de recherche de chimie organique industrielle et alimentaire 00UR/1201. Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie INSAT, Centre Urbain Nord B.P N° 676/1080 Tunis.*

*2 EPCP IPREM, IUT des Pays de l'Adour, 371 rue du Ruisseau, BP 201, 40004 Mont de Marsan, France.*

*3 ENSTIB-LERMAB, University of Lorraine, 27 rue Philippe Seguin, BP 1041, 88051 Epinal, France.*

*4 Deutsches Kunststoff-Institut (German Institute for Polymers), Schlossgartenstrasse 6, 64289 Darmstadt, Germany.*

Cette thèse vise une meilleure connaissance et valorisation des bois et fibres végétales tunisiennes au travers de la réalisation de fiches techniques de ces fibres (propriétés physico-chimiques, composition en polyphénols, tanins, cellulose, lignine, etc...) et de la mise en oeuvre d'éco-matériaux.

Dans ce cadre nous avons étudié le fruit de la grenade (*Punica granatum* L). La Tunisie est l'une des terres natives de la grenade. La culture occupe plus de 11000ha. Plus de 60 variétés locales de grenade ont été répertoriées. La production est estimée à 71597 tonnes de fruits de grenade en 2010 [1] [2].

Les écorces de grenade sont très riches en tanins. Elles ont été traditionnellement utilisées pour leurs propriétés médicinales ainsi que pour le tannage et la teinture [3].

Au regard de leur abondance et de leur teneur en tanins, nous souhaitons orienter les études sur les écorces de grenade. Une des valorisations potentielles des tanins de la grenade pourrait être la production d'adhésif.

La composition en polyphénols totaux, en tanins condensés et en tanins hydrolysables a été analysée colorimétriquement pour quatre variétés tunisiennes. La technique MALDI-TOF a été utilisée pour élucider les structures des oligomères de tanins. Nous avons observé que la composition phénolique entre les différents cultivars étudiés présente des teneurs allant de 10 à 18%. Cette composition est élevée comparativement à d'autres plantes [4]. Quatre types de tanins condensés ont été identifiés par MALDI-TOF.

Ces résultats amènent à dire que les écorces de grenade tunisienne sont une source de tanins qui pourraient être utilisés dans l'avenir, notamment dans la formulation des adhésifs.

#### Références

- [1] Ayed, N., 2011. La pomme de Carthage (Grenade de Tunisie). Le Maghreb Magazine, Tunisie, N°2, 98-100.
- [2] Jbir, R., Hasnaoui, N., Mars, M., Marrakchi, M., Trifi, M., 2008. Characterization of Tunisian pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars using amplified fragment length polymorphism analysis. *Sci Hort.* 115, 231-237.
- [3] Adeel, A., Ali, Shaukat., Bhatti, I. A., Zsila, F., 2009. Dyeing of Cotton Fabric using Pomegranate (*Punica granatum*) Aqueous Extract. *Asian J. Chem.* 21, 3493-3499.

[4] Scalbert, A., Monties, B., Janin, G., 1999. Tannins in wood: Comparison of different estimation methods. *J. Agric. Food Chem.* 37, 1324-1329.

C02 **MOTILLON Coralie**                      Iprem (Pau)                      coralie.motillon@etud.univ-pau.fr

### **Elaboration et caractérisation de colles à bois bio-sourcées, en vue d'une utilisation industrielle**

Coralie Motillon, Ahmed Allal, Fatima Charrier, Bertrand Charrier

*IPREM/EPCP, Université de Pau et des Pays de l'Adour, Hélioparc, 2 avenue Pierre Angot, 64053 Pau cedex 09*

De nos jours, les résines Urée Formaldéhyde, d'origine pétrochimique, sont les plus utilisées dans l'industrie du bois et notamment dans la fabrication de panneaux de particules. L'épuisement des ressources fossiles, conjugué à une demande de plus en plus importante, ne reste pas sans conséquences sur le plan économique, politique, social et environnemental. Par ailleurs, le formaldéhyde, appelé aussi formol, est un composé organique très volatil (COV) nocif pour la santé et l'environnement. En se décomposant le formol est émis dans l'air ambiant et pollue, entre autre, l'air de nos intérieurs.

Face à la raréfaction du pétrole et aux nouvelles exigences concernant les émissions de COV, il est important de rechercher des solutions alternatives qui répondent aux problèmes de santé publique et aux impératifs environnementaux.

Dans ce cadre, notre étude a pour objectif de remplacer les résines Urées Formol par des « colles vertes » à base de produits naturels et renouvelables tels que l'amidon issu du maïs et les tannins extraits d'écorces de pin maritime.

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet Bois Eco Matériaux Aquitaine (BEMA), qui consiste à développer de nouvelles générations de mélanges collants et de matériaux composites, à partir de matières premières renouvelables produites en Aquitaine. Cette collaboration entre industriels et universitaires a permis de définir les contraintes liées à une production de masse de mélanges collants. En effet, une facilité de mise en œuvre, respectant les chaînes de production existantes, est cruciale pour satisfaire les exigences des industriels. L'encollage des copeaux de bois se fait par pulvérisation et par conséquent nécessite de très faibles viscosités (de l'ordre de 300 mPa.s), et un pourcentage en matière sèche élevé ( $\geq 50\%$ ).

Or, les colles constituées d'amidon natif, avant ou après solubilisation, ont des viscosités très importantes et sont inutilisables, en l'état, pour notre application. Ces viscosités élevées sont dues aux diverses particularités de l'amidon natif : une limite de solubilité des longues chaînes amyliques dans l'eau (50g/l à 100°C) et un phénomène de rétrogradation de l'amidon (formation d'un gel), après solubilisation.

Afin de palier à ces problèmes de viscosité, différentes solutions ont été envisagées, comme un traitement thermomécanique et l'ajout de molécules qui permettent à la fois une fluidification du système et une augmentation de la quantité de matière sèche.

L'incorporation des tannins dans le mélange eau/amidon va permettre d'assurer un collage durable dans le temps. En effet, ces flavonoïdes vont jouer le rôle d'agent réticulant et permettre ainsi de former un réseau moléculaire stable et durable.

C03 **CHUPIN Lucie**

Iprem (Pau)

lucie.chupin@univ-pau.fr

**Etude de performances de colles naturelles, à base de tanins et de lignines de pin maritime**

Lucie Chupin, Fatima Charrier-El Bouhtoury, Ahmed Allal et Bertrand Charrier

*EPCP-IPREM 371 Rue du Ruisseau 40004 Mont de Marsan Cedex*

Cette thèse a pour objectif l'étude de formulations de colles naturelles à base de tanins d'écorce de pin maritime (*Pinus pinaster*), et de lignosulfonates d'ammonium ou de sodium. Pour l'obtention de ces colles, trois protocoles d'extraction de tanins d'écorce de pin maritime ont été mis en œuvre : en présence d'hydroxyde de sodium, de sulfite de sodium et de bisulfite de sodium à différentes concentrations et températures. Les extraits obtenus ont été caractérisés afin de sélectionner le mode d'extraction le plus efficace. Ensuite, les lignines seront employées à l'issue d'un traitement au glyoxal, un aldéhyde non volatil et non toxique, afin de pouvoir être introduites dans le mélange collant. La nécessité d'introduire un traitement au glyoxal sera également vérifiée.

L'objectif est de réaliser les premières formulations de colles naturelles avec différentes proportions de tanins et de lignines, ces colles étant composées à plus de 99% de composés naturels, le reste étant le glyoxal et de l'hexamine, utilisé comme durcisseur. Une fois les formulations réalisées, ces colles seront testées pour leurs aptitudes pour la fabrication de panneaux de particules.

C04 **CHEMIN Maud**

LCPO (Bordeaux)

chemin@enscbp.fr

**Préparation d'oligosaccharides issus de xylanes de hêtre et application en ingénierie macromoléculaire**

Maud Chemin<sup>1</sup>, Anne-Laure Wirotius<sup>1</sup>, Frédérique Ham-Pichavant<sup>1</sup>, Denilson Da Silva-Perez<sup>2</sup>, Michel Petit-Conil<sup>2</sup>, Gilles Labat<sup>3</sup>, Benoit Gadenne<sup>4</sup>, Carine Alfos<sup>4</sup>, Henri Cramail<sup>1</sup>, Stéphane Grelier<sup>1</sup>

*1 Univ. Bordeaux, LCPO, CNRS UMR 5629, F-33600, Pessac*

*2 FCBA, Domaine universitaire, BP251, Grenoble cedex 9, F-38044*

*3 FCBA, Allée de Boutaut, BP227, Bordeaux cedex, F-33028*

*4 ITERG, 11 rue Gaspard Monge, Parc Industriel, Pessac cedex, F-33600*

La chimie des polymères est encore très largement dominée par l'utilisation de monomères issus des ressources fossiles. La fin programmée de ces ressources conduit les chercheurs et industriels concernés à intensifier leurs efforts de recherche vers la valorisation de la biomasse et en particulier des biopolymères [1]. La matière première ligno-cellulosique présente, à l'évidence, un potentiel considérable. L'industrie papetière maîtrise les procédés d'obtention de polysaccharides comme la cellulose ou les hémicelluloses, lesquels sont principalement utilisés comme matériaux fibreux ou comme précurseurs de sucres fermentescibles pour la bioraffinerie [2]. Contrairement à la cellulose qui reste le biopolymère principalement valorisé, les hémicelluloses du bois [3] sont actuellement peu utilisées industriellement. Pour autant, les hémicelluloses présentent une variabilité structurale plus importante du fait de leur composition chimique, de la présence de points de ramification et de fonctions chimiques, comme les acides carboxyliques, permettant ainsi d'envisager leur utilisation comme plateformes intermédiaires pour la synthèse de nouveaux polymères de spécialité. De plus, la composition chimique des fractions d'hémicelluloses isolées est fortement dépendante des essences et des conditions d'extraction [4].

Dans cette étude, nous proposons d'utiliser des xylanes de hêtre, pour concevoir de nouveaux synthons oligosaccharidiques, afin de les associer, dans une seconde étape, à d'autres synthons et ainsi proposer des matériaux nouveaux [5]. Des xylanes de hêtre commerciaux ont été caractérisés puis hydrolysés en milieu acide sulfurique dilué pour obtenir des oligosaccharides de masse molaire contrôlée. Différentes conditions d'hydrolyse (concentration en acide et temps d'hydrolyse) ont été testées en s'inspirant de la littérature [6,7]. Ces oligosaccharides ont ensuite été isolés par précipitation à l'éthanol et séchés sous vide. Ils ont finalement été caractérisés d'un point de vue structural par RMN (1H, 13C et HSQC) et par MALDI-TOF [8].

Ces synthons bien définis pourront être utilisés comme « macromonomères » et associés à d'autres synthons hydrophobes bio-sourcés donnant accès à des copolymères amphiphiles, utilisables par exemple pour compatibiliser des matrices polymères hydrophobes et des renforts naturels comme le bois ou les fibres cellulosiques. De plus, nous espérons pouvoir préserver le caractère biodégradable des matières premières bio-sourcées pour des applications à courte durée de vie (emballage, cosmétique) et le moduler pour des applications à durée de vie plus importante, en particulier pour la construction.

### Références

- [1] Chow, J. ; Kopp, R.J. ; Portney, P., Science, 2003, 302, 1528-1531.
- [2] Biorefineries Industrial Processes and Products, édité par Kamm B., Gruber P.R., Kamm M. (2006), Wiley-VCH (ISBN: 3-527-31027-4).
- [3] Handbook of Pulp, Edité par Sixta H., (2006) Wiley-VCH (ISBN: 3-527-30999-3).
- [4] Da Silva Perez, D. et al., 16th International Symposium on Wood, Pulp, and Fiber Chemistry, 2011, 2, 1067-1072
- [5] Cunha, A. G. ; Gandini A., Cellulose, 2010, 17, 1045–1065.
- [6] Mäki-Arvela, P. et al., Chem. Rev., 2011, 111, 5638-5666
- [7] Sun, H.-J. et al., Carbohydrate Research, 2002, 337, 657-661
- [8] Jacobs, A. ; Larsson, P. T. ; Dahlman, O., Biomacromolecules, 2001, 2, 979-990

C05 **DUPLEIX Anna**

Labomap (Cluny)

[anna.dupleix@ensam.eu](mailto:anna.dupleix@ensam.eu)

### Faisabilité de la coupe du bois vert par déroulage assisté par chauffe infrarouge

Anna Dupleix

*LaBoMaP, rue porte de Paris, 71250 Cluny, France*

Le déroulage est un mode de première transformation de grande capacité particulièrement intéressant pour valoriser des bois de faibles diamètres constituant une part allant croissante de la ressource mondiale en bois ronds. Ce procédé permet la production de placages, éléments de 0,3 à 3 mm d'épaisseur, servant de base d'un grand nombre de produits industriels (ex : Laminated Veneer Lumber (LVL), contreplaqués, etc.).

Ce procédé exige un prétraitement, appelé « l'étuvage » qui consiste à chauffer au préalable le bois vert (saturé en eau) par immersion dans l'eau chaude afin de lui conférer une déformabilité remarquable tout en diminuant les efforts de coupe. Cette pratique présente cependant de nombreux inconvénients industriels et environnementaux (faible rendement, dépense énergétique importante, pollution).

L'objectif de cette étude est de développer une innovation majeure pour les industries du contreplaqué, du LVL et du tranchage, visant à remplacer les pratiques d'étuvage par une technologie de chauffe embarquée sur les machines de production. Les conclusions de l'étude

devront a minima indiquer clairement pour les cas du douglas et du hêtre, les cadences de production maximales que permet une technologie Infrarouge pour un résultat acceptable sur le plan de la qualité des placages et de la minimisation des efforts de coupe.

Pour ce faire, l'étude sera conduite en quatre temps :

- Elaboration d'un modèle permettant la simulation de la chauffe de bois ronds soumis à déroulage avec différentes cartographies d'humidité et de densité
- Caractérisation thermique du bois vert pour alimenter le modèle
- Caractérisation optique du bois vert (en terme d'absorption des rayonnements infrarouge)
- Validation du modèle par des essais de déroulage

La thèse sera réalisée en cotutelle avec Aalto University en Finlande dont le laboratoire et l'équipe de recherche sont spécialisés dans le déroulage du bois.

C06 **HANNOUZ Simon**

Labomap (Cluny)

simon.hannouz@ensam.eu

### **Caractérisation mécanique de bois de feuillus modifiés thermiquement en vue de leur mise en œuvre**

Simon Hannouz<sup>1</sup>, Robert Collet<sup>1</sup>, Laurent Bléron<sup>1</sup>, Kevin Candelier<sup>2</sup>, Philippe Gérardin<sup>2</sup>

*1 LaBoMaP, rue porte de Paris, 71250 Cluny, France*

*2 LERMAB, Boulevard des Aiguillettes BP 70239, 54506 Vandoeuvre-lès-Nancy, France*

#### Contexte et objectifs

Le traitement thermique dans la masse modifie de nombreuses propriétés du bois. Les modifications attendues sont celles d'une meilleure durabilité [1], d'une meilleure stabilité dimensionnelle [2] et d'une teinte plus foncée [3]. Ces changements s'accompagnent cependant d'une dégradation des performances mécaniques [4]. De plus, la reconnaissance des bois modifiés thermiquement (BMT) passe par une certification de ces produits [5]. Il convient donc de trouver des paramètres adéquats et des systèmes capables de les mesurer pour estimer les nouvelles propriétés des BMT. L'étude présentée ici a pour objectif de caractériser mécaniquement et biologiquement quatre essences feuillues traitées par la société Bois Durables de Bourgogne située à Vendenesse-lès-Charolles (France).

#### Matériel et méthodes

Cinq essences ont été caractérisées : le chêne, le frêne, le hêtre et le peuplier. Le duramen et l'aubier du chêne ont été distingués. Le procédé de traitement thermique utilisé est le procédé Thermowood [3]. Chaque essence a été traitée à deux intensités de traitement différentes : à 190 °C et à 215 °C. Les essais de durabilité ont été effectués selon la norme EN 113, et le classement de durabilité d'après la norme EN 350-1. Les essais de flexion statiques ont été effectués pour chaque échantillon selon la norme EN 408 sur des lots de 30 éprouvettes de 20\*20\*400 mm<sup>3</sup>, et le classement mécanique d'après les normes EN 384 et EN 338. Au préalable le module élastique de chaque éprouvette a été mesuré par une méthode d'analyse vibratoire [6].

#### Résultats

Les classes de durabilité des bois modifiés à 190 °C et 215 °C avec le procédé Thermowood atteignent souvent la valeur de 1 (très durable) à l'exception du hêtre qui obtient une classe de durabilité 3 (moyennement durable) aussi bien à 190 °C qu'à 215 °C. Ces résultats sont encourageants puisque, mis à part le duramen du chêne, tous les échantillons non traités ont une

classe de durabilité 5 (non durable). Des emplois en extérieur en classe d'emploi 3 tels que le bardage ou le terrassement peuvent donc être envisagés pour le bois modifié thermiquement.

Les résultats des essais mécaniques pour les traitements à 190 °C et 215 °C sont donnés respectivement dans le Tableau 1 et le Tableau 2.

Tableau 1 : valeurs caractéristiques du chêne, du frêne, du hêtre et du peuplier avant et après traitement à 190 °C

		Chêne (aubier)	Chêne (duramen)	Frêne	Hêtre	Peuplier
$\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	avant	575	658	574	626	345
	après	529 (-8%)	584 (-11%)	546 (-5%)	637 (+2%)	345 (+0%)
$E_{mean}$ (kN/mm <sup>2</sup> )	avant	11.060	11.620	18.442	15.322	12.415
	après	13.479 (+22%)	14.994 (+22%)	20.351 (+10%)	15.818 (+3%)	9.087 (-27%)
$f_{m,k}$ (N/mm <sup>2</sup> )	avant	44.49	34.44	85.77	77.91	45.73
	après	27.72 (-38%)	27.17 (-21%)	43.22 (-50 %)	55.42 (-29 %)	24.14 (-47 %)
Classe mécanique	avant	D30	D30	D40	D50	C22
	après	D24	D24	D35	D50	C18

Tableau 2 : valeurs caractéristiques du chêne, du frêne, du hêtre et du peuplier pour un traitement à 215 °C

		Chêne (aubier)	Chêne (duramen)	Frêne	Hêtre	Peuplier
$\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	avant	627	721	717	622	437
	après	515 (-18%)	462 (-36%)	601 (-16%)	578 (-7%)	428 (-2%)
$E_{mean}$ (kN/mm <sup>2</sup> )	avant	12.460	14.930	15.069	11.829	11.026
	après	10.795 (-13%)	11.185 (-25%)	19.329 (+28%)	15.947 (+28%)	15.743 (+43%)
$f_{m,k}$ (N/mm <sup>2</sup> )	avant	58.24	52.30	81.1	62.69	53.03
	après	15.59 (-75%)	9.74 (-81%)	41.13 (-49%)	24.72 (-49%)	15.78 (-70%)
Classe mécanique	avant	D35	D50	D40	D30	C24
	après	<D18	<D18	D35	D24	C14

Les pertes de masses mesurées s'étendent entre 6 % pour les traitements à 190 °C et 11 % pour les traitements à 215 °C. Les variations importantes observées ici mettent en exergue l'importance de disposer pour des applications industrielles de moyens non destructifs pour prédire au mieux les performances mécaniques des BMT : les réactions de chacune des essences sont différentes face à un même traitement.

### Références

1. Estimating the heat treatment intensity through various properties of thermally modified timber (TMT). C.R Welzbacher, C. Brischke, A.O. Rapp. Beijing : IRG/WP 09-40459, 2009.
2. The effects of heat treatment on technological properties in Red-bud maple (Acer trautvetteri Medw.) wood. Süleyman Korkut, M. Samil Kök, Derya Sevim Korkut, Tugba Gürleyen. Düzce : Elsevier Ltd., 2007.
3. Finnish ThermoWood Association. Manuel Thermowood. Helsinki : s.n., 2003.
4. Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen. Duygu Kocaefe, Sandor Pncsak, and Yaman Boluk. 2, Chicoutimi : BioResources, 2008, Vol. 3.

5. Bois thermochauffé : un appel à la certification. 38, Novembre 12, 2011, Le bois international , pp. 10-11.
6. Brancheriau, Loïc. Expertise mécanique des sciages par analyses des vibrations dans le domaine acoustique. 2002.

Mots-clés : traitement thermique, classement mécanique, durabilité

C07 **PFEIFFER Renaud** Labomap (Cluny) renaud.pfeiffer@ensam.eu

### **Analyse de la fragmentation des plaquettes de bois vert par slabber**

Renaud Pfeiffer

*LaBoMaP, rue porte de Paris, 71250 Cluny, France*

Lors de l'équarrissage des grumes en scierie par slabbers, les dosses non valorisables en débit sont transformées en plaquettes. Lorsqu'elles sont destinées à l'approvisionnement des industries de la pâte à papier, et plus particulièrement pour les pâtes mécaniques, elles doivent être bien calibrées et surtout leur épaisseur. L'étude étant assez amont, l'accent a été mis sur la compréhension des phénomènes intervenant lors de la fragmentation des plaquettes de bois vert. L'objectif à plus long terme est d'adapter les paramètres du procédé pour maîtriser cette épaisseur.

Afin de mieux appréhender la cinématique de coupe, les trajectoires d'outils et la géométrie des plaquettes formées, un slabber générique paramétrable a été modélisé (Mathematica). Afin de réaliser des campagnes expérimentales à des vitesses de coupe proches des vitesses industrielles (40m/s), un montage expérimental a été conçu et fabriqué sur un mouton pendule (le pendule de Chardin). Ce montage permet de mesurer les efforts de coupe sur des échantillons de géométrie comparable aux sections coupées industriellement à 7m/s. Une caméra rapide a été utilisée afin de mieux appréhender les phénomènes de coupe.

