Actes des 6èmes Journées Scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois

Christophe Belloncle, Malvina Vieux, Joseph Gril, Meriem Fournier, Sabine Caré

▶ **To cite this version:**

Christophe Belloncle, Malvina Vieux, Joseph Gril, Meriem Fournier, Sabine Caré. Actes des 6èmes Journées Scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois. 6èmes journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du bois, Nov 2017, Nantes, France. 6, pp.184, 2017, Journées Annuelles du GDR3544 Sciences du Bois. hal-01713401

HAL Id: hal-01713401
https://enpc.hal.science/hal-01713401

Submitted on 20 Feb 2018

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.

Actes des 6èmes Journées Scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois

21-23 Novembre 2017

ECOLE SUPERIEURE DU BOIS, ESB

Nantes, France

Manifestation : 6èmes journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois, Nantes, Nov. 2017

Collection : Journées annuelles du GDR 3544 sciences du bois, Volume 6, 2017

Coordination et édition des actes : Christophe BELLONCLE (ESB, Nantes), Malvina VIEUX (ESB, Nantes), Joseph GRIL (Institut Pascal, Clermont-Ferrand), Mériem FOURNIER (AgroParistech, Nancy), Sabine CARE (Laboratoire Navier, Champs-sur-Marne)

SOMMAIRE

Sommaire 3
Editorial 4
Comités 7
Soutiens et Sponsors 8
Programme 9
Groupes de Travail 10
Ateliers de formation 11
Visites 12
Plan national Recherche et Innovation 2025 13
Présentations orales invitées 14
Posters 26
Posters primés 26
Posters des participants étrangers 27
Session A 28
Session B 69
Session C 107
Session D 149
Participants 181

EDITORIAL

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

Les **6èmes journées annuelles du GDR Bois** ont été organisées à Nantes, à **l'Ecole Supérieure du Bois** (ESB) du 21 au 23 novembre 2017. Cette rencontre annuelle a rassemblé les membres de 40 organismes français et de 7 instituts / laboratoires étrangers. Elle a permis, au travers des **exposés des conférenciers invités**, d'évoquer les enjeux actuels de la filière forêt-bois autant que d'illustrer les diverses manières d'aborder l'étude du bois. Les participants ont pu échanger sur leurs travaux grâce aux présentations **"flash" appuyées par des posters** dont certains ont été primés par le biais d'un vote en ligne. Les actes de ces journées rassemblent les résumés des conférenciers invités (exposés) et ceux des contributions volontaires (posters). Les contributions des participants étrangers sont précisées, notamment celles issues des pays africains francophones. Les actes sont diffusés sur la plateforme HAL, sous forme de collection « Sciences du bois » qui est destinée à diffuser les travaux des membres du GDR Bois.

Des créneaux pour des réunions **de groupes de travail** (GT) ont été aménagés. Ces GT sont mis en place par les participants aux journées et certains, devenus récurrents, donnent lieu à des réunions thématiques en dehors de ces rencontres annuelles. Cette fois-ci, des ateliers de formation ont également été organisés en parallèle. Des visites d'entreprises ont aussi été proposées. Enfin, après la clôture des Journées, une table-ronde, organisée en partenariat avec le GIP Ecofor, ouverte aux participants comme aux professionnels a permis d'échanger sur **l'avancement du plan national recherche et innovation 2025 (PRI 2025)**.

Merci au personnel de l'ESB qui s'est mobilisé pour avoir organisé et accueilli cette manifestation et en garantir le succès.

Joseph GRIL, Directeur du GDR3544 Sciences du bois
Sabine CARE et **Meriem FOURNIER**, Directrices Adjointes

Participants aux 6èmes Journées Annuelles du GDR3544 Sciences du bois
Copyright Jean-Dominique Billaud - Nautilus

Lauréats 2017 des prix posters – Copyright Corinne Martin, GDR Bois

Laboratoire hôte

Lieu : Ecole Supérieure du Bois, ESB – Nantes, http://www.ecoledubois.fr/
Contact : Christophe Belloncle, christophe.belloncle@ecoledubois.fr
Site WEB des journées annuelles : https://gdrbois2017.sciencesconf.org/

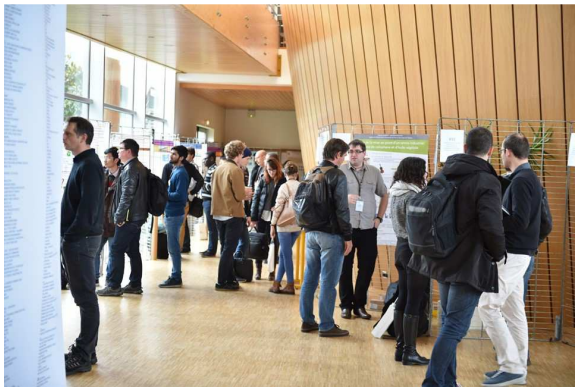
Illustration 1ère page

Ecole Supérieure du Bois, crédit ESB

Edition pour la collection HAL « sciences du bois »

Version pour les actes des journées annuelles 2017 déposés dans la collection HAL « sciences du bois » : *https://hal.archives-ouvertes.fr/BOIS/*.
Date d'édition : Février 2018 – Auteur : Sabine Caré, Laboratoire Navier, Champs-sur-Marne

Exposés



Sessions posters

Groupes de travail

Ateliers de formation

Remarque : l'utilisation de ces photographies est soumise à la mention : GDR Sciences du Bois_nov 2017_ESB Nantes | copyright Jean-Dominique Billaud – Nautilus.

COMITÉS

Comité d'organisation

Coordinateur : Christophe Belloncle

- Christophe Belloncle, ESB - Nantes
- Sabine Caré, Navier - Champs-sur-Marne
- Delphine Feri, ESB - Nantes
- Joseph Gril, LMGC - Montpellier
- Francesca Lanata, ESB - Nantes
- Monika Plöckl, ESB - Nantes
- Malvina Vieux, ESB - Nantes

Le comité d'organisation tient à remercier l'équipe d'acceuil composée de Nicolas Balvay, Charlotte Buannec, Guillaume Carr, Yohann Croq, Victor Le Bolay, Florian Racouet, et Meriem Zaiter, étudiants en première année d'ingénieur de l'ESB, et l'ensemble de l'équipe de l'ESB, qui par son soutien permanent a rendu possible ces 6èmes journées du GDR Bois.

Comité scientifique

Le comité scientifique des journées est constitué du Comité scientifique de Pilotage du GDR3544 « Sciences du bois »

- Christophe Belloncle, ESB - Nantes
- Laurent Bléron, LERMAB - Epinal
- Sabine Caré, Navier - Champs sur Marne
- Myriam Chaplain, I2M - Bordeaux
- Bertrand Charrier, IPREM- Pau
- Louis Denaud, LaBoMaP - Cluny
- Patricia Drevet, PIAF - Clermont Ferrand
- Frédéric Dubois, GEMH - Egletons
- Eric Fournely, Institut Pascal - Clermont Ferrand
- Meriem Fournier, LERFoB - Nancy
- Philippe Gérardin, LERMAB - Nancy
- Stéphane Grelier, LCPO - Bordeaux
- Joseph Gril, LMGC - Montpellier
- Rémy Marchal, BioWooEB - Montpellier
- Emmanuel Maurin, LRMH - Champs sur Marne
- Frédéric Rouger, FCBA - Bordeaux
- Isabelle Théry, CEPAM - Nice
- Marie-France Thévenon, BioWooEB - Montpellier
- Stéphane Vaiedelich, Musée de la musique - Paris

SOUTIENS ET SPONSORS

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

Le GDR 3544 sciences du bois est soutenu principalement par le CNRS (http://www.cnrs.fr/), et le Ministère MCC (http://www.culturecommunication.gouv.fr/) ainsi que par l'INRA (http://institut.inra.fr/). Des soutiens financiers et logistiques ont permis l'organisation de ces journées 2017 dont les descriptifs sont donnés ci-dessous.

Ecole Supérieure du Bois (http://www.ecoledubois.fr/)

A ce jour, plus de 2 500 ingénieurs, chercheurs et techniciens supérieurs issus de l'ESB occupent des postes clés dans un secteur en plein développement.
En tant que spécialistes, ils répondent aux enjeux de la filière bois dans les domaines suivants : recherche, industrialisation des produits forestiers, construction, production, commerce.
Reconnu depuis plus de 75 ans, le Groupe ESB bénéficie d'un rayonnement national et international et maintient des liens étroits avec les réseaux de la filière bois.

Nantes Metropole (https://www.nantesmetropole.fr/)

Nantes Métropole est une métropole française située dans le département de la Loire-Atlantique et la région Pays de la Loire, qui est centrée sur la ville de Nantes.
Nantes Métropole regroupe 24 communes et compte 590000 habitants.

Région Pays De La Loire (http://www.paysdelaloire.fr/

La *Région Pays de la Loire* regroupe 3,6 millions de personnes sur 5 départements. Forte de 11800 chercheurs (public et privé), la Région mène une politique concertée d'appui et d'accompagnement des acteurs de la recherche, cadrée par un Schéma Régional de la Recherche (SRR). Elle dispose de nombreux poles de compétitivités répartis sur 3 technopoles.

Agence Universitaire de la Francophonie (https://www.auf.org/)

L'Agence universitaire de la Francophonie (AUF) est une association internationale. Elle regroupe des universités, grandes écoles, réseaux universitaires et centres de recherche scientifique utilisant la langue française dans le monde entier. Avec un réseau de 817 adhérents dans 106 pays, elle est l'une des plus importantes associations d'institutions d'enseignement supérieur et de recherche au monde.

Elle est également l'opérateur pour l'enseignement supérieur et la recherche du Sommet de la Francophonie. À ce titre elle met en œuvre, dans son champ de compétences, les résolutions adoptées par la Conférence des chefs d'État et de gouvernement des pays ayant le français en partage.

PROGRAMME

MARDI 21 NOVEMBRE 2017

- 10h00-10h50 Accueil des participants, *café de bienvenue*
- 10h50-12h30 Session introductive – Ouverture des journées par Arnaud Godevin, Directeur de l'ESB – présentation du GDR Symbiose par Bernard Cathala
- 12h30-14h00 *Pause déjeuner*
- 14h00-12h30 **Session 1 Le bois à travers les ages** : Exposés de Vincent Bernard (CReAAH Rennes) « Regard dendro-archéologique sur 9000 ans d'aventure du chêne » et de Nicola Macchioni (CNR Florence, IT) « Bois et patrimoine ou le patrimoine en bois : connaissance, caractérisation, diagnostic et restauration »
- 15h00-16h00 **Exposés flashs (A)**
- 16h00-17h00 *Pause café* + **session posters (A)**
- 17h00-19h00 Réunions des groupes de travail et ateliers de formation
- 20h00 *Réunion du comité de pilotage scientifique*

MERCREDI 22 NOVEMBRE 2017

- 08h30-09h30 **Session 2 Qualité et tranformation du bois :** Exposés de Paul McLean (Univ. Edimburgh, UK) « Sylviculture et qualité des bois en Ecosse » et de Roger Hernandez (Univ Laval, CA) « Transformation des billes par des équarrisseuses-fragmenteuses »
- 09h30-10h30 **Exposés flashs (B)**
- 10h30-11h30 *Pause café* + **session posters (B)**
- 11h30-12h30 **Session 3 Le bois dans le monde :** Exposé de Pierre-Marie Desclos (Consultant) « La filière bois mondiale : Eléments de prospective » - Interventions des lauréats de prix des années précédentes
- 12h30-14h00 *Pause déjeuner*
- 14h00-15h00 **Exposés flashs (C)**
- 15h00-16h00 Pause café + **session posters (C)**
- 17h00-19h00 Visites / Possibilité de réunions de groupes de travail en parallèle
- 20h00-23h00 *Dîner gala*

JEUDI 23 NOVEMBRE 2017

- 08h30-09h30 **Session 4 Le bois dans la société :** Exposés de Jean François Bocquet (Lermab Epinal) « Le bois, un matériau mature pour notre temps » et de Mark Irle (ESB Nantes) « Solid wood recycling via the CareWood project »
- 09h30-10h30 **Exposés flashs (D)**
- 10h30-11h30 Pause café + **session posters (D)**
- 11h30-12h30 Réunions des groupes de travail et ateliers de formation
- 12h30-14h00 *Pause déjeuner*
- 14h00-15h00 Réunions des groupes de travail et ateliers de formation
- 15h00-15h30 Prix poster – Conclusion et clôture
- 15h30-17h00 Présentation de la mise en œuvre **du plan Recherche & Innovation Forêt-Bois 2025** par Sylvie Alexandre, Déléguée interministérielle à la forêt et au bois
- 17h00 Cocktail

GROUPES DE TRAVAIL

Onze Groupes de Travail (GT) ont été proposés pour cette 6ème édition des journées annuelles du GDR Bois, selon la liste définie ci-dessous.

Ces GT sont mis en place par les participants aux journées et certains, devenus récurrents et donnent lieu à des réunions thématiques en dehors de ces rencontres annuelles Cette année, 4 nouveaux GT ont été proposés : SEHS, Bois tropicaux, Xylogénèse, Construction.

Pour plus d'information, voir :
http://www6.inra.fr/gdr-sciences-du-bois/Presentation-generale/Groupes-de-travail

Certains GT possèdent leur page web sur le site du GDR (*), les comptes rendus des réunions sont disponibles à : http://www6.inra.fr/gdr-sciences-du-bois/Groupes-de-travail

Groupes de travail

- Contrôle et évaluation non destructive du bois (Marianne Perrin) *
- Groupe Usinage Bois (Florent Eyma) *
- Xylomat et suite de Xyloforest (Bertrand Charrier) *
- Bois & Imagerie (Sabine Caré, Guy Costa, Evelyne Toussaint) *
- Xylogenèse et ses déterminants (Thiery Constant, Annabelle Dejardin)
- Bois tropicaux (Kevin Candelier)
- Xylothèque, collections et base de données (Emmanuel Maurin, Bernard Thibaut) *
- Rupture du Bois (Myriam Chaplain, Rostand Moutou Pitti, Frédéric Dubois) *
- SEHS usages et transformation du bois (Mériem Fournier)
- Comportement différé et utilisation du bois vert (Sandrine Bardet)
- Construction (Nicolas Sauvat, Eric Fournely) *

ATELIERS DE FORMATION

La spectroscopie proche infrarouge et reconnaissance des essences

Les principes et le potentiel de la spectroscopie proche infrarouge appliquée à l'identification des essences de bois ont été présentés et des démonstrations d'identification des bois avec le MicroNIR ont été proposées, dans le contexte actuel de trafic illégal de bois tropicaux. Les intérêts de la méthode sont sa rapidité, son faible coût et la non-nécessité d'avoir les connaissances scientifiques sur le bois, facilitant son utilisation par les agents de contrôle.

Animatrices :
Mikala Yvana Andrianindrina, Tahiana Ramananantoandro (ESSA, Madagascar).

Anatomie et reconnaissance des essences

Cet atelier avait pour objectif de faire découvrir (ou redécouvrir) l'anatomie du bois et la reconnaissance via une approche pratique au sein du laboratoire et de la xylothèque de l'ESB. Ce temps a été animé par l'équipe ESB accompagné de Paul CORBINEAU, conteur sur bois et spécialiste des bois tropicaux.
Cet atelier a permis de mieux appréhender le bois, en le découvrant/observant à différentes échelles allant du macroscopique au microscopique. L'approche se voulait pragmatique et ludique au travers d'une excursion au cœur des essences de bois pour mieux le comprendre et in fine mieux valoriser son usage.

Animateurs :
Paul Corbineau (expert bois), Julia Buchner et Franck Michaud (ESB, Nantes).

Essais menuiseries bois : mesure de l'étanchéité et de l'endurance

Cet atelier a permis de présenter les essais menuiseries réalisés par l'équipe de Bois HD, la structure d'ingénierie de l'ESB. Deux parties ont été traitées :
- Un essai AEV réalisé en direct. Cet essai permet de déterminer les performances à la perméabilité à l'air, de l'étanchéité à l'eau et la résistance au vent d'une menuiserie. Lors de l'atelier, les méthodes d'essais et d'analyse de résultats ont été détaillées. Un lien avec la simulation numérique aux éléments finis a aussi été réalisé.
- L'essai d'endurance à l'ouverture – fermeture répétée d'une menuiserie via la présentation détaillée de l'outil utilisé (robot 6 axes), et des méthodologies de contrôle des mouvements, des conditions ambiantes et des efforts.

Animateurs :
Fabien Clément et Antonin Tribaleau (Bois HD, ESB)

VISITES

Les visites ont été rendues possibles grâce à MM E. Le Coz, et P. Robert (MINCO), J. Piveteau et C. Lorieau (PIVETEAU), N. Travert et P. Marienne (Atelier Perrault), M.Tazerout et K. Loubar (IMT Nantes – Plateforme PREVER). Un grand merci pour la chaleur de leur acceuil et leur disponibilité tout au long de la préparation et de la visite.

Entreprise MINCO, https://www.minco.fr/ :
Visite du site de production de 27 000 m² situé à Aigrefeuille-sur-Maine.

L'entreprise MINCO est spécialisée dans la fabrication de menuiseries mixtes (bois/ aluminium laqué).

Entreprise PIVETEAU BOIS, http://www.piveteaubois.com/fr/ :
Visite du site de production de Saint Florence.

PIVETEAUBOIS est fabricant français de solutions bois pour la construction, l'aménagement extérieur et le bois énergie depuis 1948. L'entreprise développe ses activités de 1ère et 2ème transformation du bois au sein de 3 sites de production.

Ateliers Perrault, http://ateliersperrault.com/ :
Visite des ateliers situés à Mauges-sur-Loire.

Depuis plus de 250 ans, les ateliers Perrault assurent la restauration d'édifices patrimoniaux. Leur savoir-faire est centré autour de 4 domaines : la menuiserie, l'ébénisterie, la charpenterie et la ferronnerie d'art.

Plateforme PREVER, https://youtu.be/BqOLH8HKiwk

PREVER est une plateforme de recherche et d'innovation orientée vers le développement de nouvelles technologies performantes de valorisation énergétique des résidus, un espace de 520 m2 situé au cœur d'IMT Atlantique Bretagne-Pays de la Loire.

PLAN NATIONAL RECHERCHE ET INNOVATION 2025

La filière forêt-bois et les territoires dans lesquels elle s'incarne sont au cœur d'enjeux tant globaux que nationaux de transition écologique, climatique et énergétique, voire culturelle.

Face à ces enjeux, le soutien à la compétitivité du secteur forêt – bois et l'amélioration de ses performances globales, économiques, environnementales et sociales, nécessitent de renforcer le continuum recherche – développement – innovation (RDI).

Le **plan national recherche et innovation 2025** pour la filière forêt-bois lancé en 2016 se propose de mobiliser l'ensemble des acteurs tant scientifiques qu'industriels autour de 3 grandes priorités, 13 projets stratégiques et 29 actions de RDI en mettant notamment l'accent sur les innovations territoriales et les couplages entre l'amont forestier et les filières de transformation industrielle.

En clôture des journées annuelles du GDR bois, en partenariat avec le **GIP Ecofor**, une table ronde a été organisée ayant pour objectif de faire un point sur **l'avancement de ce plan** et de discuter des résultats et des attentes autour du progrès des connaissances et de son suivi, d'une part et, d'autre part, des **questions d'innovation et de mise en œuvre opérationnelle dans les territoires**.

La mise en œuvre du plan Recherche & Innovation Forêt-Bois 2025 a été présentée par Sylvie Alexandre, Déléguée interministérielle à la forêt et au bois. Cet échange a réuni des membres du GDR bois, ainsi que quelques industriels invités à cette occasion.

Filière-Forêt-Bois : Plan national recherche et innovation 2025

http://agriculture.gouv.fr/filiere-foret-bois-le-plan-recherche-innovation-2025
http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/164000286/index.shtml

---

GIP Ecofor

Créé en 1993, Ecofor a pour mission de susciter, structurer, mettre en œuvre, animer et valoriser des programmes collectifs de recherche portant notamment sur le fonctionnement et la gestion des écosystèmes forestiers tempérés et tropicaux. Les actions d'Ecofor se font selon quatre modes d'intervention : expertise, prospective et idées, suivi de programmes de recherche, information et valorisation scientifiques

http://www.gip-ecofor.org/

Contact : Jean-Luc Peyron, jean-luc.peyron@gip-ecofor.org

PRÉSENTATIONS ORALES INVITÉES

Sont présentés ici les résumés des conférenciers invités, avec l'accord de leur diffusion et sous leur responsabilité pour le contenu.

N°	Laboratoire; Ville	Auteurs	Titre	Page
Session 1 : Le bois à travers les âges				
1a	CReAAH ; Rennes	Bernar d Vincent, Le Digol Yannick	Regard dendro-archéologique sur 9000 ans d'aventure du chêne	15
1b	Ivalsa ; Florence - Italie	Macchioni Nicola	Bois et patrimoine ou le patrimoine en bois : connaissance, caractérisation, diagnostic et restauration	16
Session 2 : Qualité et tranformation du bois				
2a	Forest Research ; Edimbourg, Ecosse	Mclean Paul	Sylviculture et qualité des bois en Ecosse	18
2b	CRMR ; Québec, Canada	Hernandez Roger	Transformation des billes par des équarrisseuses-fragmenteuses	19
Session 3 : Le bois dans le monde				
3a	Ingénieur ESB, Expert en Bois	Desclos Pierre-Marie	La filière bois mondiale : Eléments de prospective	20
Session 4 : Le bois dans la société				
4a	LERMAB ; Epinal	Bocquet Jean-Francois	Le bois, un matériau mature pour notre temps	23
4b	ESB ; Nantes	Irle Mark, Privat François, Belloncle Christophe, Déroubaix Gérard	Solid Wood Recycling via the CaReWood Process	24

Regard dendro-archéologique sur 9000 ans d'aventure du chêne

BERNARD Vincent[1], LE DIGOL Yannick[2]

[1] CNRS, UMR 6566 CReAAH, Univ. Rennes 1
[2] Gérant de Dendrotech
vincent.bernard@univ-rennes1.fr

Mots clefs : Chêne (*Quercus sp.*), anthropisation, bocage, dendrochronologie, gestion forestière, paléo-climatologie.

La dendro-archéologie, ou « l'art de faire parler le bois »

Depuis les premières datations dendro-archéologiques réalisées dès 1919 par A.E. Douglass dans les Pueblos du sud-ouest des Etats-Unis, la dendrochronologie demeure l'une des méthodes de datation les plus précises. Actuellement, l'Europe dispose d'une chronologie continue combinant le chêne à feuillage caduc et le pin sylvestre et remontant sur 12500 ans (Friedrich et al. 2004). Pour ce qui concerne spécifiquement le chêne, essence majoritaire des corpus archéologiques, des sections de troncs subfossiles permettent de suivre sa trace sur 9000 ans environ.

9000 ans, ce sont 9000 cernes d'accroissement annuels consécutifs pour dater à l'année près des forêts néolithiques ou des pêcheries de l'âge du bronze submergées par la remontée des niveaux marins. Mais au-delà de l'exercice routinier de la datation, la dendro-archéologie nous ouvre un terrain de jeu insoupçonné pour examiner dans le détail les rapports complexes unissant l'homme, le bois, la forêt et les climats durant l'Holocène :

- Quand sont apparus les premiers défrichements ? A quoi ressemblaient les arbres néolithiques sélectionnés et comment étaient-ils abattus ?
- A quand remonte les premières formes de sylviculture, de la mise en réserve, la sélection, voire la mise en forme des sujets jusqu'à la gestion des parcelles selon des principes que nous connaissons peut-être encore ?
- Quelle est la part entre les choix techniques et les contraintes environnementales pesant sur la sélection du matériau-bois ?
- Quelles preuves la dendro-archéologie délivre-t-elle du commerce et du transport du bois ?
- Et qu'en est-il des perturbations météorologiques et des crises climatiques ? De quelle nature est l'information que nous livrent les cernes de croissance ?

Voici quelques-uns des champs de recherche aujourd'hui développés à partir des bois archéologiques et dont nous tenterons de tracer les contours.

Références

Friedrich M., Remmele S., Kromer B., Hofmann J., Spurk M., Kaiser K.F., Orcel C., Küppers M. (2004) The 12,460 year Hohenheim oak and pine tree-ring chronology from Central Europe - a unique annual record for radiocarbon calibration and paleo-environment reconstructions, Radiocarbon 46(3):1111-1122.

Bois et patrimoine ou le patrimoine en bois : connaissance, caractérisation, diagnostic et restauration

MACCHIONI Nicola

CNR - IVALSA Via Madonna del Piano, 10 50019 Sesto Fiorentino (Italie)
macchioni@ivalsa.cnr.it

Mots clefs : Bois ; Patrimoine culturel ; Diagnostic ; Conservation ; Maintenance ; Restauration

Introduction

Le patrimoine culturel est composé de tous les biens désignés par chaque État comme importants pour la culture du pays. Les biens culturels sont divisés en matériel et immatériels ; un bien culturel est défini comme matériel lorsqu'il est physiquement tangible. Le patrimoine culturel en bois est clairement matériel.

Parmi les biens matériels en bois, nous avons tendance à ne prendre en compte que ceux présentant un caractère artistique. Mais la polyvalence du matériau est telle que tout a été littéralement fait avec le bois et qu'il reste vraiment de « tout » !

Une ville comme Venise par exemple regorge de bois : dans le sous-sol, sous forme de poteaux de fondation, dans la mer pour les différents types de pôles de navigation, dans les bâtiments sous forme de structures, à l'Arsenal pour construire des navires.

Dans les églises et les palais, on trouve des peintures sur tables, des autels, des statues, de la marqueterie, etc.,. On ne mentionne pas l'innombrable variété d'objets et d'outils dans chaque maison privée.

Il est donc nécessaire de réduire le champ des études à des objets spécifiques, façonnés par l'homme, appelés artefacts. Revenant sur un exemple comme Venise, le bois archéologique gorgé d'eau et les structures anciennes en bois sont deux éléments cruciaux du patrimoine. Les deux types d'artefacts ont en commun le matériau mais quand le diagnostic est basé uniquement sur celui-ci, la méthode de maintenance et de restauration se doit d'être conforme au patrimoine qu'ils représentent.

La norme technique UNI 11161:2005 énonce les exigences essentielles pour la rédaction d'un projet de conservation, de maintenance et de restauration d'objets en bois appartenant au patrimoine culturel. Ils sont les suivants : documentation historique, y compris la chronologie des interventions et les transformations qui ont eu lieu ; description de l'objet et sa documentation photographique ; relief de l'artefact et sa représentation graphique ; datation de l'objet, en précisant la méthodologie suivie ; identification des bois dont l'objet est fabriqué ; description des conditions thermo-hygrométriques dans les conditions typiques de préservation du produit et du conséquent état hygrométrique du bois ; description des conditions thermo-hygrométriques dans lesquelles l'objet sera trouvé après l'intervention ; diagnostic de l'état de l'objet et de tous ses composants en bois grâce à la reconnaissance, la classification et la quantification de la dégradation abiotique et biotique ; description des procédures d'entretien et / ou de maintenance et / ou de restauration de l'objet ; description des méthodes de contrôle du temps de l'efficacité de l'intervention.

Le spécialiste du matériau bois n'est pas impliqué dans l'ensemble du processus décrit par les chapitres de la liste. Toute la séquence d'opérations décrit en fait une activité interdisciplinaire.

Bois archéologique gorgé d'eau

Dans ce cas, ce n'est pas un type d'artefact, mais plutôt du bois avec lequel de nombreux objets (en particulier des bateaux) ont été produits, qui, après leur utilisation, sont restés longtemps dans un environnement riche en eau (et pauvre en oxygène).

Les objets archéologiques ont toujours la caractéristique commune de maintenir, au moins en partie, leur aspect original, mais pas la fonction pour laquelle ils ont été conçus. La restauration ne prévoit pas que cette fonction sera restaurée. Le but de l'activité de diagnostic est de déterminer l'état de conservation du matériau afin de concevoir correctement les activités de consolidation, de restauration et de conservation.

Des exemples de diagnostic et des choix conséquents de consolidation et de restauration seront décrits.

Structures anciennes en bois

Le cas des anciennes structures en bois est très différent. Ce sont des artefacts qui conservent toujours leur fonction ; il est particulièrement important de tenir compte des aspects de sécurité des bâtiments et des personnes que les bâtiments utilisent.

Dans ce cas, le diagnostic est destiné à déterminer l'état de conservation du matériau, mais la considération finale prend en compte la fonction structurelle prédominante des artefacts. Dans ce sens, les joints structuraux des éléments sont également analysés.

Le diagnostic est donc conçu pour fournir au concepteur d'interventions structurelles les informations (principalement numériques) nécessaires à la mise en œuvre de modèles structurels et au projet et exécution.

Quelques exemples d'interventions de diagnostic et de récupération structurelle seront présentés.

Références

Pizzo B., Macchioni N., Capretti C. (2013) Evaluating the state of preservation of waterlogged archaeological wood prior to conservation. In: Cultural Heritage. Protection, Developments and International Perspectives (Frediani P., Frediani M., Rosi L. Eds.). Nova Science Publishers Inc., New York. 139-171.

Macchioni N., Pizzo B., Capretti C., Giachi G. (2012) How an integrated diagnostic approach can help in the correct evaluation of the state of preservation of waterlogged archaeological wood. J. Aracheaol. Sci., 39, 3255-3263.

Cruz H., Yeomans D., Tsakanika E., Macchioni N., Jorissen A., Touza M. et al. (2014). Guidelines for On-Site Assessment of Historic Timber Structures. International Journal of Architectural Heritage, 9(3), 277–289.

Sylviculture et qualité des bois en Ecosse

MCLEAN John Paul

Forest Research, Edimbourg, EH25 9SY, Ecosse
paul.mclean@forestry.gsi.gov.uk

Mots clefs : biomécanique, épicéa, modélisation, première transformation du bois, qualité du bois

Résumé

Le siècle dernier a été en Grande Bretagne une grande époque de reforestation d'une forêt en voie d'épuisement. A l'origine, le but a été de créer, avec succès, une ressource de bois d'œuvre. Aujourd'hui, cette ressource de résineux, qui est toujours d'actualité, particulièrement en Écosse, revêt une très grande importance économique et sociétale. La ressource comprend une essence en particulier, l'épicéa de Sitka (*Picea sitchensis*), qui a été choisie pour sa capacité à pousser plus vite que les autres espèces viables soit endémiques soit capables de reboiser ce type de terroirs. Les plantations d'épicéa de Sitka sont des plantations à courte rotation en comparaison des plantations traditionnelles des autres pays Européens. Ces forêts produisent un volume de bois permettant un investissement dans de grandes scieries de première transformation à proximité de la ressource. Ces entreprises de transformation du bois préfèrent ainsi l'épicéa du Sitka avant toutes les autres espèces en raison de son esthétique et de son usinabilité. L'épicéa du Sitka par son importance économique reste l'espèce principale des nouvelles plantations. En conséquence il existe beaucoup de recherches, dont celles menées par l'équipe de recherche « Caractéristiques des Arbres et du Bois » au sein du « Forest Research », agence britannique du Service National des Forêts, et de savoir-faire autour de la sylviculture d'épicéa du Sitka. L'objectif principal étant de produire rapidement le bois d'œuvre avec les bonnes caractéristiques pour les utilisateurs. Il est aujourd'hui possible de démontrer comment les caractéristiques du bois peuvent être contrôlées par l'environnement, naturel ou artificiel, et comment elles peuvent être liées à la physiologie des arbres.

Cette présentation donne une vue d'ensemble de l'industrie des produits forestiers en Ecosse, son besoin en terme de qualité du bois, et les problèmes en lien avec la gestion de la ressource forestière. Puis, les actions issues de la recherche, mises en place pour pallier à ces problèmes de qualité du bois par les actions sylvicoles sont développées. Enfin, la logistique de la filière forêt-bois est abordée.

Transformation des billes par des équarrisseuses-fragmenteuses

HERNÁNDEZ Roger

Centre de Recherche sur le Matériaux Renouvelables (CRMR), Université Laval,
2425 rue de la Terrasse, Québec, G1V 0A6, Canada
roger.hernandez@sbf.ulaval.ca

Mots clefs : chipper-canter, slabber, plaquettes, copeaux, sciage.

Résumé

Dans l'industrie de la transformation des bois résineux de l'est du Canada, le premier débitage est couramment confié à une équarrisseuse-fragmenteuse (*canter*). Cette machine fut conçue initialement pour éviter de fabriquer des dosses lors de l'ouverture des billes par une scie à ruban. Elle produit ainsi des équarris et des copeaux (ou plaquettes) dans une seule opération et souvent sans faire de la sciure (en absence de scies). Alors autant les équarris que les copeaux obtenus sont des produits convoités: le premier pour le bois de sciage et le deuxième pour la fabrication de pâte. Les avantages économiques de cette machine et la diminution du diamètre moyen du bois débité en scierie ont en fait favorisé son utilisation au premier débitage. Les modèles d'équarrisseuse-fragmenteuse les plus utilisés dans l'est canadien sont fabriqués par des équipementiers québécois. Malgré des améliorations apportées à cette machine au fil des années, des recherches sont encore en cours afin d'optimiser sa performance. L'amélioration de la performance des équarrisseuses-fragmenteuses se fait ainsi en fonction de deux objectifs principaux, soit de produire des copeaux ayant une taille optimale, soit de fournir des surfaces de bois de bonne qualité. En somme, il faut trouver des combinaisons des variables de coupe capables de satisfaire d'une part, un marché de pâte qui fixe le prix d'achat en fonction de la distribution des dimensions des fragments, et d'autre part, de faire face à l'évolution de la demande des clients en termes de qualité des surfaces de sciage. Le présent travail fait état des travaux de recherche conduits sur le sujet au laboratoire d'usinage du bois du CRMR.

La filière bois mondiale : Eléments de prospective

DESCLOS Pierre-Marie

Ingénieur ESB, Expert en Bois, Consultant international
desclos@desclos.eu

Mots clefs : Commerce international, Filière bois mondiale, Prospective, Ressource forestière

Introduction

Dans une acception thermodynamique, on pourrait considérer la terre comme un système fermé. Dans le cas précis des produits forestiers, comment concilier un système fini et une croissance (consommation) exponentielle ?

L'approche proposée est classique : pour pouvoir ajuster les décisions stratégiques, même locales, il est nécessaire de prendre en compte la prospective globale. De nombreux paramètres sont en rapide évolution : climat, démographie, pouvoir d'achat, géopolitique, évolution des ressources, de la technologie et des besoins.

Les questions fondamentales sur le futur de la filière bois mondiale sont simples : Quelle ressource demain ? Pour qui ? Transformée par qui ? Pour faire quoi ?

Cette courte présentation n'a pas la prétention de répondre à ces questions mais d'illustrer une approche et d'identifier quelques éléments de réflexion.

Quelle ressource demain ?

La ressource forestière mondiale est en phase continue de déclin (Fig.1) Le déclin annuel est actuellement moins important que dans la décennie passée, mais la situation reste préoccupante, surtout dans certains massifs tropicaux.

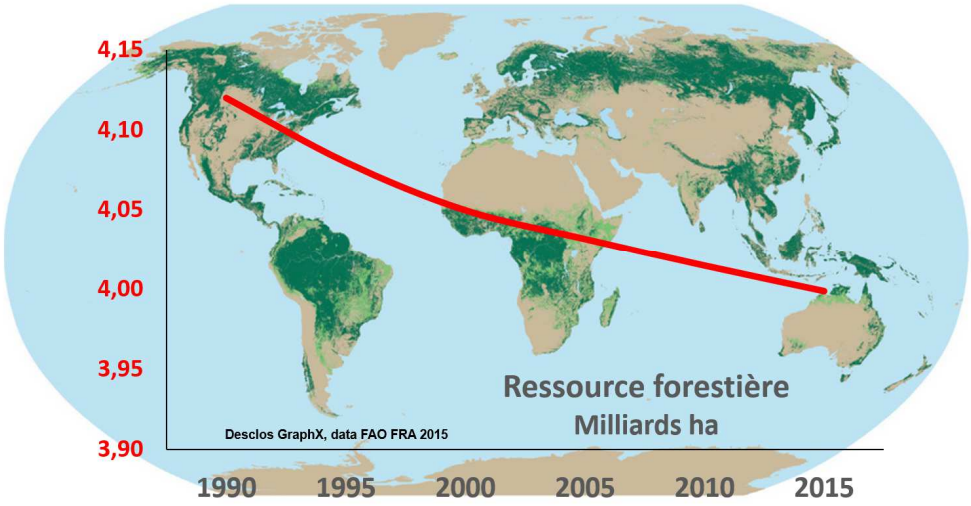


Fig.1 : Déclin de la ressource forestière des 25 dernières années

Autre préoccupation, l'impact des changements climatiques sur la ressource forestière mondiale est difficile à évaluer aujourd'hui mais hautement probable. Il peut être négatif sur l'extension et la composition des forêts mais pourrait aussi être positif si, par réaction, il stimule des investissements pour renforcer le poids des forêts dans le bilan carbone global.

Une ressource pour qui ? Transformée par qui ?

Pas de réflexion prospective sans scénarios démographiques. La population de notre planète croît de 80 millions d'habitants par an, soit 1,5 milliard de consommateurs en plus d'ici à 2050. (Fig. 2a) Ces consommateurs auront par ailleurs un pouvoir d'achat supérieur à celui de leurs ainés. Cette énorme nouvelle demande imposera une adaptation des produits forestiers et entrainera une nouvelle répartition de la consommation selon une nouvelle carte des échanges mondiaux.

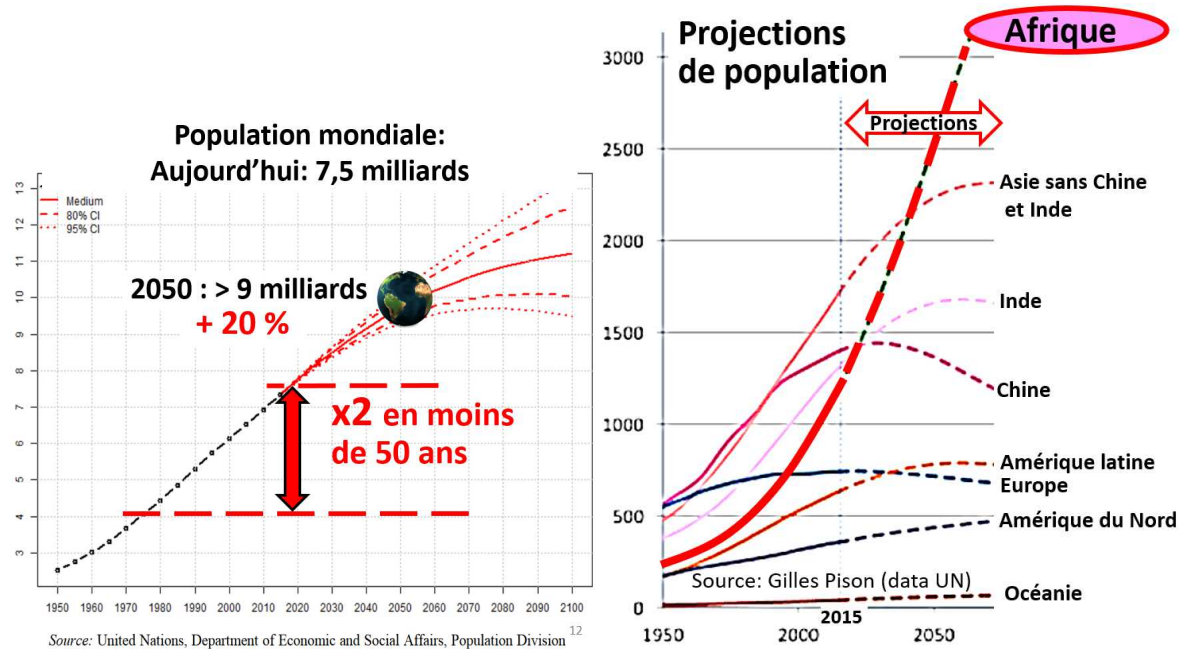


Fig. 2 : Population mondiale a) globale, b) détaillée

Le cas de l'Afrique

Le développement démographique de l'Afrique ne suit pas les modèles des autres continents (Fig. 2b). La population africaine sera multipliée par 2 d'ici 2050. Avant la fin du siècle un tiers de la population mondiale sera africaine. Les besoins de cette énorme population feront que la quasi-totalité de la production forestière africaine (15% de la forêt mondiale) sera consommée localement. Si on inclut les besoins en pâte et papiers, on peut raisonnablement envisager que l'Afrique devienne un importateur net de produits forestiers

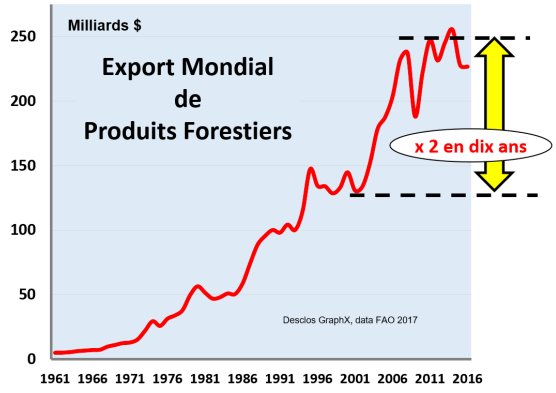


Fig. 3 : Evolution des exportations des produits forestiers

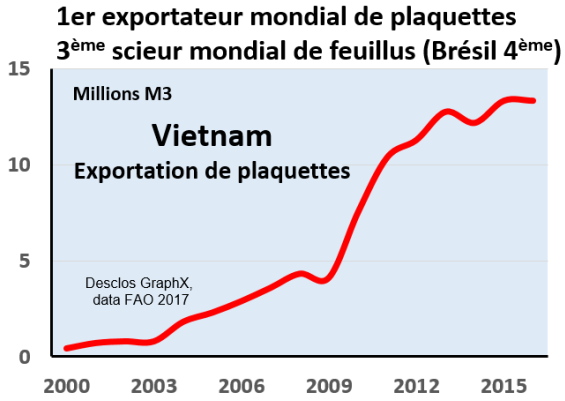


Fig. 4 : Exportation du Vietnam

Le commerce international

Disposant d'une logistique toujours plus performante, les marchés sont interactifs et réagissent rapidement. L'évolution des échanges internationaux de produits forestiers en est la preuve (Fig. 3). Le commerce international est actuellement en phase de transition structurelle avec un saut de l'international au global. Rappelons qu'une large proportion de la production mondiale est déjà exportée : plus de 40% du papier, 36% des sciages de résineux et plus de 60% des granulés.

Anciens et nouveaux acteurs

La ressource future continuera à être exploitée et/ou consommée par les leaders mondiaux existants : Europe, Amérique du Nord, Chine, Japon, etc. mais également par de nouveaux pays qui deviennent des importateurs ou des exportateurs substantiels. Ex : les "tigres asiatiques " dont le Vietnam, devenu le premier exportateur mondial de plaquettes forestières (Fig.4) et le troisième producteur de sciages de feuillus. L'arrivée de nouveaux acteurs industriels portera à une redéfinition de certains produits forestiers, à de nouveaux rapports de force entre fournisseurs et consommateurs et à une révision permanente des moyens et des techniques de la logistique.

Un futur géant : l'Inde

Les importations indiennes de produits forestiers ont connu ces dernières années une croissance spectaculaire mais, pour bien situer le potentiel de l'Inde il est utile de comparer ses montants d'importation annuelle de produits forestiers avec ceux d'autres pays. Le Vietnam, avec seulement 8% de la population indienne importe 50% du montant de l'Inde, soit 12 fois plus par habitant ! La Chine, avec une population dans le même ordre de grandeur (1,4 md contre 1,25 pour l'Inde), importe 6 fois le montant de l'Inde. (Données FAO 2017) Sans imaginer que l'Inde copie le modèle de l'un ou de l'autre de ces pays il est néanmoins évident que son approvisionnement futur en produits forestiers croîtra considérablement.

Une ressource pour faire quoi ?

La question de la destination de la forêt se pose déjà et deviendra cruciale dans les années à venir. Les principaux choix de production sont des fibres (bois, papiers, panneaux), des combustibles (buches, pellets,…) ou des vivres (agriculture, huile…). Il existe aussi de nombreuses autres options, dont celle de la protection pure et dure sans exploitation. Alors que les questions précédentes traitaient de problèmes planétaires, ces choix stratégiques sont beaucoup plus dépendants de décisions politiques nationales ou régionales.

De nombreux autres facteurs à considérer

La liste est longue des autres facteurs à considérer, entre autres :

- Concurrence de la forêt avec d'autres utilisations de la terre, surtout agricoles
- Probable révision des normes environnementales, climatiques et énergétiques
- Développements géopolitiques et financiers et leurs impacts sur les investissements
- Evolution (souhaitable) de la gouvernance dans de nombreux pays

Conclusion

Les éléments de réflexion sont sous nos yeux. L'histoire s'accélère mais le temps des hommes n'est pas celui des arbres. Une énorme demande arrive. Les opportunités sont aussi nombreuses que les incertitudes. Le futur dépendra de la gestion de la ressource et de l'innovation, dans tous les domaines.

Le bois, un matériau mature pour notre temps

BOCQUET Jean-François,

LERMAB-ENSTIB, Université de Lorraine, 27 rue Philippe Séguin 88026 Epinal, France.
jean-françois.bocquet@univ-lorraine.fr

Mots clefs : assemblages, feuillus, raideurs, robotique structure bois.

Résumé

Les possibilités techniques du **matériau bois** s'étendent jours après jours en prenant toujours plus de sens, si l'on considère les enjeux énergétique et climatique de notre temps comme primordiaux. Dans ce cadre, l'architecture a le mérite de tirer la technique en dehors d'une convergence minimaliste et simplificatrice qu'elle aurait tendance à suivre pour satisfaire de façon raccourcie la demande instantanée de l'économie et de la sécurité. Ces dernières années ont vu la construction d'un certain nombre de structures prototypes exceptionnelles dont il nous faut aujourd'hui tirer les enseignements afin de répondre aux besoins de demain qui sont la déconstruction reconstruction pour la densification des villes en hauteur. Parmi les éléments à mettre en avant, la maitrise de la raideur des assemblages devient une priorité absolue, la fiabilité des dispositifs mis en œuvre ainsi que la garantie des produits manufacturés. C'est en allant dans cette direction que l'on pourra substituer le bois aux matériaux de construction références d'aujourd'hui en les détrônant sur le terrain de jeux de l'économie éco-constructive. Pour ce faire, aucune piste ne devra être mise de côté : c'est en utilisant les matériaux comme les bois feuillus (bio-sourcé par nature), les matériaux issus de la déconstruction (re-sourcé par nécessité) et la robotique dans sa dimension où elle rend l'impossible possible à l'humain **au profit de l'humain**.

Solid Wood Recycling via the CaReWood Process

IRLE Mark[1], PRIVAT François[2], BELLONCLE Christophe[1], DEROBAIX Gérard[2]

[1] Ecole Supérieure du Bois, Nantes, France
[2] FCBA 10 rue Galilée, 77420 Champs-sur-Marne, France
mark.irle@ecoledubois.fr

Keywords: recovered wood, recycling, laminated beams

Introduction

The gradual realisation that a consumer society was not sustainable without recycling dawned in North American and Europe during the1980s. Governments put into place various initiatives to encourage recycling to the extent that there is now an infra-structure for collecting, sorting and processing post-consumer wood products into raw materials for other industries. The main end-uses for recovered wood are energy generation, particleboard manufacture, animal beddings and landscape uses. All of these re-uses are relatively low value, i.e. a maximum of €60/ton (energy prices fallen across EU due to mild winters and low oil prices). So now is the time to rethink wood recycling with a view to increasing value and/or maximising the life of products made from recovered wood.

Research at ESB has been investigating two alternative methods. One project, called MATIERES, has focussed on extracting very high value chemical products, namely nano-crystalline cellulose (NCC) from waste MDF and the other, called CaReWood, on the manufacture of laminated beams from recovered wood. This short paper focusses on the latter project.

The CaReWood Project

The premise behind the CaReWood process is to maintain the dimensions of recovered wood as large as possible rather than chipping recovered wood into particles. The process involves cutting the recovered wood into lamellae and then using a combination of finger-jointing and laminating to make large dimension, solid-wood products. The advantages of this approach are:

1. Large wood pieces have the potential to be recycled many times over, thus delaying the release of the carbon stored in the wood
2. Large dimension products have a greater value
3. Larger pieces are more versatile as they can be reshaped and sawn into new dimensions

Of course, making new, clean solid-wood products from waste wood will require substantial effort and generate a large amount of waste itself. This waste will be in the form of sawdust, shavings and offcuts; all of which can be passed to the current recycling streams, i.e. chipping for the particleboard and energy markets. The resultant solid wood products will have much higher value than the particles produced in recycling processes today. Therefore, it is possible that such an approach is economically viable.

More than 300 pieces of Class B recovered wood have been selected during 9 different visits to wood recycling yards. These data provide an estimation of the typical dimensions and moisture contents of individual pieces of recovered wood found in France. A model was developed to calculate the optimum dimensions of lamellae to cut from the typical dimensions found. It determined that a yield of 51% was possible if the lamellae had a cross-section of 2.0 × 6.0 cm.

The model assumes perfect cross-sections and so an experiment was conducted to determine what the real yield might be when actual recovered wood pieces are machined into lamellae. From Fig. 1 it can be seen that the real yield is nearer 29%.

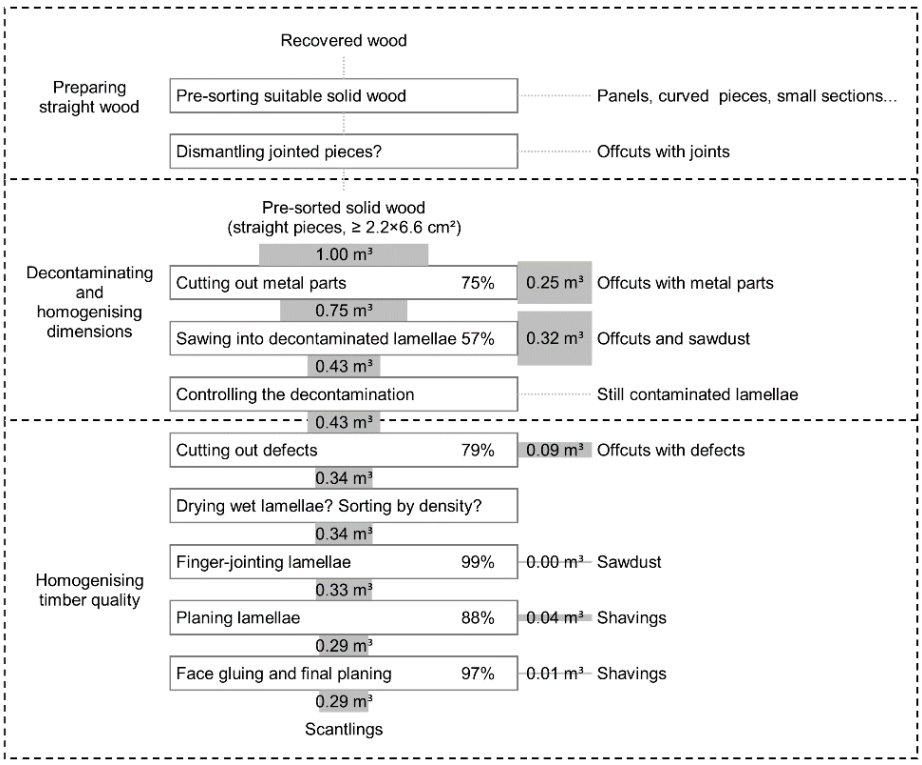


Fig. 1 : The recovery yield obtained for each of the main steps of the CaReWood process. Note: the volume figures in the centre indicate the volume entering a step and those on the right indicate the volume of residues generated by the step.

Conclusions

Although complex, none of the sorting and machining steps are beyond current technology and so it would seem that a version of the CaReWood process can be realised and that the resultant products would be useful and have a high economic value.

Acknowledgement

The authors are grateful for the financial support provided by the “Agence de l’Environnement et de la Maîtrise de l’Energie” (ADEME) under the WoodWisdom-Net+ Research Programme.

POSTERS

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

Posters Primés

Critères : qualité du fond scientifique, qualité de la forme et du message visuel, qualité et originalité du flash talk, …..

Evaluation : par les participants avec un vote en ligne.

Session A

A 9 Comprendre les choix de matière première ligneuse des chasseurs cueilleurs maritimes de Patagonie australe et d'Alaska méridional, ***Gisèle Maerky***, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne, équipe Ethnologie Préhistorique, ArScAn, UMR7041

A 2 Développement d'un dispositif de fluage de poutres métriques en vue de la détermination des comportements différés des feuillus français, ***Maximin VARNIER***, Groupe d'etudes des Matériaux Hétérogènes

A 3 Utilisation de l'imagerie spectrale en spectroscopie ATR-FTIR pour une caractérisation fine du bois de peuplier à l'échelle cellulaire, ***Annabelle Déjardin***, AGPF

Session B

B 2 Etude en conditions réelles des transferts de liquide et d'oxygène à travers des fûts en chêne, ***Claire Roussey***, Laboratoire de Génie des Procédés et Matériaux

B 19 Contributions du matériau bois des ruches à l'activité et la santé des colonies d'abeilles domestiques, ***Capucine Carlier***, Laboratoire de mécanique et génie civil

Session C

C 10 Conception et commande d'un robot industriel en bois, ***Lila Kaci***, Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes, Ecole Centrale

C 14 Suivi du comportement mécanique d'une peinture sur bois, soumise à des variations d'hygrométrie, ***Jean-Christophe Dupré***, Institut Pprime

Session D

D10 Étude de la mise au point d'un vernis industriel à base de colophane et d'huile végétale, ***Manon Frances***, IPREM-EPCP/XYLOMAT

D8 Étude et contrôle de l'exsudation de la résine dans le bois de Pin Maritime, ***Thomas Cabaret***, Xylomat

D16 Contribution au suivi par émission acoustique de l'endommagemnt des structures multimatériaux à base de bois, ***Imen Yahyaoui***, Institut Clément Ader

Liste des posters de participants étrangers

Le GDR Bois encourage la participation de laboratoires étrangers.