Les résultats des plans d'expériences associés à des mesures d'efforts et d'accélération sont venus valider les résultats issus de la littérature réalisés à de très faibles vitesses (quelques mm/s). Les films de la coupe ont montré l'éjection de l'eau libre lors de la fragmentation des plaquettes ainsi que des phénomènes de coupe parasites.

Ces travaux se poursuivent en thèse avec pour objectif l'étude d'autres paramètres de coupe ainsi que la création d'un modèle analytique puis numérique de la fragmentation.

C08 **PIERRE Floran** LGPM (Chatenay) floran.pierre@ecp.fr

### **Influence du traitement thermique sur la résilience mécanique du bois**

Floran Pierre<sup>a</sup>, Giana Almeida<sup>b</sup>, Julien Colin<sup>c</sup>, Patrick Perré<sup>a</sup>

*a Ecole Centrale Paris, LGPM, Grande Voie des Vignes, Châtenay-Malabry Cedex*

*b UMR 1145, AgroParisTech, INRA, F91305 Massy, France*

Depuis quelques décennies, les biocarburants sont développés dans le monde entier pour faire face à deux problèmes sociétaux majeurs : le réchauffement climatique et la fin programmée des

carburants d'origine fossile. A cause des nombreux inconvénients de la première génération de biocarburants, une seconde génération est en cours de développement qui présente l'avantage notable de n'utiliser que la partie ligno-cellulosique des plantes. Une voie intéressante de production de ce type de biocarburants de seconde génération consiste en une gazéification de la biomasse suivie d'une synthèse Fisher-Tropsch. Cependant, une étape de prétraitement de la biomasse est indispensable puisqu'elle ne peut être utilisée directement dans les gazéificateurs. Le rôle de cette étape est en fait d'homogénéiser les propriétés de la biomasse afin de la concentrer énergétiquement et de faciliter son stockage et son transport. Sa broyabilité doit également être augmentée puisque de fines particules (entre 100 et 200  $\mu\text{m}$ ) sont indispensables afin d'optimiser les réactions de synthèse, les rendements en gaz ou encore la coulabilité du matériau dans la chaîne de production (Simmons 1986; Bergman et al. 2005; Wei et al. 2006). Le travail présenté s'attarde particulièrement sur ces aspects puisqu'il traite de l'influence du traitement thermique sur la résilience mécanique du pin maritime (*Pinus pinaster*) et du chêne pédonculé (*Quercus robur*).

Pour cette étude le traitement thermique a été réalisé grâce à un dispositif spécialement conçu à cet effet (Colin et al., 2007). Six intensités de traitement, obtenues par combinaison de trois températures (220, 250 et 280°C) et deux durées (1 et 5 h), ont été évaluées. La résilience mécanique des échantillons (RTL = 10 × 10 × 10 mm<sup>3</sup>) obtenus après usinage de planches préalablement traités a été évaluée grâce à un dispositif d'impact original (Pierre et al., 2011). Les essais ont été réalisés en compression radiale et tangentielle. A partir des courbes contrainte/déformation obtenues la contrainte moyenne du plateau de compression (moyenne des contraintes entre 25 et 35% de déformation) ainsi que la fragilité du matériau (nombre de pics présents sur les courbes classés en fonction de leur amplitude) ont été évalués. Les images des échantillons prises pendant et après l'essai ont dans un premier temps permis une analyse qualitative de la broyabilité du bois traité thermiquement. Elles ont dans un second temps permis d'évaluer la surface de particules produite. Couplée à l'énergie absorbée par l'échantillon pendant l'impact elle a permis de manière quantitative d'évaluer la broyabilité des échantillons traités thermiquement.

L'observation des échantillons traités thermiquement montrent que leurs broyabilités augmentent quasi-linéairement lorsque les intensités de traitement augmentent. Les échantillons perdent d'abord leur résilience avant de perdre leur comportement fibreux à des intensités de traitement plus élevées (250°C – 5h) (figure 1). Ce second seuil est particulièrement recherché dans le cadre de cette étude.

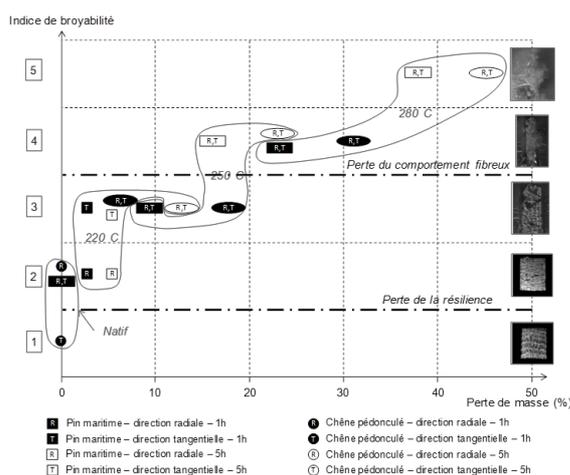


Figure 2. Analyse qualitative de la broyabilité du pin maritime et du chêne pédonculé traités thermiquement

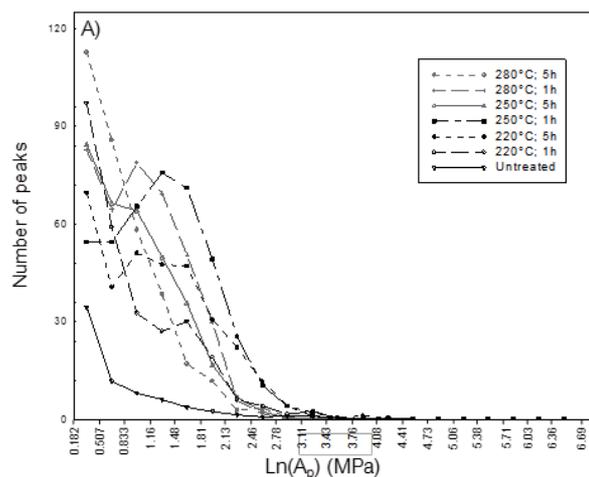


Figure 1. Broyabilité du pin maritime traité thermiquement (compression radiale)

Ces observations sont confirmées par la détermination de certaines de leurs propriétés mécaniques. La figure 2 montre ainsi que lorsque l'intensité de traitement augmente les courbes présentent un nombre de « petits pics » de plus en plus important révélant ainsi une perte de

résilience mécanique du matériau. L'analyse de l'énergie absorbée ramenée à la surface de particule produite montre quant à elle une augmentation de la broyabilité du matériau lorsque l'intensité de traitement augmente.

### Références

- Bergman P.C.A., Boersma A.R., Kiel J.H.A., Prins M.J., Ptasinski K.J., Janssen F.J.J.G. (2005) Torrefaction for entrained-flow gasification of biomass. Report ECN-C- 05-067, The Netherlands. p. 50.
- Colin J. (2007) Etude de la pyrolyse ménagée du bois: Mise au point d'un four de traitement thermique, essais expérimentaux et utilisation d'un code numérique de simulation. Rapport de Master. Université Henri Poincaré Nancy 1 et AgroParisTech ENGREF.
- Pierre F., Almeida G., Huber F., Jacquin P., Perré P. (2011) An original impact device for biomass characterisation: some results obtained for woods at different moisture contents. Wood Science and Technology. Submitted.
- Simmons G.M., Gentry M. (1986) Particle size limitations due to heat transfer in determining pyrolysis kinetics of biomass. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 10, 117–27.
- Wei L., Xu S., Zhang L., Zhang H., Liu C., Zhu H., Liu S. (2006) Characteristics of fast pyrolysis of biomass in a free fall reactor. Fuel Processing Technology. 87, 863-871.

Mots-clés : broyabilité, bois, traitement thermique, particule, test d'impact, biocarburant

C09 **NGUYEN Tuan-Anh**

GEMH (Egletons)

tuan-anh.nguyen@etu.unilim.fr

### **Approches expérimentales et numériques pour l'étude des transferts hydriques dans le bois**

Tuan Anh Nguyen<sup>1</sup>, Nicolas Angellier<sup>1</sup>, Sabine Care<sup>2</sup>, Laurent Ulmet<sup>1</sup>, Frédéric Dubois<sup>1</sup>

*1 Université de Limoges, Groupe d'Etude des Matériaux Hétérogènes, Département Génie Civil & Durabilité, Centre Universitaire de Génie Civil, Egletons*

*2 Institut Navier, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Physique et Mécanique des Milieux Poreux, Champs sur Marne*

Dans le cadre de la surveillance d'ouvrages en bois comme les ouvrages d'art ou les bâtiments recevant du public, un point clé lié à la durabilité des structures concerne la mesure de l'humidité dans les pièces massives. Or, aujourd'hui, le contrôle d'humidité s'effectue de façon très ponctuelle lors de la fabrication des éléments (industrie du lamellé-collé par exemple) ou sur des éléments en place mais en employant des techniques de mesure surfacique et très ponctuelle. Il n'est donc pas envisageable aujourd'hui d'installer un monitoring permettant d'obtenir des cartographies tridimensionnelles des gradients hydriques dans une structure en bois. Le travail proposé concerne donc le développement d'un outil de diagnostic permettant d'obtenir une image représentative de l'humidité de pièces massives employant un croisement de techniques exploratoires et numériques.

La base de ce travail repose sur l'utilisation de la méthode résistive pour quantifier la teneur en eau dans le matériau. Afin d'avoir une cartographie en profondeur, il est utilisé une technique multiplexée issue de la géophysique employant un maximum de croisements de lignes de courant afin d'avoir une topographie de prise de mesure balayant tout l'espace délimité par l'échantillon. Or, les travaux scientifiques menés sur ce sujet ont vite montré les limites de la méthode résistive du fait des lois logarithmiques reliant humidité et résistivité. Ainsi, nous travaillons actuellement sur une méthode hybride permettant de coupler les méthodes résistives traditionnelles à des modèles

de diffusion permettant, d'une part, d'identifier les propriétés de diffusion mais également de donner des informations complémentaires là où la méthode résistive n'est plus efficace.

Un protocole expérimental est donc développé permettant, d'une part, d'employer la méthode résistive retenue et d'optimiser les propriétés de diffusion injectées dans un algorithme aux éléments finis basé sur une loi de Fick tridimensionnelle orthotrope non linéaire. Enfin, ce protocole est complété par une mesure basée sur l'emploi de la gammadensimétrie permettant d'accéder aux profils hydriques suivant une direction privilégiée. Des recoupements sont ainsi possibles entre les mesures de champ électrique, de densité et, l'outil de simulation numérique.

C10 **MEDJELEKH Dalel** GEMH (Egletons) [dalelmedjelakh@yahoo.fr](mailto:dalelmedjelakh@yahoo.fr)

### **Caractérisation multi-échelles du comportement thermo-hydrrique des enveloppes hygroscopiques**

Medjelekh Dalel<sup>1,2</sup>, Dubois Frédéric<sup>1</sup>, Ulmet Laurent<sup>1</sup>

*1 Groupe d'Etudes des Matériaux Hétérogènes – équipe Génie Civil et Durabilité, Université de Limoges, 19300 Egletons*

*2 Université Mentouri, Ecole d'architecture, Constantine, Algérie*

Le confort thermique dépend des transferts de chaleur et de masse à travers l'enveloppe. Les inerties thermique et hydrique de l'enveloppe présentent un procédé passif lié aux matériaux assurant le bon comportement thermo hydrique. Elles offrent une piste non négligeable en terme d'économie d'énergie dans l'habitat surtout s'il s'agit d'un matériau hygroscopique. Dans le but de vérifier l'effet du comportement thermo-hydrrique des enveloppes hygroscopiques sur le confort thermique et la consommation énergétique de l'habitat une caractérisation multi échelles a été menée sous différents climats sur divers matériaux hygroscopiques (de la maison habitée à l'échelle de l'enveloppe à celle de la paroi arrivant à celle du matériau). En plus une simulation des transferts thermo hydriques via TRNsys a été vérifiée.

Les résultats montrent que l'utilisation de matériaux locaux hygroscopiques adaptés aux climats de leurs régions est à l'origine de l'amélioration du confort thermique. L'inertie thermique- hydrique du matériau hygroscopique assure l'équilibre hygrométrique. Plus précisément, le transfert de masse et les échanges convectifs par changement de phase en surface du matériau génèrent des absorptions et des émissions de chaleur latente qui participent au rafraîchissement naturel en été et procurent un apport additionnel de chaleur en période de chauffage. Enfin, la simulation numérique proposée via TRNsys demande d'être complétée par le processus de diffusion.

Mots-clés: Enveloppe hygroscopique-matériau-confort thermique-transfert de chaleur et de masse –Inertie thermique-hydrrique.

**Maçonnerie à base de bois et de terre-crue collés par un liant minéral**

F. Gouny, F. Fouchal, P. Maillard, S. Rossignol

*Groupe d'Etudes des Matériaux Hétérogènes – équipe Génie Civil et Durabilité, Université de Limoges, 19300 Egletons*

Dans le cadre de la politique de développement durable, la diminution des consommations énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre est un réel objectif. En France, le secteur du bâtiment est le plus gros consommateur d'énergie et représente plus de 40% de l'énergie finale totale et près de 25% des émissions nationales de gaz à effet de serre. Il constitue donc un levier majeur sur plusieurs aspects dans l'atteinte des objectifs environnementaux fixés. La recherche de matériaux moins énergivores ou le développement de systèmes constructifs respectueux de l'environnement font l'objet de nombreuses études. Dans ce contexte, l'association de deux matériaux tels que la terre crue et le bois semble une solution prometteuse pour la construction de maison individuelle à bas cout énergétique. Aujourd'hui, les performances thermiques du bâtiment ne sont plus les seules préoccupations des architectes, le confort et la qualité de l'air intérieure font l'objet de plus d'intérêts. Le bois comme la terre possèdent de nombreuses qualités : ils nécessitent tous deux peu d'énergie pour leur fabrication, le bois en plus d'apporter sa légèreté et sa résistance à la structure répond aux contraintes de qualité de l'air intérieur. La terre amène son inertie et sa capacité à réguler l'humidité à l'assemblage. Cependant, l'assemblage de ces deux matériaux montre certains problèmes notamment aux interfaces entre le bois et la terre où des fissurations apparaissent au cours de l'enchaînement des saisons et des variations climatiques. En effet, ces matériaux hygroscopiques présentent des différences de dilatation qui conduisent à des fissurations provoquant une diminution des performances énergétiques et de résistance du bâtiment en plus des problèmes d'esthétiques. Afin d'éliminer les fissurations produites aux interfaces dû aux phénomènes de retrait/gonflement, l'utilisation d'un liant géopolymère en tant que matériau d'interface apparait comme une solution innovante. En effet, la mousse géopolymère synthétisée a la capacité d'adhérer sur le bois et la terre. Néanmoins, la caractérisation des comportements mécanique, thermique et hydrique des matériaux ainsi que leur assemblage est primordial afin de concevoir un système constructif fiable et stable. Afin de répondre à ces précédentes contraintes, l'objectif de cette étude est de concevoir un matériau multi-échelle du micromètre au mètre, à partir du développement d'un liant géopolymère et de maîtriser des mécanismes d'interfaces.

Le but de ce travail est la formulation du liant géopolymère, la caractérisation hydrique des matériaux, la construction de muret pour les tests de durabilité et le traitement des essais d'arrachement.

Les différentes formulations ont été réalisées et testées afin de comprendre l'effet de la nature et de la quantité de la source de silicium utilisée. Toutes les formulations testées ont montré une adhésion satisfaisante avec la terre et le bois. Cependant les sources de silice utilisées ont une influence propre sur la viscosité du liant ainsi que sur les mécanismes de réactions de par leur surface de réaction différente. Les matériaux obtenus tendent soit vers un réseau géopolymère dense soit vers un matériau multiphasé avec un géopolymère et une phase de gel de silice. La quantité, la nature ainsi que la surface spécifique de la silice introduite semblent être les paramètres influant la nature du matériau consolidé. Les analyses par suivi FTIR ont mis en évidence une action importante des silices amorphes à forte réactivité sur les mécanismes de réactions.

Les tests d'arrachement réalisés sur les assemblages montrent une adhésion forte entre le liant la terre et le bois. Le paramètre limitant de ce test est la brique puisque la fissure est localisée dans tous les cas à l'intérieure de celle-ci sans perturber le liant. Les analyses visuelles après fracture ont mis en évidence la création d'une nouvelle phase dans la brique par diffusion du liant. La phase créée est plus résistante que la brique seule.

Les tests de perméabilité à la vapeur d'eau sur le bois, les briques et le géopolymère ont été réalisés. Les résultats ont montré que les briques sont beaucoup plus perméables que le bois, le géopolymère quant à lui présente une perméabilité intermédiaire.

Les travaux pour la troisième année seront divisés en deux parties : une partie consacrée aux manipulations et une partie consacrée à la rédaction.

Les expérimentations consisteront à caractériser les murs à l'échelle réelle d'un point de vue hydrique (Egletons) et thermique (Limoges). Les résultats permettront d'une part d'estimer la performance du système constructif en terme de régulation d'hydrique et thermique et d'autre part de vérifier la faisabilité et la stabilité du système à l'échelle du mur.

De plus, le travail sur la formulation du liant sera poursuivi avec notamment des analyses à l'ordre local. Des analyses par RMN du silicium et de l'aluminium seront réalisées sur le liant géopolymère en contact avec le bois et les briques. Enfin les tests de sorption hygroscopiques et de perméabilité à la vapeur d'eau seront terminés et interprétés. Des tests de caractérisations simples sur les matériaux seront aussi mis en œuvre pour compléter l'interprétation des résultats.

C12 **RAFIDIARISON Helisoa** Lermab (Epinal) [helisoa-mamy.rafidiarison.1@etumail.uhp-nancy.fr](mailto:helisoa-mamy.rafidiarison.1@etumail.uhp-nancy.fr)

### **Caractérisations expérimentales des transferts couplés de chaleur et de masse dans les parois en bois**

Helisoa Rafidiarison<sup>1</sup>, Eric Mougel<sup>1</sup>, Romain Rémond<sup>1</sup>

*1Université de Lorraine, LERMAB, ENSTIB, 27 rue Philippe Séguin, BP1041, 88051 Epinal cedex 9, France,*

Le bois et ses dérivés, comme tous matériaux hygroscopiques, sont des matériaux dont le comportement hygrothermique est souvent difficile à prédire compte tenu de certaines propriétés complexes impliquées dans les transferts couplés de chaleur et de masse à travers ces matériaux. De ce fait, la modélisation numérique des transferts couplés de chaleur et de masse dans les parois de bâtiments incluant le matériau bois et d'autres matériaux à base de bois reste difficile. Actuellement, il existe peu d'outils numériques capables de prédire correctement les performances thermique et hydrique d'une construction en bois. Fort de ce constat, nous avons mené des travaux expérimentaux visant à caractériser les transferts couplés de chaleur et de masse dans les parois des constructions en bois. Les expérimentations ont été réalisées à l'échelle de la paroi et à l'échelle de l'enveloppe.

A l'échelle de la paroi, un dispositif expérimental permettant de reproduire de part et d'autre d'une paroi-test des conditions climatiques intérieures et extérieures proches de celles réellement rencontrées sur site a été spécialement conçu. Ce dispositif a permis de tester différentes compositions de parois et de suivre leur comportement hygrothermique en réponse aux sollicitations climatiques imposées grâce à la métrologie installée sur le dispositif. Les résultats obtenus ont été utilisés dans un travail de confrontation et de validation d'un outil numérique intégrant les propriétés spécifiques des matériaux hygroscopiques, et destiné à simuler le comportement hygrothermique des parois comportant ce genre de matériaux.

Parallèlement à ces essais en laboratoire sur des parois-test, des expérimentations à l'échelle de l'enveloppe ont également été menées. Cinq cellules-test dénommées modules-test représentant les différents systèmes constructifs bois existants ont été construits sur le site de l'ENSTIB à Epinal. Ces modules-test sont exposés au climat extérieur et ont été instrumentés de façon à permettre d'évaluer la performance hygrothermique et les consommations énergétiques des différents systèmes constructifs bois.

Les différents travaux expérimentaux réalisés et en cours nous ont permis de disposer d'importantes données permettant de contribuer à la validation d'outils numériques et à une meilleure compréhension des transferts couplés chaleur-masse dans les constructions en bois. Par ailleurs, les dispositifs mis en place nous permettent d'intégrer actuellement la communauté travaillant sur l'aspect hygrothermique du bâtiment en France et de mettre en valeur les performances de l'habitat bois.