Depuis 2016, les pays francophones sont encouragés à y participer, avec notamment l'aide d'un soutien de l'AUF (contact pour le GDR Bois : Rostand Moutou-Pitti).

Participants avec le soutien de l'AUF

C1 Méthode du plan chaud à deux mesures de température pour la caractérisation thermique des essences de bois et des composites contenant des résidus de bois, ***Osseni Sibiath et al.***, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)

D4 Effet de la variation du taux d'humidité sur quelques propriétés mécaniques de Milicia excelsa (Iroko), ***Foadieng Emmanuel et al.***, ENSET de Kumba, Université de Buea (Cameroun)

D12 Utilisation de la spectroscopie proche infrarouge pour la prédiction des propriétés physiques et mécaniques de 5 essences autochtones de la station forestière de Mandraka (Madagascar), ***Andrianindrina Mikala et al.***, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques Département Eaux et Forêts (Madagascar)

D13 Projet SPIRMADBOIS, Madagascar, ***Ramananantoandro Tahiana et al.***, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques Département Eaux et Forêts (Madagascar)

Posters « AUF » annulés

X1 Etude expérimentale du comportement mécanique en compression du bambou, ***Djane Dago Michel***, Laboratoire des géomatériaux, Université Felix Houphouet Boigny d'Abidjan (Côte d'Ivoire), Refus de visa

X2 Caractéristiques mécaniques et thermiques d'une brique d'argile à basse de sciure de bois du Gabon, ***Ekomy Ango Serge***, Institut de Recherche Technologique (IRT) du CENAREST (Gabon). Empêchement professionnel

X2 Reduction du taux d'absorption d'eau des fibres végétales par traitement dans un mélange eau-sol (argile ; sable ; latérite). ***Kouassi Bleh Raoul Ulrich***, Laboratoire des géomatériaux, Université Felix Houphouet Boigny d'Abidjan (Côte d'Ivoire), Refus de visa

Participants étrangers hors soutien de l'AUF

C2 Prediction of Eucalyptus grandis chemical compounds using hyperspectral imaging for drought and fertilization impact study on wood formation. **Pires Franco Mariana** et al, ESALQ-USP; Piracicaba (Brésil)

D17 Concepts Architecturaux pour la Durabilité des Ouvrages en Bois, **Hilsz Cynthia**, **Pierre Blanchet**, CIRCERB ; Québec (Canada)

Liste des posters présentés dans les 4 sessions

Sont présentés ici les résumés pour les sessions « posters », avec l'accord de cette diffusion et sous la responsabilité pour le contenu du présentateur et des co-auteurs.

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

Session A (21 novembre 2017)

N°	Laboratoire; Ville	Auteurs	Titre	Page
A1	GEMH ; Egletons	Sauvat Nicolas, Dubois Frédéric, Angellier Nicolas, Takarli Mokhfi, Ulmet Laurent, Lamy Frédéric	Structuration du laboratoire de Génie Civil, Diagnostic et Durabilité	30
A2	GEMH ; Egletons	Varnier Maximin, Sauvat Nicolas, Montero Cédric, Dubois Frédéric, Gril Joseph	Développement d'un dispositif de fluage de poutres métriques en vue de la détermination des comportements différés des feuillus français	32
A3	AGPF ; Orléans	Marchand Paul, Grand-Perret Camille, Segura Vincent, Pilate Gilles, Laurans Françoise, Déjardin Annabelle	Utilisation de l'imagerie spectrale en spectroscopie ATR-FTIR pour une caractérisation fine du bois de peuplier à l'échelle cellulaire	34
A4	Labomap ; Cluny	Curti Rémi, Marcon Bertrand, Pot Guillaume, Denaud Louis, Collet Robert, Lorong Philippe	Mesure et analyse des efforts de coupe et de la fragmentation du copeau lors de la coupe du hêtre vert	36
A5	Labomap ; Cluny	Goli Giacomo, Marcon Bertrand, Curti Rémi, Denaud Louis	Nouvelle méthode pour la détermination de l'usinabilité du bois et des paramètres de coupe optimaux en fonction de l'angle de fil	38
A6	Labomap ; Cluny	Viguier Joffrey, Rohumaa Anti, Krebs Michaël, Butaud Jean-Claude, Roger Letourneau, Denaud Louis	Laboratoire mixte BOurgogne PLacage Innovation (BOPLI) : problématique de l'ondulation des placages après séchage	40
A7	UTC ; Compiègne	Chadni Morad, Grimi Nabil, Ziegler-Devin Isabelle, Bals Olivier, Vorobiev Eugene, Brosse Nicolas	Nouvelles technologies pour l'extraction et la valorisation des hémicelluloses du bois	42
A8	Arscan ; Paris	Chica-Lefort Tiphanie	Culturel vs. naturel ? Apport de la taphonomie à l'étude d'assemblages de bois paléolithiques	44
A9	Arscan ; Paris	Maerky Gisèle, Daniel Guibal	Comprendre les choix de matière première ligneuse des chasseurs-cueilleurs maritimes de Patagonie australe et d'Alaska méridional	46
A10	Lermab ; Epinal	Ayari Oussama, Bouali Anis, Meausoone Pierre-Jean	Quantification de la précision des procédés d'usinage bois robotisés	48
A11	Lermab ; Epinal	Benistand Thibault, Bleron Laurent, Bocquet Jean-François	Caractérisation mécanique des bois feuillus français en vue de leur meilleure intégration aux Eurocodes 5	50
A12	Lermab ; Epinal	Bui Tuan Anh, Oudjene Marc, Lardeur Pascal, Khelifa Mourad, Rogaume Yann	Low amplitude vibration performance of multilayered timber beams assembled through compressed wood dowels	53

A13	Lermab ; Epinal	Lemaître Romain, Bléron Laurent, Bocquet Jean-François	Développement d'un outil de calcul non linéaire de dimensionnement d'assemblages bois tridimensionnels soumis à des torseurs plans	55
A14	Lermab ; Epinal	Tran Trong Tuan, Thi Van Diem, Khelifa Mourad, Oudjene Marc, Rogaume Yann	Finite element modelling of the fire performance of cross-laminated timber panels assembled by different techniques	57
A15	Lermab ; Epinal	El Houjeyri Imane, Oudjene Marc, Khelifa Mourad, Rogaume Yann	Development of adhesive free engineered wood products for structural uses	59
A16	Lerfob ; Nancy	Andrianantenaina Anjy, Rathgeber Cyrille, Longdoz Bernard	Dynamiques intra-annuelles de l'assimilation du carbone, de la croissance radiale et de la production de biomasse ligneuse dans une hêtraie mature	61
A17	Lerfob ; Nancy	Noyer Estelle, Fournier Meriem, Constant Thiéry, Collet Catherine, Dlouha Jana	Contrôle postural et acclimatation du squelette biomécanique de vieilles perches de hêtre après éclaircie.	63
A18	Lerfob ; Nancy	Purba Citra Yanto Ciki, Denaud Louis, Fournier Meriem, Viguier Joffrey, Ruelle Julien	The Quality of LVL Made from Secondary Quality Oak and Beech	65
A19	IRDL ; Brest	Diakhate Malick, Moutou Pitti Rostand, Angellier Nicolas, Bastidas-Arteaga Emilio, Hamdi Seif	Détection, localisation et signature acoustique des différents mécanismes de fissuration dans le bois : suivi de la propagation du front de fissuration	67

Structuration du laboratoire de Génie Civil, Diagnostic et Durabilité

SAUVAT Nicolas, DUBOIS Frédéric, POP Octavian, ANGELLIER Nicolas, MOKHFI Takarli, ULMET Laurent, DOPEUX Jérôme, LAMY Frédéric

Université de Limoges, Laboratoire GC2D, EA3178, Egletons, France
nicolas.sauvat@unilim.fr

Mots clefs : Structuration de la recherche, transfert de technologie

Introduction

Le laboratoire GEMH de l'Université de Limoges, issu d'une fusion du Génie Civil et de la Céramique de grande diffusion opérée en 2008, est en phase de restructuration pour devenir, dès janvier 2018, le laboratoire de Génie **Civil, Diagnostic et Durabilité (GC2D).** Ce laboratoire, structure de recherche localisée à Egletons, est composé de 15 enseignants chercheurs, 2 chercheurs associés et d'un ingénieur d'étude.

Thématiques de niche

Fort de son histoire, le laboratoire affiche deux thématiques de recherche :

- durabilité des structures routières : l'équipe d'Egletons est la seule équipe universitaire développant cette thématique, avec IFSTTAR de Nantes. Le rayonnement national et international (coordination d'actions Rilem) en fait une équipe bien identifiée tant sur les approches de modélisation que sur des dispositifs expérimentaux originaux.
- durabilité des structures bois : en une vingtaine d'année l'équipe a acquis une visibilité nationale autour du développement de modèles de lois de comportement différé, de transferts hygrothermiques, de la mécanique de la rupture et du vieillissement, le tout conforté par des dispositifs expérimentaux également originaux.

Les deux équipes se retrouvent autour de deux mots clés qui sont la durabilité des structures et le développement de stratégies de diagnostic.

La formation par la recherche

Le campus universitaire de Génie Civil, abritant les départements de Génie Civil de l'IUT et de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université de Limoges, propose des formations de type DUT et Licences Professionnelles et un Master intitulé « Inspection, Maintenance et la Réparation des Ouvrages », spécificité d'Egletons soutenue par les professionnels du secteur tels que le Syndicat des Travaux de Réparation et de Renforcement des Structures (STRRES) et l'association Ingénierie de Maintenance du Génie Civil (IMGC). Les enseignants chercheurs sont impliqués dans ces formations et encadrent des stages de longue durée d'initiation à la recherche. Aujourd'hui, environ la moitié doctorants du laboratoire ont suivi le parcours IMRO d'Egletons.

Thématique « Durabilité des structures en bois »

Le comportement en service des structures telles que les bâtiments ou les ouvrages d'art est étudié en y intégrant des lois de comportement complexes telles que le comportement viscoélastique mécano-sorptif associées à des modèles de transfert de masse et de chaleur couplés. Cette approche est également appliquée au confort de l'habitat avec le développement d'outils de STD intégrant le transfert hydrique. Pour cela, le laboratoire s'appuie sur des outils expérimentaux couplant sollicitations mécaniques et thermo-hydriques

aux échelles du matériau, des éléments structuraux et des structures. Les aspects monitoring sont également développés à travers les méthodes résistives, acoustiques, électromagnétiques et de corrélation d'images numériques. Le monitoring hydrique est un enjeu de développement majeur au laboratoire, comme la surveillance du développement de la fissuration. Dans ce dernier contexte, le laboratoire accentue le développement d'outils de mécanique de la rupture en les généralisant à des approches tridimensionnelles dans le but d'y intégrer des gradients hydriques dans les sections transversales.

Plateforme mutualisée GC-lim

La région Nouvelle Aquitaine et l'Etat accompagnent le laboratoire dans son développement. Un nouveau bâtiment, dédié à la recherche expérimentale et inauguré en septembre 2017, vient compléter les locaux expérimentaux existants. Composé d'une dalle d'essai avec ancrages pour structure bois et d'une fosse d'essai chaussée, cet ensemble dédié à l'étude des structures à **l'échelle 1** sera complété par une **cloche climatique** permettant de réguler et de contrôler la température et l'humidité relative des zones d'expérimentation.

Ces nouveaux outils expérimentaux permettront la création d'une plateforme mutualisée, nommée GC-lim, qui aura vocation à être la porte d'entrée commune à tous les projets de caractérisation des matériaux jusqu'aux structures, dans le cadre de projet de recherche, mais aussi et surtout pour des actions de transferts de technologies et de développement industriel.

Fig1 : Dalle d'Essai Structures bois et Fosse Chaussée

En association avec le plateau technique Xyloplate de l'Equipex Xyloforest, cette plateforme mutualisée permettra de renforcer les actions contractuelles avec la profession sur des domaines ciblés en lien avec la durabilité et le diagnostic des structures. Les actions envisagées à court terme portent sur la caractérisation des matériaux hygroscopiques, la validation des composants et de structures à l'échelle 1, comme le vieillissement d'éléments peints, le monitoring hydrique non invasif du composant aux ouvrages (exemple du passage à faune PS-12 à Lure en Haute Saône) ou le développement de solutions innovantes dans le confort hygrothermique des bâtiments à haute performance énergétique (exemples des maisons RT 2012, BEPAS et BEPOS du centre Bois^{pe}).

Développement d'un dispositif de fluage de poutres métriques en vue de la détermination des comportements différés des feuillus français

VARNIER Maximin[1], SAUVAT Nicolas[1], MONTERO Cédric[2],
DUBOIS Frédéric[1], GRIL Joseph[2,3]

[1] GEMH, Univ. Limoges, EA 3178, F-19300 Egletons
[2] LMGC, Univ. Montpellier, CNRS, F-34090 Montpellier
[3] Institut Pascal, CNRS, Univ. Clermont-Auvergne, F-63000 Clermont-Ferrand
maximin.varnier@etu.unilim.fr

Mots clefs : bois d'œuvre, construction bois, Eurocode 5, dispositif expérimental, feuillus français, fluage, k_{def}, mécanosorption

Contexte et objectif

Le bois est un matériau sensible au fluage, accentué par des conditions hygrothermiques variables. Au-delà de la simple augmentation de flèche pour une poutre sous sollicitation de flexion par exemple, plusieurs phénomènes mécaniques apparaissent du fait du caractère hygroscopique du bois. Les variations d'humidité interne couplées aux sollicitations mécaniques génèrent des effets de retrait-gonflement, de la viscoélasticité hygro-activée et un phénomène appelé mécanosorption (Dubois et al 2005, Gril 1988, Husson 2009). A ce jour, le coefficient matériau utilisé dans l'Eurocode 5, $k_{def,}$ pour prédire ces phénomènes est basé sur l'étude des résineux.

Afin de déterminer s'il y a, ou non, nécessité de proposer des coefficients adaptés aux feuillus et à leur variabilité, le projet ANR EFEUR5 a pour objectif d'identifier le coefficient k_{def} pour le chêne, le hêtre et le peuplier en couplant une approche expérimentale et le développement de modèles numériques.

Matériel et méthodes

Le dispositif expérimental pour le chargement des poutres est constitué de bancs de flexion 4 points voulus simples et robustes (Fig. 1). Les poutres de dimension 3000x150x75mm^3 sont chargées individuellement par des lests. Les conditions d'appuis ont été conçues afin d'éviter tout blocage parasite (Fig. 2).

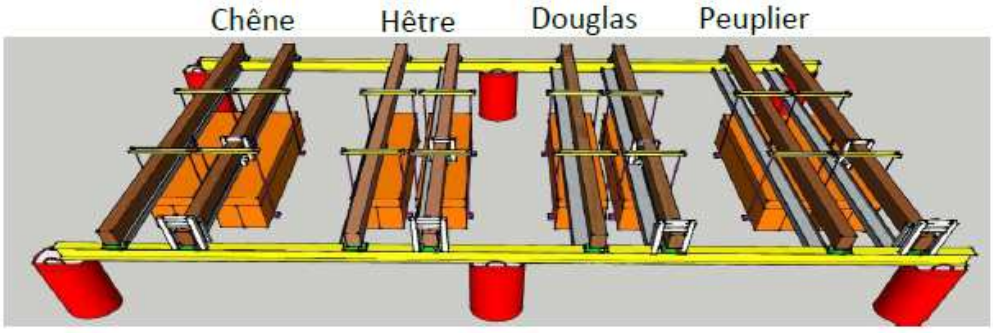


Fig. 1 : Banc de fluage en classe de service 1

Le montage et l'instrumentation du banc permettent de différencier les phénomènes mécaniques. La flèche centrale est mesurée grâce à un capteur de déplacement de 50 mm de course et de précision ± 0,1 mm. Les variations hygroscopiques dans la hauteur sont mesurées à mi-travée et à 8 cm d'un about à l'aide de capteurs de 25mm de course avec une précision ± 0,05 mm. Une autre mesure de hauteur est réalisée au droit de l'appui. Cette mesure intègre

simultanément les effets de retrait-gonflement et les effets différés transversaux. Enfin, des jauges de déformations collées en fibres extrêmes viennent compléter les mesures de flèches, et d'autres disposées sur les parties métalliques des supports de capteur permettent de filtrer les effets parasites dus à la température.

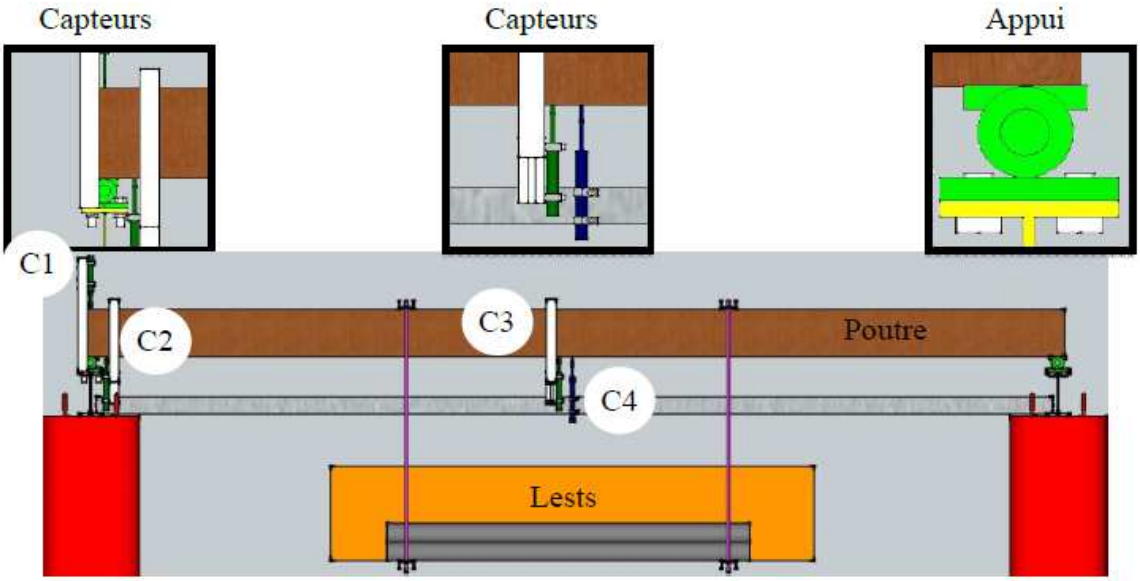


Fig. 2 : Schéma de détails d'une poutre montée sur le montage banc d'essai

Le dispositif est installé dans des conditions climatiques intérieures sur le site d'Egletons au sein du GEMH avec 8 poutres bois (Chêne, Hêtre, Peuplier ainsi qu'une essence de référence résineuse de Douglas, 2 par essence). Deux dispositifs similaires sont installés dans des conditions climatiques d'une classe de service 3 sur deux sites aux climats distincts à Montpellier et Egletons avec 8 poutres bois (Chêne et Douglas, 4 poutres par essence).

Résultats attendus

Ces données comparatives entre trois feuillus et un résineux permettront d'évaluer l'impact des variations d'humidité interne sur les déformations différées, et d'étayer l'intégration des feuillus dans l'approche Eurocode 5.

Ces données permettront également l'alimentation et la validation d'un modèle de mécanosorption basé sur les travaux de J.M. Husson (2009).

Remerciements

Ce projet est soutenu par l'ANR projet EFEUR5 (ANR-15-CE08-0027-04).

Références

Dubois, F., Randriambololona, H., and Petit, C. (2005) Creep in wood under variable climate conditions: numerical modeling and experimental validation. Mech. Time-Depend. Mater. 9, 173–202.

Gril, J. (1988) Une modélisation du comportement hygro-rheologique du bois à partir de sa microstructure. Thèse Univ. Paris 6

Husson, J.-M. (2009) Loi de comportement viscoelastique avec effet mémoire. Thèse Univ. Limoges.

Utilisation de l'imagerie spectrale en spectroscopie ATR-FTIR pour une caractérisation fine du bois de peuplier à l'échelle cellulaire

MARCHAND Paul[1], GRAND-PERRET Camille[1], SEGURA Vincent[1], PILATE Gilles[1], LAURANS Françoise[1], DEJARDIN Annabelle[1]

[1] AGPF, INRA Val de Loire
annabelle.dejardin@inra.fr

Mots clefs : imagerie spectrale, parois cellulaires, Peuplier, transgénèse, types cellulaires

Contexte et objectif

Le peuplier est une essence très appréciée dans l'industrie forestière française. De par sa forte croissance en biomasse et ses propriétés mécaniques et chimiques, son bois est utilisé essentiellement en déroulage et en sciage (fabrication d'emballages légers, contreplaqué) ou alternativement, comme source d'énergie (plaquettes forestières, biocarburants de seconde génération – en cours de développement-). Le bois de peuplier est un bois hétéroxylé, qui présente différents types cellulaires (fibres, vaisseaux et rayons parenchymateux) impliqués dans le soutien mécanique, la conduction et le stockage des nutriments. Ce bois est variable : par exemple, face à certaines contraintes environnementales, l'arbre produit un bois dit de tension, caractérisé par la présence de fibres G, présentant une couche surnuméraire d'aspect gélatineux, très riche en cellulose (Pilate et al., 2004). Alternativement, par génie génétique, il est possible de modifier les propriétés mécaniques et chimiques du bois. L'objectif de cette étude est de développer une approche d'imagerie permettant de prendre en compte l'hétérogénéité tissulaire du bois, avec une résolution permettant de descendre à l'échelle de la paroi cellulaire et de ses différentes couches.

Matériels et méthodes

Pour cela, nous avons développé une approche de spectroscopie infra-rouge par ATR-FTIR liée à de l'imagerie spectrale. La technique de spectroscopie utilisée repose sur la vibration des liaisons chimiques entre les différents atomes des molécules organiques. L'ATR-FTIR permet à la fois d'obtenir des images spectrales et les spectres d'absorbance correspondant aux images. Nous avons appliqué cette technique à la fois sur des coupes fines d'échantillons de bois de tension de peuplier et d'échantillons de peupliers transgéniques modifiés pour les lignines.

Résultats

L'imagerie spectrale met en évidence la présence de couches G dans les fibres de bois de tension, dont le profil spectral est très différent de celui des parois secondaires. Cette différence s'explique par les différences de composition entre ces deux types de parois. Ces premiers résultats sont similaires aux travaux de Olsson et al. (2011). Des outils d'analyses supplémentaires ont été mis en place tels que l'Analyse en Composantes Principales (ACP) pour confirmer ces premiers résultats et permettre, de manière plus précise, de détecter des différences dans les données spectrales. Utilisé également chez des peupliers transgéniques dont la lignification a été altérée, l'ACP permet de discriminer transgéniques et sauvages. L'ATR-FTIR est une méthode intéressante pour discriminer différents individus entre eux mais aussi une méthode prometteuse pour permettre une caractérisation plus précise des différents types cellulaires du bois.

Remerciements

Ce projet a reçu le soutien de la Région Centre Val de Loire *via* le financement du projet d'intérêt régional OPeNSPeNU.

Références

Pilate G., Déjardin A., Laurans F., Leplé, J.-C. (2004). Tension wood as a model for functional genomics of wood formation. New Phytologist, 164 (1), 63-72.

Olsson A.M., Bjurhager I., Gerber L., Sundberg B., Salmén L. (2011). Ultra-structural organisation of cell wall polymers in normal and tension wood of aspen revealed by polarisation FTIR microspectroscopy. Planta, 233(6):1277-86.

Mesure et analyse des efforts de coupe et de la fragmentation du copeau lors de la coupe du hêtre vert

CURTI Rémi [1], MARCON Bertrand [1], POT Guillaume [1], DENAUD Louis [1], COLLET Robert [1], LORONG Philippe [2]

[1] Arts et Métiers, LaBoMaP (EA 3633) Rue Porte de Paris, 71250 Cluny, France
[2] Arts et Métiers, PIMM (UMR CNRS 8006) 151 Boulevard de l'Hôpital, Paris, France
remi.curti@ensam.eu

Mots clefs : Coupe orthogonale, Bois vert, Compensation dynamique, Corrélation d'image

Contexte

La première opération d'usinage que subit une bille en entrée de ligne en scierie est son équarrissage. Les dosses sont soit éliminées soit transformées en copeaux à l'aide d'un ou deux canters. La valorisation optimale de ce matériau est étroitement liée à la géométrie des copeaux générés. Ceux-ci sont communément appelés des « plaquettes » qui sont des fragments de copeau. La maîtrise de ce procédé est ainsi un enjeu important auquel font face les scieurs pouvant avoir des retombées économiques et environnementales tangibles.

Pour mieux le comprendre, un modèle numérique (DEM) a été développé. Cependant il nécessite à la fois une calibration poussée et une validation sur des essais réels. Des expérimentations de coupe orthogonales ont donc été réalisées. Les résultats permettront d'éprouver le modèle numérique.

Essais

Les essais ont été réalisés sur des éprouvettes de hêtre vert (à taux d'humidité d'environ 70% en moyenne au moment de l'expérience). Ils ont été menés sur une fraiseuse à commande numérique 3 axes (DMG DMC 85VL), dont les moteurs linéaires de la tête de broche ont été utilisés pour mettre en mouvement l'échantillon. Au contraire, l'outil est maintenu fixe sur la table d'usinage. Deux grandeurs sont variables : l'avance par dent et la profondeur de passe. Tous les autres paramètres de coupe ont été maintenus constants au fil des essais. Pour permettre la mesure des efforts de coupe et des champs de déplacements dans l'échantillon, l'outil a été monté sur une platine de mesure d'effort Kistler et une caméra Ultra-rapide Photron SAZ a été positionnée face au profil de l'éprouvette. La configuration de coupe et les éléments de montages sont présentés dans la Fig.1.

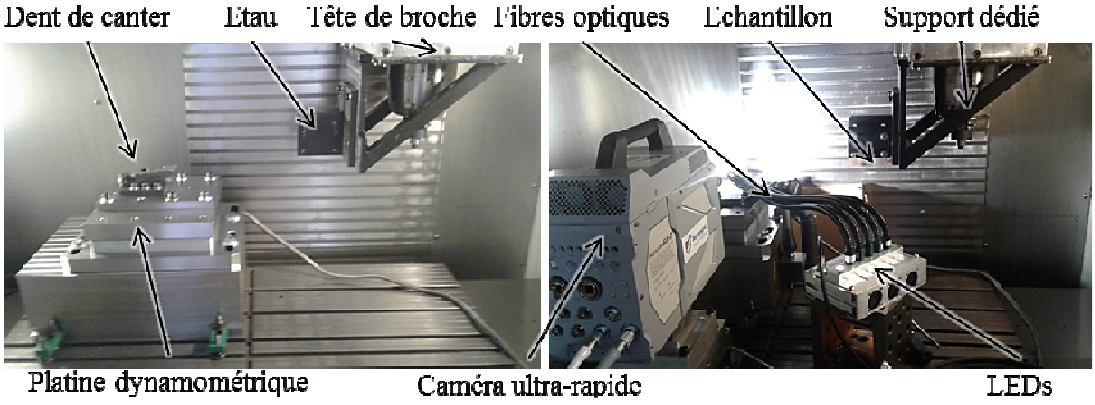


Fig. 1 : Montage expérimental utilisé avec (droite) et sans (gauche) montage optique

Les paramètres expérimentaux utilisés sont décris dans les Tab. 1 etTab. 2 ci-dessous.