C13 **OBOUNOU-AKONG Firmin** Lermab (Vandoeuvre) [obounoufirmin@live.fr](mailto:obounoufirmin@live.fr)

**Préservation du matériau bois : formulation originale d'actifs hydrosolubles dans un hydrogel thermo-sensible.**

Firmin Obounou Akong<sup>1</sup>, Christine Gérardin<sup>1</sup>, Marie-France Thèvenon<sup>2</sup>, Philippe Gérardin<sup>1</sup>

1 LERMaB, Université de Lorraine - FST BP 70239 – 54506 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex.

2 CIRAD, 34398 Montpellier Cedex 5.

Nous présentons ici une étude relative à l'utilisation d'hydrogels supramoléculaires en tant que formulation d'actifs antifongiques hydrosolubles dans le domaine de la préservation du matériau bois. En effet, compte tenu des directives de ces dernières années dans ce domaine, de nombreux produits de préservation ont été interdits en raison de leur toxicité, et la formulation en phase aqueuse, des composés autorisés, devient incontournable. Dans ce cadre, les sels de bore sont bien connus pour leurs propriétés antifongiques et insecticides, or ces composés présentent l'inconvénient d'être rapidement lessivés lorsque le bois est utilisé en conditions extérieures. Pour pallier cet inconvénient, nous avons mis au point des hydrogels thermosensibles et testé leur efficacité en tant que formulation de ces sels de bore pour piéger ces derniers au sein du bois après une imprégnation à chaud sous forme de solution. Des imprégnations par des mélanges « borax-hydrogel » (avec des gels obtenus à partir d'hydrogélifiants différents synthétisés à partir d'acides aminés ou de glycérol) ont été réalisées sur des éprouvettes de Pin Sylvestre et la résistance vis-à-vis d'un champignon (*Poria Placenta*) et des termites (*Réticulitermes flavipès*) a été évaluée. Ces essais se sont révélés concluants en terme de réduction du lessivage du bore car les tests avec *Poria Placenta* cultivé sur milieu gélosé ou avec les *Réticulitermes flavipès* ont montré qu'un bois traité par l'association « borax-hydrogel » reste protégé même après lessivage alors que le bois, traité uniquement par le borax et lessivé, est attaqué. Les hydrogels constituent donc un réseau capable de retenir le bore dans le bois traité sans l'empêcher de rester actif. La formulation du borax dans l'hydrogel obtenu à partir d'un carbamate de glycérol est celle qui donne les meilleurs résultats en termes de rétention du bore, de résistance aux champignons et aux termites.

C14 **CANDELIER Kévin** Lermab (Vandoeuvre) [kevin.candelier@lermab.uhp-nancy.fr](mailto:kevin.candelier@lermab.uhp-nancy.fr)

**Modifications chimiques du bois traité thermiquement par conduction thermique sous différentes atmosphères inertes : sous vide, sous azote**

Kevin Candelier, Stéphane Dumarçay, Anélie Petriassans, Philippe Gérardin, Mathieu Pétriassans

LERMaB, Université de Lorraine, France

Le bois traité thermiquement connaît depuis quelques années un essor important du fait de son caractère non biocide et de son faible impact environnemental. Ce type de traitement est utilisé

pour améliorer la stabilité dimensionnelle ainsi que la durabilité fongique du bois. Aujourd'hui, plusieurs types de procédés sont utilisés pour réaliser le traitement thermique du bois. Ces différentes méthodes se distinguent principalement par la nature de l'atmosphère inerte au sein de laquelle se déroule le traitement thermique : sous vide, sous azote, sous vapeur d'eau saturée, immergé dans un bain d'huile...

La durabilité de ce nouveau matériau bois est fortement liée à la thermodégradation du matériau, qui elle-même dépend des conditions et de l'intensité du traitement. Ce sont donc ces mêmes paramètres qui vont engendrer plus ou moins les modifications physico-chimiques au sein du bois, au cours de son traitement.

Le but de cette étude est d'étudier l'influence de deux atmosphères différentes utilisées lors du traitement thermique, sur les modifications chimiques qui se produisent pendant le traitement. Pour se faire, un feuillus (hêtre) a été traité: sous vide et sous azote. La comparaison de ces deux procédés devrait nous permettre d'appréhender l'influence du vide sur les mécanismes de thermodégradation. En effet il est envisageable que l'effet du vide puisse modifier les équilibres réactionnels voire de modifier les chemins réactionnels.

Ces différents traitements ont été réalisés à une température de 230°C, jusqu'à obtenir une perte de masse (ML) sur bois anhydre (générée par la thermodégradation) de 12%. Les durées de traitement sont d'environ 5.5 h. Les cuissons ont été réalisées sur des échantillons de taille semi-industrielles 110 x 65 x 2.5 cm (L x R x T). Pour chaque traitement, des analyses chimiques ont été effectuées : dosage de la lignine, des hémicelluloses et de l'alphacellulose, composition élémentaire (taux de carbone et d'oxygène). Des essais de durabilité fongique ont également été réalisés sur les bois traités ou non, pour évaluer l'impact des éventuelles modifications chimiques.

Les résultats montrent que le taux d'extractibles après traitement thermique est légèrement plus faible dans le cas du traitement sous vide que pour le traitement sous azote. Le phénomène inverse est observé pour les taux d'hémicelluloses et de cellulose qui sont plus élevés sous vide que sous azote, alors que celui de lignine est légèrement supérieur sous azote. Ces résultats semblent donc indiquer que la dégradation du bois traité sous vide est légèrement plus faible, en comparaison avec un traitement sous azote.

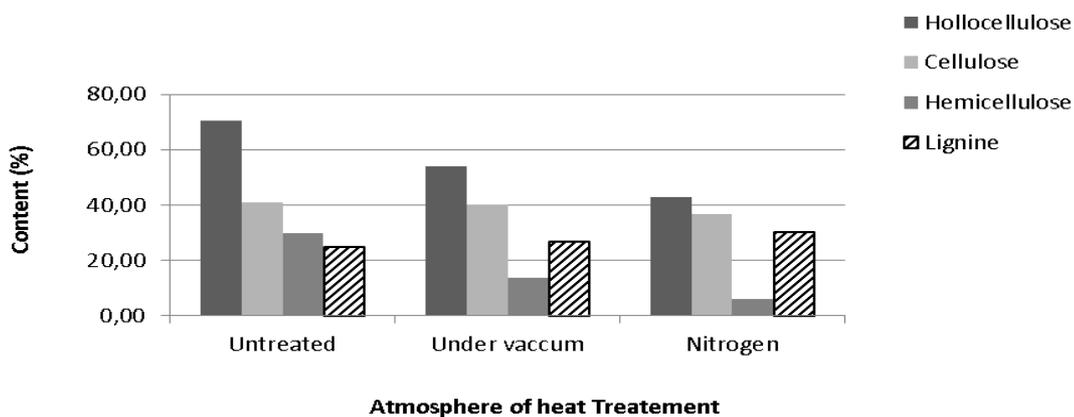


Fig.1. Composition chimique (%) du hêtre traité thermiquement (ML= 12 %) en fonction du type de traitement.

L'influence de la modification de la composition chimique, sur la durabilité du bois a été étudiée. Les résultats sont présentés sur la figure 2.

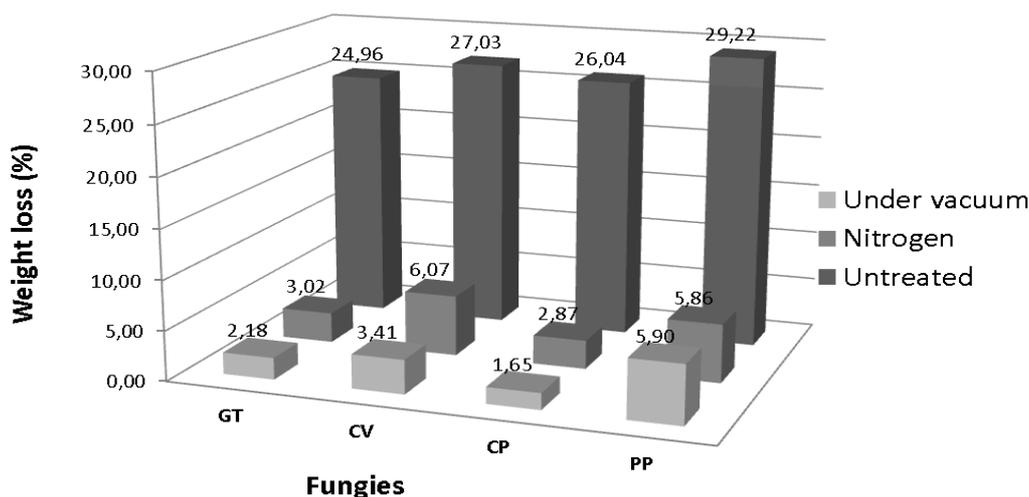


Fig.2. Corrélation entre perte de masse (WL%) due à l'attaque fongique, le type de traitement utilisé (ML=12%) et les différents types de pourritures.

Alors que la composition chimique du bois traité sous vide est moins modifiée que celle du bois traité sous azote ; le bois traité sous vide semble avoir une meilleure durabilité vis-à-vis des attaques des différents champignons à l'exception des essais réalisés avec *Poria placenta*.

L'effet du vide permet d'éliminer les produits volatiles se formant au cours du traitement thermique conduisant à des taux d'extractibles plus faibles et de lignine de Klason plus faibles du fait de la non recondensation des produits de dégradation formés. Dans le même temps une perte de masse de 12%, correspond à un niveau de thermodegradation réel plus important sous azote du fait de la recondensation des produits de dégradation expliquant les taux de polysaccharides plus élevés mesurés sous vide. L'influence de l'atmosphère a un effet relativement limité sur la durabilité, les pertes de masse due à l'attaque fongique étant en général du même ordre de grandeur.

**Mots-clés:** Atmosphère inerte, composition élémentaire, durabilité, hêtre, modifications chimiques, traitement thermique.

C15 **ELAIEB Mohamed-Tahar** Lermab (Vandoeuvre)

[ayeb2002@yahoo.fr](mailto:ayeb2002@yahoo.fr)

### Essais d'amélioration de l'imprégnabilité à l'eau du duramen de Douglas

Mohamed Tahar Elaieb<sup>1</sup>, Rémy Marchal<sup>2</sup>, Mathieu Petrissans<sup>3</sup>

*1 Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts (INRGREF) rue Hédi KARRAY BP 210 Ariana 2080, Tunisia*

*2 Arts et Metiers ParisTech, LaBoMaP, rue Porte de Paris, 71250 Cluny, France*

*3 University of Lorraine, LERMAB EA4370 IFR 110, boulevard des Aiguillettes BP70239-54506 Vandœuvre les Nancy, France*

Le Douglas sera la première essence résineuse française dans les 10 ans à venir, avec des volumes commercialisables de l'ordre de 3 millions de m<sup>3</sup>/an (trois fois plus que la récolte actuelle). Ce bois originaire d'Amérique du nord a été introduit en France à partir des années 1950 pour ses propriétés mécaniques exceptionnelles et la vigueur de son accroissement permettant d'envisager sa récolte à 50 ans. Cette importante ressource ne pourra pas être seulement valorisée sous forme de bois massif pour la construction du fait de l'importante nodosité. Ainsi on

recherchera à en transformer une large part en EWP (Engineering Wood Products), dont le LVL et le contreplaqué.

Généralement le déroulage du bois nécessite un traitement thermique autour de 50 ° C. Les billons sont trempés dans l'eau chaude pendant 12 à 72 heures, selon les essences de bois et le diamètre du tronc. Cependant la valorisation par déroulage de ce bois se heurte à deux caractéristiques défavorables de son duramen (i) son humidité à l'état vert est proche du point de saturation des fibres (entre 30 et 40%) (ii) il présente une très mauvaise imprégnabilité à l'eau.

Ceci rend ce bois très difficile et très longs à chauffer par bouillottage avant déroulage. En effet, la matière ligneuse étant un bon isolant thermique, l'eau libre constitue généralement le milieu chauffant privilégié dans l'opération d'étuvage préalable au déroulage. Les temps de chauffe sont donc dans le cas du Douglas doublés voire triplés par rapport à d'autres essences plus humides. Cela se traduit par un gaspillage énergétique et une immobilisation de stocks accrue.

Ce travail comprend un examen des facteurs anatomiques, chimiques et physiques responsables de cette très mauvaise imprégnabilité du bois de cœur de douglas. Selon cette analyse, une première série d'essais préliminaires ont été effectués dans le but d'améliorer l'imprégnation. Il consiste à tremper des petits échantillons (20 mm \* 20 mm \* 120 mm en RTL) dans de l'eau chaude à pression atmosphérique (i) à différentes températures (10 ° C toutes entre 50 et 90 ° C) et pour des durées de traitement différentes (5 à 22 heures ) (ii) Modification de la tension superficielle de l'eau par l'ajout des tensioactifs (iii) Application des ultrasons (200 kHz / 400 W) afin de provoquer des micro-cavitation, puis la rupture des ponctuations qui assurent la communication entre trachéides.

Les résultats ont prouvé l'inefficacité de ces traitements sur le duramen du Douglas, même sur de petits échantillons. Une deuxième série de test a été conduite afin de quantifier l'influence des extractibles intrinsèques du bois et le séchage (thermique, vide) en dessous du PSF sur la perméabilité de cœur. Si les extraits ne semblent pas avoir un impact réel, il n'est pas le cas pour le séchage qui a profondément amélioré la perméabilité. L'une des hypothèses est que le processus de séchage préalable à l'étuvage peut avoir causé des micros fissurations dans les parois cellulaires. D'autres tests sont en cours afin de quantifier la vitesse du déplacement du liquide dans les directions longitudinale et transversale

Mots clefs : Douglas, duramen, étuvage, déroulage, imprégnation

C16 **BENBRAHIM Zouheyr** MPE (Boumerdès, Algérie) [zouheyrb@yahoo.fr](mailto:zouheyrb@yahoo.fr)

### **Elaboration et caractérisation des panneaux particules à base du bois algérien**

Zouheyr Benbrahim

*Laboratoire MPE, Boumerdès, Algérie*

Depuis l'ère des temps, l'humain a toujours élaboré des matériaux composites par combinaison de diverses matières présentant des propriétés spécifiques pour différentes utilisations. De nombreux matériaux naturels lui ont permis de s'armer et de se doter d'une panoplie de moyens parmi lesquels le bois, matériau souple et résistant, formé de fibres de cellulose associées à une matrice de lignine et d'hémicellulose. Si les premiers essais d'agglomération de déchets de bois par collage remontent au début du siècle, il faut attendre l'apparition des résines synthétiques vers 1930 pour observer les premiers développements industriels de la fabrication des panneaux de particules dont la chimie de synthèse et plus particulièrement les polymères dérivés de l'industrie pétrochimique.

Cependant, de nombreuses interrogations sur le développement durable sont apparues ces dernières années face au risque d'épuisement des matières premières non renouvelables, aux émissions de gaz à effet de serre, en particulier de CO<sub>2</sub>, responsable de bouleversements climatiques, à l'accumulation de déchets solides, d'effluents liquides et de gaz toxiques ayant un impact direct sur la qualité des sols, des eaux et de l'air.

En vue d'une perspective de réponse aux défis du développement durable à travers l'allègement des structures et l'économie de consommation d'énergie fossile, et du rejet de CO<sub>2</sub>, les recherches sur l'élaboration de nouveaux matériaux composites ont été surtout orientées vers une économie des matières premières non renouvelables et un meilleur recyclage en fin de vie.

Cette synthèse nous interpelle sur deux volets :

- d'une part, la substitution des matières synthétiques par des matières végétales
- d'autre part, la mise au point de polymères et de résines à partir de ressources renouvelables.

L'objet de cette présente réflexion consiste en la prise en charge de la thématique de valorisation des déchets à base de bois Algériens issus de billons de bois de Pin d'Alep prélevés dans les stations de Kabylie et plus précisément la région d'Azazga de la wilaya de Tizi ouzou mais aussi de Khenchela, wilaya située à l'est de l'Algérie ;

Pour ce faire, une procédure expérimentale a été mise en place et nous a permis d'effectuer le tri des déchets à travers lesquels ont été retenus deux variables d'action : la masse volumique (600 et 800 kg/m<sup>3</sup>) et le taux d'urée formaldéhyde contenu dans les panneaux (6, 9 et 12 %).

Les différents échantillons ont été soumis à différents essais physico mécaniques (la masse volumique, le gonflement, le retrait, la flexion quatre points et la traction perpendiculaire aux faces mettant en évidence la cohésion interne des panneaux après confection).

A l'issue des analyses effectuées, il en ressort que les variables d'action sus cités sont étroitement liés par les variables d'observations représentées par le module d'élasticité et la porosité laquelle influe négativement sur les caractéristiques physiques telles que le gonflement d'où la nécessité de trier les types de déchets.

**Mots clés** : panneaux de particules, bois Algérien, teneur en liant, propriétés mécaniques, urée-formaldéhyde.

C17 **BEAUGRAND Johnny** Fare (Reims) [johnny.beaugrand@reims.inra.fr](mailto:johnny.beaugrand@reims.inra.fr)

### **Preparation of Poplar wood plastic reinforced composites: influence of Tension and Normal wood fibers on defibrization and mechanical properties**

Beaugrand J.<sup>1</sup>, Dobosz S.<sup>1</sup>, Clair B.<sup>2</sup>

*1 INRA, UMR614 FARE, Fractionnement des AgroRessources et Environnement, 2 esplanade Roland Garros, F-51100 Reims, France*

*2 Laboratoire de Mécanique et Génie Civil, CNRS, Université Montpellier 2, cc 048, Place E. Bataillon, 34095 Montpellier, France*

The potential of poplar tension wood fibers as reinforcing agent for Thermoplastics Wood Composites was explored. Natural fibre composites (NFC) are mixtures of a polymer matrix with a renewable material such as wood sawdust for Wood Polymer Composites (WPC). When compared to glass or carbon fibres, lignocellulosic fibres have the advantages of being more ecological. They are also lighter. And when their relative low densities are considered, they show mechanical properties competitive with regular synthetic fibres. However, in WPC, the reinforcement of the

matrix is almost zero or very low. Basically, the wood floor material is mainly used as filler agent for reducing the amount of plastic used and for lightening of the end used products (i.e. in automotive, in decking industries).

Considering the high biomechanical function of tension wood for trees with high cellulose content and organization of microfibrils along the fibre axis, we hypothesize that tension wood could be an opportunity as biomass material for WPC of enhanced mechanical properties. Moreover, tension wood is particularly detrimental in term of wood processability and stability (shrinkage...) for structural wood products. Therefore, it would be a good market for this low value product.

In this context, composites of Polycaprolactone (PCL) filled with 20% poplar tension wood (TW) fibers or with normal wood (NW) were set. Poplar wood materials were debarked before being grinded as floor. Compounding was done with a laboratory scale single screw extruder. Composites mechanical properties were evaluated from the strands obtained. They were grinded and standard dumbbell specimens were injected for PCL or PCL/poplar composites. Tensile properties in uniaxial extension were measured. Young's modulus, strain and stress at break measurements were determined.

All composites filled with 20% poplar wood were stiffer but less ductile, as generally observed for fiber-reinforced composites. TW fiber composites exhibited significantly enhanced properties compared to PCL, and interestingly + 20-25% reinforced mechanical performances compared to NW composites.

This result point out that TW fiber can be exploited as prospective materials for making stiffer thermoplastic composites. Therefore, in this current study we have sought to address major questions about the origin of this difference:

- (i) Is the extra reinforcement observed with TW due to fibers morphology? Indeed, during grinding the fracture propagation pathways or locations can have lead to marked differences in the aspect ratio of TW or NW elements.
- (ii) And/or is the surface properties are different (roughness, surface energy...) and responsible of the better interface adhesion between TW and PCL? In fact, new surfaces created during the grinding may have lead accessible distinct chemical functions (topochemistry) more or less in favor of efficient bonding with the PCL matrix.
- (iii) Or finally is the TW extra reinforcement due to higher intrinsic cell wall properties?

---

C18 **COLMARS Julien** LRRMM (Paris) [julien.colmars@imelavi.fr](mailto:julien.colmars@imelavi.fr)

### **Pré-contraintes de fabrication dans les instruments de musique en bois.**

Julien COLMARS<sup>1,2</sup>, Christopher CLARKE<sup>3</sup>, Mathieu VION<sup>3</sup>, Sandie LECONTE<sup>1</sup>, Stéphane VAIEDELICH<sup>1</sup>

1. *Laboratoire de Recherche et de Restauration du Musée de la Musique, Cité de la Musique, 221 avenue Jean Jaurès, 75019 Paris.*

2. *Institut Jean le Rond d'Alembert, Université Pierre et Marie Curie, 4, Place Jussieu 75252 Paris cedex 05.*

3. *Facteurs d'instruments de musique anciens à claviers – Christopher Clarke Maître d'Art (L'Épinet 71250 Donzy-Le-National).*

Les instruments de musique sont des structures complexes pour lesquels la production efficace des sons relève d'un choix optimisé des matériaux : les « meilleurs » bois sont sélectionnés sur la base d'un compromis mécanique entre rigidité et légèreté, privilégiant respectivement la bonne

tenue de la structure ou l'amplitude des vibrations. Les problèmes de conservation associés aux tables d'harmonie en bois (fissurations, affaissement sous l'action des cordes) sont ainsi liés aux propriétés mécaniques différées du matériau ligneux : retrait-gonflement, fluage, couplages hygromécaniques, etc. C'est pourquoi il est nécessaire de compléter l'approche mécanique classique de l'instrument de musique en vibration (approche dynamique) par des études quasi-statiques alliant les aspects de structure (assemblage, géométrie) et une formulation adaptée pour le comportement du matériau.

Le travail en cours au laboratoire du Musée de la Musique vise à décrire l'état mécanique initial des instruments (lors de leur fabrication), afin de mieux comprendre les enjeux d'une conservation intégrant la fonction mécanique de l'instrument de musique en situation de jeu, dont les propriétés vibratoires (et le son résultant) sont susceptibles de varier dans le temps suivant les modes de fabrication, et les choix de conservation/restauration.

De nombreux instruments de musique à cordes en bois sont construits en appliquant une pré-contrainte mécanique sur leur table d'harmonie, notamment au moyen de l'étape du barrage. En mécanique, la « pré-contrainte » désigne la contrainte (ou effort) initialement appliquée au matériau (bois) ou à la structure (table d'harmonie) pour le préparer à sa fonction future. La contrainte mécanique n'est pas visible ; les déformations résultantes le sont, mais leur apparition sur les instruments témoigne souvent trop tard des dégâts irréversibles (fissurations). Quel que soit le rôle de ces pré-contraintes, elles ont été imposées intentionnellement et sont le résultat d'un savoir-faire, d'un geste, qu'on se doit de conserver ou préserver.

Les types de barrage et leurs méthodes d'assemblage diffèrent suivant les familles d'instruments, les modèles, les luthiers/facteurs en charge de leur réalisation, les matériaux qu'ils ont à leur disposition, etc. Bien que très différentes d'un point de vue artisanales, les méthodes de barrage peuvent être regroupées suivant des critères mécaniques communs. Nous distinguerons deux grandes familles de méthodes : celles introduisant les pré-déformations par des efforts extérieurs (ex : assemblage sur des contre-forme), et celles utilisant les déformations du bois induites par les variations d'humidité relative de l'air (ex : retrait-gonflement).

La mécanique des solides, via l'expérimentation et la simulation numérique, permet d'associer des solutions techniques de fabrication (savoir-faire) à des états de contrainte dans le matériau ; nous montrons comment ces états de contrainte sont susceptibles d'influencer le comportement vibratoire de l'instrument et sont, dans le cadre de leur conservation, une information précieuse sur l'état initial de l'objet.

Le cas des tables d'harmonie des pianos du XIXe et de leur barrage est abordé par l'expérimentation sur des cas d'études (réalisation de fac-simile par le facteur d'instruments anciens) et des maquettes simplifiées réalisées en laboratoire ; les résultats de ces essais sont comparés à des modèles numériques par éléments finis permettant de remonter aux états de contrainte dans la table d'harmonie. On s'intéressera notamment à la courbure de la table d'harmonie du pianoforte apparaissant durant l'étape du barrage, aux pré-contraintes résultantes et leurs conséquences sur la réponse vibratoire de l'ensemble. Le modèle élément finis est validé sur les maquettes simplifiées, constituées d'une table carrée de dimensions réduites (200mm x 200mm x 2,5mm) et d'une unique barre, assemblées et mesurées dans l'atmosphère contrôlée du laboratoire.

## Références

- Colmars, J., 2011, Hygromécanique du matériau bois appliquée à la conservation du patrimoine culturel : étude sur la courbure des panneaux peints, Thèse de doctorat, Université Montpellier 2.
- Le Conte, S., Diringier, B., Vaiedelich, S., 2009, Restauration harmonieuse ou dé-restauration harmonique des tables d'harmonie ?. Techné 29, p.51-55.
- Mamou-Mani, A., 2007, Précontraintes et vibrations de tables d'harmonie. Vers une modélisation du savoir-faire des fabricants d'instruments de musique. Thèse de doctorat de l'Université Paris VI.

Rodrigue, A., 2009, Etude vibratoire d'un violon, Mémoire de Master, Université Paris VI.

Mots-clés : instruments de musique, pré-contraintes, barrage, table d'harmonie, plaques

C19 **GRAINDORGE LAMOUR Jonathan**

INP (Paris)

graindorgejo@gmail.com

**Aide à la décision à chaque étape de la restauration, comparaison du comportement hygromécanique de deux renforts : deux doublages en balsa**

Graindorge Lamour Jonathan<sup>1</sup>, Jullien Delphine<sup>2</sup>, Rouard Agnès<sup>2</sup>, Gauvin Cécilia<sup>2</sup>, Gril Joseph.<sup>2</sup>

1 INP, Paris

2 LMGC, Montpellier

La conservation restauration du support bois d'une peinture italienne du XVI<sup>e</sup> siècle a fait l'objet d'une étude conjointe du restaurateur et des scientifiques. Le LMGC s'intéresse depuis plusieurs années au domaine du patrimoine. Sous la direction de Delphine Jullien et Joseph Gril, nous avons mis en œuvre dans le cadre d'un master en restauration du patrimoine (à l'Institut national du patrimoine) plusieurs manips pour aider à la prise de décision à chaque étape majeure de cette restauration.

Il s'agit d'une peinture de Girolamo Marchesi da Cotignola, intitulée "La mort de Cléopâtre" et conservée au musée Baron Gérard, à Bayeux. Le panneau original a subi une transformation majeure au XIX<sup>e</sup> siècle. Il a été fortement aminci et un renfort a été appliqué au revers pour maintenir plan le panneau.

L'étude confirme dans un premier temps l'aspect contraignant du renfort et le schéma conduisant à l'apparition des fentes. En prévision de l'élimination du renfort actuel, deux techniques de doublage en balsa sont évaluées pour soutenir le panneau affaibli structurellement. Leur capacité à limiter les variations dimensionnelles du panneau (retrait/gonflement, courbure) est comparée. Cette aptitude est conditionnée par l'équilibre des échanges hydriques face/revers et la rigidité des doublages par rapport au panneau. Ces deux aspects sont abordés. Deux méthodes sont utilisées pour suivre l'évolution des déformations des échantillons soumis à des variations d'humidité relative : la corrélation d'image et l'enregistrement à l'aide de jauges de déformations. Les avantages et inconvénients des deux doublages sont discutés. Une estimation numérique permet d'estimer l'épaisseur idéale du doublage en balsa pour laquelle celui-ci limiterait les variations de courbure du panneau sans pour autant empêcher ses mouvements de retrait-gonflement.

La conception de renfort pour les supports des peintures est une question rendue complexe par la nature composite des peintures sur bois. Trois outils (suivi des déformations au cours de cycles d'H.R.%, essai mécanique, calcul numérique) sont ici proposées pour apporter des éléments de compréhension du comportement hygromécanique des combinaisons peinture/panneau/doublage.

**Valorisation du bois de châtaignier : Etude de l'influence des modes de délignification et d'extraction sur la structure des composés isolés. Caractérisation de leur activité anti-oxydante.**

Emmanuel Renault, Claude Calliste, Aline Barbat, Vincent Gloaguen

LCSN-EA1069, Université de Limoges, Faculté des Sciences et techniques, 123 Avenue Albert Thomas, F-87060 Limoges, France

Avec une forêt occupant plus du tiers de sa superficie, le Limousin présente, entre autres caractéristiques, une industrie forestière particulièrement développée. Parmi les essences forestières représentatives du Limousin, le châtaignier y est bien implanté. Son bois est principalement formé de polysaccharides, dont le 4-O-méthylglucuronoxylane ou MGX (figure 1, réf 1). Des études préliminaires (réf 2) attestent du potentiel applicatif des MGX.

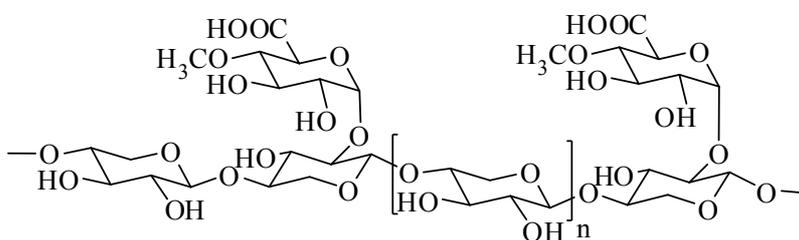


Figure 1 : structure du 4-O-méthylglucuronoxylane

Classiquement, les MGX sont recueillis après délignification des sciures de châtaignier par NaOCl en milieu acide et extraction alcaline par KOH (MGXKOH). Plus récemment, nous avons développé un procédé de délignification recourant à l'utilisation de phtalocyanines (réf 3). Dans ce cas, les hémicelluloses sont extraits, après délignification, par simple extraction à l'eau chaude (MGXH<sub>2</sub>O). Après avoir caractérisé chacun des MGX par différentes méthodes spectroscopiques (FT-IR, GC après dérivation et RMN 1H), leurs activités anti-DPPH ont été déterminées par Résonance Paramagnétique Electronique (RPE). Nous avons déterminé que le MGXH<sub>2</sub>O possédait une forte activité anti-radicalaire (CI50 225 µg/mL, seulement 10 fois inférieure à la vitamine E) alors que le MGXKOH n'est pas actif. Cette activité a été attribuée à la présence de résidus aromatiques greffés sur le MGX, suite à une procédure de délignification partielle des sciures. La structure du MGXH<sub>2</sub>O ainsi que les conditions de sa valorisation chimique en tant qu'agent anti-oxydant sont actuellement en cours d'étude.

### Références

- 1 - Moine C. et coll., Journal of Natural Products, 2007, 70 (1), 60–66
- 2 - Barbat A. et coll., Compendium of Bioactive Natural Product, Studium Press USA, 2010.
- 3 - Barbat A. et coll., Bioressource Technology, 2010, 101, 6538-6544

Mots-clés : hémicelluloses, xylanes, extraction, structure, activité anti-radicalaire

## Session D

D01 **POT Guillaume**

IP (Clermont)

guillaume.pot@ifma.fr

### **Étude du comportement mécanique du bois vert de peuplier lors d'essais de flexion avec mesure de champs de déplacement par corrélation d'images numériques**

G. Pot<sup>1</sup>, C. Coutand<sup>2</sup>, J.-B. Le Cam<sup>3</sup>, E. Toussaint<sup>1</sup>

*1 Clermont Université, Université Blaise Pascal, Institut Pascal, BP 10448 F-63000 Clermont-Ferrand*

*2 UMR 547 PIAF, INRA 234 Avenue du Brézat, F-63100 Clermont-Ferrand*

*3 LARMAUR, Bât. 10B, Université de Rennes 1, Campus de Beaulieu, F-35042 Rennes*

Les arbres sont capables de modifier l'orientation de leurs branches et de leur tronc afin d'assurer leur stabilité mécanique et l'acquisition de la lumière. Ces mouvements s'effectuent chez les feuillus grâce à la production de bois de tension sur la face supérieure de l'axe incliné. Il existe des modèles biomécaniques développés pour simuler ces mouvements, mais ils ne simulent pas correctement le redressement (ou mouvement gravitropique) de jeunes arbres à l'échelle de temps intra-annuelle. Ces résultats sont probablement dus à la méconnaissance des propriétés mécaniques du bois vert en général et du bois de tension en particulier, et de l'évolution de ses propriétés mécaniques au cours de la phase de maturation. Cette étude a donc pour objectif de caractériser les propriétés mécaniques du bois vert au cours de sa maturation.

Des essais de caractérisation du comportement mécanique de fines lamelles de peuplier (de dimensions 0,2 mm (R) x 6 mm (T) x 30 mm (L) respectivement dans les directions radiale, tangentielle et longitudinale) ont déjà été réalisés lors de précédents travaux (Pot et al., 2012). Ils montrent que les lamelles de bois de tension testées en traction présentent un comportement anélastique, avec une augmentation de la rigidité lors d'essais cycliques au cours desquels le chargement augmente à chaque cycle. Le bois étant connu pour être un matériau faisant preuve d'effets d'échelle importants, il convient de réaliser des essais sur des échantillons de plus grande dimension, notamment en ce qui concerne l'épaisseur dans la direction radiale. La problématique restant de caractériser la zone de maturation qui n'excède pas quelques millimètres dans la direction radiale, des éprouvettes de dimensions 1,4 mm (R) x 6 mm (T) x 30 mm (L) ont été utilisées pour ces nouveaux essais. Ces planchettes ont été testées en flexion 3 points, et le champ de déplacement selon la tranche de l'éprouvette a été mesuré par corrélation d'images pendant l'essai. Ceci permet de déterminer le profil de déformation tout au long de l'essai de flexion, et par conséquent de déterminer la position de la fibre neutre.

Les résultats montrent que pour tous les échantillons il y a une linéarité entre l'effort et la flèche mesurés par la machine d'essai. Cependant, d'après les mesures de champs cinématiques, il apparaît un déplacement de la fibre neutre vers la face en tension au fur et à mesure de l'augmentation de la flèche de l'éprouvette. Ce comportement, particulièrement marqué pour les planchettes de bois de tension, montre qu'il existe en réalité une non-linéarité du comportement non détectable à l'échelle de la planchette sans mesure de champs cinématiques. Il est cohérent avec les résultats des essais de traction qui indiquaient une augmentation de la rigidité lorsque le bois de tension est sollicité en traction. Cette étude permet donc de mettre en valeur le comportement mécanique complexe du bois vert, mais également, du fait de la linéarité observée à l'échelle de la planchette, de calculer un module élastique homogénéisé du bois vert en cours de maturation.

## Référence

Pot G., Coutand C., Le Cam J.B., et Toussaint E. 2012. « Experimental study of the mechanical behaviour of thin slices of maturing green poplar wood using cyclic tensile tests ». Wood Science and Technology.

D02 FOURNELY Eric

IP (Clermont)

eric.fournely@univ-bpclermont.fr

## Comportement mécanique des assemblages semi-rigides des poutres treillis en bois

Eric Fournely<sup>1,2</sup>, Rostand Moutou Pitti<sup>1,2</sup>, Abdelhamid Bouchair<sup>1,2</sup>

1 Clermont Université, Université Blaise Pascal, Institut Pascal, BP 20206, F-63000 CLERMONT-FERRAND, France

2 CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, F-63171 AUBIERE, France

Les poutres treillis standardisées en bois peuvent trouver de nombreuses utilisations dans le domaine des bâtiments industriels et de l'habitat collectif [1]. Ces poutres sont généralement réalisées à partir d'éléments en bois de petites dimensions, assemblés par des clous, des plaques métalliques à dents ou d'adhésifs dont l'efficacité doit être vérifiée par les process de fabrication et la bonne maîtrise du comportement des liaisons entre éléments. Ainsi, les problématiques de fissuration, la rigidité et la ductilité des liaisons restent les principaux paramètres qui influent sur le comportement mécanique de ces poutres [2].

La présente étude se concentre sur le comportement des assemblages semi-rigides de poutres en bois utilisées dans un système standardisé modulaire appelé DOREAN (figure 1). Dans la littérature, peu d'auteurs ont discuté de l'influence des assemblages dans le comportement global des structures treillis en bois. Daniunas [3] a étudié le comportement semi-rigide des liaisons poutre-poutre soumises à des sollicitations de flexion ou axiales. Plusieurs méthodes ont été proposées pour évaluer les performances semi-rigides des assemblages pour les structures en acier et en bois avec divers types de fixations [4]. En outre, Stehn et Borjès [5] ont étudié l'influence de la ductilité des clous sur la résistance d'une structure en bois lamellé-collé. Silih et al. [6] ont analysé l'influence du comportement semi-rigide des liaisons dans les fermes à base de bois/métal. Ce travail se concentre sur le comportement semi-rigide des assemblages bois cloués et collés soumis à des chargements axiaux et de flexion dans le cadre du comportement global des poutres.

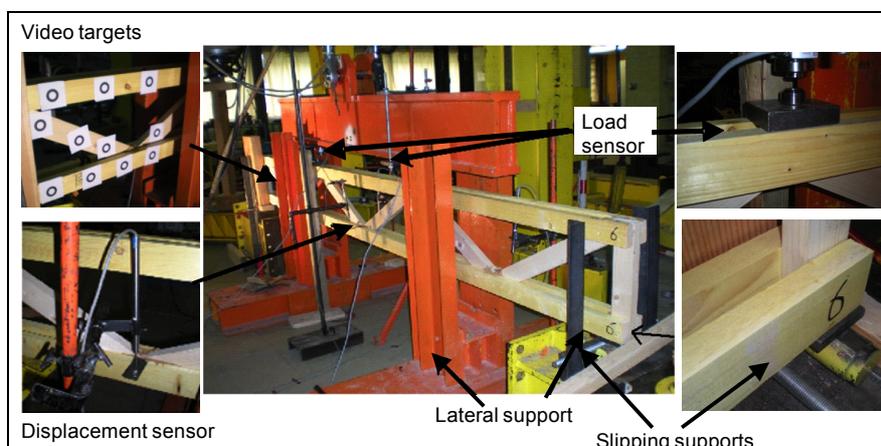


Figure 1 – Dispositif expérimental

Le protocole expérimental est basé sur la norme relative aux essais de flexion des poutres en bois [3]. Pendant les essais, le protocole de chargement suivant est respecté : préchargement de la poutre jusqu'à 4 kN, correspondant à 30% de la charge de rupture  $F_{max}$  (10 kN pour faisceau 8) ; ensuite, maintien de la charge constante pendant une demi-minute, puis le déchargement jusqu'à 1 kN (2kN pour certaines poutres) ; enfin, rechargement jusqu'à la rupture total de la poutre.

Afin d'analyser le comportement cinématique de la poutre treillis un système de mesure sans contact par caméra vidéo est utilisé (figure 1). Les cibles sont collées sur la face latérale des membrures et des diagonales afin d'évaluer les déplacements et les rotations des assemblages. Ces cibles présentent au moins deux axes de symétrie, et leur taille est définie pour obtenir une précision de 1/20 000 de la longueur globale de l'image analysée. Les caméras permettent de déterminer les déplacements 3D de chaque cible. La position de chaque cible est directement mesurée par le système vidéométrique. Ainsi, les déplacements relatifs sont mesurés sur la base d'un référentiel géométrique (X, Y, Z). Ces valeurs sont utilisées pour calculer les déplacements relatifs des assemblages semi-rigides ainsi que la rotation axiale des entretoises et des diagonales.

Le comportement global est analysé via une étude expérimentale, réalisée sur un ensemble de poutres munies de différents systèmes de liaisons composés de clous, de colles ou d'une combinaison des deux. Les résultats expérimentaux illustrent le comportement global des poutres et le comportement local des assemblages. La liaison par collage est choisie de façon à utiliser des éléments de bois de petites dimensions. Les caractéristiques géométriques des poutres DOREAN et les conditions d'essai sont détaillées dans ce travail. Ensuite, les types de bois et des clous, la qualité des colles, l'hygrométrie interne du bois et les différents essais de résistance mécanique sont exposés. En outre, le dispositif expérimental, l'histoire de chargement et les instrumentations sont présentés. Les résultats expérimentaux en termes de courbes forces-déplacement, de résistance, de ductilité, des faciès de rupture et des différents glissements d'assemblages sont proposés et discutés. Les comparaisons des résultats obtenus par les différentes techniques de mesure utilisées sont présentées. L'influence de la nature semi-rigide des liaisons dans les directions axiales est observée sur la déflexion de la partie centrale de la poutre et les rotations à ses extrémités. La rotation semi-rigide est également abordée afin de valider le processus de fabrication ainsi que les méthodes de justification par rapport aux états limites ultimes et de service.

## Références

- [1] Moutou Pitti R, Fournely E, Bouchair H. Comportement d'une poutre treillis en bois avec assemblages semi-rigides. 28ème Rencontres Universitaires de Génie Civil, AUGC, La Bourboule, 02-04, Juin, 2010.
- [2] AFNOR, Eurocode 5 : Conception et calcul des structures en bois – généralités, règles communes et règles pour les bâtiments, NF EN 1995-1.1, 2005
- [3] Daniunas A, Urbonas K. Analysis of the steel frames with the semi-rigid beam-to-beam and beam-to-column knee joints under bending and axial forces. *Engineering Structures* 2008; 30:3114–3118.
- [4] Guan ZW, Rodd PD. Hollow steel dowels — a new application in semi-rigid timber connections. *Engineering Structures* 2008; 23:110-119.
- [5] Stehn L, Borjes K. The influence of nail ductility on the load capacity of a glulam truss structure. *Engineering Structures* 2004; 26:809–816.
- [6] Silih S, Premrov M, Kravanja S. Optimum design of plane timber trusses considering dual flexibility. *Engineering Structures* 2005; 27:145–154.

### **Structures en bois sous sollicitations sismiques : Incidence de la torsion et de la rigidité des diaphragmes horizontaux.**

Sebastian Fuentes, Eric Fournely, Hamid Bouchair

*Clermont Université, Université Blaise Pascal, Institut Pascal 3867, BP 206, 63000 Clermont Ferrand*

Le bois est aujourd'hui considéré comme un matériau de construction utilisable dans la plupart des ouvrages de génie civil. En zones où le bois est un matériau facilement accessible, la construction en bois est souvent privilégiée dans l'édification de maisons individuelles. Actuellement, le type de construction en bois le plus courant aux Etats Unis, Canada, Europe et Japon correspond à la construction basée sur des murs de contreventement (diaphragme vertical) et de planchers fonctionnant comme des diaphragmes horizontaux.

Dans ce type de construction, les contreventements sont habituellement réalisés par des murs en ossature bois composés par des montants verticaux régulièrement espacés qui forment des cadres avec des lisses hautes et basses revêtus avec des panneaux fixés par des pointes ou vis. Ainsi, ces murs sont conçus pour transférer des charges verticales et horizontales dans leur plan vers les fondations. La structure du plancher est composée par des solives et d'entretoises revêtues de panneaux. Ainsi, le plancher doit assurer plusieurs fonctions : supporter les charges verticales d'exploitation et de poids propre..., supporter les charges horizontales dues au vent ou aux accélérations sismiques, transmettre les charges verticales et horizontales vers les murs de contreventement.

Sous une sollicitation sismique, la répartition des forces horizontales et le comportement mécanique d'un bâtiment en bois est fortement influencée par les caractéristiques de rigidité des diaphragmes horizontaux et verticaux qui le composent. La répartition des efforts dans les différents contreventements dépend directement du rapport de rigidité entre les diaphragmes horizontaux et verticaux. De plus, une dissymétrie des contreventements engendre des phénomènes de torsion qui eux aussi vont fortement influencer la distribution des efforts.