Tab. 1 : Paramètres de coupe

Paramètre	Valeur et unité
Profondeur de passe	5 et 10 mm
Avance par dent	De 1 à 15 mm
Vitesse d'avance	2 $m.s^{-1}$
Angle d'attaque	40 °
Angle de dépouille	5 °

Tab. 2 : Paramètres d'acquisition d'image

Paramètre	Valeur et unité
Images par seconde	20 kHz
Résolution	1024 × 1024 px
Temps d'exposition	1/40 000 s
Objectif	Mitutoyo ML Finite Brightfield ×1

Résultats

La mesure des efforts a permis de mettre en valeur l'impact des deux paramètres variables sur les efforts résultants sur l'outil de coupe. Une relation linéaire peut-être approximée entre ces différents paramètres sans générer d'erreur importante. L'imagerie ultra-rapide a permis quant à elle de remonter précisément au cadencement de la fragmentation du copeau et à l'épaisseur des plaquettes vertes. Ainsi l'influence des paramètres de coupes sur ces grandeurs a été quantifiée, comme pour les efforts, une tendance linéaire est observée. Ceci est en concordance avec les résultats de la littérature mis en avant par Felber et Lackner (2005).

De plus la corrélation d'image réalisée sur les mesures de champs a pu mettre en évidence les différents taux de déformation au sein du bois en amont de l'arrête de coupe. Il est notamment observable que le bois de printemps est beaucoup plus déformé que le bois d'été, même loin de la zone de coupe. Ce phénomène est visible sur la Fig. 2, où la paire d'images corrélées afin de déterminer les champs de déformation lors de la coupe est montrée.

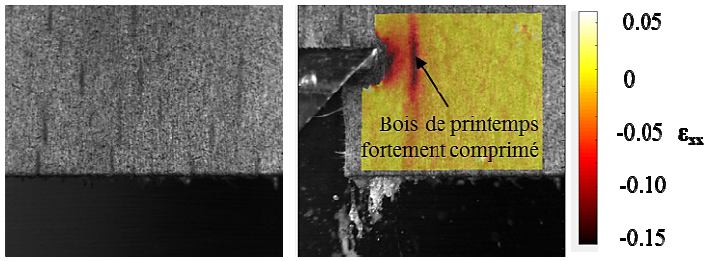


Fig. 2 : Mise en évidence d'une bande de compression en amont de l'outil

Perspectives

Ces travaux ont permis de connaitre l'évolution des efforts lors de la coupe du bois vert selon plusieurs paramètres de coupe. De même pour la géométrie des plaquettes. Ces résultats vont ensuite être comparés à un modèle élément discret développé en parallèle, que ce soit en termes d'effort ou de géométrie.

Remerciements

Ces travaux ont été menés à bien grâce au support du MESR, de la région Bourgogne Franche-Comté et à la Plateforme Technique Xylomat subventionnée par l'ANR-10-EQPX-16 XYLOFOREST.

Références

Felber G., Lackner R. (2005), Optimization of the production process of sawmill chips for the pulp and paper industry. Proceeding IWMS 17, pp. 225–240.

Nouvelle méthode pour la détermination de l'usinabilité du bois et des paramètres de coupe optimaux en fonction de l'angle de fil

GOLI Giacomo[1], MARCON Bertrand[2], CURTI Rémi[2], DENAUD Louis[2]

[1]Università di Firenze, via San Bonaventura, 13, 50145 Florence, Italie
[2]Arts et Métiers, LaBoMaP (EA 3633) Rue Porte de Paris, 71250 Cluny, France
bertrand.marcon@ensam.eu

Mots clefs : Fraisage, Mesure des efforts, Compensation dynamique, Optimisation de la coupe

Contexte et objectif

La définition des paramètres d'usinage optimaux pour différentes essences ou dérivés du bois découle aujourd'hui encore de l'expérience pratique. Dans ce contexte, nous avons développé une méthode, basée sur une procédure rapide, permettant l'optimisation de l'usinage du bois en fonction de l'orientation des fibres afin de prendre en compte la forte hétérogénéité et l'anisotropie typique du matériau bois dans ses directions transverses. Cette stratégie permet, à terme, l'amélioration des états de surface tout en optimisant les temps d'usinage s'accompagnant éventuellement d'une diminution de la puissance consommée.

Matériels et méthodes

L'usinage de profil (en roulant) d'une éprouvette cylindrique est réalisé sur fraiseuse à commande numérique. Il permet de balayer 360° de pente de fil sur un unique essai de coupe. Les angles de fil compris entre 0° et 180° puis 180° et 360° sont équivalents d'un point de vue mécanique ; ainsi, les angles sont en réalités parcourus deux fois au cours d'un même essai. La procédure détaillée est expliquée par Goli (2016). Les disques sont pré-usinés dans des panneaux ou des dosses dans le cas de bois massif (ou contre-dosses) afin de limiter l'influence des cernes en gardant les proportions de bois de printemps et d'été égales tout au long de la coupe. Le principe est présenté en Fig. 1 et le montage expérimental illustré Fig. 2.

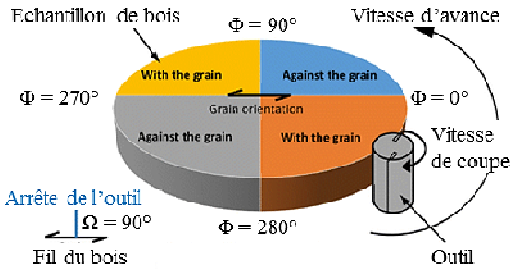


Fig. 1 : Angle formé entre l'arrête de coupe et le fil du bois d'après Goli (2016)

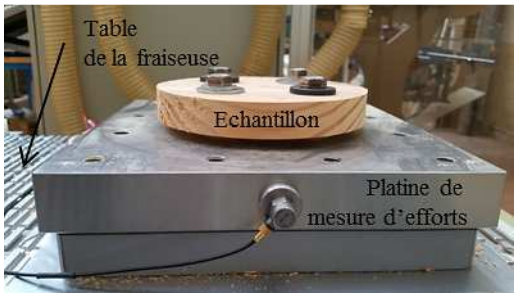


Fig. 2 : Montage expérimental

Au cours de l'usinage, les efforts de coupes sont mesurés à l'aide d'un dynamomètre Kistler 9255 sur lequelle les éprouvettes sont fixées en étau. Les signaux sont ensuite traités afin d'éliminer les vibrations transmises à la fois par la coupe et par les impacts périodiques de la dent de la fraise (les autres dents étant présentes mais plus courtes pour conserver l'equilibre de l'outil). Plusieurs essences et produits d'ingénierie ont été testés, et cela pour plusieurs épaisseurs de copeaux, en avalant ou en opposition. Le Tableau 1 résume les matériaux utilisés, ayant des taux d'hétérogénéités spaciales différentes (massif, contre-plaqué, lamibois,

médium), à l'état sec ou vert, et les configurations de coupes. Le téflon (PTFE) est utlisé comme référence de matériau parfaitement isotrope.

Tab. 1 : Matériaux testés et paramètres de coupes utlisés

Type de matériaux usinés	Hêtre (vert, LVL), Peuplier (sec, vert, LVL, CP), Douglas (sec, vert), MDF, PTFE (téflon)
Profondeurs de passe (mm)	0,3 – 0,7 – 1,1 – 1,5
Vitesse d'avance (mm × min^{-1})	2000
Fréquence de rotation (Hz)	3000
Type d'avances	Avalant / Opposition

Résultats

Dans le cas de matériaux fortement anisotrope comme le LVL ou le bois massif, une forte évolution des efforts s'observe au cours de l'essai. Au contraire, pour les matériaux plus isotropes, la résultante des efforts est stable. Des variations, bien que beaucoup plus faibles, s'observent néanmoins, mais l'hétérogénéité du matériau peut en être une cause. Les Fig. 3 et 4 illustrent cette différence pour un matériau très anisotrope comme le LVL de peuplier et isotrope comme le PTFE avec une profondeur de passe de 0.7 mm en usinant en opposition.

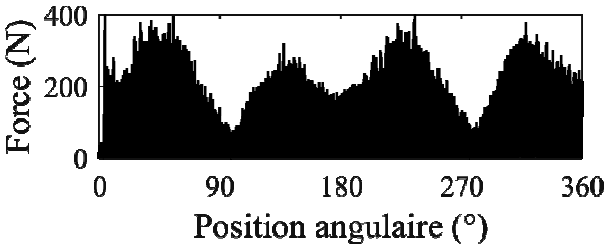


Fig. 3 : Efforts mesurés sur un matériau anisotrope (LVL de peuplier)

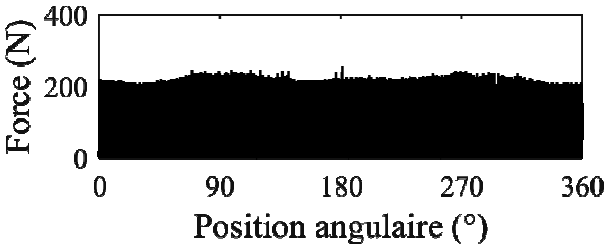


Fig. 4 : Efforts mesurés sur un matériau isotrope et homogène (Téflon)

Afin d'obtenir quantitativement la variation des efforts endurés par l'outil, une compensation dynamique a été réalisée numériquement (via sonnage de l'ensemble platine/échantillon). Celle-ci permet d'éliminer dans le signal mesuré une grande partie des composantes dues à la résonance de la platine, occasionnée par le choc périodique de la fraise. La capacité d'isoler des zones présentant des efforts de coupes différents en fonction du fil permet une optimisation de la coupe lors de l'usinage de pièces présentant des angles de fil variés.

Remerciements

Ces travaux ont été menés grâce au support de la région Bourgogne Franche-Comté et à la Plateforme Technique Xylomat (ANR-10-EQPX-16 XYLOFOREST) mais aussi grâce au séjour pris en charge par l'ENSAM de Giacomo Goli comme professeur invité au LaBoMaP. Les auteurs remercient la société Ducerf pour avoir approvisionné une partie du bois utilisé.

Références

Goli G., Sandak J. (2016) Proposal of a new method for the rapid assessment of wood machinability and cutting tool performance in peripheral milling, European Journal of Wood and Wood Products, Vol. 74, pp. 867–874.

Laboratoire mixte BOurgogne PLacage Innovation (BOPLI) : problématique de l'ondulation des placages après séchage

VIGUIER Joffrey, ROHUMAA Anti, KREBS Michaël, BUTAUD Jean-Claude, LETOURNEAU Roger, DENAUD Louis

LaBoMaP, Groupe Matériaux et Usinage Bois, Arts & Métiers ParisTech, rue Porte de Paris, F-71250 Cluny, France
joffrey.viguier@gmail.com

Mots clefs : LVL, déroulage, placages, ondulations, traçabilité.

Contexte et objectifs

Le laboratoire mixte BOurgogne PLacage Innovation rassemble quatre partenaires :

- La région Bourgogne Franche-Comté
- La société BRUGÈRE : une entreprise bourguignonne qui transforme principalement du hêtre sous forme de placages et de contreplaqués. Elle dispose d'une grande expérience dans le déroulage et la fabrication de contreplaqués spécifiques ;
- L'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (ENSAM) de Cluny, et plus particulièrement l'équipe MUB du LaBoMaP ;
- AM Valor, filiale de l'ENSAM chargée notamment de la valorisation de la recherche.

La société BRUGERE, et le LaBoMaP collaborent autour du déroulage, de la fabrication de placages et de panneaux à base de bois de hêtre. Ce laboratoire mixte a pour objectif de structurer le secteur R&D de BRUGERE (formation et embauche d'un ingénieur responsable du laboratoire mixte pour la durée du projet) et de mieux maîtriser la fabrication et la qualité des produits (placages et panneaux). Pour le LaBoMaP et AM VALOR, cette association permettra au travers d'un contrat d'ingénieur R&D (48 mois), d'un contrat d'étude post doctoral (12 mois), de contrats d'études ingénieur (12 mois) et de stages d'élèves ingénieurs de poursuivre les développements scientifiques engagés sur la maîtrise du processus de fabrication par déroulage et la fabrication de produits d'ingénierie à base de bois locaux. Deux axes principaux ont été dégagés :

- L'amélioration de la qualité des placages et la maîtrise du processus de première transformation de hêtre ;
- La maîtrise du procédé de seconde déformation (fabrication de panneaux contreplaqués) et l'innovation « produits ».

Les travaux en cours dans le premier axe de recherche portent sur la compréhension du phénomène d'ondulation des placages qui peut apparaitre après séchage. En effet, si des différences de retrait ou d'humidité initiale entre deux zones adjacentes existent, il peut alors apparaître des ruptures (dans les zones à fort retrait) ou des ondulations (dans les zones à plus faible retrait) pour compenser ces variations dimensionnelles (voir Fig. 1).

Fig. 1 : Illustration du phénomène d'ondulation des placages secs

Matériel et méthodes

Actuellement, des recherches sont en cours pour identifier les causes d'apparition de ces ondulations. Pour cela une campagne d'essais a été menée sur 4 billons de hêtre, parmi ces 4 billons deux ont été sélectionnés pour la probabilité forte qu'ils contiennent une forte proportion de bois de tension (moelle très éloignée du centre du billon) afin d'évaluer l'impact de la présence de bois de tension sur les ondulations. Une fois les placages séchés, leur ondulation est mesurée à l'aide d'un prototype développé au LaBoMaP. Le principe de la mesure repose sur le suivi d'une ligne laser à l'aide d'une caméra matricielle. Un exemple de cette mesure sur 10 placages consécutifs est présenté sur la Fig. 2.

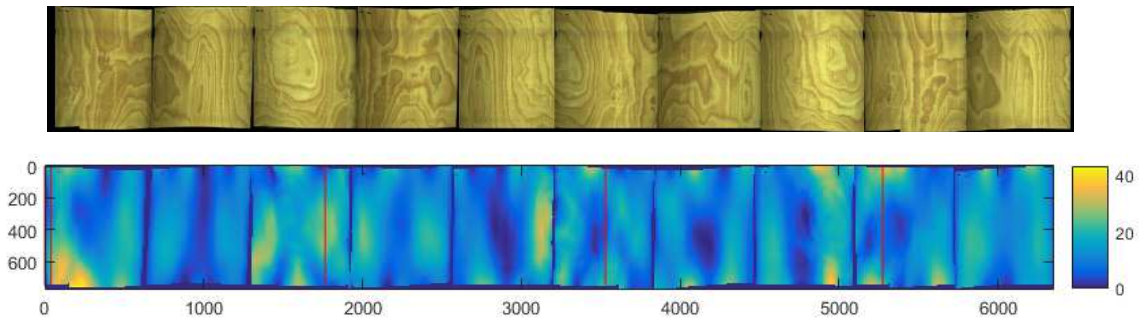


Fig. 2 : Exemple de mesure des ondulations de 10 placages consécutifs.

Résultats et discussion

Ces mesures semblent mettre en évidence le rôle prépondérant de l'anatomie du bois sur l'ondulation. En effet, il apparaît sur ces mesures une cyclicité des ondulations des placages après séchage, en phase avec chaque tour du ruban déroulé.

Cette méthode de mesure sera prochainement (fin 2017) implantée dans la ligne de production de la société BRUGERE associé à un humidimètre permettant de mesurer la cartographie d'humidité locale de chaque placage. Ainsi, l'accès à une quantité massive d'informations permettra de valider cette hypothèse sur des données représentatives de la ressource. Enfin, la mise en place d'un système de traçabilité au sein de l'entreprise permettra de relier déformations en sortie de séchoir, paramètres du procédé et informations sylvicoles.

Remerciements

Cette étude est réalisée dans le cadre du laboratoire mixte public-privé BOPLI cofinancé par la société BRUGERE, la région Bourgogne Franche-Comté et l'ENSAM. Ces travaux ont été menés à bien grâce à la Plateforme Technique Xylomat subventionnée par l'ANR-10-EQPX-16 XYLOFOREST.

Nouvelles technologies pour l'extraction et la valorisation des hémicelluloses du bois

CHADNI Morad[1,2, 3], GRIMI Nabil[2], ZIEGLER-DEVIN Isabelle[1], BALS Olivier[2], VOROBIEV Eugène[2,] BROSSE Nicolas[1]

[1] Université de Lorraine, LERMAB, Nancy, France
[2] Université de Technologie de Compiègne, TIMR- EA 4297, Compiègne, France
[3] SOFREN, 336 Bureaux de la Coline, Bâtiment A-7ème étage, 92213 Saint-Cloud Cedex, France
morad.chadni@utc.fr

Mots clefs : bio-polymère, bois, extraction, hémicelluloses, prétraitement physique

Contexte et objectif

Les hémicelluloses représentent le deuxième polysaccharide le plus abondant dans la nature après la cellulose. Contrairement à ce dernier, les hémicelluloses sont des hétèropolysaccharides caractérisés par une hétérogénéité de leur composition monosaccharidique et un degré de polymérisation compris entre 100 et 200. En raison de leurs propriétés fonctionnelles et physicochimiques, les hémicelluloses ont un potentiel d'application important et ouvert sur plusieurs domaines tels que la fabrication des bio-polymères, la production de biocarburant et des produits chimiques de haute valeur ajoutée, etc …

Dans les matériaux lignocellulosiques, l'extraction et l'accessibilité aux hémicelluloses est limitée par un réseau de fibres lignocellulosiques (cellulose et lignine). De ce fait, un prétraitement de la matière première s'avère nécessaire afin de les isoler en grande quantité et avec des masses molaires élevées. Ces prétraitements agissent soit par décomposition de la structure de la lignine et des hydrates de carbone de la matrice complexe, soit par création des fissures dans la paroi de la fibre de sorte que les hémicelluloses peuvent diffuser à travers la paroi cellulaire lorsqu'elle est soumise à une extraction (Yang and Wyman 2008).

Des études récentes ont démontré que les technologies de traitement par décharges électriques de hautes tensions, ultrasons et microondes permettent l'électroporation et la déconstruction des membranes et parois cellulaires. De plus, l'effet du prétraitement par explosion à la vapeur qui est devenu aujourd'hui parmi les prétraitements les plus courants et les plus employés dans le prétraitement de la biomasse lignocellulosique,., Une étude de l'impact des prétraitements physiques et par explosion à la vapeur sur l'extraction des hémicelluloses est proposée.

Matériel et méthodes

La procédure expérimentale d'extraction des hémicelluloses (Fig. 1) consiste à coupler un prétraitement physique ou électrique de la sciure du bois avec une étape d'hydrolyse en présence ou non des catalyseurs acides ou basiques. L'objectif de ces prétraitements est de diminuer la sévérité des traitements chimiques nécessaires à l'hydrolyse des hémicelluloses (temps de réaction, température, concentration en acide/base). Ces prétraitements représentent donc une étape d'activation de la sciure (perforation et ou destruction des parois lignocellulosiques) afin de faciliter l'hydrolyse et la diffusion des hémicelluloses.

La purification des hémicelluloses représente une étape incontournable du procédé d'extraction. De ce fait, une étape de séparation et purification des hémicelluloses par

précipitation éthanolique et ultrafiltration sera envisagée. Ainsi, les fractions d'hémicelluloses obtenus seront caractérisées par des techniques adaptées afin de déterminer leur distribution en masse et leur composition chimique (chromatographie d'exclusion stérique, RMN, MALDI-TOF…).

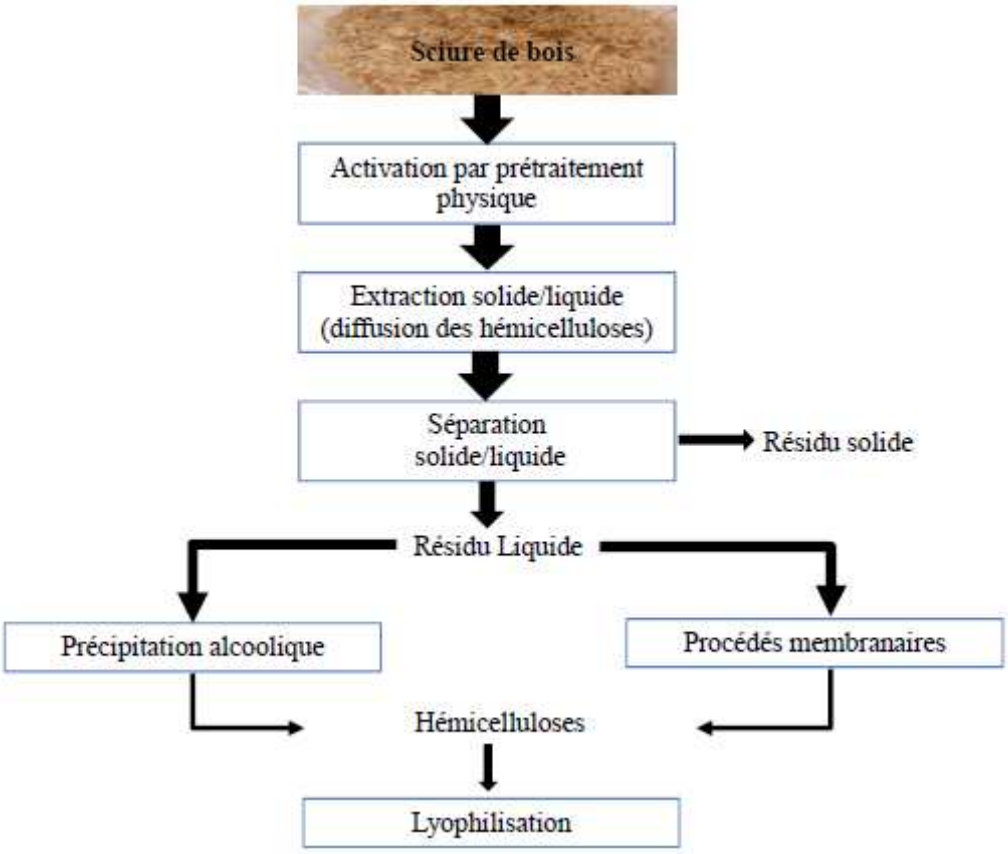


Fig. 1 : Procédure générale d'extraction des hémicelluloses à partir de la sciure du bois

Références

Yang B., Wyman C.E. (2008) Pretreatment: the key to unlocking low-cost cellulosic ethanol. Biofuels, Bioproducts and Biorefining 2 (1): 26–40. doi:10.1002/bbb.49.

Culturel vs. naturel ? Apport de la taphonomie à l'étude d'assemblages de bois paléolithiques

CHICA-LEFORT Tiphanie

Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, UMR 7041
chicalefort.tiphanie@gmail.com

Mots clefs : Préhistoire, taphonomie, technologie du bois, fracturation, xylologie, expérimentations

Contexte et objectif

Depuis le XXème siècle, les Préhistoriens s'intéressent aux techniques employées par les populations de chasseurs-cueilleurs car ce savoir permet d'appréhender, en partie, l'identité des sociétés humaines (Schlanger, 2012). Le bois est un matériau communément utilisé par les groupes humains tant ses usages sont pluriels, bien qu'il nous parvienne peu de restes en contexte archéologique du fait de leur rapide dégradation. Néanmoins, son emploi au Paléolithique est largement attesté par l'étude des traces d'utilisation laissées sur le tranchant d'outils lithiques et ainsi, il occupe, indirectement, une place importante dans la culture matérielle (Claud et al., 2013). Certains rares contextes exceptionnellement favorables ont livré quelques objets illustrant l'usage du bois au Paléolithique.

Les processus de modification anthropiques de cette matière première sont encore mal connus car les études sur les bois se sont concentrées sur une approche paléoenvironnementale des restes et une approche fonctionnelle des rares artefacts en bois conservés (lances, épieux, pointes, éléments de construction …). Cette lacune peut aussi s'expliquer par les processus taphonomiques que subissent les assemblages de bois paléolithiques car les traces présentes à la surface des bois peuvent résulter d'actions anthropiques mais aussi de processus naturels (Dillehay, 1997). Pour distinguer les traces anthropiques des traces naturelles, il est nécessaire de connaître l'ensemble des processus naturels ayant pu modifier les assemblages de bois étudiés. Pour ce faire, des référentiels expérimentaux de traces anthropiques et naturelles sont nécessaires et doivent être couplés à l'étude systématique des restes de bois archéologiques. Le postulat de base de la taphonomie est que les processus agissant aujourd'hui sur un assemblage sont susceptibles d'être les mêmes, pour un même contexte, dans le passé (Lyman, 2010).

L'observation des processus taphonomiques présents dans un assemblage archéologique permet de considérer les agents ayant pu intervenir dans la constitution, mais aussi la destructuration et la fragmentation des assemblages de bois paléolithiques (Johnson, 1985).

Approche et résultats attendus

Une approche taphonomique et technologique a été appliquée sur deux assemblages de bois gorgés d'eau provenant du Paléolithique moyen en France et en Israël : Nahal Mahanayeem Outlet (Sharon et Oron, 2013) dans la vallée du Jourdain (65 000 ans B.P.) et Waziers « Bas Terroir » (Fig. 1) dans le Nord de la France (125 000 ans B.P.) Les conditions de dépôts et d'occupation entre ces deux gisements sont similaires, ce qui nous permet de les comparer. Les résultats obtenus permettront de déterminer la part anthropique de l'action naturelle de l'accumulation dans chaque assemblage, et donc d'identifier les agents à l'origine des modifications observées sur les bois.

Fig. 1 : Détail macroscopique des enlèvements sur un bois de Waziers « Bas-Terroir ».

Notre ultime objectif est de mettre en place une approche applicable à d'autres gisements paléolithiques où des bois humides sont conservés, dans un état de fraicheur, permettant une analyse macro- et microscopique des restes.

Références

Claud E. et al. (2013) Le travail du bois au Paléolithique moyen : nouvelles données issues de l'étude tracéologique de plusieurs industries lithiques d'Europe occidentale, in P. C. Anderson, C. Cheval, et A. Durand dir, Regards croisés sur les outils liés au travail des végétaux. An interdisciplinary focus on plant-working tools, Antibes, Editions APDCA, p.367-381.

Dillehay T.D. (1997) Monte Verde: A late Pleistocene settlement in Chile. The Archaeological Context and Interpretation, vol. 2, 1st edition, Washington, Smithsonian Institution Press, 1997, 1080 p.

Johnson E. (1985) Current developments in bone technology, in Advances in archaeological method and theory, p.157-235.

Lyman R.L. (2010) What taphonomy is, what it isn't, and what taphonomists should care about the difference, Journal of Taphonomy, 8, 1, p.p. 1-16.

Schlanger N. dir (2012) Marcel Mauss. Techniques, technologie et civilisation, Presses universitaires de France, (Quadrige, 2012, 481 p.

Sharon G., Oron M. (2013) The lithic tool arsenal of a Mousterian hunter, Quaternary International, 331, p.p. 167‑185.