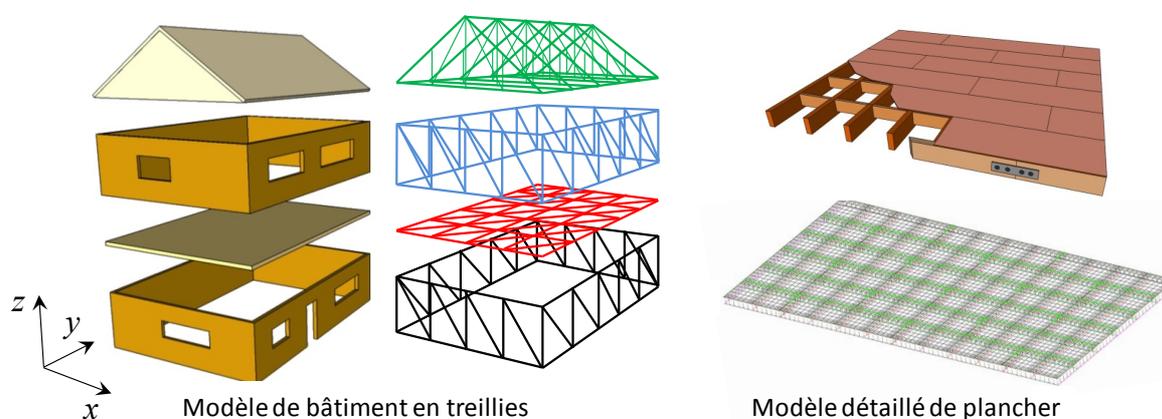
Actuellement, les codes européens de calcul sismiques classent ces structures en bois comme des diaphragmes rigides ou flexibles. Ce classement permet de choisir la méthode de calcul de répartition des efforts dans le bâtiment et de déterminer comment les effets de torsion sont à prendre en compte. Cependant plusieurs travaux de recherche montrent que ce type de structures présente un comportement plutôt semi-rigide. Afin de prendre en compte ce type de comportement, deux approches de modélisation numérique en élément finis ont été développées.

La première approche modélise les diaphragmes de murs, de planchers et de toit avec un système de treillis élastique. Dans ces modèles les caractéristiques mécaniques des murs (répartition des masses, rigidité, et résistance) sont déterminées à partir de l'Eurocode 5. Dans cette approche les diaphragmes de plancher et de toit respectent l'hypothèse de diaphragme rigide. Une maison individuelle en bois (RDC+1) est modélisée avec cette méthode en considérant une distribution de masses et de rigidité courante dans ce type structure. Des analyses modales et des analyses simplifiées sont conduites pour évaluer les effets de la torsion. 5900 configurations d'implantation de contreventements ont été testées et des valeurs d'incidence de la torsion ont été établies. Les résultats obtenus avec ces méthodes sont validés par rapport au modèle numérique. Ces résultats ont permis créer une base de données et ainsi proposer de coefficients d'incidence de torsion basés uniquement sur la géométrie du bâtiment.

Le deuxième niveau de modélisation se concentre sur l'étude des caractéristiques mécaniques des diaphragmes horizontaux. En conséquence, un modèle numérique détaillé de plancher est actuellement développé. Ce modèle prend en compte tous les composants d'un plancher traditionnel en bois. Ainsi, les solives, les panneaux, les connecteurs et les assemblages sont

modélisés avec leurs caractéristiques mécaniques réelles. En plus, des effets non-linéaires tels que la plastification des connecteurs et le contact entre les composants sont pris en compte. Ce modèle est analysé en profondeur en termes de rigidité et distribution des contraintes internes. En outre, une étude paramétrique est réalisée afin de déterminer l'influence des différents composants sur le comportement mécanique global du plancher. Les résultats numériques en termes de rigidité sont comparés aux méthodes de calcul analytiques et aux résultats des essais à échelle réelle. Cette comparaison montre que la méthode analytique actuelle de calcul des déplacements est applicable uniquement dans un domaine de comportement élastique-linéaire du plancher. Lorsque les connecteurs sont plastifiés, la méthode analytique présente des résultats trop pessimistes en termes de rigidité dans le plan. De plus, cette méthode n'est valide que pour des configurations très limitées des planchers. Ainsi, la présence des trémies ou des configurations autres que rectangulaires ne sont pas abordables avec cette méthode.

Les deux niveaux de modélisation numérique peuvent être couplés pour ainsi obtenir un modèle numérique complet qui permettra d'intégrer les caractéristiques de semi-rigidité du plancher dans le comportement mécanique global du bâtiment.



## Références

- Eric Fournely et al, Guide de règles parasismiques simplifiées applicable à des bâtiments courants , AFPS – Groupe de travail, Décembre 2008.
- VU T.K. Incidence de la torsion sur la résistance sismique de bâtiments courants avec diaphragmes horizontaux rigides – Application aux structures en bois. Thèse Doctorale, Université Blaise Pascal, Clermont Ferrand 2011.
- Thanoon W.A., Paul D.K., Jaafar M.S., Trikha D.N., influence of torsion on the inelastic response of three-dimensional r.c; frames, *Finite Elements in Analysis and Design*, v40-5-6, p. 611-628, march 2004
- Stathopoulos K.G., Anagnostopoulos S.A., Accidental design eccentricity: is it important for the inelastic response of buildings to strong earthquakes?, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, v30-9, p. 782-797, sept 2010
- Seismic response of wood-frame construction. Part B: The role of wood-frame diaphragms. Briefing paper 3, Applied technology council.
- Guidelines for the design of horizontal wood diaphragms, Applied technology council, 1981.
- J. Tisell. Plywood Diaphragms. Research report n° 138 APA, The Engineered Wood Association. 2004.
- R. Falk, R. Itani. Prediction of diaphragm displacement. International conference on timber engineering, Forest Products Research Society, Washington. 1988.

## **Application d'un traitement par fluoration à de la farine de bois pour la mise en œuvre de matériaux composites**

Florence Saulnier<sup>1</sup>, Marc Dubois<sup>2</sup>, Karine Charlet<sup>1</sup>, Alexis Beakou<sup>1</sup>

*1 Institut Pascal, UMR 6602 UBP/CNRS/IFMA, Campus de Clermont-Ferrand/Les Cézeaux, B.P. 265, 63175 Aubière, France*

*2 Institut de Chimie de Clermont-Ferrand, UMR CNRS 6296 UBP/CNRS/ENSCCF, 24 avenue des Landais B.P. 80026, 63171 Aubière Cedex, France*

### Introduction

Le manque de compatibilité entre le bois, très hydrophile, et les polymères, généralement hydrophobes, demeure à ce jour un des principaux problèmes dans la mise en œuvre et le comportement des composites bois-plastique [1,2]. En effet, cette incompatibilité génère une mauvaise adhésion entre la matrice et les renforts, ce qui induit de faibles transferts de charge à l'échelle du composite. Divers traitements ont été développés ces dernières années pour remédier à ce problème, toutefois aucun d'entre eux n'est réellement convaincant à l'échelle industrielle. Ce projet propose d'appliquer un traitement par fluoration directe au bois afin de diminuer son caractère hydrophile dans un premier temps puis d'améliorer son adhésion avec le polyester dans un second temps.

### Matériaux et méthode

Le bois étudié se trouve sous forme de copeaux de taille variable, mélange de deux essences : pin de Douglas et Épicéa. Afin de permettre la future mise en œuvre de composites et d'assurer une certaine homogénéité, ces copeaux ont été broyés, puis tamisés jusqu'à l'obtention d'une poudre d'une granulométrie inférieure à 250  $\mu\text{m}$ . Cette farine a été séchée à 150°C sous atmosphère inerte pendant 12h. Un traitement a ensuite été appliqué par fluoration directe en plaçant l'échantillon en atmosphère fluorée pendant 4h, sous un gradient de température afin d'assurer l'homogénéité du traitement sur la totalité de l'échantillon. Enfin, un nouveau balayage à l'azote a été réalisé à 150°C pendant 12h pour éliminer les traces de groupes HF et CF<sub>4</sub>.

Afin d'observer l'effet du traitement, les farines de bois non-traitées et fluorées ont été caractérisées par spectroscopie à transformée de Fourier (FT-IR), spectroscopie par résonance nucléaire du fluor (19F RMN), microscopie électronique à balayage et analyse hygroscopique. La spectroscopie FT-IR a été effectuée en mode de réflexion totale atténuée et les spectres ont été enregistrés dans l'infrarouge moyen (4000-400  $\text{cm}^{-1}$ ). L'analyse hygroscopique a été menée par mesure de l'adsorption d'eau d'échantillons de farine de bois non-traitée et fluorée conditionnés sous différentes humidités relatives (9%, 33%, 59%, 75% et 98%).

### Résultats et discussion

L'analyse par spectroscopie FT-IR a révélé après fluoration une diminution du nombre de liaisons O-H et C-H, représentés par les pics de longueur d'onde 3350  $\text{cm}^{-1}$  et 2900  $\text{cm}^{-1}$  respectivement, cf. Figure 1. Ces groupes étant les points d'accroche des molécules d'eau liée lors de l'adsorption, leur diminution est signe d'une baisse du caractère hydrophile du bois.

La création de liaisons C-F a également été observée, mise en évidence par l'apparition d'un nouveau pic à 1125  $\text{cm}^{-1}$  sur le spectre de la farine de bois fluoré. Cette modification de la structure chimique du bois témoigne de la greffe de groupements CF à la surface des échantillons. L'analyse par spectroscopie RMN 19F a ensuite permis de déterminer le degré de fluoration du bois (création de liaisons CF, CF<sub>2</sub> ou CF<sub>3</sub>). On constate sur les spectres obtenus que la majorité des éléments fluor se sont greffés en formant des groupements CF<sub>2</sub>, représentés par le pic à -56,8

ppm, cf. Figure 2. On remarque également la présence de groupes CF à -93,4 ppm, et CF<sub>3</sub> en moindre quantité, à 3,7 et -4,8 ppm.

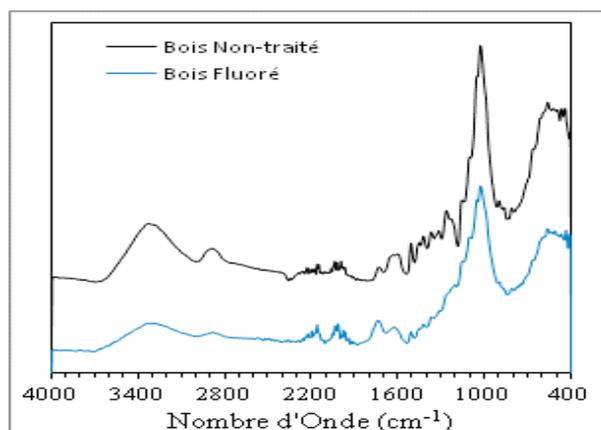


Figure 1 : Spectres FT-IR des farines de bois non-traitées et fluorées

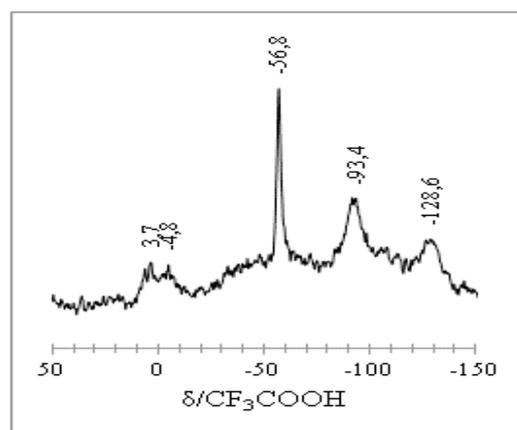


Figure 2 : Spectre RMN 19F de la farine de bois fluorée

Lors de la caractérisation hygroscopique, une réduction du caractère hydrophile du bois a été observée pour chaque humidité relative traitée. Par ailleurs, l'analyse par microscopie électronique à balayage des farines de bois fluorées et non traitées n'a révélée aucun endommagement de la structure physique superficielle du bois.

### Conclusion

Le traitement du bois par fluoration directe a permis la greffe de chaînes fluorées à la surface du matériau et a ainsi conduit à la diminution de son hydrophilie, sans endommager sa structure physique. L'efficacité du traitement étant prouvée à l'échelle du bois, nos futurs travaux porteront sur l'analyse de son impact sur les propriétés mécaniques des composites à matrice polyester et renforts farine de bois.

### Références

1. Hristov, V.N.; Krumova, M.; Vasileva, St.; Michler, G.H.: J. Appl. Polym. Sci. 92(2) 1286-1292 (2004)
2. Cui, Y.; Lee, S.; Noruziaan, B.; Cheung, M.; Tao, J.: Compos. Part A-Appl. S. 39(4) 655-661 (2008)

D05 **TAZOUNT Mustapha** IP (Clermont) [mustapha.taazount@univ-bpclermont.fr](mailto:mustapha.taazount@univ-bpclermont.fr)

### Structures de planchers mixtes bois-béton léger

M. Taazount<sup>1,2</sup>, S.Amziane<sup>1,2</sup>, R.Moutou-Pitti<sup>1,2</sup>, D. Molard<sup>3</sup>

1 Clermont Université, Université Blaise Pascal, Institut Pascal, BP 20206, F-63000 CLERMONT-FERRAND, France

2 CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, F-63171 AUBIERE, France

3 Archipente-Lignalithe SAS, 2 rue Repos, F-42600 MONTBRISON

Durant la dernière décennie, de nombreux systèmes constructifs de planchers mixtes bois-béton ont été développés. L'objectif recherché est d'augmenter la fiabilité de ces systèmes constructifs en optimisant les caractéristiques du bois, du béton et le type de liaisons bois/béton. Le système

mécanique des planchers mixtes bois-béton est basé sur un fonctionnement en compression de la dalle de béton et en traction des solives de bois. Cette fonction doit être assurée, en plus, par un choix judicieux d'éléments de connexion [1]. Le comportement des structures composites est d'ailleurs étroitement lié à la capacité de résistance en cisaillement de l'interface de liaisons: liaison ponctuelle, liaison surfacique,...etc.

Des investigations sur le comportement mécanique de planchers composites réalisés avec des éléments porteurs en bois et une dalle de compression en béton sont présentées dans ce travail. Ces recherches ont été orientées sur le choix de deux bétons pour réaliser une dalle de compression de 7 cm d'épaisseur. Il s'agit d'un Béton léger à base de Copeaux de Bois "BCB" et d'un Béton à base de Granulats Minéraux "BGM" ordinaire qui s'apparente à un béton classé de type C12/15. Le BCB, considéré comme un béton léger voir très léger, permet d'ajouter peu de charges sur le plancher existant dans le cas d'une réhabilitation. Sa particularité est que l'on remplace le gravier que l'on utilise conventionnellement par des copeaux de bois. Le BCB considéré ici possède une masse volumique sèche de 1414 kg/m<sup>3</sup> à 28 jours et est constitué de 724 kg/m<sup>3</sup> de copeaux de bois, 210 kg/m<sup>3</sup> de sable et est dosé à 300 kg/m<sup>3</sup> de ciment et 190 litres d'eau (dont une partie s'évapore lors du séchage). Il possède également de bonnes qualités acoustiques et thermiques grâce à sa composition comportant des granulats de bois. Le BCB isole aux bruits aériens, 10 cm de ce béton donnent un affaiblissement de 55 dB. De plus, sa conductivité thermique sèche est de l'ordre de 0,207 W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>.

Les éléments porteurs (ou solives) sont réalisés en bois non classé surmontés d'un platelage jouant le rôle de coffrage permanent de la dalle de compression. La liaison d'interface entre le béton et le bois est assurée par blocages ponctuels utilisant un système de clouage uniforme par rapport au sens de cisaillement et incliné à 45 °. Le procédé technique des planchers légers considéré dans cette étude est destiné aux constructions neuves ou anciennes en réhabilitation. En constructions neuves, le principe est basé sur une industrialisation des planchers légers sous forme de panneaux facilement mis en place par levage sur le chantier (Figures 1 et 2). Ces panneaux ont une largeur allant de 0,8 m à 1,5 m et de longueurs qui peuvent atteindre 6m. Leur réalisation s'effectue en usine par disposition de solives en bois, espacées de 50 cm à 70 cm, équipées d'un platelage en bois protégé par un film plastique en polyane contre l'humidité et les effets de frottement entre la dalle et le bois. La liaison de l'élément composite est assurée par des résistances mécaniques ponctuelles de type clous ou vis (Figure 2).



FIG. 1 – Plancher mixte bois-béton.

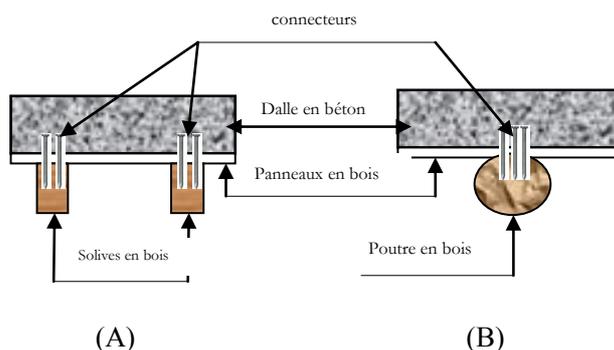


FIG. 2 – Liaisons ponctuelles des planchers mixtes bois-béton.

Dans le cas des constructions anciennes, la procédure technique de réalisation doit tout d'abord passer par la vérification préalable de la santé mécanique des éléments en bois existants (platelage et poutres), un procédé de clouage (ou de vissage) est mis en place en fonction des espacements des poutres existantes avec la mise en place d'un film plastique en polyane couvrant tout l'espace du plancher, et enfin, le coulage sur place d'une dalle en béton légers d'épaisseur variant entre 6 cm à 15 cm donnée par les calculs de dimensionnement [2,3].

En ce qui concerne les liaisons ponctuelles, avec ou sans entailles dans le bois, la capacité résistante en cisaillement dépend du coefficient de glissement  $K_s$  entre couches. Ce coefficient est évalué par prise en compte des portances locales des matériaux, du nombre de connecteurs et de leurs dimensions. Les connecteurs sont multiples et variés, ils peuvent se distinguer dans ce cas par leur fonction mécanique et leur rigidité, lesquelles peuvent être obtenues expérimentalement ou approchées analytiquement [4]. On peut également utiliser des connecteurs ponctuels (clous, vis, tirefonds,...etc) disposés droits ou inclinés [5]. Dans notre cas, l'épaisseur de la dalle est de 7 cm, la connexion entre le bois et le béton est réalisée par des pointes crantées de diamètre 3,4 mm et de 100 mm de hauteur.

Deux grandes parties expérimentales sont considérées dans cette étude: 1) caractérisation des matériaux utilisés et 2) détermination de la capacité résistante au cisaillement d'un élément en plancher mixte bois- béton. Ensuite, une confrontation des méthodes de calcul et de dimensionnement aux résultats expérimentaux est ensuite proposée afin de valider les techniques développées.

### Références

- [1] Ceccotti A.; Composite concrete–timber structures; J Struct. Engng Mater. 2002; 4:264.
- [2] prEN 1995-1-1: Eurocode 5 - Conception et calcul des structures en bois -Partie 1-1: Généralités - Règles communes et règles pour les bâtiments; Bruxelles, Décembre 2003.
- [3] prEN 1992-1-1: Eurocode 2 « Calcul des structures en Béton » partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments. Bruxelles, janvier 2004.
- [4] Richard M. Gutkowski; Kevin Brown; AbdallaShigidi and Julius Natterer; Investigation of Notched Composite Wood–Concrete Connections; J. Struct Eng, Vol. 130, No. 10, October 1, 2004. ©ASCE, ISSN0733-9445/2004
- [5] Lukaszewska E., Johnsson H., Fragiacomio M., Performance of connections for prefabricated timber– concrete composite floors, Materials and Structures, 41, 1533-1550, 2008

D06 SAIFOUNI Omar

IP (Clermont)

omar.saifouni@ifma.fr

### **Un modèle mécanosorptif pour l'évaluation des déformations élastiques en phase de séchage du bois**

O. Saifouni, R. Moutou Pitti, J-F. Destrebecq

*Clermont Université, Université Blaise Pascal, Institut Pascal, UMR 6602, BP 10448, F-63000, Clermont-Ferrand, France*

*CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, F-63171, Aubière, France*

Le bois est un matériau hygroscopique dont le comportement mécanique est fortement dépendant des échanges hydriques avec le milieu ambiant. Ainsi, les variations du taux d'humidité dans le bois se traduisent par des gonflements ou des retraites. De plus, son comportement sous contrainte est influencé par le taux et le sens de variation de l'humidité. Ce phénomène d'interaction entre les effets combinés du chargement mécanique et des variations l'humidité se définit par le comportement mécanosorptif. Depuis le début des années soixante, divers travaux ont contribué à la connaissance des phénomènes impliqués dans ce comportement (Grossman 1976). Un premier modèle rhéologique a été proposé par Leicester (Leicester 1971) ; il est basé sur une hypothèse de partition de la déformation en une composante élastique et une composante mécanosorptive. Une complication particulière dans le comportement mécanosorptif résulte d'un blocage de la déformation lors du séchage sous contrainte. Ce phénomène de blocage est appelé « effet hygroverrou » (Gril 1988). Plusieurs modèles récemment publiés prennent en compte cet effet (Husson. et al. 2010 ; Navi et Sandberg 2012).

Dans ce travail, on distingue les effets de retrait-gonflement de l'effet mécanosorptif. On postule la partition de la contrainte  $\sigma$  en une part élastique  $\sigma_e$  et une part mécanosorptive  $\sigma_{ms}$ . Basée sur cette hypothèse, une approche en rigidité est développée qui permet d'évaluer la déformation du bois sous contrainte et humidité variables en tenant compte de l'effet hygroverrou. Dans un second temps, l'approche duale basée sur la partition de la déformation  $\varepsilon$  en une déformation élastique  $\varepsilon_e$  et en une déformation mécanosorptive  $\varepsilon_{ms}$  est également développée. Cette approche en complaisance permet de rendre compte de l'effet hygroverrou sous la forme cette fois d'un blocage de la contrainte lors du séchage en déformation imposée. Ces deux approches duales reposent donc sur les partitions suivantes (on fait abstraction des effets de retrait-gonflement par soucis de clarté) :

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_{ms} \quad \text{et} \quad \sigma = \sigma_e + \sigma_{ms} \quad (1)$$

L'approche en rigidité est justifiée sur des bases thermodynamiques. Les variables d'état retenues sont la déformation  $\varepsilon$ , la teneur en eau  $\mathbf{w}$  et une variable interne complémentaire  $\varepsilon_{ms}$  à laquelle est associée la contrainte mécanosorptive  $\sigma_{ms}$ . L'introduction d'un potentiel thermodynamique comme la somme d'un potentiel élastique et d'un potentiel mécanosorptif, permet de postuler l'existence d'une relation entre la contrainte et la déformation mécanosorptives. Après généralisation et discrétisation de la déformation imposée sous la forme d'incrément finis  $\Delta\varepsilon_i$ , la loi de comportement formulée en rigidité pour une sollicitation et une humidité variables quelconques s'écrit :

$$\sigma(t) = \sum_{i=0}^N H(t - t_i) \bar{E}_i \Delta\varepsilon_i \quad (2)$$

Dans cette expression,  $\bar{E}_i$  est la valeur prise par le module d'élasticité du bois pour la valeur maximale  $\bar{\mathbf{w}}_i$  de la teneur en eau au début de la phase de séchage sous déformation imposée. De la même manière, l'approche duale conduit à l'expression suivante de la loi de comportement exprimée en complaisance :

$$\varepsilon(t) = \sum_{i=0}^N H(t - t_i) \frac{\Delta\sigma_i}{\bar{E}_i} \quad (3)$$

Les deux approches sont programmées et mises en œuvre sous Matlab®. Ainsi, la figure 1 présente une application du modèle pour un chargement séquentiel sous humidité variable. Dans un premier temps, on applique la fonction de contrainte (a) et on calcule la réponse par l'approche en complaisance, ce qui conduit à la déformation (b). Dans un second temps, la réponse (b) est utilisée comme sollicitation pour le calcul inverse mené en rigidité, ce qui conduit à une contrainte calculée identique au diagramme (a) utilisé initialement. Ce résultat valide la correspondance des deux approches.

La figure 2 montre l'évolution de la déformation totale  $\varepsilon$  et de ses partitions (élastique  $\varepsilon_e$  et mécanosorptive  $\varepsilon_{ms}$ ) simulée en complaisance pour un échantillon de bois soumis à des cycles de contrainte  $\sigma$  et d'humidité  $\mathbf{w}$  de formes sinusoïdales :

$$\mathbf{w} \% = 50 + 40 \cos \omega t \quad \text{et} \quad \sigma = \sigma_m + \sigma_a \cos(\omega t + \varphi) \quad \text{avec} \quad \sigma_m = \sigma_a = 3 \text{ MPa} \quad (4)$$

On observe que le diagramme contrainte-déformation prend la forme de boucle d'hystérésis stables. La section hachurée représente la déformation mécanosorptive due à l'effet hygroverrou qui se développe durant la phase de séchage pour se résorber durant la phase d'humidification. La forme et la taille des boucles dépendent du déphasage  $\varphi$ . L'ensemble des résultats obtenus montre l'efficacité du modèle quant à la modélisation du comportement mécanosorptif dans le

matériau bois. On note en outre que l'approche en rigidité présente l'avantage de pouvoir être facilement mise en œuvre dans une modélisation par éléments finis.

La prochaine étape de ce travail consistera à introduire les effets viscoélastiques afin de prendre en compte les effets de fluage ou de relaxation. Par ailleurs, les approches développées seront généralisées au cas tridimensionnel en prenant en compte le comportement orthotrope du bois.

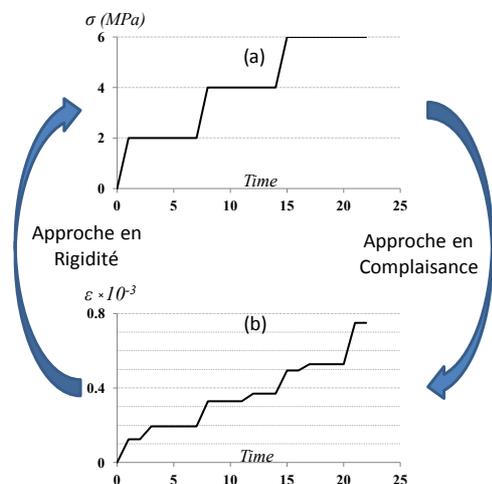


Figure 1 : (a) contrainte au cours du temps, (b) déformation au cours du temps.

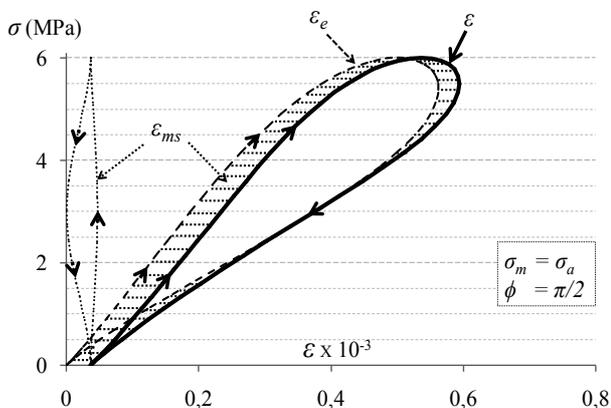


Figure 2 : Diagramme contrainte-déformation calculé pour un cycle de chargement/humidité sinusoïdal.

## Références

- Husson J.M., Dubois F., Sauvat N. Elastic response in wood under moisture content variations: analytic development. *Mech Time Depend Mater*, 2010, 14, p. 203-217.
- Gril J. Une modélisation du comportement hygro-rhéologique du bois à partir de sa microstructure. Thèse de Doctorat, Ecole Polytechnique, université de Paris VI, 1988.
- Grossman P.U.A. Requirements of models that exhibit mechano-sorptive behavior. *Wood Sci Technol*, 1976, Vol. 10, p. 163–168.
- Leicester R. H. A. Rheological model for mechano-sorptive deflections of beams. *Wood Sci Technol*, 1971, 5, p. 211–220.
- Navi P., Sandberg D. *Thermo-hydro-mechanical processing of wood*. Presse Lausanne, 2012. ISBN 978-1-4398-6042-7.

Mots clés : Bois ; Comportement hydromécanique ; Mécanosorption ; Séchage

D07 **AKKAOUI Abdessamad** Navier (Champs) [abdessamad.akkaoui@enpc.fr](mailto:abdessamad.akkaoui@enpc.fr)

**Optimisation de bétons végétaux à base de bois sous sollicitations complexes hygromécaniques pour des applications « bâtiment »**

Abdessamad Akkaoui, Sabine Caré, Matthieu Vandamme

*Université Paris-Est, Laboratoire Navier (UMR 8205), CNRS, ENPC, IFSTTAR, F-77455 Marne-la-Vallée*

Ce travail de thèse (2011-2014) a pour objectif de développer des matériaux composites tels les bétons végétaux à matrice minérale et granulats de bois - éventuellement issus de matériaux de construction en bois en fin de vie-, dans le but d'améliorer les performances des bâtiments ou ouvrages du point de vue mécaniques et/ou thermiques. Ainsi par exemple les composites « bétons végétaux » permettent de proposer des solutions alternatives intéressantes du point de vue thermique et ainsi de contribuer aux économies d'énergie. Le développement de ces solutions multi matériaux à base de bois sera réalisé par rapport aux performances attendues qu'elles soient mécaniques ou thermiques mais aussi par rapport aux sollicitations couplées thermo-hygromécaniques auxquelles elles peuvent être soumises et dont il faudra intégrer les conséquences dès la phase de conception. Cette recherche entre dans le cadre des recherches sur l'une des filières soutenues par le ministère de l'écologie, à savoir les matériaux dits biosourcés.

Seront ici présentés les résultats de la première année de thèse : les effets mécaniques (variations dimensionnelles, modules, résistance) induits par des variations d'humidité sont analysés d'un point de vue expérimental et théorique (en cours, modèles de changement d'échelle, poromécanique), en lien avec le comportement hydromécanique et microstructurale (variabilité) des particules de bois.

D08 **CARE Sabine** Navier (Champs) [sabine.care@ifsttar.fr](mailto:sabine.care@ifsttar.fr)

**Apport des techniques d'imagerie dans l'analyse du comportement hydro mécanique du bois**

Sabine Caré, Michel Bornert, François Bertrand, Nicolas Lenoir

*Université Paris-Est, Laboratoire Navier (UMR 8205), CNRS, ENPC, IFSTTAR, F-77455 Marne-la-Vallée*

L'objectif de ce travail est d'étudier le comportement hygro mécanique du bois en s'appuyant sur des techniques d'imagerie non destructives, en particulier pour évaluer l'effet de variations hygrométriques sur les propriétés de gonflement/retrait du bois. Les déformations induites par un chargement hygrique, notamment selon les directions d'anisotropie du bois sont expliquées par les caractéristiques microstructurales du bois (parois cellulaires, alternances de bois de printemps/été). Elles sont analysées dans ce travail à l'aide des outils disponibles au laboratoire Navier, à savoir l'Imagerie à Résonance Magnétique (localisation de l'eau et mesure des temps de relaxation) et le microtomographe aux rayons X couplé à de la corrélation d'images numériques (DIC-3D, logiciel CMV) afin d'évaluer plus particulièrement les effets mécaniques à l'échelle des cernes.

Les échantillons étudiés sont des éprouvettes de bois Douglas (35 x 35 x 31 mm<sup>3</sup>) découpées selon les directions d'anisotropie : direction L longitudinale, direction R radiale perpendiculaire aux cernes et direction T tangentielle aux cernes dans le plan transverse. Les échantillons mis dans un premier temps en équilibre à une humidité relative HR de 33% sont ensuite placés dans des

dessiccateurs à 97 % de HR. L'humidité relative est maintenue constante par une solution saline saturée (T=20°C). La teneur en eau dans le bois ainsi que les déformations induites selon les trois directions R, T et L sont évaluées à intervalle régulier jusqu'à ce que la masse de l'échantillon ne varie plus.

Les observations réalisées via le microtomographe aux rayons X permettent de caractériser l'alternance des cernes d'été et de printemps, en lien avec des variations de densité mesurées par cette technique (cerne≈5mm et taille du voxel≈52 μm). Par ailleurs des analyses de corrélation d'images 3D montrent que les déformations selon la direction radiale sont hétérogènes et seraient inférieures dans le bois de printemps par rapport à celles du bois d'été, alors que les déformations tangentielles et longitudinales sont homogènes. Les déformations calculées au cours du temps sont cohérentes avec les analyses faites grâce à l'Imageur à Résonance Magnétique. En effet, il est observé d'une part une localisation préférentielle de l'eau au niveau des cernes d'été (via la séquence SPI pour imager l'eau liée aux parois des cellules, résolution≈1mm) et d'autre part une évolution des temps de relaxation cohérente avec l'absorption de l'eau au niveau des parois des cellules.

Ces analyses doivent être poursuivies notamment en effectuant une caractérisation plus quantitative des fractions respectives de bois d'été et de printemps en lien avec la taille des cellules, afin notamment de mieux évaluer les effets mécaniques induits par l'absorption de l'eau au niveau des parois des cellules. Des perspectives sont envisagées pour étudier en particulier les effets des produits de protection (peinture) sur les déformations induites par des variations hygriques (modification des processus de diffusion et d'absorption de l'eau).

D09 **JOVER Jérémy**

CRAN (Nancy)

[jeremy.jover@univ-lorraine.fr](mailto:jeremy.jover@univ-lorraine.fr)

### **Contribution à la réduction des pertes d'informations dans l'industrie du bois**

J. Jover, V. Bombardier, A. Thomas

*CRAN, Nancy*

Nos travaux de recherche concernent le domaine de la traçabilité du bois et contribuent à la réduction des pertes d'informations dans la chaîne logistique bois [Ikey, 2009]. Nous proposons de contribuer à la résolution de ce problème à deux niveaux du cycle de vie du matériau : du bois sur pied à l'entrée de la première transformation et pendant la première transformation [1].

Pour le premier niveau, nous proposons un nouveau paradigme dans lequel le matériau bois est marqué dans la masse grâce à un marquage moléculaire. La Résonance Quadripolaire Nucléaire (RQN) qui est un procédé de qualification et quantification des produits chimiques, nous offre la possibilité d'identifier les molécules chimiques introduites dans le bois. Après avoir marqué chaque arbre, nous serons ainsi capables de les identifier et donc d'en connaître l'origine (en particulier géographique). Notons que les pièces débitées dans chacun de ces arbres seront, elles aussi, ainsi repérées. Après nous être heurté à beaucoup de scepticisme de la part des physiciens sur la faisabilité d'une telle idée, nous avons montré, en collaboration avec l'équipe du professeur D. Canet du laboratoire de méthodologie RMN de l'Université de Lorraine, qu'une telle solution apparaît de plus en plus crédible. Les essais d'imprégnation des produits de marquage dans des échantillons de bois nous ont permis, suivant le mode d'imprégnation du bois, l'essence et les conditions environnementales, de mettre en avant des gains très significatifs sur la qualité du signal. L'amélioration de l'instrumentation et de la technique d'identification des produits chimiques, nous permet aujourd'hui de lire des molécules introduites dans le bois en moins de 5min (10 H originalement) et les limites ne sont pas encore atteintes. A terme, nous pensons qu'il

sera possible d'identifier les molécules en moins d'une minute, ce qui nous laisse penser à une possible industrialisation de la technique [2].

Grâce au marquage dans la masse, il serait donc possible d'identifier la provenance des bois et ainsi d'améliorer la mise en place des certifications comme PEFC ou FSC.

Pour la deuxième étape, notre apport concerne l'anticipation de la décision pour le pilotage des processus de débit du bois afin de résoudre le problème récurrent des nomenclatures divergentes. En effet, ce type de nomenclatures rend la gestion des références et la qualité de la réalisation des Programmes Directeurs de Production (PDP) difficile de par la non connaissance des produits créés avant sciage et la génération de co ou sous-produits. Pour y remédier, nous proposons de mettre en oeuvre un processus de numérisation des débits afin de leur attribuer virtuellement un code de nomenclature (la référence produit). Cette nomenclature virtuelle est créée par « concaténation » des différentes informations utiles aux clients (longueur, largeur, épaisseur, aspect esthétique, résistance mécanique ...). La maquette numérique du produit, regroupant ces informations est créée par l'intermédiaire de processus d'Observation (au sens cybernétique du terme) non destructifs (tel le tomographe à rayon X) et l'application d'un principe de « sciage virtuel ». Cette maquette nous permet d'obtenir, en anticipation, une vue virtuelle des produits usinés dans la grume et donc d'obtenir les informations utiles à la génération de la référence produit. Néanmoins, les informations extractibles des images virtuelles sont imparfaites. Elles sont à la fois incomplètes, car il manque des informations comme la couleur ; imprécises, à cause des technologies utilisées pour les capteurs ; et incertaines, car les données utilisées pour représenter l'image ne permettent pas de représenter la réalité de façon précise. De plus certaines caractéristiques pertinentes pour le client gardent un aspect subjectif dans leur définition (notion de qualité). Pour prendre en compte la subjectivité et palier à l'imperfection des informations, nous proposons de nous placer dans le cadre de la théorie des ensembles flous et de prendre en compte, dans la détermination des caractéristiques du produit, les diverses informations en provenances du PDP comme la demande, le temps de stock, le coût de stockage,...

Ainsi, il semble possible d'envisager déterminer la référence produit la plus pertinente pour la production au vu des souhaits des clients et donc ainsi de générer la nomenclature réelle de débits de la grume.

### Références

[1] Jover, J.; Thomas, A. & Bombardier, V. Marquage du bois dans la masse : intérêts et perspectives. 9e Congrès International de Génie Industriel, CIGI 2011, 2011

[2] Jover, J.; Aissani, S.; Guendouz, L.; Thomas, A. & D.Canet, D. NQR detection of sodium nitrite recrystallized in wood. MRDE- magnetic resonance detection of explosives and illicit materials, 2012

Mots-clés : traçabilité, marquage dans la masse, biométrie, tomographe à rayons X

## **Amélioration des performances mécaniques des assemblages bois sur bois chevillés par préparation des interfaces - Application à la réalisation d'éléments de structure**

Stéphane Girardon

*Cribois, Epinal*

### Origine du projet

Le développement durable s'impose de plus en plus lors de la conception de structures. Le bois a l'avantage de s'inscrire parfaitement dans cet essor environnemental, à condition qu'il soit issu de forêts gérées durablement et qu'au fil de ses transformations, le produit final soit conçu en songeant à son cycle de vie complet. En effet, pour répondre à la concurrence des autres matériaux, le bois s'appuie sur des produits issus de la chimie lui permettant d'atteindre des performances plus élevées mais également d'être plus polyvalent dans son utilisation, parfois au dépend de l'aspect écologique. Ce projet s'inscrit dans une volonté écologique par l'utilisation de bois régionaux, et également en limitant les traitements chimiques et le collage qui sont les solutions généralement adoptées. Les travaux menés à l'ENSTIB<sup>1</sup> en collaboration avec le LERMAB<sup>2</sup> et le CRITT Bois<sup>3</sup> montrent que l'utilisation de systèmes reconstitués pour des ensembles constructifs est possible en n'utilisant que des assemblages bois sur bois. Ces assemblages, profitant de la technologie du soudage du bois, ont été au coeur de la thèse soutenue par Ludovic Resch en 2009 et intitulée « Développement d'éléments de construction en bois de pays lamellés assemblés par tourillons thermo-soudés ». Cette thèse montre que les éléments assemblés par tourillons ont comme faiblesses d'être trop souples et long à fabriquer, et ne sont donc pas à même de rivaliser face aux assemblages collés. C'est pourquoi, un nouvel axe de recherche a été mis en place dans le prolongement du travail réalisé.

### Objectifs de la thèse

Le but du projet est l'amélioration des performances d'un système d'éléments reconstitué par traitement mécanique de ses interfaces. Dans ce but, le projet de recherche se divise en trois axes principaux :

1. Recherche de solutions pour la préparation des interfaces d'assemblages (organes de liaison et surfaces en contactes)
2. Mise en place d'appareillages et de protocoles d'essais pour caractériser les assemblages et les éléments de structure réalisés.
3. Réalisation et évaluation de modèles prédictifs pour dimensionner ces éléments de structure.

Pour mener à bien ces objectifs, il est nécessaire de contrôler au mieux les différentes phases de fabrication, afin de déterminer les paramètres influençant les performances finales du produit. Un robot d'usinage et de montage sera utilisé afin de mesurer la répétabilité du procédé de fabrication. Le projet comprend l'étude du paramétrage de cet outil permettant l'assemblage de systèmes constructifs bois.

Les résultats des essais serviront ainsi à :

- fournir aux modèles des données sur le comportement des assemblages
- évaluer la justesse et les limites du fonctionnement de ces modèles

La finalité du projet est la présentation de produits industrialisables et compétitifs ainsi que les outils nécessaires à leur dimensionnement.

### Laboratoires impliqués

1. *École Nationale Supérieure des Technologies et Industries du Bois*
2. *Laboratoire d'Etudes et de Recherche sur le MATériau Bois*
3. *Centre Régional de l'Innovation et du Transfert de Technologies pour les industries du Bois*

### **Préservation du bois à partir d'écorce liquéfiée**

X. Duret<sup>1,2</sup>, E. Fredon<sup>1</sup>, E. Masson<sup>2</sup>, M. Petric<sup>3</sup>, P. Gérardin<sup>1</sup>

1. *Laboratoire d'étude et de recherche sur le matériau bois, Université de Lorraine, Nancy, France*
2. *Centre de ressources et de transfert de technologies pour les industries du bois, Epinal, France*
3. *Département des technologies et science du bois, Université de Ljubljana, Slovénie*

La mise au point de nouveaux produits ou matériaux issus de la biomasse suscite actuellement un intérêt de plus en plus important du fait de la diminution des ressources fossiles. Dans ce contexte, les procédés de liquéfaction de la biomasse végétale connaissent un regain d'intérêt du fait des nombreuses applications dans le domaine des matériaux ou de l'énergie auxquelles ils peuvent conduire. La liquéfaction consiste en une solvolysse de la biomasse sous forme de fines particules conduisant à une fragmentation chimique des bio-polymères végétaux. Les fragments phénoliques issus de la lignine, ainsi solubilisés, peuvent servir de précurseurs pour la formation de nouvelles résines, de mousses ou d'adhésifs. Le bois est jusqu'à présent la matière végétale la plus étudiée pour la liquéfaction, du fait de son abondance, et de sa disponibilité. En revanche, il existe beaucoup moins de travaux effectués sur les écorces, produits connexes des industries du bois. Actuellement utilisées comme combustible de faible qualité, elles pourraient avantageusement être employées à l'élaboration de produits à plus haute valeur ajoutée.

L'objectif de nos travaux de recherche est la formulation de résines d'imprégnation therm durcissables à partir des produits de la liquéfaction des écorces d'épicéa. Ces résines sont destinées à l'imprégnation de bois massif pour augmenter sa durabilité et sa stabilité dimensionnelle. Les analyses de la composition chimique des écorces ont montré l'intérêt des écorces dans la synthèse de telles résines. Néanmoins, la présence de polysaccharides peut impacter négativement les propriétés des résines therm durcissables. Un prétraitement à la liquéfaction a été élaboré avec pour objectif d'optimiser la proportion de composés phénoliques dans les écorces via une hydrolyse acide des polysaccharides.

Les composites obtenus sont caractérisés par la mesure du taux d'imprégnation, du taux de polymère dans le bois suite au durcissement, le lessivage à l'eau, la stabilité dimensionnelle conférée au bois, et la durabilité vis-à-vis des champignons lignivores.