Comprendre les choix de matière première ligneuse des chasseurs-cueilleurs maritimes de Patagonie australe et d'Alaska méridional

MAERKY Gisèle[1], GUIBAL Daniel[2]

[1] Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, ArScAn, UMR7041, Ethnologie Préhistorique
[2] UR BioWooEB, Montpellier, CIRAD
gisele.maerky@gmx.fr

Mots clefs : Chasseurs-cueilleurs maritimes, Emmanchement, Matière première

Contexte et objectif

Ma thèse de Doctorat en archéologie a pour objectif d'amener de nouvelles connaissances sur la partie hampe, c'est-à-dire le long manche, des armes de chasse des chasseurs-cueilleurs. En effet, ces hampes qui sont faites de bois, ne sont que très rarement retrouvées sur les sites archéologiques, le bois étant périssable. Les études archéologiques sur l'équipement de subsistance des chasseurs-cueilleurs (Lovita, Sano, 2016) sont alors généralement basées sur la pointe lithique ou osseuse, seule partie conservée sur les sites de fouille, et donc sur une connaissance des hampes qui reste très théorique. C'est pour apporter plus d'informations sur ces éléments en bois et commenter leur possible variabilité que nous avons choisi de comparer l'équipement des Kaweskar et Yahgan de Patagonie australe et des Aléoutes et Alutiiq d'Alaska méridional. Ces groupes de chasseurs-cueilleurs évoluaient dans un environnement maritime très similaire et chassaient le même type de proie (loutre, otaries, lions de mer, oiseaux marins, etc.). Ils ont alors développé une panoplie de chasse reprenant les mêmes types d'armes comme le harpon et la lance, dont il sera particulièrement question à travers ce poster. Les objets étudiés ont été collectés auprès de ces groupes de chasseurs-cueilleurs récents entre la fin du XVIIIème siècle et le début du XXème siècle. Ils sont donc complètements conservés, hampe comprise. L'un des aspects de mon étude est d'identifier quel type de bois (partie de l'arbre et essence) pouvait être choisi pour fabriquer des hampes. Après étude de la totalité de mon corpus, j'ai pu constater des choix différents selon les groupes : les Kaweskar utilisent de jeune tronc non débités de Canelo (*Drymis winteri*) ou, visiblement à moindre mesure, de Cyprès de Guaiatecas (*Pilgerodendron uviferum*), les Yahgan utilisent une partie du duramen de tronc adulte de Lenga (*Nothofagus pumilio*) ou Coigue (*Nothofagus betuloides*) et les Aléoutes et Alutiiq utilisent également une partie sur duramen de bois flotté (essences non connues) aux cernes très fins. Il s'agira ici d'essayer de comprendre quels ont été les critères de sélections du bois pour fabriquer des hampes d'armes de chasse pour chaque groupe de chasseurs-cueilleurs.

Matériel et méthodes

L'étude xylologique d'une centaine d'objets conservés dans huit musées différents en Europe et en Amérique est actuellement achevée. Elle a permis de déterminer pour chaque hampe quelle partie de l'arbre et quelle essence était utilisée (lorsque les prélèvements de bois ont été autorisés). Je ne reviendrai pas ici sur le déroulé de ces analyses et ce poster se centrera uniquement sur la phase de travail dans laquelle nous sommes actuellement, c'est-à-dire l'interprétation des résultats. Pour tenter de comprendre les choix de matière première des différents groupes, il faut considérer que ceux-ci peuvent être influencés par plusieurs aspects parmi lesquels: la disponibilité de la matière, les propriétés de cette matière, la maitrise technique de ces peuples et l'identité culturelle propre à chaque peuple. Nous présenterons notre réflexion en pointant les avantages et les inconvénients de chaque choix de matière ligneuse.

Résultats

Le choix des Kaweskar d'utiliser du bois de brin de jeune tronc pourra tout d'abord s'expliquer par la facilité de son abattage dû au faible diamètre (entre 3 et 4cm) du tronc choisi. Son gabarit permet également d'éviter l'étape de débitage, puisque le jeune tronc, long et fin peut être utilisé entier. Le choix d'utiliser du Canelo et du Cyprès de Guaitecas s'explique alors, car il s'agit de deux essences qui ont une croissance parfaitement rectiligne, contrairement aux autres essences disponibles en Patagonie qui développent tôt un houppier et des ramifications qui viennent modifier le caractère rectiligne de leur tronc. L'utilisation d'un bois rond entraine cependant avec le séchage du bois un risque de déformation de la hampe ainsi que d'apparition de fentes à cœur pouvant amoindrir les qualités aérodynamiques du projectile. Les Yahgan, les Alutiiq et Aléoutes ont eux utilisé du bois débité dans le duramen et ont orienté l'objet selon celle des cernes, ce qui permet une maitrise du retrait du bois, l'objet se déforme donc peu même après une longue utilisation, ce qui est une qualité essentielle pour un projectile (Beckhoff, 1965). C'est donc un choix idéal pour la production d'une hampe de qualité. Par rapport au choix des Kaweskar, ces groupes doivent pourtant fournir un investissement technique plus important car ce choix de matière implique forcément la maitrise du débit par fendage. Mes premières conclusions seraient donc pour l'instant de dire que le choix de matière première ligneuse des Kaweskar était visiblement orienté de manière à fabriquer des hampes facilement et rapidement avec une matière qui nécessitait peu de transformation. Bien qu'ils possédaient la même disponibilité en matière première, les Yahgan ont eux, choisi une matière qui nécessite un investissement technique plus important mais qui leur permettait d'obtenir des hampes stables et plus durables dans le temps. C'est le cas également des Alutiiq et Aléoutes avec qui ils ne partagent pourtant aucun héritage culturel.

Remerciements

Nous remercions l'équipe bois de l'UR BioWooEB du CIRAD de Montpellier et en particulier Daniel Guibal, qui par sa connaissance du matériau bois et en particulier de ses propriétés mécaniques et physiques m'apporte son aide sur cet aspect de mes recherches. Nos remerciements vont également à Marianne Christensen, (Maitre de conférences, HDR, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne) directrice de cette thèse de Doctorat.

Références

Beckhoff K. (1965) Eignung und Verwendung einheimischer Holzarten für prähistorischer Pfeilschäfte, Die Kunde, 16, p. 51 – 61.

Lovita R., Sano K. (dir) (2016) Multidisciplinary approaches to the study of Stone Age weaponry, Dordrecht, Springer (coll. Vertebrate paleobiology and paleoanthropology series), 303 p.

Quantification de la précision des procédés d'usinage bois robotisés

AYARI Oussama, BOUALI Anis, MEAUSOONE Pierre-Jean

Laboratoire d'études et de recherche sur le matériau bois (LERMAB)
oussama.ayari@univ-lorraine.fr

Mots clefs : efforts de coupe, métrologie, modélisation, rigidité, robot sériel, usinage du bois.

Contexte et objectif

La caractérisation des usinages robotisés par enlèvement de matières permet d'améliorer ces procédés (Abele 2007). La robotisation des procédés d'usinage du bois est contrainte par : 1/la structure complexe du matériau bois et ses propriétés physiques et mécaniques. Elles varient énormément en fonction d'une multitude de paramètres.
2/ L'exactitude et la faible rigidité des robots industriels. En comparaison avec les machines-outils, cette souplesse limite les applications d'usinage robotisé (Christos 2011).
3/ Les erreurs de positionnement de l'organe terminal du robot (Damak 2013). Elles sont dues aux défauts d'usinage et d'assemblage qui conduisent à une incohérence entre le comportement du modèle implémenté dans la commande du robot et le comportement réel de la structure.

La mise en œuvre des procédés d'usinage robotisés met en évidence des erreurs de suivi de trajectoire qui dégradent la précision et le positionnement statique et dynamique du robot. Cette dégradation est essentiellement due aux défauts des axes du robot sériel, en particulier les souplesses et les irrégularités cinématiques des systèmes de transmission. Le travail présenté ici, résume les campagnes d'essais qui consistent à usiner différentes essences de bois (Hêtre, Chêne, Sapin...) suivant un protocole expérimental préétabli. Ces expériences nous permettront de : 1/ quantifier les déviations des trajectoires du robot lors d'opérations d'usinage du bois en analysant l'état de surface obtenu (Andersson 2001) ; 2/ identifier les configurations les plus défavorables et les configurations optimales pour l'usinage par enlèvement de matières ; 3/ mesurer les efforts de coupe à l'aide d'un banc de mesure instrumenté qui sera monté sur le robot. Les mesures obtenues seront par la suite intégrées dans la commande du robot dans le but d'améliorer sa performance en termes de positionnement et de précision d'usinage (Abba 2011).

Matériels et méthodes

Notre cellule robotisée est constituée d'un robot 6 axes anthropomorphe Kuka 210-L18 équipé d'un agrégat de préhension permettant la manipulation de pièces de façon rigide et répétable (Fig. 1,2). L'environnement de travail contient aussi une table de bridage et un poste d'usinage (outils monté sur axe vertical) ; comme il peut être amené à évoluer (flexibilité pour la production), il est important de pouvoir simuler le bon fonctionnement de notre robot lors des usinages afin d'anticiper au mieux les collisions et éviter les temps de programmation trop importants (Fig. 3). Le protocole expérimental adopté pour mettre en évidence les erreurs de suivi de trajectoire lors d'usinage consiste à réaliser les 5 opérations d'usinage (Fig. 4) dont les paramètres suivants seront analysés : 1/ Coupe A et B : un contrôle de la profondeur et la largeur de rainurage sera effectué. Un calcul d'erreur quadratique adimensionnel permettra de déterminer le décalage entre les consignes et les mesures expérimentales. 2/ Coupe E et D : le contrôle sera réalisé au niveau de la profondeur de coupe et l'angle axe outil/pièce et le même calcul de l'étape précédente se répète. 3/ Opération C (perçage) le contrôle sera effectué au

niveau de coordonnées (X, Y) de centre, le diamètre et la profondeur de perçage et l'angle axe outil/pièce. L'outil utilisé est une fraise à deux tailles en monobloc de carbure.

Tab.1: Opérations d'usinage.

Coupe	Opérations d'usinage
A	Rainurage suivant le sens des fibres du bois.
B	Rainurage suivant le sens perpendiculaire des fibres du bois.
C	Perçage de diamètre 10mm.
D	Contournage suivant le sens des fibres du bois.
E	Contournage suivant le sens perpendiculaire des fibres du bois.

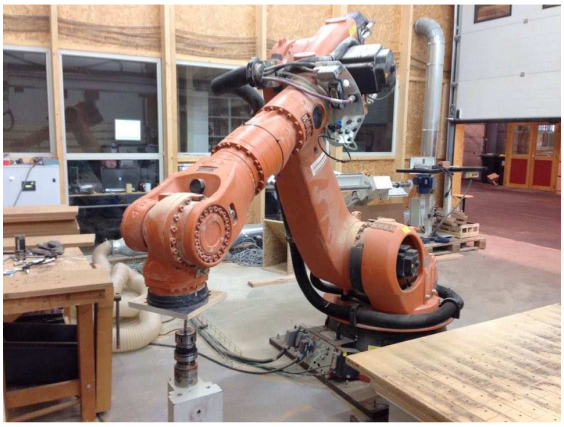


Fig. 1 : Environnement expérimental

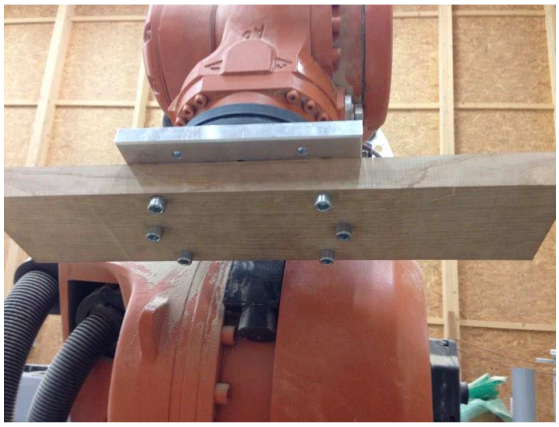


Fig. 2 : Assemblage du préhenseur avec l'échantillon du bois

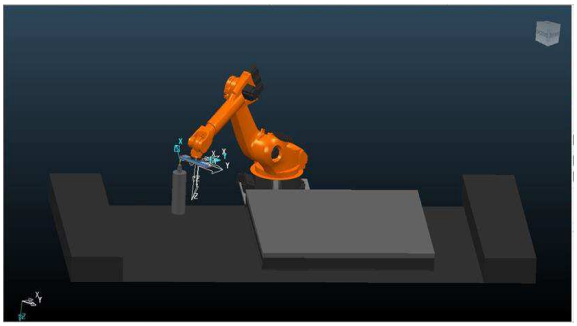


Fig. 3 : Simulation de la cellule robotique

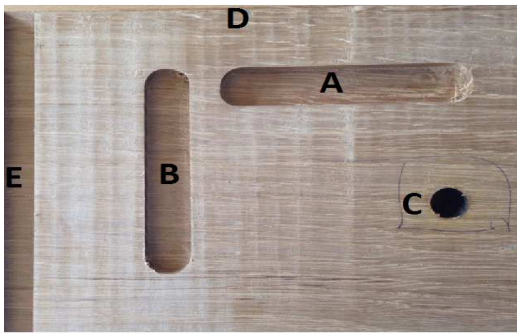


Fig. 4 : Opérations d'usinage sur l'échantillon du bois

Références

Abba G, Léonard F, Qin J (2011) Commande robuste d'un robot d'usinage flexible analyse de la précision. " 20ème Congrès Français de mécanique.

Damak M, Gibaru O, Leleu S, Olabi A (2013) Improving the accuracy of industrial by offline compensation of joints errors. IEEE International Conference on Industrial Technology.

Abele E, Rothenbcher S, Weigold M (2007) Modeling and identification of an industrial robot for machining applications. CIRP Annals, Manufacturing Technology, vol. 56(1):387–390.

Christos D, Chryssolouris G, Panagiotis S, Pandremenos J, Panagiotis S (2011) Machining with Robots: A Critical Review.7th International Conference, Digital Enterprise Technology.

Andersson J-E, Johansson G, (2001) Robot Control for Wood Carving Operations. Mechatronics 11(4):475–490.

Caractérisation mécanique des bois feuillus français en vue de leur meilleure intégration aux Eurocodes 5

BENISTAND Thibault, BLERON Laurent, BOCQUET Jean-François

LERMAB – ENSTIB - Université de Lorraine
thibault.benistand@univ-lorraine.fr

Mots clefs : Feuillus, Bois Français, Caractérisation mécanique, EUROCODES

Contexte

En dépit du fait que le territoire français intègre la plus grande forêt de feuillus d'Europe avec près de 1200 Millions de m3 de hêtre, chêne, frêne et châtaignier, la construction bois utilise en majorité des bois résineux provenant de France et d'Europe. Selon les chiffres édités dans le mémento du FCBA de 2016 (FCBA 2016), nous consommons en France les deux tiers de l'accroissement naturel de nos forêts de résineux en bois d'œuvre et en produits dérivés du bois. La situation devient critique chez nos voisins allemands, où ils utilisent 80% de l'accroissement naturel des forêts de résineux. L'augmentation du marché de la construction bois en France et la ressource locale feuillue mobilisable, poussent logiquement les acteurs de la filière bois à réfléchir et commencer à mettre en œuvre ces essences dans le bâtiment.

Objectifs du projet EFEUR 5

Les Eurocodes et les normes européennes associées sont bâtis sur les expériences et recherches sur les résineux menées au cours des 30 dernières années. Une meilleure utilisation du bois feuillu dans les structures ne pourra se faire qu'en conduisant des études similaires sur ces essences (FD 2013). Ces travaux permettront de redéfinir les paramètres de calcul ainsi que les propriétés mécaniques de ces bois. Le programme EFEUR5 (Comportements structurels des Essences de bois Feuillus français en vue de leur meilleure intégration aux EURocodes 5) a cet objectif et cette ambition pour conduire à la mise sur le marché de produits structurels en feuillus français.

Le programme, centré sur les essences de chêne, de hêtre et de peuplier, essences majoritaires et au plus fort potentiel, repose sur la mise en commun des équipes de recherche les plus expérimentées en termes de structures bois. Bien que quelques rares études sur certaines essences feuillues existent (Bléron et al. 2012) elles doivent être complétées par de nouvelles données scientifiques et expérimentales. Plusieurs incertitudes sont à lever, dont :
- La connaissance des comportements à long terme des bois feuillus (GEMH + LMGC)
- La connaissance des propriétés mécaniques dites secondaires des feuillus (LERMAB)
- La définition des modèles de calcul des assemblages dans le bois feuillus (LERMAB)
- L'anticipation des propriétés mécaniques : connaissance de l'impact du développement de l'arbre sur les propriétés du matériau, lien entre anatomie et physique (LERFOB)

Méthodologie de travail

Pour chaque essence du projet (Peuplier, Hêtre & Chêne) il a été réalisé un échantillonnage de 10m^3 répartis en 3 sections : 40x100, 50x150 et 65x200. Pour le hêtre et le chêne, des billons de classe A&B et des billons de classe C&D selon la norme EN 1316-1 ont été utilisés pour étudier la possibilité d'utiliser des bois de basse classe dans la construction.

Les essais mécaniques (flexion, compression, cisaillement et traction) sont réalisés en se basant sur la norme EN 408 et l'analyse des résultats se fait en utilisant la norme EN 384. A la

suite des essais de flexion un prélèvement est effectué afin de réaliser d'autres essais mécaniques et ainsi vérifier les relations directes entre les propriétés telles qu'elles sont établies dans la norme EN 384.

Les essais de portance selon différents angles et pour différents diamètres seront réalisés selon la norme EN 383. Cela permettra d'obtenir les lois d'enfoncement ainsi que les rigidités des assemblages de type tige. Cette campagne expérimentale permettra de valider ou non les équations actuelles de l'EUROCODE 5 (EN1995-1-1).

Résultats et discussion

Les propriétés mécaniques principales (Résistance en flexion, Module d'élasticité local et Masse volumique) sont équivalentes entre les billons de classes A&B et les billons de classes C&D, il n'y a donc pas lieu de les différencier. Les essais de flexion donnent les résultats donnés dans le tableau 1 (corrigé selon EN 384) :

Tab. 1 : Essais de flexion - Synthèse des propriétés principales

Essence	Humidité	$f_{m,mean}$ [MPa]	$f_{m,k}$ [MPa]	COV	$E_{0,m}$ [MPa]	$E_{0,k}$ [MPa]	COV	ρ_m [kg/m³]	ρ_k [kg/m³]	COV
Peuplier	12,46 %	52,7	36,2	19 %	12 020	8 830	12 %	453	406	6 %
Hêtre	13,08 %	78,5	47,4	25 %	14 610	10 950	14 %	715	657	5 %
Chêne	14,63%	67,5	34,8	33 %	13 740	8 580	21 %	726	628	8 %

Le facteur modificatif de la résistance en fonction de la hauteur tel que définis dans l'Eurocode et l'EN 384 doit être modifié pour prendre en compte les spécificités liées aux bois feuillus. Le peuplier, peut néanmoins être considéré sur ce point comme un bois résineux. Pour les sections de Hêtre et de Chêne avec une hauteur inférieure à 200mm, il est possible d'augmenter la résistance en flexion à partir des relations ci-dessous :

$$f_{m,h,k} = f_{m,h=200,k} \times \left(\frac{200}{h}\right)^{c}$$

avec $c = 0.854$ pour le Hêtre et le Chêne tout en se limitant à un facteur de 1,4.

Les relations et corrélations entre propriétés mécaniques principales ont été observées :

- La masse volumique n'est en aucun cas un bon indicateur de résistance (R^2 de 0,03) ou de module d'élasticité (R^2 de 0,14)
- Pour le hêtre et le chêne, une relation forte apparaît entre le module d'élasticité et la résistance en flexion, avec respectivement des R^2 de 0,36 et 0,47.
- Il n'existe pas de relation directe reliant le module de cisaillement et le module d'élasticité.

Le classement visuel des sections et l'attribution d'une classe de résistance telle que définie dans la norme NF-B-52-001 permet d'utiliser avec une grande marge de sécurité les bois feuillus en tant que bois d'œuvre.

Les propriétés estimées visuellement sont largement inférieures aux propriétés réelles observées au cours des essais (125 à 215% pour le MOR et 102 à 145% pour le MOE)

De plus, de par le classement visuel, le nombre de pièces valorisables en tant que bois d'œuvre diminue au fur et à mesure que la section augmente. Cela conduit inexorablement à repenser le système de prédiction des performances mécaniques et/ou valoriser systématiquement le bois feuillu avec de faibles sections.

Remerciements

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du projet EFEUR5 (2015-2020) financé par l'Agence Nationale de la Recherche (convention ANR-15-CE08-0027).

Références

FCBA, « Memento bois FCBA », 2016.

FD P 21-502 - Structure en bois - Utilisation des bois massifs feuillus en structure - Proposition de compléments à l'Eurocode. 2013.

Bléron L., Le Magourou L., Martin P., Rossi F. (2012) Intégration des données manquantes concernant les bois feuillus pour l'utilisation de l'Eurocode 5 », juill. .

NF EN 1316-1 : Bois ronds feuillus - Classement qualificatif - Partie 1 : Chêne et hêtre. 2012.

NF EN 408+A1 : Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques. 2012.

NF EN 384 : Détermination des valeurs caractéristiques des propriétés mécaniques et de la masse volumique. 2016.

NF EN 383 : Détermination de caractéristiques de fondation et de la portance locale d'éléments d'assemblage de type broche. 2007.

EN1995-1-1 : Eurocode 5 - Conception et calcul des structures en bois - Partie 1-1 : Généralités - Règles communes et règles pour les bâtiments. 2005.

NF B 52-001-1 : Règles d'utilisation du bois dans la construction - Classement visuel pour l'emploi en structure des bois sciés français résineux et feuillus. 2011.

Low amplitude vibration performance of multilayered timber beams assembled through compressed wood dowels

BUI Tuan Anh[1], OUDJENE Marc[1], LARDEUR Pascal[2], KHELIFA Mourad[1], ROGAUME Yann[1]

[1]LERMAB, Université de Lorraine, 27 rue Philippe Séguin 88026 Epinal, France.
[2] Laboratoire Roberval, Université de Technologie de Compiègne, Centre de recherches de Royalieu CS 60319, 60203 Compiègne Cedex, France.
marc.oudjene@univ-lorraine.fr

Keywords: damping, modal analysis, timber construction, vibration serviceability, wood dowels.

Context and objective

In timber construction, vibration serviceability of timber floors is a key performance issue, since light weight timber floors are more prone to annoying vibrations induced by human activities than heavy concrete floors (Weckendorf et al 2016). In the EU, the design criteria and methodology for vibration of timber floors is generally performed based on the Eurocode 5 (2004).

Measurements of vibration properties of timber floors, including CLT floors, have been performed by many researchers (Bernard 2008, Jarnerö et al 2015, Weckendorf et al 2016, Zhang et al 2013), among others. These studies include natural frequencies, modal shapes, damping ratios as well as the effect caused by type of floors and boundary conditions on those dynamic properties.

The research work presented herein aims to access the dynamic properties of adhesive free engineered wood products (AFEWPs) that are under development in the framework of an Interreg NEW project. Those AFEWPs consist of beams and cross-laminated panels. The connection mechanism proposed, to substitute the adhesive, is compressed wood dowels to connect timber laminates (without using adhesive). Here, AFEWPs make use of spring back of compressed wood dowels and moisture-dependent swelling to achieve tight fitting between laminates. Such AFEWPs are not covered by the Eurocode 5 and consequently an experimental investigation is required in order to use safely the design guidelines.

The aim of the present study is to investigate the dynamic properties of adhesive free multi-layered beams connected with compressed wood dowels. The study includes also the effect of dowel diameter, dowel spacing and compression ratio on the natural frequencies, as well as damping ratios. In addition, the relative vibration performance of AFEWPs is compared against their conventional counterparts made with adhesive (namely glulam). To the best knowledge of the authors, no investigation of vibration performance of such products has been previously published.

Material and methods

Different wood species have been considered, namely spruce and oak. At this stage of the study, the preliminary stage tests addressed three-layer beams which were manufactured with the following dimensions: 70 mm x 67.5 mm x 1350 mm. The timber laminates were 22.5 mm thick.

The dynamic excitation of the beams was performed with a hammer impact under free-free boundary conditions. In order to capture the motion of the beams (mode shapes), the

excitation was performed every 100 mm along the span direction. All the beam specimens were tested under free-free boundary conditions.

The dynamic parameters, namely the resonance frequencies, mode shapes and damping ratios were extracted by means of experimental modal analysis.

Results and discussion

The results from both glued and adhesive free beams specimens are compared in Tab. 1 in terms of natural frequencies and damping ratios. It is worth noting that the glued beam exhibits higher frequency values as compared to the adhesive free beam. This can be attributed to the difference in stiffness, since the mass values of the two beams were almost identical.

Tab. 1: Natural frequencies of glued beam and adhesive free beam

	Glued beam			Adhesive free beam		
	Experiment	FEM	error	Experiment	FEM	error
f_1	137.72 Hz	142.89 Hz	3.75 %	146 Hz	145.49 Hz	-0.34 %
f_2	363.33 Hz	363.43 Hz	0.02 %	329 Hz	327.13 Hz	-0.56 %
f_3	677.03 Hz	643.24 Hz	-4.99 %	597 Hz	535.98 Hz	-10.22 %

However, it was found that the damping ratios are much higher in the case of adhesive free beam. This is an interesting result in terms of vibration serviceability, since damping affects the time it takes for an induced vibration to decay.

Also, based on the function responses it seems that the glued beam exhibits much less nonlinearities as compared to the adhesive free beam.

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the funding provided by the European Regional Development Fund via Interreg NWE grant 348 “Towards Adhesive Free Timber Buildings”, AFTB.

References

Bernard ES. (2008) Dynamic serviceability in lightweight engineered timber floors, Journal of Structural Engineering, ASCE Library, 134, 258-268.

EN 1995-1-1:2004, Eurocode 5 (2004): design of timber structures – Part 1.1: general rules and rules for buildings, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

Jarnerö K., Brandt A., Olsson A. (2015) Vibration properties of a timber floor assessed in laboratory and during construction, Engineering Structures, 82, 44-54.

Weckendorf J., Ussher E., Smith I. (2016) Dynamic response of CLT plate systems in the context of timber and hybrid construction, Composite Structures, 157, 412-423.

Zhang B., Kermani A., Fillingham T. (2013) Vibrational performance of timber floor constructed with metal web joists, Engineering Structures, 56, 1321-1334.