De tels traitements ouvrent de nouvelles voies vers le développement de méthodes de préservation plus respectueuses de l'environnement que l'imprégnation de créosote ou les formulations multisels utilisées jusqu'à présents et en voie d'interdiction du fait de leur trop forte toxicité.

Mots-clés : Préservation du bois, liquéfaction, composite, résine phénolique, écorce.

### **Etude de la compression transversale dans le bois lamellé-collé**

Damien Lathuillière

*LERMAB, Boulevard des Aiguillettes BP 70239, 54506 Vandoeuvre-lès-Nancy, France*

Le bois lamellé-collé est un ancien procédé de fabrication, qui consiste à coller des lamelles de bois, avec les fibres dans le même sens. Cette technique permet d'obtenir des éléments de structure de formes et de dimensions très intéressants pour la réalisation de nombreux ouvrages.

Suite à la mise en place du nouveau code de calculs (l'Eurocode 5) pour le dimensionnement des structures en bois, il apparaît une rupture technologique pour un certain nombre de pratiques dont le dimensionnement des appuis en compression transversale. Cependant, la compression localisée au niveau des appuis de ces poutres est très souvent le critère dimensionnant.

Une proposition de norme a été faite pour ce dimensionnement. Cette norme, EN 1995-1-1 A1, implique, par un coefficient matériau  $k_{c,90}$ , une augmentation de 75% de la contrainte résistante de calcul pour des longueurs d'appui inférieure à 400mm. Au-delà, aucune majoration de contrainte résistante n'est affectée. De plus, cette norme diminue, par un coefficient géométrique  $k_{ef}$ , la contrainte agissante. En voici le calcul réglementaire extraite de cette norme :

$$\frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \leq k_{c,90} f_{c,90,d}$$

En application du CB71 et de la présente norme, pour un même bâtiment, nous pouvons avoir une longueur d'appui 4 fois supérieur à celle qu'on pouvait avoir au CB71. Cette proposition pénalise donc fortement les poutres de grandes portées car cela implique des longueurs d'appui très importantes.

Les objectifs du projet peuvent donc se résumer à :

- maîtriser la compréhension du comportement des zones d'appui, sollicitées en compression perpendiculaire et en cisaillement
- proposer des solutions de renforcement local, permettant d'optimiser le dimensionnement des zones d'appui
- formuler des règles de dimensionnement pour différentes géométries, avec ou sans renforcement

Suite à une première campagne d'essais de compression uniforme et avec débord, une deuxième campagne expérimentale a été conduite sur des essais destructifs en flexion (Cf. Figure 1), en mesurant plus particulièrement les champs de déplacements proches des zones de contact.



Figure 1 : Dispositif d'essai des poutres en flexion

A partir de ces essais expérimentaux, le rapport entre l'effort expérimental et celui théorique pour les grandes longueurs d'appui est supérieur à 1 alors que celui pour les petites longueurs est inférieur à 1. Ceci implique que, soit le coefficient géométrique  $k_{ef}$  est optimiste pour les petites poutres et pessimiste pour les grandes poutres, soit que le coefficient  $k_{c,90}$  est mal défini.

De plus, un examen plus approfondi des résultats montre que la contrainte expérimentale n'est pas proportionnelle de manière linéaire à la longueur d'appui (Cf. figure 2). En traçant ce graphique, on s'aperçoit qu'on a un effet de hauteur et par la même occasion, on peut sous-entendre, un effet de l'épaisseur de la poutre, ceci reviendra à un effet volumique au niveau des zones d'appui en prenant en compte la longueur d'appui.

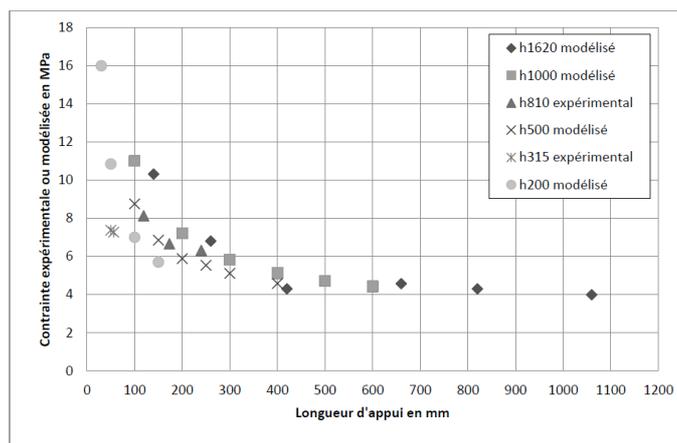


Figure 2 : Graphique Contrainte/Longueur d'appui

Cependant, si ces résultats permettent finalement d'améliorer le calcul du coefficient matériau  $k_{c,90}$  ainsi que le coefficient géométrique  $l_{ef}$ , ils ne règlent pas totalement la problématique des largeurs d'appuis importantes pour des poutres de grande hauteur. Il demeure donc nécessaire d'étudier des systèmes constructifs permettant de répondre à cette problématique. Parmi ces systèmes, des solutions de renforcement pourront alors être imaginées et étudiées.

D13 **VIGUIER Joffrey**

Lermab (Epinal)

joffrey.viguiere@hotmail.fr

### Classement mécanique de bois à usage structurel

*LERMAB, Boulevard des Aiguillettes BP 70239, 54506 Vandoeuvre-lès-Nancy, France*

Le classement mécanique des bois de structure est une problématique centrale de la filière bois et repose sur l'estimation des propriétés mécaniques des planches, en particulier leur module élastique (MOE) et leur contrainte de rupture (MOR). Ce classement est régi par des normes européennes qui, pour la plupart, sont développées par les pays leader d'Europe du nord et ne sont donc pas adaptées pour valoriser au mieux les essences résineuses ou feuillues françaises. C'est pourquoi cette étude s'intéresse à cette problématique pour le cas du douglas, de l'épicéa et du chêne. Pour des raisons évidentes, ces estimations doivent être obtenues à partir d'essais non destructifs ; cela implique de trouver des corrélations existantes entre module d'élasticité et contrainte de rupture (nodosité, pente de fil, etc.).

L'estimation de ces propriétés passe par l'intégration dans un modèle des singularités jouant un rôle dans le comportement mécanique des planches, telles que la nodosité, l'orientation de la pente de fil ou encore la nature même du bois dans la planche considérée (bois juvénile, bois de compression, etc.). Ces singularités peuvent être obtenues par l'analyse d'images, le suivi d'un faisceau laser ou encore le recours aux rayons X. La localisation de ces singularités permettra par la suite de pouvoir opérer à des tronçonnages pour éliminer les zones les plus faibles des planches, et cela dans le but d'optimiser mécaniquement un sciage.

L'étude menée porte non seulement sur l'amélioration des modèles déjà existants pour la prédiction des contraintes de rupture mais vise aussi à prédire le comportement mécanique de poutres lamellées-collées constituées de différentes classes mécaniques en s'appuyant sur leurs modélisations par éléments finis. Le dernier axe de ce travail porte sur l'influence de la refente de

telles poutres sur leur comportement mécanique. La validation des résultats obtenus sera assurée par la comparaison de ceux-ci avec des résultats obtenus par des essais destructifs.

D14 **COMMANDRE Jean-Michel** Cirad/BioWooEB (Montpellier) [jean-michel.commandre@cirad.fr](mailto:jean-michel.commandre@cirad.fr)

**Torréfaction de biomasse : influence de la nature des biomasses sur les produits et leur broyabilité**

***Torrefaction of biomass at pilot-scale: influence of nature of biomass on products and grindability***

J.-M. Commandre, A. Leboeuf, P. Rousset, K. Lê Thành

*CIRAD, 73 avenue Jean-François Breton ; 34398 Montpellier Cedex 5, France*

Biomass is a renewable fuel, increasingly considered as an important resource for alternative fuels with significant environmental advantages. Thermo-chemical conversion of biomass is a mean to produce energy and to reduce greenhouse gases. Rapid gasification of biomass at high temperature is one of the most promising technologies for the syngas production and can be achieved in several seconds in an entrained flow reactor. At high temperature (1400°C), it is possible to obtain a syngas (CO, H<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>) containing very small amounts of residual hydrocarbons and solid carbon (char). Heat and mass transfers are very effective in this kind of reactor, but the biomass must be dried and ground to particles measuring several hundreds of micrometers prior to injection. These preliminary steps, especially grinding, consume large amounts of energy and represent obstacles that need to be overcome in order to expand the use of biomass in thermo-chemical processes.

Torrefaction is a thermal pretreatment which allows moisture and low weight organic volatile components of biomass to be removed, producing a hydrophobic solid residue with an increased energy density (on a mass basis) and greatly reduced grinding energy consumption compared to fresh biomass [1]. Electricity requirements for size reduction of torrefied wood are 50 to 85 % smaller in comparison with fresh wood [2].

In this work, mass balances have been performed during torrefaction of three different biomasses at pilot-scale. A new vibrating-tube torrefaction device at pilot-scale has been developed in Cirad to characterise under controlled conditions the different products released during torrefaction. Condensable species were recovered thanks to a cooling device afterwards the vibrating-tube; gaseous species were quantified by a  $\mu$ GC. Mass balance was evaluated by quantification of the biomass mass loss and species released. For each sample of torrefied biomass, mass loss, proximate analysis and lower heating value were quantified, and detailed mass balances including condensable species analysis are performed.

The torrefied wood grindability was evaluated thanks to the energy consumption of a specific grinder and particle size distribution obtained. The influence of reactor temperature and nature of biomass on grindability were also considered.

References

- [1] Bridgeman TG, Jones JM, Shield I, Williams PT. Torrefaction of reed canary grass, wheat straw and willow to enhance solid fuel qualities and combustion properties. *Fuel* (2007)
- [2] Bergman PCA, Boersma AR, Kiel JHA, Prins MJ, Ptasiński KJ, Janssen FJJG. Torrefaction for entrained flow gasification of biomass. In: Van Swaaij WPM, Fjällström T, Helm P, Grassi A, editors. Second world biomass conference, Rome, Italy. ETA-Florence and WIP-Munich, 2004: 679-82.

D15 **GHAZIL Saloua**

ESB (Nantes)

saloua.ghazil@ecoledubois.fr

**Etude Comparative des Propriétés Mécaniques Intrinsèques de deux Variétés de Chêne : le *Quercus robur* L., et le *Quercus pubescens* Willd.**

Saloua Ghazil<sup>1</sup>, Jean Lemaire<sup>2</sup>

1 LUNAM Université, Groupe Ecole Supérieure du Bois, Atlanpôle- BP 10 605, Rue Christian Pauc, 44 306 Nantes cedex 3

2 Centre National de la Propriété forestière (CNPF) 47 rue de Chaillot 75116 PARIS

Objet

Les CRPF de la façade atlantique constatent des dépérissements dans les chênaies de leurs régions depuis plusieurs années. Conscients des conséquences du changement climatique et du risque que cela présente sur la filière bois et les chênaies en particulier, les CRPF Normandie, Bretagne, Pays de la Loire, Ile de France, Centre, Poitou-Charentes, Aquitaine et Midi-Pyrénées se sont réunis, avec l'Institut pour le développement forestier, dès la fin 2007 pour bâtir un projet ambitieux, nommé Chênaies atlantiques, afin de comprendre, et s'adapter à la situation avenir.

Ils souhaitent étudier les caractéristiques technologiques de transformation du chêne pubescent pour étudier ses possibilités de développement en boisements ou en régénérations naturelles.

Programme de travail et méthodes employées

Caractéristiques technologiques du bois de chêne pubescent

Après des études du terrain, il s'est avéré que dans les zones où le dépérissement du chêne pédonculé est plus marqué, la présence du chêne pubescent a souvent été observée. Cette essence plus thermophile résiste mieux au stress hydrique, surtout durant les mois les plus chauds. Dans des taillis sous futaies, on peut ainsi trouver en mélange pied à pied des chênes pédonculés et des chênes pubescents de dimension importante (diamètre > 40 cm). Il a été décidé de faire une étude comparative sur les caractéristiques mécaniques, physiques et anatomiques du bois des chênes pubescent et pédonculé. 22 grumes de chêne pubescent et 13 grumes de chêne pédonculé ont été abattues ; elles provenaient de trois sites différents (2 dans l'Indre, 1 ans la Vienne). Les chênes pubescents et pédonculés étaient situés dans des peuplements mélangés ; ils ont été soumis au même traitement sylvicole. Ils ont sensiblement le même âge (100 ans en moyenne) et la même dimension (42 cm de diamètre). Il ressort de cette étude comparative selon les normes AFNOR que les caractéristiques mécaniques du chêne pubescent sont supérieures à celles du chêne pédonculé.

D16 **BELLONCLE Christophe**

ESB (Nantes)

christophe.belloncle@ecoledubois.fr

**Chemical extraction of contaminants from recovered wood: optimization process.**

Daniel Quivilic, Amine Bouslamti, Christophe Belloncle, Mark Irle

Groupe ESB, Atlanpôle- BP 10 605, Rue Christian Pauc, 44 306 Nantes cedex 3

The quantity of recovered wood from manufacturing processes and construction sites in France was estimated to be approximately 12 million tons. Not all of this wood can be recycled because of chemical contamination with heavy metals mainly coming from wood preservation, painting and finishes applied to the wood. The aim of this study was on the one hand to create a heavy metal leaching process that would be cheap, efficient and which does not significantly alter the wood's

form and properties so that it may still be recycled in to new products and on the other hand to optimize this process using experimental design tools. The two leaching agents that were selected for this study were sulfuric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) and ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA). The elements targeted by this work are: arsenic (As), copper (Cu), chromium (Cr), lead (Pb) and boron (B). In the first step, an experiment design based on a Hadamard matrix was used to determine the factors that have a significant influence on the leaching of heavy metals from the recycled wood. This design highlighted that the three most influential factors for the sulfuric acid are: temperature, acid's concentration and particle size. Following this first step an optimization matrix (Box-Behnken design) was performed using these three factors as the variation sources and keeping the other factors fixed. Finally, a test using the optimum conditions was conducted to verify that the expected results were actually found.

Keywords: Box-Behnken matrix, Experimental design, Hadamard screening, heavy metals, optimization and recycled wood

D17 **LUDOSKY Daliéna**

ESB (Nantes)

daliena.ludosky@ecoledubois.fr

### **Facteurs influençant la migration des composés du bois lors d'un contact alimentaire**

Daliéna Ludosky<sup>a,b</sup>, Florence Fricoteaux<sup>a</sup>, Saloua Ghazil<sup>b</sup>, Alain Copinet<sup>a</sup>

*a ESIREims, Esplanade Roland Garros-Technopôle Henri Farman, BP1029, 51686 Reims cedex;*

*b Groupe ESB, Atlanpôle- BP 10 605, Rue Christian Pauc, 44 306 Nantes cedex 3*

Le bois est un matériau naturel et complexe. Il fait partie des plus anciens matériaux d'emballage. Une grande diversité de bois est employée en contact alimentaire direct de nombreux aliments (vins et spiritueux, fromage, fruits et légumes) ou en tant qu'ustensiles de cuisine [1].

Le pôle emballage, sous l'impulsion du SIEL a fondé un consortium national nommée EMABois [2]. Ce consortium réunit des syndicats Interprofessionnels tels que le SIEL, SYPAL, SEILA mais aussi France Bois Forêt, la Fédération Nationale du bois et des établissements de recherche que sont : Actilait, l'ESB, l'ESIREims, le FCBA, et Oniris-Nantes. La mission du consortium EMABois est de confirmer l'aptitude du matériau bois au contact alimentaire direct par des études scientifiques. Dont les résultats sont attendus par les industriels de l'emballage en bois mais également par les autorités alimentaires.

En l'absence de réglementation spécifique sur le bois au contact alimentaire depuis le 15 novembre 1945. L'une des thématiques majeure du consortium est l'actualisation de la fiche « matériau bois » qui repose entre autre à une meilleure connaissance des migrations chimiques contenants/contenus pour les emballages destinés au contact alimentaire.

Les lignes directrices du projet de recherche « Facteurs influençant la migration des composés du bois lors d'un contact alimentaire » sur 3 ans ont été déterminés selon les besoins des industriels de l'emballage en bois et en intégrant l'expertise de chacun des partenaires. Dans un premier temps, l'objectif sera d'identifier et d'étudier les caractéristiques du bois et les procédés liés à la préparation de ce dernier permettant ainsi de mieux comprendre la formation des composés organiques volatiles issues du bois[3]. Secondairement, nous identifierons les composés du bois susceptibles de poser problème lors d'un contact avec un aliment grâce à différentes techniques d'extraction tels que la désorption thermique, la SPME (micro extraction sur phase solide) ou encore grâce à la technique SBSE (stir bar sorption extraction). Et pour finir, nous serons amenés à comprendre les phénomènes de migration de ces molécules organiques volatiles avec l'aliment [4]. Cette étude sera menée sur deux essences principalement utilisées dans la fabrication des emballages en bois : le Peuplier et le Pin Maritime et permettra de développer des méthodologies innovantes d'analyse du bois directement applicables par les industries de l'emballage.

## Références

- [1] Handbooks of Paper and Wood Packaging Technology; Twede D and Selke S; Edition DEStech Publication Inc; 2005
- [2] [www.emballage-larger-bois.fr](http://www.emballage-larger-bois.fr)
- [3] Wood chemistry : Fundamentals and Application, Second Edition, Sjoqstrom E ; Academic Press Inc, 1993
- [4] Migration de molécules volatiles dans un système aliment-emballage bois: Modélisation des transferts et mesure des coefficients de diffusion; Ali Ebrahimzadeh Mouasi S.M; Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine; 1998

D18 **TIKHONOVA Elena** ESB (Nantes) [elena.tikhonova@fcba.fr](mailto:elena.tikhonova@fcba.fr)

### **Stratification des panneaux de fibres à base de bois**

Elena Tikhonova, Michael Lecourt, Mark Irlé

*Groupe ESB, Atlanpôle- BP 10 605, Rue Christian Pauc, 44 306 Nantes cedex 3*

L'étude présentée démontre la possibilité d'utiliser des matières premières alternatives (ici des produits issus de l'industrie papetière) actuellement mal ou peu valorisées dans des panneaux de fibre, dont la production connaît un essor exponentiel.

Un panneau de fibre est constitué principalement d'une épaisseur régulière de fibre de bois et d'adhésif. La défibrillation de la matière cellulosique permet une homogénéisation des propriétés physiques et mécaniques. Il est proposé de développer de nouveaux panneaux de fibres stratifiés dans l'épaisseur afin d'améliorer des propriétés potentiellement dégradées par l'utilisation de cette matière première.

Deux types des fibres ont été étudiées - fibres issues du bois et fibres rejetées par l'industrie papetière. Chaque matière première a été caractérisée selon les méthodes TAPPI T 233 cm-06 pour la morphologie et TAPPI T210 pour la chimie. Les panneaux ont ensuite été produits sous la forme de tri-couche et les propriétés mécaniques testées (Flexion (EN 310) - Cohésion interne (EN 319) - Gonflement dans l'eau (EN 317)).

Il a été observé que cette technique permet de remplacer jusqu'à 20% de bois vierge en conservant les propriétés mécaniques proposées par la norme EN622-5.

D19 **LANATA Francesca** ESB (Nantes) [francesca.lanata@ecoledubois.fr](mailto:francesca.lanata@ecoledubois.fr)

### **Instrumentation de l'extension de l'Ecole Supérieure du Bois et suivi à long terme de son comportement**

Francesca Lanata,

*Groupe ESB, Atlanpôle- BP 10 605, Rue Christian Pauc, 44 306 Nantes cedex 3*

La conception des structures, quelque soit le matériau utilisé, est fondée sur une démarche réglementaire et codifiée, essentiellement déterministe, qui prend partiellement en compte les conditions réelles de la structure en phase d'exploitation et conduit les plus souvent à des

surdimensionnements, injustifiés, donc à des surcoûts. Les différences entre le comportement prévu en phase de conception et le comportement réel sont par exemple liées à certains chargements ignorés au moment de la conception et découverts seulement à l'exploitation ou à la variation et/ou dégradation des propriétés des matériaux dans le temps. C'est particulièrement le cas du bois, matériau fortement influencé par les variations environnementales et d'exploitation. Le retour d'expérience via le monitoring des structures bois s'avère donc essentiel pour améliorer la connaissance de son comportement en phase d'exploitation et pour suivre à long terme le vieillissement d'une structure en termes de réduction de ses performances globales, notamment mécaniques et énergétiques.

L'extension de l'ESB a été instrumentée avec des capteurs pour suivre son comportement mécanique et énergétique pendant ses premières années d'exploitation. L'objectif du Structural Health Monitoring (SHM) est de vérifier les performances de cette structure en bois (en termes de sécurité face aux événements climatiques et de service, de confort, de consommation énergétique) et leur durabilité dans le temps. Les mesures réalisées permettront d'identifier d'éventuels écarts de performances entre les prévisions de la conception et les mesures réelles afin de proposer des pistes d'amélioration. L'objectif final est de rendre les systèmes constructifs bois les plus compétitifs possibles. Le projet permettra de développer une compétence en termes d'instrumentation et d'analyse et de construire une méthodologie adaptée pour les structures en bois.

Une partie du système a démarré les mesures le 24 juillet afin d'avoir une base des données avant l'exploitation du bâtiment. La fréquence d'acquisition a été décidée pour collecter un nombre conséquent de données : les jauges mesurent toutes les deux heures et les capteurs température/hygrométrie toutes les minutes. Le système sera entièrement fonctionnel fin décembre 2012.

D20 **ALMECIJA Benjamin** CRAN (Nancy) [benjamin.almecija@univ-lorraine.fr](mailto:benjamin.almecija@univ-lorraine.fr)

### **Optimisation matière et flux en scierie par l'instrumentation multi-capteurs du parc à grumes**

B. Almecija, V. Bombardier, P. Charpentier

*CRAN, Nancy*

La filière Bois, comme la filière automobile il y a plusieurs décennies, est en pleine mutation. Chaque entité de la filière mise de plus en plus sur l'automatisation de ses processus pour atteindre des objectifs de productivité toujours plus élevés. En Europe, la hausse de la productivité est une réponse directe à la hausse du prix de la matière première (bois ronds). En France particulièrement s'ajoute une contrainte supplémentaire : la matière première vendue est très hétérogène, que cela soit en qualité ou en dimension. C'est dans ce cadre que la scierie Siat-Braun a investi dans un tout nouveau parc à grumes.

Alors qu'un parc à grumes courant permet de tronçonner les grumes en billons puis de les trier par dimensions et qualités apparentes, ce nouveau parc permettra de visualiser l'intérieur de la matière pour, d'or et déjà, prendre des décisions qualitatives précises et pertinentes afin de valoriser au mieux la matière. Les récentes publications scientifiques et les avancées technologiques industrialisables ont aidé l'entreprise à choisir un tomographe à rayons X pour scanner les grumes. En effet, parmi toutes les technologies étudiées et/ou déjà industrialisées, les scanners à rayons X sont les plus prometteurs. La réalisation d'un tomographe (reconstruction 3D) industriel est quant à elle totalement inédite.

L'entreprise désire réorganiser son processus de décision qualité autour ce parc à grumes. En effet, actuellement, la qualité des bois est définie dans un premier temps au niveau du parc à grumes par un opérateur sur des considérations extérieures du billon. Puis, dans un second temps un opérateur l'attribue définitivement au niveau de la ligne de sciage en se basant sur l'extérieur de la pièce finale. A l'avenir, la méthode appliquée sur la ligne de sciage ne changera pas mais sera complétée par la méthode automatique du parc à grumes. Cette dernière sera basée sur des considérations extérieures et intérieures pour définir virtuellement les sciages à faire dans le billon. C'est dans le terme « automatique » que nos recherches prennent tout leur sens. Dans cette amélioration du flux, le risque que souhaite éviter l'entreprise est la perte de l'expertise des opérateurs du parc. Ainsi, pour fournir un résultat cohérent pour toute la chaîne de production, le nouveau système qualitatif devra non seulement intégrer la connaissance des opérateurs du parc mais aussi celles des opérateurs de la ligne de sciage.

Dans cet objectif, les travaux de recherche entrepris se décomposent en cinq thèmes. Le premier concerne une étude bibliographique sur l'utilisation de la tomographie dans le bois. Le second vise une modélisation de la qualité appliquée dans l'entreprise grâce à la méthode NIAM/ORM. La modélisation mène au troisième qui est la détermination des critères (internes et externes) de qualités à définir sur le billon. Tout ou partie de ces critères devront être associés à des seuils (valeurs) dont la détermination pertinente avant l'arrivée constitue le 4ème point. Finalement, il faut mettre en place une boucle de validation/amélioration du système afin de contrôler les performances du système à tout moment. Une des pistes d'amélioration privilégiée est l'implémentation d'un classificateur hiérarchique.

#### Références

Almecija B., Bombardier V., Charpentier P., « Modeling Quality knowledge to design log sorting system by X rays tomography », 14th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, pp. 1190-1195, 23-25 May, 2012

Mots-clés : scanner à rayons X, modélisation de connaissance, parc à grumes, qualité

**PARTICIPANTS<sup>3</sup>**

Nom Prénom	Unité	ville	email	poster
Abedini Raoufeh	LMGC	Montpellier	abedini_rf@yahoo.com	
Akkaoui Abdessamad	Navier	Champs	abdessamad.akkaoui@enpc.fr	D07
Aknouche Hamid	Boumerdès	Algérie	h.aknouche@yahoo.fr	
Alméras Tancrede	LMGC	Montpellier	tancrede.almeras@univ-montp2.fr	
Améglio Thierry	Piaf	Clermont	thierry.ameglio@clermont.inra.fr	
Amirou Siham	Boumerdès	Algérie	amirou.siham@gmail.com	B18
Amusant Nadine	Ecofog	Guyane	nadine.amusant@cirad.fr	
Angellier Nicolas	GEMH	Egletons	nicolas.angellier@unilim.fr	
Arciniegas Mosquera Andres	LMA	Marseille	arciniegas@lma.cnrs-mrs.fr	A03
Arnaud Charlène	Amap	Montpellier	charlene.arnaud30@gmail.com	B11
Arnould Olivier	LMGC	Montpellier	olivier.arnould@univ-montp2.fr	A07
Assor Carole	LMGC	Montpellier	cassor@nantes.inra.fr	
Augereau Franck	IES	Montpellier	franck.augereau@univ-montp2.fr	
Ayina-Ohandja Louis-Max	Yaounde		oayina@yahoo.fr	
Barakat Abdelatif	late	Montpellier	barakat@supagro.inra.fr	
Barré Jean-Baptiste	EMGR	Grenoble	jean-baptiste.barre@irstea.fr	
Battentier Janet	Cepam	Nice	janet.battentier@hotmail.fr	
Baudassé Christine	BioWooEB	Montpellier	christine.baudasse@cirad.fr	
Beauchêne Jacques	Ecofog	Guyane	jacques.beauchene@cirad.fr	
Beaugrand Johnny	Fare	Reims	johnny.beaugrand@reims.inra.fr	C17
Beaujard François	Piaf	Clermont	beaujard@clermont.inra.fr	
Bellavia Valentina	Inrap-GEN	Metz	valentinabellavia@gmail.com	A14
Belloncle Christophe	ESB	Nantes	christophe.belloncle@ecoledubois.fr	D16
Benbrahim Zouheyr	Boumerdès	Algérie	zouheyrb@yahoo.fr	C16
Benoist Anthony	BioWooEB	Montpellier	anthony.benoist@cirad.fr	
Bert Didier	Biogeco	Bordeaux	bert@pierroton.inra.fr	
Besserer Arnaud	Lermab	Epinal	arnaud.besserer@univ-lorraine.fr	
Bilot Nicolas	Lerfob	Nancy	nicolas.bilot@nancy.inra.fr	B7
Bléron Laurent	Lermab	Epinal	laurent.bleron@univ-lorraine.fr	
Bossu Julie	Ecofog	Guyane	julie.bossu@ing.ecoledubois.fr	
Boudouaya Manel	Lerfob	Nancy	Manel.Boudouaya@nancy.inra.fr	B6
Bourreau Damien	Lerfob	Nancy	damien.bourreau@gmx.com	B9
Bourrier Franck	EMGR	Grenoble	franck.bourrier@irstea.fr	
Brancheriau Loic	BioWooEB	Montpellier	loic.brancheriau@cirad.fr	
Brémaud Iris	LMGC	Montpellier	iris_bremaud@hotmail.com	
Brillard François	B.AlpesContrôles	Montpellier	fbrillard@alpes-contrôles.fr	
Broust François	BioWooEB	Montpellier	francois.broust@cirad.fr	
Burgers Agnès		Alès	agnes_burgers@hotmail.fr	
Butaud Jean-Claude	Labomap	Cluny	jean-claude.butaud@ensam.eu	
Cabrolier Pierre	Lerfob	Nancy	pcabrolier@hotmail.fr	

<sup>3</sup> Version du 23/11/2012

1<sup>ères</sup> Journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du bois - Montpellier – 26-28/11/2012

Candelier Kévin	Lermab	Vandoeuvre	kevin.candelier@lermab.uhp-nancy.fr	C14
Caré Sabine	Navier	Champs	sabine.care@ifsttar.fr	D08
Chabal Lucie	CBAE	Montpellier	chabal@univ-montp2.fr	
Chang Shanshan	LMGC	Montpellier	shanshan.chang@univ-montp2.fr	
Chanson Bernard	LMGC	Montpellier	bernard.chanson@univ-montp2.fr	
Charrier Bertrand	Iprem	Pau	bertrand.charrier@univ-pau.fr	
Charrier Fatima	Iprem	Pau	fatima.charrier@univ-pau.fr	
Chemin Maud	LCPO	Bordeaux	chemin@enscbp.fr	C04
Chrzavzez Julia	Cepam	Nice	alicantinajulia@yahoo.fr	A11
Chupin Lucie	Iprem	Pau	lucie.chupin@univ-pau.fr	C03
Clair Bruno	Ecofog	Guyane	bruno.clair@univ-montp2.fr	
Colin Francis	Lerfob	Nancy	colin@nancy.inra.fr	B8
Collet Robert	Labomap	Cluny	robert.collet@ensam.eu	
Colmars Julien	LRRMM	Paris	julien.colmars@imelavi.fr	C18
Commandre Jean Michel	BioWooEB	Montpellier	jean-michel.commandre@cirad.fr	D14
Constant Thiéry	Lerfob	Nancy	constant@nancy.inra.fr	
Costa Guy	LCSN	Limoges	guy.costa@unilim.fr	B4
Cueff Guillaume	I2M	Bordeaux	guillaume.cueff@efectis.com	A17
Darabi Peyvand	LMGC	Montpellier	Pievand@yahoo.com	
Delaunay Thomas	IES	Montpellier	thomas.delaunay@univ-montp2.fr	
Delhon Claire	Cepam	Nice	claire.delhon@cepam.cnrs.fr	
Délisée Christine	I2M	Bordeaux	christine.delisee@u-bordeaux1.fr	
Denaud Louis-Etienne	Labomap	Cluny	louis.denaud@ensam.eu	
Destrebecq Jean-Francois	IP	Clermont	jean-francois.destrebecq@univ-bpclermont.fr	
Di Renzo Franscesco	ICG	Montpellier	francesco.di-renzo@enscm.fr	
Dlouha Jana	Lerfob	Nancy	yanadlo@seznam.cz	
Drevet Patricia	Piaf	Clermont	patricia.drevet@univ-bpclermont.fr	
Dubois Frédéric	GEMH	Egletons	frederic.dubois@unilim.fr	
Dufraisse Alexa	AASPE	Paris	dufraise@mnhn.fr	A08
Dupleix Anna	Labomap	Cluny	anna.dupleix@ensam.eu	C05
Duret Xavier	Cribois	Epinal	xavier.duret@cribois.net	D11
Dussol Lydie	LAA	Nanterre	lydie_dussol@hotmail.com	
Elaieb Mohamed-Tahar	Lermab	Vandoeuvre	ayeb2002@yahoo.fr	C15
Fouchal Fazia	GEMH	Egletons	fazia.fouchal@unilim.fr	C11
Fourcaud Thierry	Amap	Montpellier	fourcaud@cirad.fr	
Fournely Eric	IP	Clermont	eric.fournely@univ-bpclermont.fr	D02
Fournier Meriem	Lerfob	Nancy	meriem.fournier@agroparistech.fr	
Fredon Emmanuel	Lermab	Epinal	emmanuel.fredon@univ-lorraine.fr	C13
Fuentes Sebastian	IP	Clermont	sebastian.fuentes@polytech.univ-bpclermont.fr	D03
Gallet Philippe	BioWooEB	Montpellier	philippe.gallet@cirad.fr	
Gauvin Cécilia	LMGC	Montpellier	cecilia.gauvin@gmail.com	
Gérard Jean	BioWooEB	Montpellier	jean.gerard@cirad.fr	
Gérardin Christine	Lermab	Vandoeuvre	Christine.Gerardin@univ-lorraine.fr	
Gérardin Philippe	Lermab	Vandoeuvre	philippe.gerardin@univ-lorraine.fr	
Ghanoum Ayman	Lermab	Vandoeuvre		
Ghazil saloua	ESB	Nantes	saloua.ghazil@ecoledubois.fr	D15

1<sup>ères</sup> Journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du bois - Montpellier – 26-28/11/2012

Girardon Stéphane	Cribois	Epinal	stephane.girardon@cribois.net	D10
Goué Nadia	Piaf	Clermont	nadia.goue@clermont.inra.fr	B1
Graindorge Lamour Jonathan	INP	Paris	graindorgejo@gmail.com	C19
Grazide Cécile	I2M	Bordeaux	cecile.grazide@u-bordeaux1.fr	A15
Gril Joseph	LMGC	Montpellier	joseph.gril@univ-montp2.fr	
Gronvold Arthur	LMGC	Montpellier	arthur.gronvold@univ-montp2.fr	A06
Guibal Daniel	BioWooEB	Montpellier	daniel.guibal@cirad.fr	
Haddadou Imane	MPE	Boumerdès	haddadou.imane@gmail.com	B19
Hakam Abdelillah	U.Mohammed V	Rabat	hakam_abdelillah@yahoo.fr	B17
Hannouz Simon	Labomap	Cluny	simon.hannouz@ensam.eu	C06
Heinz Christine	Amap	Montpellier	heinz@univ-montp2.fr	
Henry Auréade	Cepam	Nice	aureade.henry@me.com	A10
Hu Jinbo	BioWooEB	Montpellier	hjb1999@hotmail.com	
Jover Jérémy	Cran	Epinal	jover.jeremy@gmail.com	D09
Jullien Delphine	LMGC	Montpellier	Delphine.Jullien-Pierre@univ-montp2.fr	
Karami Elham	LMGC	Montpellier	em_karami@yahoo.com	
Kebbi Benkeder Zineb	Lerfob	Nancy	zineb.kebbi_benkeder@yahoo.fr	
Krebs Michael	Labomap	Cluny	michael.krebs@ensam.eu	
Lakhal Wassim	AGPF	Orléans	wassim.lakhal@orleans.inra.fr	B3
Lanata Francesca	ESB	Nantes	francesca.lanata@ecoledubois.fr	D19
Langbour Patrick	BioWooEB	Montpellier	patrick.langbour@cirad.fr	
Lathuillière Damien	Lermab	Epinal	damien.lathuilliere@orange.fr	D12
Laux Didier	IES	Montpellier	didier.laux@univ-montp2.fr	
Lavalette Anne	I2M	Bordeaux	anne.lavalette@u-bordeaux1.fr	A18
Leban Jean-Michel	Inra/EFPA	Nancy	leban@nancy.inra.fr	
Lebee Arthur	Navier	Champs	arthur.lebee@enpc.fr	
LeClezio Emmanuel	IES	Montpellier	emmanuel.le-clezio@univ-montp2.fr	
Lecomte-Schmitt Blandine	Inrap-IdF	Pantin	blandine.lecomte-schmitt@inrap.fr	
Leconte Sandie	LRRMM	Paris	sleconte@cite-musique.fr	
Lehnebach Romain	0	0	lehnebach.romain@hotmail.fr	
Liottier Leonor	Cepam	Nice	leonor.liottier@gmail.com	A09
Longo Roberto	IES	Montpellier	roberto.longo@univ-montp2.fr	A04
Ludosky Daliéna	ESB	Nantes	daliéna.ludosky@ecoledubois.fr	D17
Maatouf Nouredin	BioWooEB	Montpellier		
Maigre Hubert	Lamcos	Lyon	hubert.maigre@insa-lyon.fr	
Makouanzi-Ekomono Chrissy-Garel	Agap	Montpellier	garelmak@yahoo.fr	B10
Marchal Rémy	Labomap	Cluny	remy.marchal@cirad.fr	
Marcon Bertrand	Lmgc	Montpellier	bertrandmarcon@hotmail.com	
Martin Corinne	Lerfob	Nancy	corinne.martin@agroparistech.fr	
Martin Luc	BioWooEB	Montpellier	luc.martin@cirad.fr	B14
Martin Ludovic	Piaf	Clermont	ludovicmartin63@yahoo.fr	B2
Mary Benjamin	Ouvrage Hyd	Aix-en-Provence	benjamin.mary@irstea.fr	
Masson Eric	Cribois	Epinal	eric.masson@cribois.net	
Matsuo Miyuki	Univ. Nagoya	Japan	miyuki@agr.nagoya-u.ac.jp	
Maurin Emmanuel	LRMH	Champs	emmanuel.maurin@culture.gouv.fr	
Medjelekh Dalel	GEMH	Egletons	dalelmedjelakh@yahoo.fr	C10

Méreuze Rémi	ARCHAM	Nanterre	remi.mereuze@gmail.com	
Merlin André	Lermab	Vandoeuvre	andre.merlin@univ-lorraine.fr	
Meyer-Berthaud Brigitte	Amap	Montpellier	meyerberthaud@cirad.fr	
Montéro Cédric	ID13	Grenoble	cedric.montero@esrf.fr	A05
Morlier Pierre	Xylofutur	Bordeaux	pierre.morlier@xylofutur.fr	
Mothe Frédéric	Lerfob	Nancy	mothe@nancy.inra.fr	
Motillon Coralie	Iprem	Pau	coralie.motillon@etud.univ-pau.fr	C02
Mougel Eric	Lermab	Epinal	eric.mougel@univ-lorraine.fr	
Moutou-Pitti Rostand	IP	Clermont	rostand.moutou_pitti@univ-bpclermont.fr	
Nguyen Tuan-Anh	GEMH	Egletons	tuan-anh.nguyen@etu.unilim.fr	C09
Nocus Noémie	AASPE	Paris	noemie.nocus@gmail.com	
Obounou-Akong Firmin	Lermab	Vandoeuvre	obounoufirmin@live.fr	C13
Olmedo-Manich Ignacio	EMGR	Grenoble	ignacio.olmedo@irstea.fr	B16
Oum Lissouck René	I2M	Bordeaux	rene.oumissouck@u-bordeaux1.fr	A16
Palu Serge	BioWooEB	Montpellier	serge.palu@cirad.fr	B13
Paradis Sébastien	BioWooEB	Montpellier	sebastien.paradis@cirad.fr	A01
Pétrissans Mathieu	Lermab	Vandoeuvre	mathieu.petrisans@univ-lorraine.fr	
Pfeiffer Renaud	Labomap	Cluny	renaud.pfeiffer@ensam.eu	C07
Pierre Floran	LGPM	Chatenay	floran.pierre@ecp.fr	C08
Pilate Gilles	AGPF	Orléans	pilate@orleans.inra.fr	
Pommier Régis	I2M	Bordeaux	regis.pommier@u-bordeaux1.fr	
Pop Octavian	GEMH	Egletons	ion-octavian.pop@unilim.fr	
Pot Guillaume	IP	Clermont	guillaume.pot@ifma.fr	D01
Quignard Françoise	ICG	Montpellier	quignard@enscm.fr	
Rafidiarison Helisoa	Lermab	Epinal	helisoa-mamy.rafidiarison.1@etumail.uhp-nancy.fr	C12
Ramananantoandro Tahiana	ESSA	Tananarive	ramananantoandro@gmail.com	
Randrianarimanana Jean-Jacques	I2M	Bordeaux	randriajj@yahoo.fr	A19
Rathgeber Cyrille	Lerfob	Nancy	cyrille.rathgeber@nancy.inra.fr	
Rémond Romain	Lermab	Epinal	romain.remond@univ-lorraine.fr	
Renault Emmanuel	LCSN	Limoges	renaultemmanuel@orange.fr	
Roohnia Meran	BioWooEB	Montpellier	mroohnia@gmail.com	A02
Rouger Frédéric	FCBA	Bordeaux	frederic.rouger@fcba.fr	
Ruelle Julien	Lerfob	Nancy	julienruelle@hotmail.com	B5
Saad Houda	Iprem	Pau	houda.saad@univ-pau.fr	C01
Sabatier Sylvie	Amap	Montpellier	sylvie-annabel.sabatier@cirad.fr	
Saedlou Nima	Xyloree	Saintes	xyloree@gmail.com	A12
Saifouni Omar	IP	Clermont	omar.saifouni@ifma.fr	D06
Saulnier Florence	IP	Clermont	florence.saulnier@ifma.fr	D04
Sedlbauer Simon	PAP-MM	Metz	simonsedlbauer@gmail.com	A13
Segla Kossi-Novinyo	BioWooEB	Montpellier	seglos003@yahoo.fr	B12
Sesbou Abdessadek	Rabat	Maroc		
Taazount Mustapha	IP	Clermont	mustapha.taazount@univ-bpclermont.fr	D05
Tardan Eric	BioWooEB	Montpellier	eric.tardan@cirad.fr	
Théry-Parisot Isabelle	Cepam	Nice	isabelle.thery@cepam.cnrs.fr	
Thévenon Marie-France	BioWooEB	Montpellier	marie-france.thevenon@cirad.fr	
Thibaut Bernard	LMGC	Montpellier	bthibaut@univ-montp2.fr	

1<sup>ères</sup> Journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du bois - Montpellier – 26-28/11/2012

Tikhonova Elena	ESB	Nantes	elena.tikhonova@fcba.fr	D18
Toe David	EMGR	Grenoble	davidtoe_756@hotmail.com	
Toson Bernard	Cesta	Bordeaux	bernard.toson@cea.fr	
Tran Quoc-Khoi	Arc Nucleart	Grenoble	quoc-khoi.tran@cea.fr	
Tribaleau Antonin	Cribois	Epinal	antonin.tribaleau@cribois.net	
Ulmet Laurent	GEMH	Egletons	laurent.ulmet@unilim.fr	
Van de Steen Laurent	BioWooEB	Montpellier	laurent.van_de_steene@cirad.fr	
Van-Acker Joris	Gent	Blegique	Joris.VanAcker@UGent.be	
Viguiet Joffrey	Lermab	Epinal	joffrey.viguiet@hotmail.fr	D13
Xing Zhi	LGCgE	Bethune	xzmaple@hotmail.com	
Zaremski Alba	Agap	Montpellier	alba.zaremski@cirad.fr	