Développement d'un outil de calcul non linéaire de dimensionnement d'assemblages bois tridimensionnels soumis à des torseurs plans

LEMAITRE Romain, BLERON Laurent, BOCQUET Jean-François

LERMAB, Université de Lorraine, 27 rue Philippe Séguin, 88000 Épinal, France
romain.lemaitre@univ-lorraine.fr

Mots clefs : assemblage, bois, modélisation, non linéarité, structure

Contexte et objectifs

En Europe, les besoins de la construction bois s'orientent vers des bâtiments de moyenne et grande hauteur (de 3 à 10 niveaux). La conception de ce type de structure est fortement pilotée par la résistance et la raideur des assemblages. Cependant il existe des manques dans les méthodes de calculs réglementaires proposées dans la version actuelle de l'Eurocode 5 (EC5). Les règles de calcul pour les modules de glissement sont limitées à des équations empiriques données pour une direction parallèle au fil du bois. Cependant à l'échelle macroscopique choisie pour le calcul des éléments structuraux, le bois présente des symétries matérielles orthotropes. Il est donc clair que le modèle isotrope du matériau proposé dans l'EC5 pour les modules de glissement des organes de l'assemblage semble maintenant incomplet vis-à-vis de l'évolution des besoins pour le calcul des structures. Plusieurs auteurs ont proposé des relations entre les modules de fondation élastique du bois et l'angle entre la direction de l'effort et le fil du bois Hwang et Komatsu (2002), Schweigler et al. (2016). De plus, la vérification de la résistance des assemblages n'est donnée que pour une sollicitation en effort normal dans l'assemblage. L'ajout de critères de rupture pour des assemblages soumis à des torseurs d'efforts plans est maintenant indispensable. Enfin, les formules de capacité résistante issues de la théorie de l'analyse limite de Johansen proposées dans l'EC5 ne sont pas en adéquation avec le dimensionnement des assemblages ayant plus de deux plans de cisaillement ou des compositions spécifiques.

L'action COST FP 1402 a été créée en 2014 pour regrouper toutes les recherches scientifiques sur le sujet des assemblages des structures bois afin de les intégrer dans la mise à jour de l'Eurocode 5 prévue en 2020 et combler les manques de la version actuelle.

La vitesse de calcul des ordinateurs ne cessant pas d'augmenter, envisager l'utilisation de méthodes numériques pour calculer les assemblages ne semble aujourd'hui plus irréaliste. C'est pourquoi, il est envisagé dans ce travail de thèse de proposer un outil numérique permettant d'obtenir les lois de comportement d'assemblages multicouches et ou multi matériaux (bois massif, lamellé-collé, LVL, CLT, acier, etc.) sollicités avec un torseur d'efforts plan. Ces lois de comportement pourront permettre d'en déduire les raideurs des assemblages, afin de les intégrer dans un modèle global de la structure mais aussi d'obtenir la distribution des efforts sur chaque organe et ainsi vérifier la zone d'assemblage.

Analyse du comportement en portance locale du bois

Le transfert des efforts entre les éléments des assemblages mécaniques (broche, boulon, cheville, vis, etc.) est réalisé par un contact localisé des organes sur le bois, appelé portance locale du bois. La complexité de la déformation et de l'état de contrainte du bois autour de l'organe résultant de ce contact amène à utiliser un modèle de poutre sur fondation non linéaire au lieu d'une modélisation de milieu continu. Par cette approche, le problème physique du contact est simplifié par des ressorts liant les organes et le bois dont les raideurs sont définies par une fonction mathématique continue. Le modèle phénoménologique retenu

pour quantifier la fondation est celui proposé par Sauvat (2001). L'observation des courbes expérimentales d'essais de portance du bois montre que la loi de comportement du bois pour cette sollicitation peut en première approximation se simplifier par une loi bilinéaire. Par ce fait, il est alors possible de définir plusieurs grandeurs physiques pour construire le paramétrage du modèle phénoménologique de Sauvat et modéliser la non-linéarité du matériau bois sous l'organe.

Modèle retenu pour simuler le comportement mécanique des assemblages bois

La matrice bois est modélisée par des éléments volumiques ayant un comportement élastique et orthotrope. L'organe est défini par des éléments poutres unidimensionnelles ayant un comportement élastoplastique. Le comportement en portance du bois est pris en compte par deux ressorts dépendant de deux déplacements orthogonaux où un couplage est considéré pour des directions d'efforts hors des axes d'orthotropie. Avec ce modèle l'organe peut s'enfoncer de manière tridimensionnelle dans le bois.

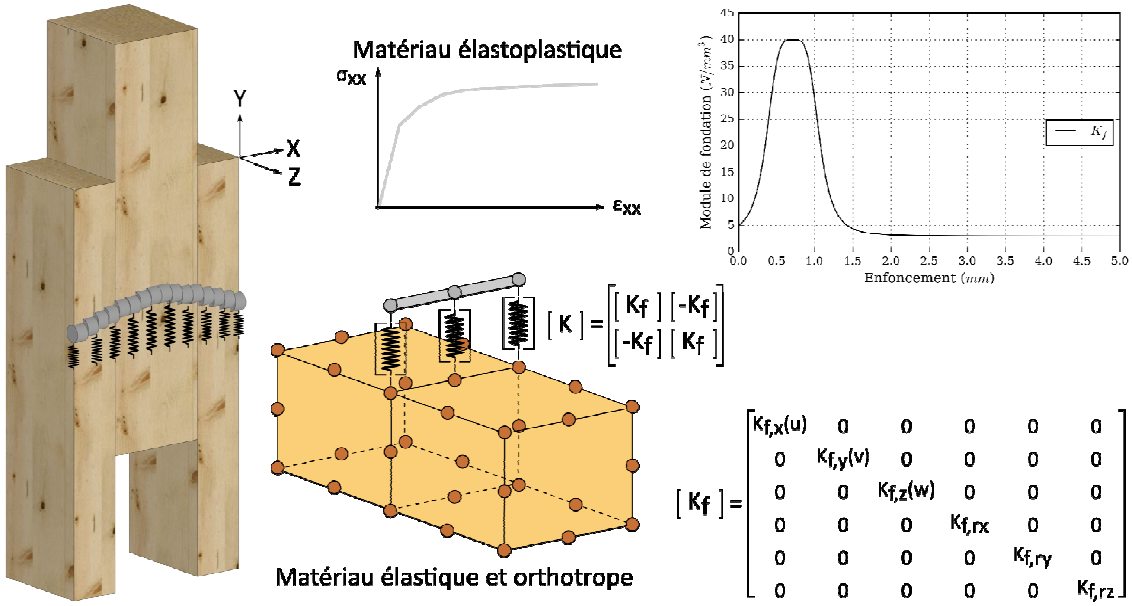


Fig. 1 : Schéma de la modélisation retenue pour décrire le comportement des assemblages.

Remerciements

Ces travaux de thèse sont financés à 60% par le LERMAB et à 40% par le CODIFAB.

Références

Hwang K., Komatsu K. (2002) Bearing properties of engineered wood products I: effects of dowel diameter and loading direction. J. Wood Sci. 48, 295–301.

Sauvat N. (2001) Résistance d'assemblages de type tige en structure bois sous chargements cycliques complexes. Thèse Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II.

Schweigler M., Bader T.K., Hochreiner G., Unger G., Eberhardsteiner J. (2016) Load-to-grain angle dependence of the embedment behavior of dowel-type fasteners in laminated veneer lumber. Constr. Build. Mater. 126, 1020–1033.

Finite element modelling of the fire performance of cross-laminated timber panels assembled by different techniques

TRAN Trong Tuan[1], THI Van Diem[1], KHELIFA Mourad[1],
OUDJENE Marc[1], ROGAUME Yann[1]

[1] University of Lorraine, LERMAB, EA 4370, 27 rue Philippe Séguin, 88026 Epinal, France.
marc.oudjene@univ-lorraine.fr

Keywords: CLT, FEM, fire safety, fire testing, timber floor.

Introduction

The performance of timber exposed to fire has to be analyzed in the context of the characteristic time scale. Since timber is a combustible material, its safe use in construction will depend on a proper design, which involves a correct knowledge of the physical phenomena that affect the performance of timber structure in fire.

When subjected to high temperature or radiant fluxes of the magnitude of those encountered in fires, timber undergoes physical, chemical and structural changes. Initially, it heats up and the moisture contained in its voids will begin to evaporate. This will generate a pressure build up, which causes a flow of vapor and liquid water in some cases to the outside of the timber matrix and also to the inner, colder regions, thus increasing the moisture content in those areas [Park et al (2010)]. As heating of the timber continues for an extended period of time, involving higher temperature, generally up to 300° C, the pyrolysis takes place producing combustible gases, accompanied by a loss in mass. The pyrolysis will then move into the virgin section located at deeper positions. The char layer is not able to support any loads, causing an increase of the stress of the reduced section. In the same time, the virgin section will heat up, which will cause a decrease in the mechanical and strength properties. The Eurocode 5 (2004) considers a reduction in the cross section caused by the charring, and normally the charring rate is taken as a constant. Thus, knowing the fire exposure time of the timber to a fire allows determining the remaining cross section which is still load bearing.

Nowadays, the need for predicting the structural behavior of timber structures exposed to fire has gained increasing interest in the context of more and more intensive use of EWPs in modern constructions. Consequently, the numerical simulation using the finite element method is a powerful tool to investigate cost-effectively the performance of timber structures under fire, in order to avoid drawbacks associated with experimental procedures. When dealing with numerical analysis of the thermal behavior of a timber element under fire, the modelling of the pyrolysis is of major importance and a key task for accurate prediction of the realistic temperature distributions within the timber section.

Finite element modelling

Governing equation: To analyze the heat transfer within the wood sample in fire, three modes of heat transfer, namely conduction, convection and radiation should be considered. In a fire test furnace, heat fluxes flow to the outermost surfaces of the wood sample and heat transfer by convection and radiation, whereas heat transfer occurs within the wood member through conduction. At high temperature, wood undergoes pyrolysis and it is converted to char, vapor and gas resulting in a reduction in the wood's density. The gas undergoes flaming combustion as it leaves the charred wood. According to the one-dimensional analytical models available in the literature [Bilbao et al (1996), Park et al (2010) and Shen et al (2007)], the evolution of the temperature gradient, incorporating the energy source due to the

pyrolysis, in a 3D wood sample can be described by the energy conservation equation as follows:

$$(p_w C_w + p_c C_c + p_l C_l)\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left[\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y}\right] + \frac{\partial}{\partial z}\left[\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z}\right] + Q_r^{"}$$

Implementation strategy: These variables need to be calculated at the end of each time increment, in order to evaluate the Jacobian matrix of the Newton-Raphson algorithm. The general flowchart of the thermal analysis procedure in ABAQUS is given in Fig. 1.

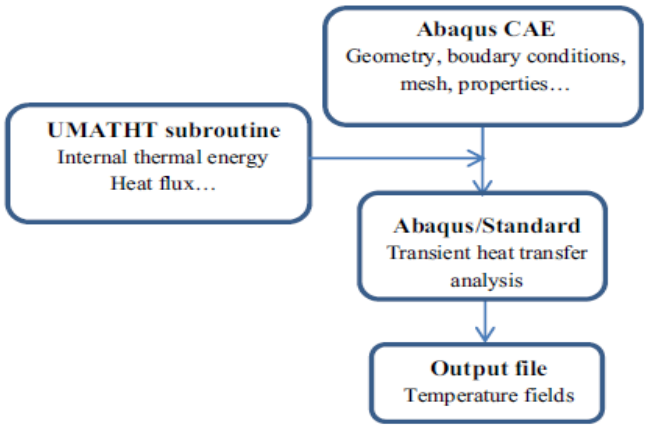


Fig. 1: The general flowchart of the thermal analysis

Results and discussion

Results from experimental fire testing of several CLT panels (Dimension 100x20x2500 mm) are compared against numerical predictions using the developed UMAHT.

Also the fire performance of the different CLT panels is highlighted when the CLT panels are heated from their different faces. The behavior of the adhesive and delamination under fire is also discussed.

In addition, the results presented in this work compare between the fire performances of traditional glued CLT panels against free adhesive CLT panels assembled through high strength compressed wooden dowels.

Acknowledgement

This research is carried out in the framework of an Interreg V B Research Program AFTB (contract n°AFTB-NWE-348) financed by the European Community.

References

Bilbao R., Mastral J.F., Ceamanous J., Aldea M.E. (1996) Modeling of the pyrolysis of wet wood, Analytical and Applied Pyrolysis, 36, 81–97.

CEN, Eurocode 5 (2004) Design of Timber Structures – Part 1–2: General – Structural Fire Design (European Committee for Standardization), EN 1995–1–2, Brussels, Belgium.

Park W.C., Atreya A., Baum H.R. (2010) Experimental and theoretical investigation of heat and mass transfer processes during wood pyrolysis, Combustion and Flame, 157, 481–494.

Shen D.K., Fang M.X., Luo Z.Y., Cen K.F. (2007) Modeling pyrolysis of wet wood under external heat flux, Fire Safety, 42, 210–217.

Development of adhesive free engineered wood products for structural uses

EL-HOUJEYRI Imane, OUDJENE Marc, KHELIFA Mourad, ROGAUME Yann

LERMAB, Université de Lorraine, 27 rue Philippe Séguin 88026 Epinal, France.
marc.oudjene@univ-lorraine.fr

Mots clés: CLT, matériaux d'ingénierie, lamellé collé, construction bois, chevilles

Context and objectives

The aim of this work is to study the structural performance of novel adhesive free engineered wood products (AFEWPs), namely beams and CLT panels. The connection mechanism proposed, to substitute the adhesive, is compressed wood dowels to connect timber laminates. Here, AFEWPs make use of spring back of compressed wood dowels and moisture-dependent swelling to achieve tight fitting between laminates. The connections made with compressed wood dowels are characterized experimentally using push-out-shear tests according to the EN 26891. The different EWPs are tested according to the European standard EN 408. Experimental results obtained demonstrate that the AFEWPs exhibit good stiffness and strength characteristics as compared to their conventional counterparts made with adhesive.

Introduction

More than 5 million m^3 of EWPs were produced in the EU in 2013/14 and the market is growing, as EWPs provide a 'green' alternative to steel and concrete in construction. However, about 600 tonnes of toxic adhesive are currently used in the manufacturing of 1 million m^3 of EWPs (glulam and CLT). The aim of this research is to demonstrate new adhesive free EWPs using new technology; Anshari et al (2017); Guan et al (2010). Providing confidence in the structural properties of adhesive free EWPs using compressed wood is the key issue which requires an appropriate experimental testing program. The advantages of using compressed wood dowels in comparison to using hardwood dowels (non compressed) are tight fitting after the spring back regardless of moisture-dependent swelling as well as minimised stress relaxation problem. Engineered wood products connected with by hardwood dowels would gradually loss the initial tight fitting with moisture escaping through their service life. In contrast, EWPs jointed by compressed wood dowels would not suffer the same problem as the spring back would be maintained through their service life. The main purpose of this work is to demonstrate the relative performance of those adhesive free products for structural bearing capacity, by means an appropriate experimental program.

Experimental

Before carrying out the four-point bending tests on AFEWPs (beams and CLT), the mechanical properties of individual laminations and compressed wood dowels have been, first, characterized by appropriate experimental procedures. After that, several push-out shear tests on single wood dowel double shear specimens have been performed to assess the stiffness and strength characteristics of connections, according to the EN 26891. In this study, two series of tests have been undertaken: the first one was performed on adhesive free engineered wood products (AFEWPs) while the second one was performed on the conventional EWPs for comparison purpose. All bending tests were performed according to the EN 408 on beam specimens with dimensions: 70 mm x 67.5 mm x 1350 mm (Fig. 1). The timber laminates were 22.5 mm thick. While the dimensions of the CLT panels were: 100 mm x 20 mm x 1500 mm (Fig. 2).

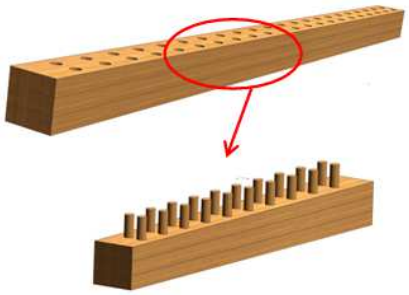


Fig. 1: Typical tested adhesive free three-layer beam (assembled through compressed wood dowels)

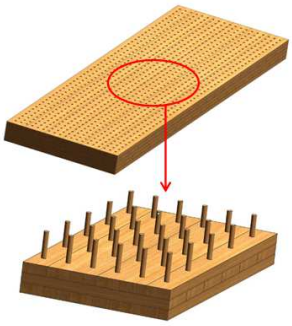


Fig. 2: Typical tested adhesive free three-ply CLT panels (assembled through compressed wood dowels)

Results and discussion

First of all, the results from push-out shear tests will be presented to highlight the relative mechanical performance of connections made with compressed dowels by comparison to those made with hardwood dowels. After that the structural behaviour of adhesive free products, namely beams and CLT panels will be presented and compared to conventional products made with adhesive. The results will include load-mid-span deflexion curves, stiffness and strength characteristics (MOE and MOR) as well as the failure modes

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the funding provided by the European Regional Development Fund via Interreg NWE grant 348 “Towards Adhesive Free Timber Buildings”, AFTB.

References

Anshari B., Guan Z.W., Wang Q.Y. (2017) Modelling of Glulam beams pre-stressed by compressed wood, Composite Structures, 165, 160‑170.

EN 408: (2010). Timber structures – structural timber and glued laminated timber – determination of some physical and mechanical properties. Bruxelles.

EN 26891. (1991) Timber structures – joints made with mechanical fasteners – general principles for the determination of strength and deformation characteristics, ISO 6891-1983 (E); 1991.

Guan Z.W., Komatsu K., Kitamori A., Jung K. (2010) Structural characteristics of beam-column connections using compressed wood dowels and plates, Présenté à Proceedings of 11th World Conference on Timber Engineering, Riva del Garda, Italy.

Dynamiques intra-annuelles de l'assimilation du carbone, de la croissance radiale et de la production de biomasse ligneuse dans une hêtraie mature

ANDRIANANTENAINA Anjy[1], RATHGEBER Cyrille[1], LONGDOZ Bernard[2]

[1]LERFoB, INRA, AgroParisTech, F-54000, Nancy, France
[2] Unité TERRA, Gembloux Agro-Bio-Tech, University of Liège, Gembloux, 5030, Belgium
anjy-nandrianina.andrianantenaina@inra.fr

Mots clefs : formation du bois, *Fagus sylvatica*, production de biomasse GPP, croissance en volume

Introduction

Les écosystèmes forestiers constituent le principal réservoir à long terme de carbone (Lal 2008 ; Pan et al. 2011). Toutefois, les dynamiques saisonnières de production de cette biomasse, en relation avec l'assimilation du carbone par l'écosystème, et les déterminants environnementaux, restent peu étudiées, limitant notre compréhension de sa sensibilité aux changements actuels du climat. L'objectif de cette étude a été de quantifier les dynamiques du flux de carbone, de sa capture initiale par les feuilles, à sa destination finale dans le bois dans une forêt mature de hêtres. Ainsi, les dynamiques saisonnières de GPP (Gross Primary Productivity), SGI (Stem Girth Increase) et WBP (Woody Biomass Production) ont été quantifiées tout au long d'une saison de croissance, afin de décrire avec précision leur coordination temporelle, et de caractériser leurs relations avec les conditions environnementales.

Matériels et méthodes

Durant la saison de végétation 2014, des microcarottes contenant le phloème, la zone cambiale, et le xylème en formation ont été prélevés mensuellement sur 14 hêtres dominants (*Fagus sylvatica* L.) poussant dans l'empreinte de mesure d'une tour à flux (Montiers, France), puis traité au laboratoire pour le suivi de la formation du bois. Les variations circonférentielles du tronc ont été suivies mensuellement à l'aide de dendromètres manuels. Les flux de carbone ont été mesurés par Eddy-Covariance pour estimer le GPP journalier et enregistrer les conditions climatiques du site.

Résultats et discussion

La saison de végétation, délimitée par le début et la fin de la division cambiale, d'avril à août, a duré 5 mois, alors que la formation du bois, délimité par le timing de la différenciation des cellules de xylèmes nouvellement formées, a duré 6-7 mois jusqu'en octobre. Le GPP a commencé à croître début avril, a culminé début juin, et est retourné à zéro en mi-novembre (Fig. 1a). Le long de la saison de végétation, la réalisation de WBP a été décalée sur une dizaine de jours derrière celle de SGI (Fig. 1b-c). Ce décalage entre la croissance radiale et la production de biomasse a été plus courte chez le hêtre, comparé aux résineux des forêts tempérées, s'étendant sur plus d'un mois (Cuny et al. 2015), et pouvant s'expliquer par le contraste qu'il y a entre leur structure anatomique. D'avril à juin, le GPP a rapidement crû, précédant WBP, alors que de juin à mi-novembre, la dynamique d'assimilation du carbone a été décalée derrière celle de la production de biomasse dans le tronc. Cela suggère au printemps une allocation plus importante du carbone assimilé au développement foliaire et à la formation du bois initial. Puis jusqu'en début automne, le peuplement a continué à assimiler du carbone bien après ralentissement jusqu'à arrêt de la séquestration du carbone

dans le xylème formé. Ce qui suggère une allocation à d'autres puits comme le développement des bourgeons et racines fines, ou le remplissage des réserves. Enfin, GPP et SGI ont montré une forte synchronisation avec l'évolution saisonnière des radiations solaires et de la photopériode, tandis que WBP a montré une synchronisation plus élevée avec les températures journalières. Cela suggère une importance de la quantité d'énergie solaire reçu par le peuplement sur les dynamiques de photosynthèse. La photopériode peut jouer un rôle d'horloge biologique pour l'activité cambiale, tandis que les variations des températures peuvent conditionner l'épaississement des parois cellulaires du xylème nouvellement formé. Notre travail a permis de démontrer que les dynamiques intra-annuelles d'assimilation du carbone par le peuplement, de croissance radiale et de production de biomasse ligneuse dans le tronc sont décalées le long de la saison de végétation chez le hêtre.

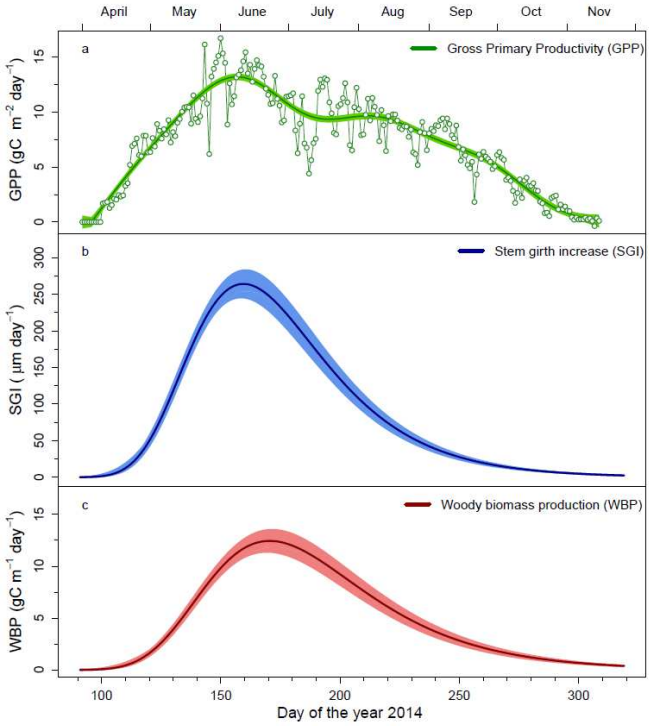


Fig. 1 : Dynamiques intra-annuelles de GPP (Gross Primary Productivity), SGI (Stem Girth Increase) et de WBP (Woody Biomass Production) . a) GPP journalier (données brutes, valeurs prédites avec GAM ± déviation standard). (b) SGI et (c) WBP journaliers (moyennes des valeurs prédites avec la fonction Gompertz ± déviation standard).

Références

Cuny HE, Rathgeber CBK, Frank D, Fonti P, Mäkinen H, Prislan P, Rossi S, del Castillo EM, Campelo F, Vavrčík H, et al. (2015), Woody biomass production lags stem-girth increase by over one month in coniferous forests, Nature Plants 1, 15160.

Lal R. (2008), Sequestration of atmospheric CO_2 in global carbon pools, Energy & Environmental Science 1, 86–100.

Pan Y, Birdsey R, Fang J, Houghton R, Kauppi PE, Kurz WA, Phillips OL, Shvidenko A, Lewis SL, Canadell JG, et al. (2011), A large and persistent carbon sink in the world's forests, Science 333, 988-993.

Contrôle postural et acclimatation du squelette biomécanique de vieilles perches de hêtre après éclaircie.

NOYER Estelle, FOURNIER Mériem, CONSTANT Thiéry, COLLET Catherine, DLOUHA Jana

LERFoB, INRA, AgroParisTech, F-54000, Nancy, France
noyer.estelle@gmail.com

Mots clefs : Biomécanique, Eclaircie, *Fagus sylvatica*, gravitropisme

Contexte et objectifs

La capacité des arbres à tenir debout est fortement contrainte chez les arbres élancés devant croître en peuplement dense et dans de faibles conditions lumineuses. Le contrôle postural permet le redressement des axes grâce à la croissance radiale et à la maturation du bois. Ce redressement a été communément observé chez des semis en serre, ou théoriquement déduit d'une combinaison de plusieurs traits mesurables à l'échelle du bois et de l'arbre chez de grands arbres. En conditions naturelles, les conditions lumineuses et de croissance sont variables temporellement et spatialement. Par exemple, l'éclaircie désigne une perturbation courante des conditions lumineuses inclue dans la gestion des forêts et consiste à abattre tout arbre compétiteur vis-à-vis des ressources de l'arbre d'intérêt. Ce traitement sylvicole engendre, chez l'arbre éclairci, une augmentation de la croissance radiale et est associée à plusieurs changements morphologiques à l'échelle de l'arbre. Nous supposons alors que l'éclaircie induit des mouvements de redressement des troncs chez des arbres se développant initialement dans une forêt semi-naturelle dense, tandis que l'environnement peu lumineux du sous étage forestier augmente l'affaissement et l'inclinaison des tiges principales. Cette étude est la première dont l'objectif principal est de mesurer les mouvements des tiges de grands arbres en conditions naturelles.

Matériel et Méthodes

Les mouvements des tiges principales de 39 vieilles perches de hêtres ont été observés sur une période de 6 ans. La magnitude des mouvements et les mécanismes ont été comparés aux résultats obtenus avec les modèles biomécaniques usuels. La courbure et l'inclinaison des tiges des perches de hêtre sont mesurés par scans TLS (Scanner LiDAR Terrestre) réalisés l'année de l'éclaircie et 6 ans après traitement chez des arbres éclaircis et contrôles. Plusieurs traits mesurés à différentes échelles sont combinés ensemble pour être implémenté dans les modèles biomécaniques existants.

Résultats marquants

Nos résultats ont montré que, même dans un environnement contraint et sans éclaircies, la majorité des perches contrôles sont capables de contrebalancer la courbure gravitationnelle et éviter l'affaissement des tiges. Après 6 ans d'éclaircie, les perches initialement inclinées redressent significativement leurs tiges. Le taux de courbure gravitropique théorique augmente grâce à la croissance radiale améliorée après éclaircie mais diminue deux ans après traitement. Cette diminution est due à l'augmentation du diamètre des tiges qui agit comme un frein géométrique. L'application des modèles biomécaniques théoriques existants nous apprend qu'en calculant rétrospectivement le redressement des tiges de grands arbres, l'amplitude des mouvements est surestimé.

Remerciements

Les auteurs remercient François Ningre (INRA, Nancy) pour la sélection du matériel végétal, Mathieu Dassot (EcoSustain, Nancy) pour son aide externe, Florian Vast (INRA, Nancy) pour son aide avec le scanner LiDAR terrestre et Daniel Rittié (INRA, Nancy) pour les mesures de croissance. Ce projet a bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme Investissements d'avenir portant la référence n° ANR-11-LABX-0002-01 (Laboratoire d'Excellence ARBRE).

Références

Alméras T., Fournier M. (2009) Biomechanical design and long-term stability of trees: Morphological and wood traits involved in the balance between weight increase and the gravitropic reaction. Journal of Theoretical Biology, 256, 370–381.

Collet C., Fournier M., Ningre F., Hounzandji A.P.-I., Constant T. (2011) Growth and posture control strategies in Fagus sylvatica and Acer pseudoplatanus saplings in response to canopy disturbance. Annals of botany, 107, 1345–53.

Fournier M., Dlouhá J., Jaouen G., Alméras T. (2013) Integrative biomechanics for tree ecology: beyond wood density and strength. Journal of Experimental Botany, 64, 4793–4815.

Moulia B., Coutand C., Lenne C. (2006) Posture control and skeletal mechanical acclimation in terrestrial plants: implications for mechanical modeling of plant architecture. American Journal of Botany, 93, 1477–1489.

Moulia B., Fournier M. (2009) The power and control of gravitropic movements in plants: a biomechanical and systems biology view. Journal of experimental botany, 60, 461–86.

The quality of LVL made from secondary quality oak and beech

PURBA Citra Yanto Ciki[1,3], VIGUIER Joffrey[2], RUELLE Julien[3], DENAUD Louis[2], FOURNIER Meriem[1]

[1] AgroParisTech, UMR 1092 LERFOB, 54000 Nancy
[2] Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, 71250 Cluny
[3] INRA, UMR 1092 LERFOB, 54280 Champenoux
citra-yanto-ciki.purba@inra.fr

Mots clefs: Oak, Beech, LVL, Lathe check, secondary wood quality

Introduction

Young thinning, top wood, and early harvest wood are secondary resource with high potential for high value application that has been insufficiently explored. Finding alternative use for this resource is important as it usually used for firewood or particle for wood-based panels. Laminated Veneer Lumber (LVL) is a wood-engineered product produced from rotary peeled veneer glued together with the grain orientated parallel to panel length usually used for structural application. Compared to solid wood, LVL has fewer defects as it is homogenised trough production process, stable in dimension, available in large dimension, and higher in stiffness and strength. Generally, LVL mechanical values increase with the number of veneers for thinner ones. Thinner veneer will distribute more the defects thus gives better strength. However, it demands much more glue for its production. Increasing veneer thickness would help to decrease glue consumption. It has been reported that increasing veneer thickness gives low weakening on LVL mechanical properties in Beech LVL (Darmawan et al. 2015). The objectives of this work are to *i*) study the relationship between wood and veneer properties and mechanical properties of LVL made from secondary quality hardwood in terms of modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR) and ii) find the more adapted veneer thickness that give optimum mechanical properties. Moreover, we also compare Sylvatest and Bing as non-destructive measurements methods with destructive testing.

Methods

12 bolts of Beech and Oak of 60 cm in length were prepared for rotary peeling. To minimize veneer lathe checks, all bolts were soaked in hot water at 60°C for 24 hours before peeling. Bolts were peeled into three veneer thickness (2.1 mm, 3 mm, 4.2 mm). After peeling, the veneer was clipped in 0.6 x 0.5 m sheets and dried using vacuum drying machine to reduce veneer moisture content to 18% and air dried to 10%. Quality of fresh veneer was assessed by measuring thickness variation and lathe checks depth as well as frequency using *Systeme de Mesure d'Ouverture des Fissures* (SMOF) device. For each treatment, we made 2 LVL boards with a thickness of 21 mm, width of 500 mm, and length of 600 mm. For LVL assembly, we used PVAc (Polyvinyl Acetate) with glue spread of 180 g/m^2 and 60 minutes pressing time under a pressure of 0.8 MPa. Following this, we prepared 18 specimens with dimension of (21x21x500) mm^3 from each LVL panel which results in total of 360 specimens. We measured MOE in two directions (flatwise and edgewise) using two non-destructive test called Bing and Sylvatest (Baar et al. 2012, Brancheriau and Bailleres 2002).

Results

Results are still in the process of analysis and will be presented in the poster. Second version of resume will be submitted to the organizing committee soon before the conference held.

Acknowledgement

The authors are grateful for the financial support of GDR Bois and Indonesia Endowment Fund.

References

Baar, J., Tippner, J., Gryc, V. (2012) The influence of wood density on longitudinal wave velocity determined by the ultrasound method in comparison to the resonance longitudinal method. Eur. J. Wood Wood Prod. 70, 767–769. doi:10.1007/s00107-011-0550-2

Brancheriau, L., Bailleres, H. (2002) Natural vibration analysis of clear wooden beams: a theoretical review. Wood Sci. Technol. 36, 347–365. doi:10.1007/s00226-002-0143-7

Darmawan, W., Nandika, D., Massijaya, Y., Kabe, A., Rahayu, I., Denaud, L., Ozarska, B. (2015) Lathe check characteristics of fast growing sengon veneers and their effect on LVL glue-bond and bending strength. J. Mater. Process. Technol. 215, 181–188. doi:10.1016/j.jmatprotec.2014.08.015

Détection, localisation et signature acoustique des différents mécanismes de fissuration dans le bois : suivi de la propagation du front du fissure

DIAKHATE Malick[1], MOUTOU PITTI Rostand[2,3], ANGELLIER Nicolas[4], BASTIDAS-ARTEAGA Emilio[5], HAMDI Seif Eddine[2],

[1]Univ. Bretagne Occidentale, CNRS FRE 3744, IRDL, F-29600 Morlaix France
[2]Université Clermont Auvergne, CNRS, Institut Pascal, F-63000 Clermont Ferrand, France
[3]CENAREST, IRT, BP 14070, Libreville, Gabon
[4]Université de Limoges, GEMH, EA 3178, F-19300 Egletons France
[5]UBL, Université de Nantes, GeM, CNRS UMR 6183/ FR 3473, F-44332 Nantes France
malick.diakhate@univ-brest.fr

Mots clefs : Bois, Classification non supervisée, Emission acoustique, Mécanique de la rupture, Propagation fissure

Contexte et objectifs

La réduction des gaz à effet de serre est une problématique de plus en plus préoccupante, et en particulier au sein de la communauté scientifique. Dans cet objectif, le développement des structures bois dans les constructions civiles demeure une solution prometteuse dans la mesure où elles fixent durablement les gaz à effet de serre (GES). Cependant, du fait du comportement anisotrope du bois, de la distribution aléatoire des nœuds, et sous les actions combinées des sollicitations mécaniques et environnementales, l'ingénierie des structures bois nécessite de mieux comprendre le comportement thermo-hygro-mécanique du matériau bois.

Afin de contribuer à la compréhension du comportement thermo-hygro-mécanique du bois, le projet JCJC 2013 CLIMBOIS a été financé par l'ANR afin d'étudier les effets des variations des sollicitations climatiques et mécaniques sur la durabilité des structures bois. La fissuration du matériau est une des causes principales de la ruine des structures. Une des thématiques de ce projet est de développer des méthodes à la fois de détection et de suivi de la propagation de fissure dans le bois. Ce travail a pour objectif principal de détecter et suivre la propagation du front de fissure dans le bois, et de confronter les observations aux simulations numériques.

Matériel et méthodes

Des essais de fissuration en mode d'ouverture ont été réalisés en laboratoire sur des éprouvettes DCB à inertie variable (Fig.1-a) de bois de Douglas, à température ambiante. L'instrumentation de l'éprouvette en capteurs piézoélectriques permet de suivre en temps réel l'activité acoustique dans le bois et d'identifier la signature acoustique associée à la propagation du front de fissuration. Une simulation par éléments finis de l'éprouvette DCB sollicitée en mode I est réalisée par ailleurs.

Résultats expérimentaux et numériques

Une classification non supervisée des sources acoustiques (Fig.1-b) a permis de proposer différents mécanismes de fissuration (Diakhate et al. 2017-a) ; le Cluster #2 correspond à la propagation de front de fissure. La Fig. 1-c montre, pour 3 éprouvettes en Douglas, l'évolution de la longueur de fissure en fonction du déplacement d'ouverture appliqué. Le sapin blanc a également été étudié (Diakhate et al. 2017-a). Le suivi par émission acoustique de la propagation du front de fissure a également permis d'évaluer l'évolution du taux de restitution d'énergie au cours de l'essai de fissuration en appliquant la méthode de la complaisance (Fig.1-d). Ces résultats expérimentaux (longueur de fissure, taux de restitution

d'énergie) ont été comparés à ceux issus de la simulation numérique. Une très bonne corrélation a été obtenue (Diakhate et al. 2017-b), ce qui valide la méthode de suivi par émission acoustique de la propagation du front de fissure.

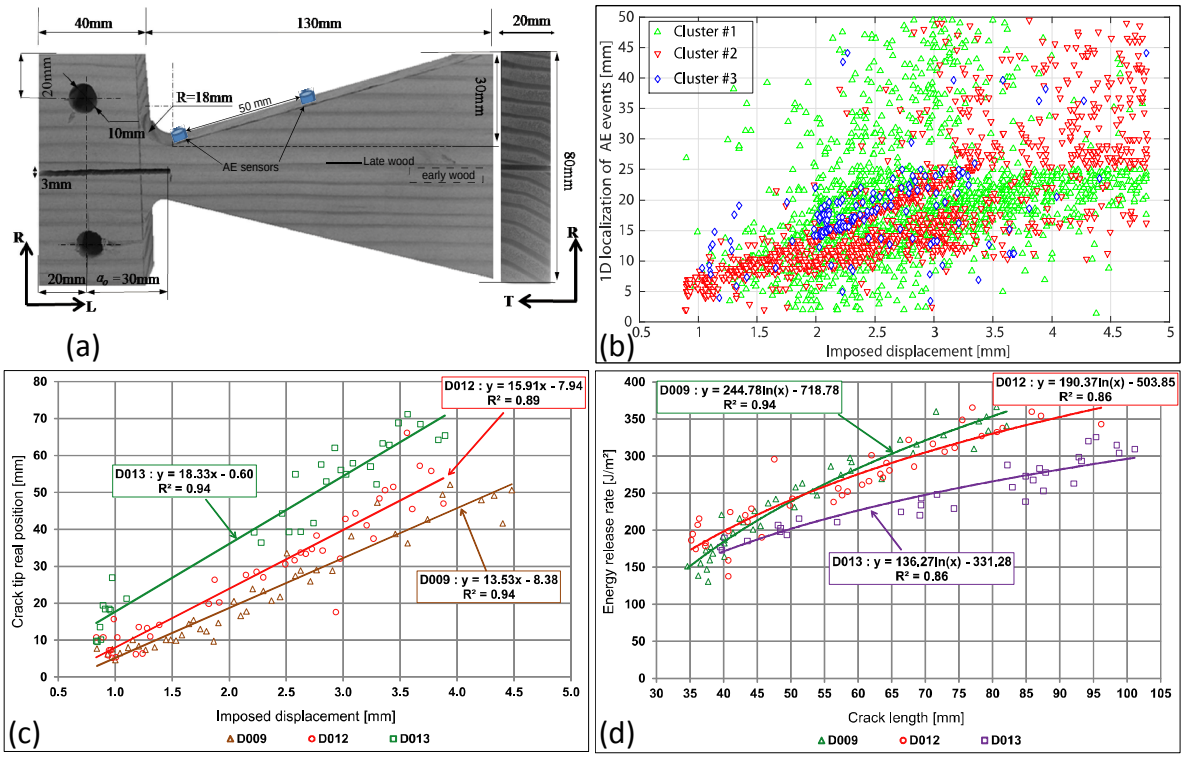


Fig. 1 : Essai de fissuration (Mode I) sur du bois : (a) Eprouvette DCB modifiée – (b) Classification de l'activité acoustique – (c) Suivi de la propagation du front de fissuration – (d) Taux de restitution d'énergie en fonction de la longueur de fissure

Remerciements

Les auteurs remercient vivement l'Agence Nationale de Recherche (ANR) pour avoir financé ce travail par le biais du projet CLIMBOIS N°ANR-13-JS09-0003-01 labellisé par le pôle ViaMeca.

Références

Diakhate M., Bastidas-Arteaga E., Moutou Pitti Rostand, Schoefs F. (2017) Cluster Analysis of Acoustic Emission Activity within Wood Material: Towards a Real-Time Monitoring of Crack Tip Propagation. Engineering Fracture Mechanics 180 (July): 254–67.

Diakhate M., Angellier N., Moutou Pitti R., Dubois F. (2017) On the crack tip propagation monitoring within wood material: cluster analysis of acoustic emission data compared with numerical modelling. Construction and Building Materials, http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.065.

Session B (22 novembre 2017)

N°	Laboratoire; Ville	Auteurs	Titre	Page
B1	LGPM ; Chatenay	Parlatore Lancha Julia, Colin Julien, Almeida Giana, Perré Patrick	Étude rhéologique des propriétés de la biomasse sous haute pression ? C'est possible !	71
B2	LGPM ; Chatenay	Roussey Claire, Pierre Floran, Teissier Du Cros Rémi, Casalinho Joel, Renouf Vincent, Perré Patrick	Etude en conditions réelles des transferts de liquide et d'oxygène à travers des fûts en chêne	73
B3	GEMH ; Egletons	El Kabir Soliman, Dubois Frédéric, Moutou Pitti Rostand, Recho Naman, Lapusta Yuri	Numerical implementation of the arbitrary crack front for three dimensional problems	75
B4	Pascal ; Clermont-Fd	Quistin Paul, Fournely Eric, Cador Luc, Romana Laurence, Lamadon Thierry, Gril Joseph	Bois Duramhen 972 - durabilité, aménagement, humidité, environnement	77
B5	Pascal ; Clermont-Fd	Hamdi Seif Eddine, Moutou Pitti Rostand, Diakhate Malick	Contrôle de santé des structures à base de bois : Application de l'émission acoustique et de la microtomographie à rayons X pour le suivi du front de fissure	79
B6	Pascal ; Clermont-Fd	Moutou Pitti Rostand, Hamdi Seif, Fournely Eric	Effet des variations hydriques sur la propagation de fissures dans le bois : validation numérique par une approche d'imagerie 3D	81
B7	Pascal ; Clermont-Fd	Odounga Bernard, Moutou Pitti Rostand, Toussaint Evelyne, Grédiac Michel	Sur la fissuration en mode mixte des matériaux tropicaux par mesure de champs: application à l'Okoumé	83
B8	Pascal ; Clermont-Fd	Pambou Nziengui Claude Feldman, Moutou Pitti Rostand, Fournely Eric, Gril Joseph	Influence des fissures sur l'évolution de la flèche des poutres entaillées soumises au fluage en climat variable	85
B9	Piaf ; Clermont-Fd	Roignant Jeanne, Badel Eric, Leblanc-Fournier Nathalie, Brunel-Michac Nicole, Ruelle Julien, Moulia Bruno, Decourteix Melanie	Transient tensile and compressive strains differentially modulate wood formation	87
B10	Piaf ; Clermont-Fd	Niez Benjamin, Badel Eric, Dlouha Jana, Moulia Bruno	Adjustments of mechanical and hydraulic properties of wood formed under environmental stresses	89
B12	Biowooeb ; Montpellier	Candelier Kévin, Tella Marie, Ouali Oussemah, Albaut Graziella, Thévenon Marie-France	Comparaison des performances analytiques entre MP-AES et ICP-AES sur diverses biomasses lignocellulosiques	91
B13	Biowooeb ; Montpellier	Gerard Jean, Langbour Patrick, Roda Jean-Marc	Analyse comparative et déterminants de l'évolution des prix du Teck de plantation et de forêt naturelle	93
B14	Biowooeb ; Montpellier	Guyot Alban, Kouakou Serge, Brancheriau Loic, Marchal Rémy	Analyse comparative de la qualité du bois de peupliers I214 agroforestiers et forestiers sur pied	95
B15	Biowooeb ; Montpellier	Langbour Patrick, Paradis Sébastien, Thibaut Bernard	La xylothèque du Cirad : 80 ans au service de la recherche, de l'expertise et de la formation.	97

B16	Biowooeb ; Montpellier	Azizan Amira, Guillon Emma, Langbour Patrick, Caraglio Yves, Paradis Sébastien, Bonnet Pierre, Heinz Christine, Brohard Yannick, Boutahar Nabila, Brancheriau Loic	ArchiWood : morphologie végétale, anatomie et architecture des espèces endémiques de bois à Madagascar	99
B17	LMGC ; Montpellier	Alkadri Ahmad, Jullien Delphine, Arnould Olivier, Langbour Patrick, Gril Joseph	Caractérisation et procédés de séchage de bois tropicaux pour la facture d'instruments à vent	101
B18	LMGC ; Montpellier	Capron Marie, Bardet Sandrine, Sujan K. C., Matsuo Miyuki, Yamamoto Hiroyuki	Modélisation visco-élastique des contraintes de maturation dans le bois en relation avec les mesures de recouvrance-hygro-thermique, en particulier du bois de tension	103
B19	LMGC ; Montpellier	Dupleix Anna, Jullien Delphine, Carlier Capucine	Contributions du matériau bois des ruches à l'activité et la santé des colonies d'abeilles domestiques	105

Étude rhéologique des propriétés de la biomasse sous haute pression ? C'est possible !

PARLATORE LANCHA Julia[1], COLIN Julien[1,2], ALMEIDA Giana[3], PERRÉ Patrick[1,2]

[1] LGPM, CentraleSupélec, Université de Paris-Saclay, SFR Condorcet FR CNRS 3417, Centre Européen de Biotechnologie et de Bioéconomie (CEBB), 51110 Pomacle, France
[2] LGPM, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay, 3 rue Joliot-Curie, 91190 Gif-sur-Yvette, France
[3] AgroParisTech, UMR 1145 Genial, 91300 Massy, France
julia.parlatore-lancha@centralesupelec.fr

Mots clefs : biomasse lignocellulosique, caractérisation physico-mécanique, dégradation thermique, explosion-vapeur, structure de la biomasse.

Introduction

La structure macromoléculaire récalcitrante de la biomasse lignocellulosique exige un prétraitement afin de rendre ses polymères suffisamment accessibles à l'hydrolyse enzymatique en vue de produire des molécules d'intérêt ou des biocarburants. Ce prétraitement peut consister en une cuisson acide, suivie ou non par une explosion à la vapeur (Asada et al. 2015). L'évolution des propriétés mécaniques de la biomasse au cours de la cuisson acide influençant l'efficacité de l'étape d'explosion vapeur, il est particulièrement important de les caractériser.

Contexte et objectif

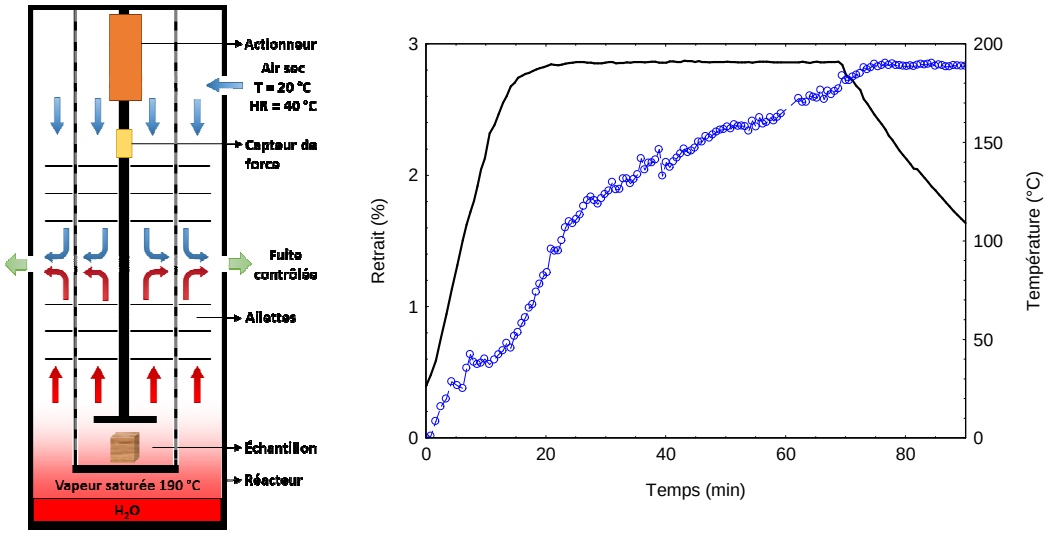
Dans l'industrie, la phase de cuisson acide est réalisée entre 160 à 270 °C (Haghighi Mood et al. 2013). Pour atteindre ce niveau de température à l'aide de vapeur saturée, les niveaux de pressions appliqués peuvent atteindre 55 bar. La mesure des propriétés rhéologiques sous pression soulève plusieurs problèmes techniques, c'est la raison pour laquelle les travaux sur les propriétés mécaniques de la biomasse au-dessus de 100 °C sont rares (Mokdad et al. 2016).

Placet (2006) avait déjà développé un dispositif permettant la caractérisation du comportement viscoélastique du bois jusqu'à 130 °C. Pour réaliser ces mesures dans des conditions plus proches de celles utilisées lors de l'explosion à la vapeur, un nouvel outil scientifique de suivi rhéologique a été mis au point au Laboratoire de Génie de Procédés et Matériaux (LGPM). Il permet d'effectuer des essais harmoniques en compression d'un échantillon jusqu'à 190 °C, ce qui implique une pression d'environ 12,5 bar.

Matériels et méthodes

Le dispositif est muni d'un vérin piloté par un actionneur (XPS Newport) et équipé d'un capteur de déplacement (LTA-HL, Newport, précision de ± 3 µm). La force appliquée à l'échantillon est indépendamment mesurée (capteur de force XFTC300, Measurements Specialities, force maximale 100 N, précision de 0,5 N). Les capteurs doivent être protégés des conditions sévères auxquelles les échantillons sont soumis. Ceci est possible grâce à l'utilisation d'un système breveté (Placet and Perré n.d.) de chambre d'essai bi-climatique (Fig. 1a). Il permet d'avoir dans une même enceinte deux environnements complètement différents. Dans la partie supérieure, une contre pression est appliquée (environ 1,5 bar au-dessus de la pression de vapeur saturante) avec de l'air sec et frais (20 °C / 40 % d'humidité relative). Le flux de vapeur issu de l'évaporation de l'eau liquide contenue dans la partie

inférieure du réacteur (où se réalisent les essais) rencontre l'air frais et sec et est évacué par une fuite à mi-hauteur, ce qui l'empêche d'atteindre les équipements électroniques (Fig. 1a).



(a) (b)

Fig. 1 : Répresentation schématique de la chambre bi-climatique (a). Exemple de résultat obtenu pour le retrait (bleu) d'un échantillon de peuplier au cours de la cuisson acide (b).

Résultats

Il est donc possible de faire un suivi précis et continu de mesures telles que la variation de la taille de l'échantillon (Fig. 1b), le module apparent, le fluage ou la relaxation viscoélastique dans les conditions sevères de la cuisson acide.

Remerciements

Les auteurs remercient le Grand Reims, le département de la Marne et la région Grand Est pour le financement de ces travaux.

Références

Asada, Chikako, Chizuru Sasaki, Takeshi Hirano, and Yoshitoshi Nakamura. (2015). "Chemical characteristics and enzymatic saccharification of lignocellulosic biomass treated using high-temperature saturated steam: comparison of softwood and hardwood." Bioresource Technology 182: 245–50.

Haghighi Mood, Sohrab et al. (2013). "Lignocellulosic biomass to bioethanol, a comprehensive review with a focus on pretreatment." Renewable and Sustainable Energy Reviews 27: 77–93.

Mokdad, Sid-Ali, Joel Casalinho, Giana Almeida, and Patrick Perré. (2016). "Assessment of biomass alterations during hydrothermal pretreatment by in-situ dynamic mechanical analysis." Biomass and Bioenergy. Soumis.

Placet, Vincent. (2006). LERMAB "Conception et exploitation d'un dispositif expérimental innovant pour la caractérisation du comportement viscoélastique et de la dégradation thermique du bois dans des conditions sévères." Université Henri Poincaré, Nancy-I.

Placet Vincent, and Patrick Perré. "Chambre d'essai bi-climatique. Ref: BFF 06P0432."

Etude en conditions réelles des transferts de liquide et d'oxygène à travers des fûts en chêne

ROUSSEY Claire[1], PIERRE Floran[1], TEISSIER DU CROS Rémi[2], CASALINHO Joel[1]
RENOUF Vincent[2], PERRE Patrick[1]

[1]LGPM, CentraleSupélec, Université Paris-Saclay, rue Joliot Curie, Gif-sur-Yvette, France
[2] Chêne & Cie, 33240 Saint André de Cubzac, France
claire.roussey@centralesupelec.fr

Mots clefs : barrique, bois de chêne, instrumentation scientifique, transferts diphasiques en milieux poreux, vin.

Contexte et objectif

Les fûts en chêne sont utilisés dans l'élaboration des grands vins et spiritueux depuis plusieurs siècles. Lors du processus de maturation, l'alcool reste un certain temps sous bois et des phénomènes physico-chimiques entre l'air environnant, le bois et le liquide vont se dérouler. Ceci apporte aux vins et spiritueux un ensemble d'éléments tanniques et aromatiques qui améliorent leurs qualités organoleptiques (Mosedale, 1995). Le liquide en contact avec le fût s'imprègne dans le bois et s'évapore. Ceci crée une dépression à l'intérieur et force l'air du milieu extérieur à pénétrer à travers le fût (Moutounet et al., 1998). L'oxygène se dissout ensuite dans le liquide. Cet apport dépend de la forme du fût, des propriétés mécaniques du bois, de son anatomie, ainsi que des conditions environnementales dans lequel se trouve le fût. Suivant la quantité apportée, cela peut être favorable ou non à la qualité du produit. Ces phénomènes couplés complexes ne sont pas encore complètement compris et une étude est actuellement en cours au laboratoire afin de les étudier en profondeur. L'imprégnation par différents liquides et le transfert d'oxygène sont notamment mesurés sur des douelles grâce à des dispositifs expérimentaux originaux.

Matériels et méthodes

Parallèlement à ce travail, un dispositif expérimental a été mis en place au Château Phélan-Ségur sur l'appellation Saint-Estèphe, afin de tester le passage de l'échelle « douelle » à l'échelle « barrique » en conditions réelles. Plusieurs paramètres sont mesurés sur quatre fûts neufs identiques entonnés avec un vin rouge millésime 2016 (Fig. 1). La perte de masse du fût, suite à l'évaporation du liquide est mesurée par un système de quatre pesons (Thames Side, LeverMount Lite) instrumentés sur un transpalette. Des capteurs de pression (GE, Unik 5000) fixés dans le haut et le bas du fût permettent d'obtenir la dépression et la hauteur du liquide de chaque fût, via la densité du vin. Cette densité est mesurée sur d'un des fûts en plaçant un troisième capteur de pression dans le liquide à 36 cm du capteur du bas. Les taux d'oxygène dans le ciel gazeux et dans le vin sont obtenus grâce à des capteurs (PreSens, PSt6) placés en haut et en bas du fût. Enfin, pour compléter le bilan de masse, le taux de dioxyde de carbone est mesuré dans le bas du tonneau (PreSens, SP-CD1). Les conditions environnementales du chai comme le taux d'humidité, la température (Sensirion, SHT75), et la pression atmosphérique (GE, Unik 5000) sont également enregistrées.

Résultats

Lors de l'expérimentation, aucune opération courante d'élevage n'a été réalisée sur les fûts. Trois mois après l'entonnage, la hauteur de liquide a diminué de quatre centimètres, et la masse de chaque fût a diminué en moyenne de 14 g par jour. L'un des principaux résultats

semble indiquer que la dépression créée à l'intérieur du fût est fortement liée à l'humidité relative du chai (Fig 2). Plus le taux d'humidité augmente, plus la pression relative dans le fût diminue. Ceci est lié au gonflement du bois suite à l'augmentation de l'humidité relative qui augmente la pression mécanique aux inter-douelles : ceci a pour effet d'augmenter la pression de percolation aux inter-douelles. Sur cette première campagne d'essais, la dépression dans le ciel gazeux varie entre -10 et -40 mbar.

Fig 1 : Dispositif expérimental (Photo Rémi Teissier du Cros – Chêne & Cie)

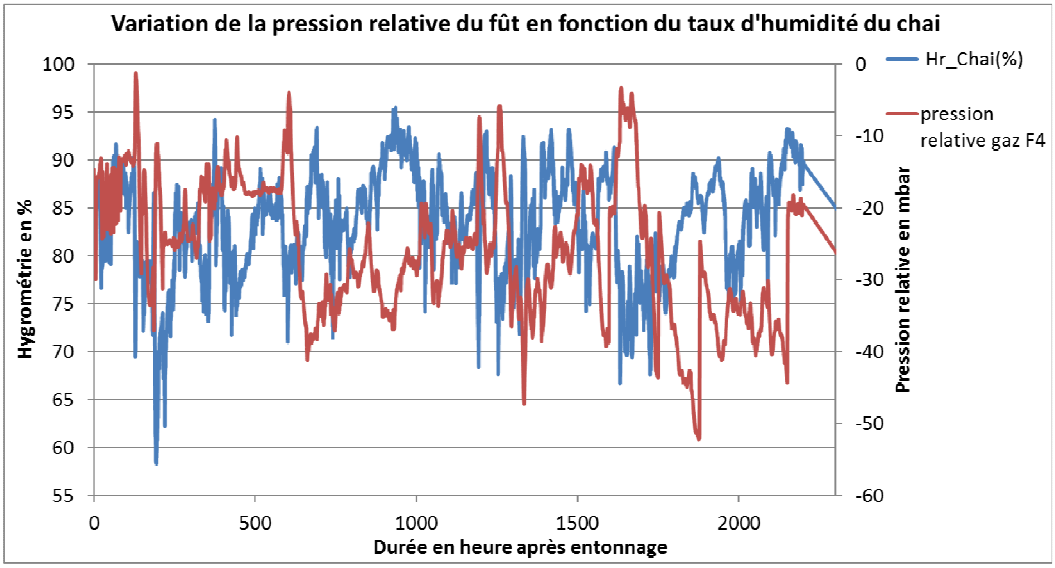


Fig 2 : Humidité relative du chai et pression relative du fût n°4.

Références

Mosedale J.R. (1995) Effects of oak wood on the maturation of alcoholic beverages with particular reference to whisky. Forestry, 68(3), 203–230.

Moutounet M., Mazauric J., Saint-Pierre B., Hanocq J. (1998) Les échanges atmosphère/vin aux travers de la barrique. Vigne et Vin Publications Internationales.

Numerical implementation of the arbitrary crack front for 3D problems

EL KABIR Soliman[1], DUBOIS Frederic[1], MOUTOU PITTI Rostand[2,3], LAPUSTA Yuri[4], RECHO Naman[2,4]

[1]Université de Limoges, Centre du génie Civil, GEMH, 19300 Egletons, France
[2] Université Clermont Auvergne, CNRS, Institut Pascal, F-63000 Clermont-Ferrand, France
[3] CNAREST, IRT, BP 147070, Libreville, Gabon
[4] SIGMA, Institut Pascal, 63171 Aubière, France
soliman.el-kabir@unilim.fr

Keywords: DCB specimen, Energy release rate, Finite element, Fracture, Invariant integral, Numerical computation, Three dimensional problem, Wood

Context and objective

One of the main causes of cracking problem is related to water and thermal effects. The wood structures are particularly concerned. The complex mechanical loading and high climatic variations on wood structures implies having a better understanding of their fracture mechanical behavior (Angellier et al. 2017). However, the water and thermal effects take place essentially inside the structure and is therefore generally not visible from the outside. Crack patterns are often assumed two-dimensional, while a 3D description would be more realistic.

The objective of this work is to develop a more realistic, 3D fracture mechanics approach. The numerical computation of an integral quantity needed to describe the propagation of a crack will be compared to an analytical formulation. We will give specifications of the method used for this formulation and explain the results of some numerical application for elliptical crack front in three-dimensional problem.

Numerical formulation

The Double Cantilever Beam Variable Inertia (DCBVI) specimens used for the numerical validation have the geometry (shown in Fig. 1). Referring to the θ field method, the G_{θ}^{3D} integral (El Kabir et al. 2017) is developed as:

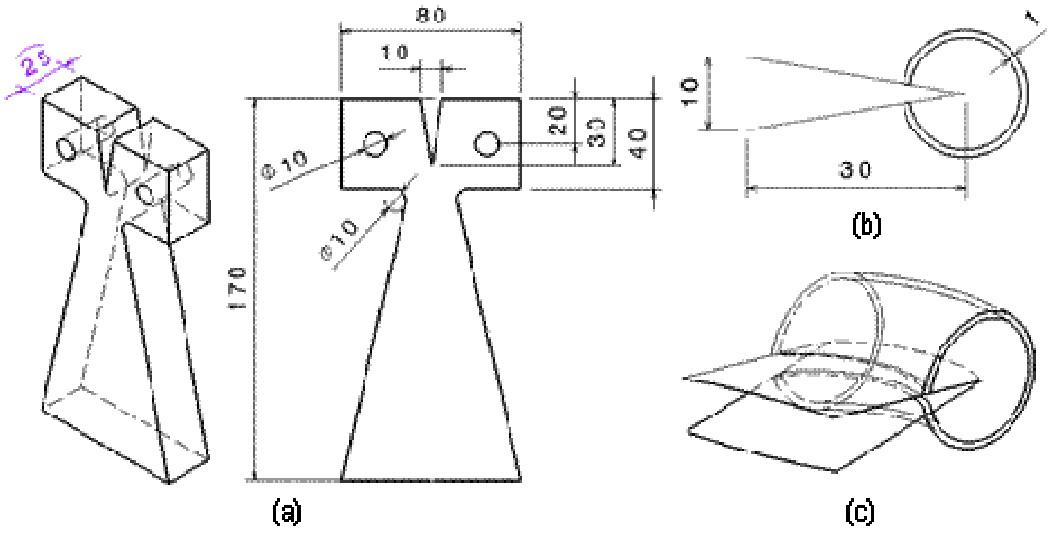


Fig. 1 : DCBVI specimen (a), two-dimensional crack tip (b) and 3D elliptical crack front (c)

$$G_\theta^{3D} = \int_V \left(\left(\sigma_{ij}.u_{i,k} \right).\theta_{k,j} - W.\theta_{k,k} \right).dV \quad (1)$$

For analytical formulation in 3D crack problem we use a closed volume integration domain. The main advance of this form is the presence of an arbitrary crack front line enclosed by a 3D volume.

The finite elements implementation is based on a DCBVI submitted to opening mode fracture. Design and mesh was executed with CATIA and GMSH, respectively. The computation was carried out with CASTEM. The external load is 700N applied on the specimen hole in opening mode by assuming no-friction. The crack front line is surrounded by an elliptical mesh in which the integral domain is defined (Fig. 2).

Results

The results highlighted the potential of the J^{3D} to determine the energy release rate distribution for complex crack front-line geometry. The definition of the average energy release rate distribution versus specimen thickness is presented and compared with J^{2D} and Amestoy's integral *JA* (Fig. 3).

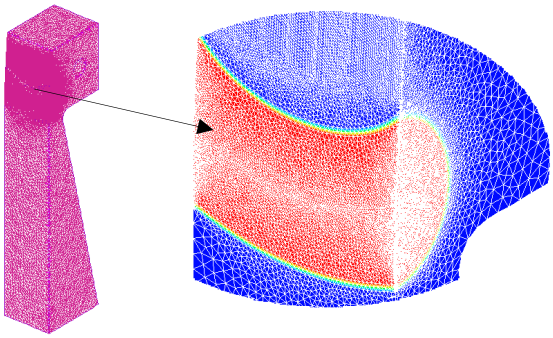


Fig. 2 : Typical mesh around elliptical crack front with theta field method

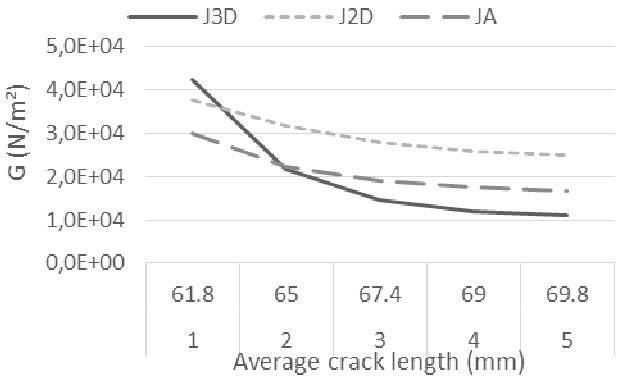


Fig. 3 : Energy release rate output by J^{3D}, J^{2D} and Amestoy's integral *JA* (N/m²)

This work presents a new method that allows the numerical validation of the G_θ^{3D}-integral in static case for an arbitrary (elliptical) crack front in 3D problems. This method allows to study complex geometrical problems.

Although this paper demonstrates the feasibility of a finite-element implementation, it has to be completed, in terms of perspectives, with a physical interpretation allowing the coupling between the energy release rate distribution with the definition of the stress singularity along the crack front line in opening and shear modes (i.e Mode I and Mode II) completed with the mode III characterized by an anti-plane torsion.

References

Angellier N., Dubois F., Moutou Pitti R., Diakhaté M., Loko R.S.A. (2017) Influence of hygrothermal effects in the fracture process in wood under creep loading, Engineering Fracture Mechanics, 177, 153–166.

El Kabir S., Moutou Pitti R., Dubois F., Recho N., Lapusta Y. (2017) Three-dimensional contour integral generalizations: analytical formulation, International Conference of Fracture ICF14.

Bois Duramhen 972- durabilité, aménagement, humidité, environnement

QUISTIN Paul[1], FOURNELY Eric [2], CADOR Luc[3], ROMANA Laurence[4], LAMADON Thierry[5], GRIL Joseph[2]

[1]Groupe ANCO, ANCO Guadeloupe route de la Jaille, 97122 Baie Mahault
[2]Institut Pascal, Univ. Clermont Auvergne, CNRS, BP 10448, F-63000 Clermont Ferrand,
[3] S3CB, galerie de Houelbourg, 97122 Baie Mahault, France
[4] Université des Antilles, Fouillole, Pointe-à-Pitre 97157, Guadeloupe
[5] Bureau Veritas Construction
eric.fournely@univ-bpclermont.fr

Mots clefs : bois en œuvre, classe de service, climat, Eurocode 5, Martinique, taux d'humidité

Contexte

La définition des classes de service des bois dans le formalisme de l'Eurocode 5 se base sur leur taux d'humidité. Les cartes le reliant à l'humidité relative de l'air et d'une manière plus générale aux conditions climatiques sont disponibles pour la métropole. Il n'en est pas de même pour les DOM (Quistin 2016). Le projet Bois Duramhen 972, réalisé dans le cadre d'un appel à projet PACTE AP11, propose un cadre méthodologique permettant de construire ces graphes d'humidité sur la base des courbes hygroscopiques du bois., tout en mesurant in situ le taux d'humidité sur la structure en œuvre. In fine, cette campagne de mesures et d'analyse des données Météo France (MF), orientée vers les résineux et les feuillus tropicaux permettra un classement du territoire martiniquais en classe de service selon l'Eurocode 5.

Matériel et méthodes

La campagne expérimentale est menée sur l'ensemble de la Martinique par le choix de sites répartis dans les 8 zones MF (ZMF). À l'échelle de la ZMF, trois paramètres variables d'un site à l'autre ressortent principalement : altitude, environnement et âge de la construction. A l'échelle du site, les éléments sont caractérisés par des paramètres comme la massivité, le type de revêtement, l'essence, l'emplacement, l'orientation. Enfin pour un élément, orientation et exposition des faces sont distinguées.

Le taux d'humidité et les paramètres de l'air sur site sont mesurés en extérieur sous abri pour une adéquation avec les données conventionnelles fournies par Météo France. L'humidité retenue pour l'élément est la plus défavorable des deux faces. Température (T) et humidité relative de l'air (HR) sont comparées aux moyennes journalières et mensuelles fournies par MF. La méthodologie générale suivie est décrite en Fig. 1. Les données (HR, T / moyenne, minimale, maximale) fournies par Météo France permettent la détermination du taux d'humidité sur une zone géographique à partir des courbes d'équilibre de l'air humide - étape 1 (Fig 1). Le taux d'humidité obtenu est ensuite comparé aux deux paliers utilisés dans la définition des classes de service de l'Eurocode 5 (12% et 20%).

Premiers résultats

Les périodes durant lesquelles les valeurs sont supérieures à 20% sur une période consécutive de 2 à 3 mois sont identifiées et les écarts relevés. Pour les stations MF concernées un classement par régime est obtenu : stationnaire (variation de 0% à 4%), perturbé (de 5% à 7%, et de 8% à 10%), classe de service 3 (taux d'humidité >20% pendant plus de 2 mois consécutifs) et 2 (taux d'humidité <20%). Les premiers résultats concernant deux zones (Tab. 1) montrent un régime stationnaire sur deux ans ou plus.

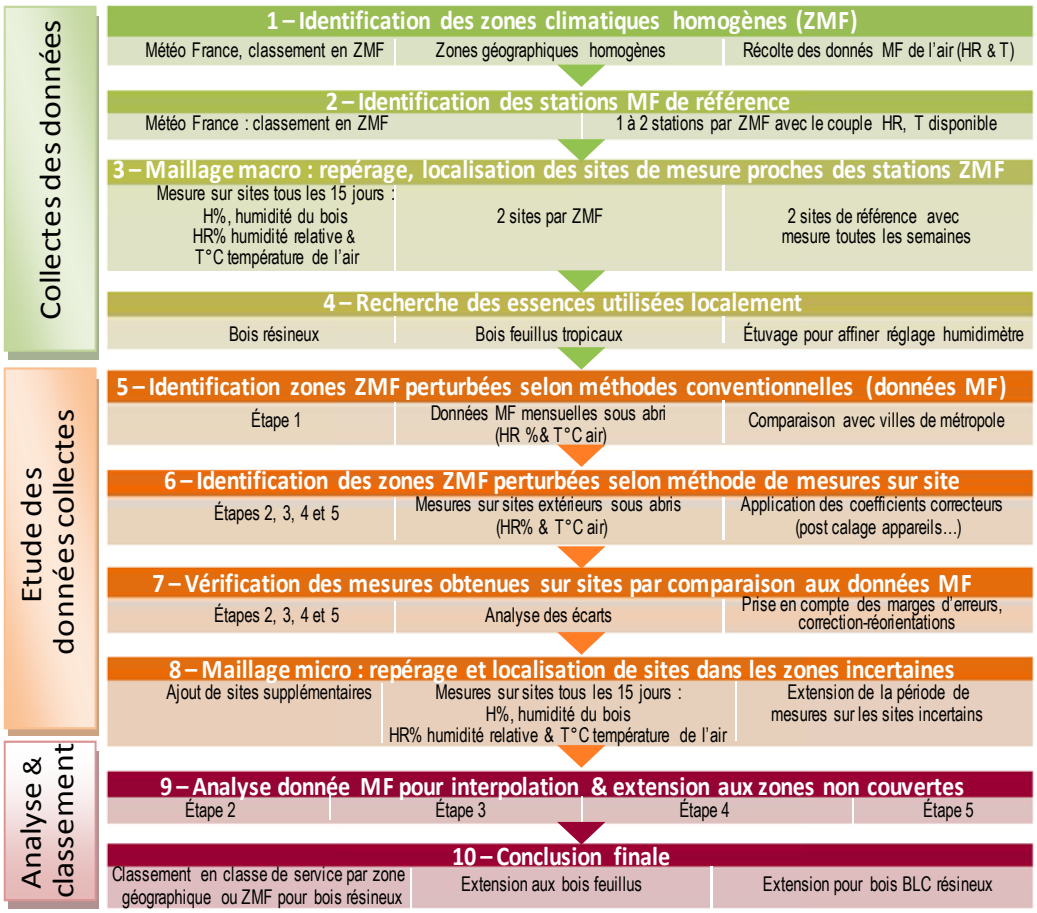


Fig. 1 : Méthodologie générale.

Tableau 1 : Analyse du régime

zone et station MF	Taux d'humidité des bois en extérieur sous abri annuelle (*Données 2016, 2017*)								
	moy	min	max	écart	mois à H>20%	Régime	Δh<4%	5<Δh<7%	8<Δh<10%
ZMP3-97224004 (2016-2017)	17,0	15,5	18,9	3,4	0,0	stationnaire			
ZMP3-97213004 (2016-2017)	15,2	14,3	17,0	2,7	0,0	stationnaire			
ZMP3-97213004 (longue durée)	16,5	15,2	18,2	3,0	0,0	stationnaire			

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier Météo France pour la mise à disposition des données et le PACTE pour son soutien financier par le biais du projet N° PACTE AP11-17-090.

Références

Lamadon T. (2017) Note technique de recadrage Méthodologie-Th Lamadon-8 pages

Quistin P. et al (2017) Bois Duramhen 972-Rapport Technique Cadre méthodologique n°1-30 aout 2017, 42 pages

Quistin P. (2016) Présentation Bois Duramhen 971 –GDR 3544 « Sciences du bois » - Bordeaux, 8-10 novembre 2016, 2 pages

Contrôle de santé des structures à base de bois : Application de l'émission acoustique et de la microtomographie à rayons X pour le suivi du front de fissure

HAMDI Seif Eddine[1], MOUTOU PITTI Rostand[1,2], DIAKHATE Malick[3]

[1]Université Clermont Auvergne, Université Blaise Pascal, Institut Pascal, BP 10448, F-63000 Clermont Ferrand, France
[2]CENAREST, IRT, BP 14070, Libreville, Gabon
[3]Univ. Bretagne Occidentale - –CNRS FRE 3744, IRDL, France
seifeddine.hamdi.pro@gmail.com

Mots clefs : Analyse du signal et de l'image, Bois, Emission acoustique, Microtomographie à rayons X, Fissuration

Résumé

Les structures à base de bois sont très sensibles aux effets des charges climatiques telles que la température et les variations hydriques, pendant leur durée de vie. Par conséquent, la modification des propriétés mécaniques due à ces impacts conduit à compromettre la durabilité des structures en bois. Le présent document consiste à étudier l'avancée des fissures dans une espèce de bois tropicale : Padouk (*Pterocarpus soyauxii*). Ce travail propose une approche combinée des techniques d'émission acoustique (EA) et de la microtomographie à rayons X (MCT) pour le contrôle de l'état de santé des bois structuraux. La technique d'EA est adoptée dans le cadre d'une analyse paramétrique et temps-fréquence, afin de développer des critères pertinents d'évaluation des endommagements. LaMCT est utilisée pour la quantification et le suivi interne de l'ouverture et l'orientation des fissures à différentes épaisseurs de lamelles pour capturer les effets de la densité volumique du bois sur la propagation des endommagements.

Introduction

Diverses techniques de traitement du signal et de reconnaissance des formes ont été réalisées pour l'extraction des caractéristiques des endommagements à partir des signaux d'EA (Albarbar et al. 2010). À titre d'exemple, la Transformée Hilbert-Huang (THH) (Huang 2005), a récemment été appliquée avec succès pour l'analyse des caractéristiques de ces signaux non stationnaires. Une technique d'imagerie 3D très prometteuse, souvent utilisée comme technique non destructive, est la microtomographie à rayons X (MCT) (Hamdi et al. 2015). Les coupes transversales consécutives reconstruites fournissent une visualisation 3D à haute résolution du volume étudié, permettant ainsi des mesures morphologiques des paramètres de la microstructure telle que la porosité, la surface effective ou le diamètre de la fibre dans un matériau hétérogène (Hamdi et al. 2015).

Dans cet article, la THH est utilisée pour l'extraction des descripteurs de mécanismes d'endommagement à partir des signaux d'EA dans le bois. Une analyse du potentiel de la combinaison de la MCT (3D) et de la technique d'EA pour la caractérisation et le suivi des mécanismes d'endommagement est proposée.

Résultats préliminaires

Le dispositif expérimental est constitué d'un spécimen en bois avec un système d'acier Arcan. La méthode THH est appliquée à l'analyse d'une forme d'onde de signal de rupture de fibre

(Fig1.gauche). Le spectre de Hilbert lissé (voir la Fig.1.droite) montre la représentation temps-fréquence du signal acoustique. La couleur de cette figure correspond à l'amplitude instantanée de chaque composante du signal. A partir de la Fig. 1. droite, l'analyse par THH permet de repérer les fréquences qui modifient l'évolution du signal. Les résultats de l'évolution de l'ouverture de fissure par la méthode MCT sont représentés sur la Fig. 2 gauche, et 2 droite. Les petites particules et les fibres de bois très courtes n'occupent pas un volume important ; Ainsi, la densité surfacique des pores, les distributions d'ouverture et l'orientation de fissures calculées à l'aide de la MCT conviennent à la détection de micro-endommagements. En outre, la MCT présente une légère surestimation des grandes hétérogénéités en fonction de la distribution des pores en volume et des distributions d'ouverture des fissures.

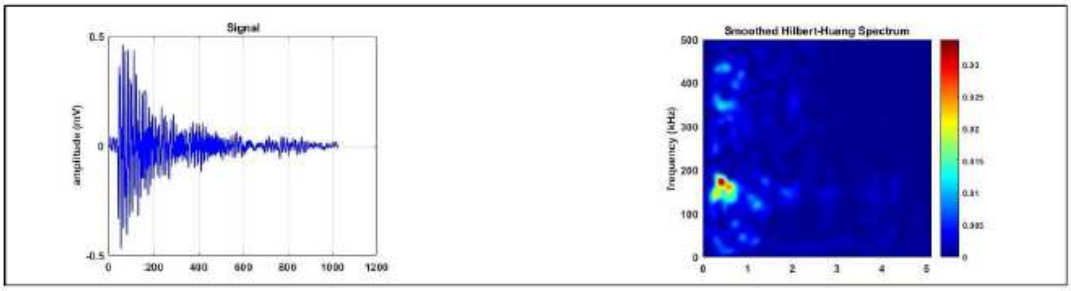


Fig. 1 : Forme d'onde du signal de rupture de fibre (gauche); Analyse du signal d'EA en utilisant la décomposition THH (droite).

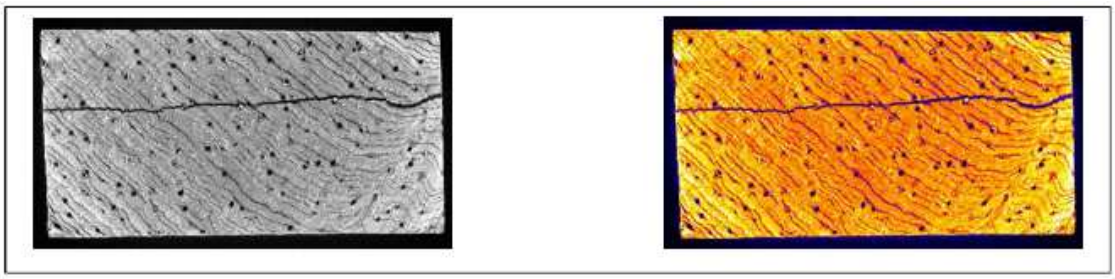


Fig. 2 : Image 2D en niveaux de gris de la croissance interne de la fissure (gauche); Extraction des paramètres morphologiques des fissures par analyse d'image (droite).

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier l'Agence Nationale de Recherche (ANR) pour son soutien financier à ce travail par le biais du projet CLIMBOIS N ° ANR-13-JS09-0003-01.

Références

Albarbar A, Gu F, Ball AD, Starr A. (2010) Acoustic monitoring of engine fuel injection based on adaptive filtering techniques. Appl Acoust, 71:1132–41.

Huang NE. (2005) Introduction to the Hilbert–Huang transform and its related mathematical problems. Hilbert–Huang transform and its applications, 45-59.

Hamdi S.E., Delisée C., Malvestio J., Da Silva N., Le Duc A., Beaugrand J. (2015) X-ray computed microtomography and 2D image analysis for morphological characterization of short lignocellulosic fibers raw materials: A benchmark survey », Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 76:1-9.

Effet des variations hydriques sur la propagation de fissures dans le bois : validation numérique par une approche d'imagerie 3D

MOUTOU PITTI Rostand[1,2], HAMDI Seif Eddine[1], FOURNELY Eric[1]

[1] Université Clermont Auvergne, CNRS, Institut Pascal, F-63000 Clermont Ferrand, France
[2] CENAREST, IRT, BP 14070, Libreville, Gabon
rostand.moutou_pitti@uca.fr

Mots clefs : Bois, mode mixte, Humidité, Eléments finis, Microtomographie à rayons X

Contexte et objectif

Le comportement viscoélastique du bois diffère lors des phases de séchage et d'humidification. En présence de variations climatiques, de charges à long terme et surtout après l'initiation de fissures, le comportement mécanique des structures en bois est fortement modifié. La mise en œuvre et la durée de vie en service de ces bois, de ces structures, en est alors perturbée. Dans le cadre d'une analyse numérique combinée à une validation expérimentale par imagerie 3D, l'apparition et la propagation des fissures dans des échantillons unidirectionnels de bois, sous l'effet de changements climatiques, sont étudiées.

Matériel et méthodes

Le dispositif expérimental est constitué d'une éprouvette de *Pterocarpus soyauxii* (Padouk), muni d'un système d'acier Arcan (Moutou Pitti et al. 2010). L'ensemble du dispositif Arcan et de l'éprouvette bois, ou MMCG (Mixed-Mode Crack Growth), sous chargement hydrique, est simulé par un modèle éléments finis (Fig. 1).

La formulation analytique du taux de restitution d'énergie est introduite par l'intégrale A, L'efficacité du modèle proposé est validée en comparant l'évolution du taux de libération d'énergie par rapport à la longueur de fissure et à l'humidité pour diverses configurations aux résultats de mesures d'ouverture et d'orientation de fissures par de la microtomographie à rayons X (MCT).

Résultats et discussions

L'effet de la variation d'humidité sur le taux de restitution d'énergie en modes mixtes est représenté sur la Fig. 2. Les résultats préliminaires donnent des informations sur l'influence de la teneur en humidité sur la résistance à la rupture de cette espèce de bois tropical en environnement variable. Simultanément, pour suivre le processus tridimensionnel de croissance des fissures dans l'échantillon de Padouk, la méthode de microtomographie à rayons X (MCT) est appliquée (Hamdi et al. 2015). Le calcul expérimental des taux de restitution d'énergie pour différentes longueurs de fissure (a), sur les faces extérieures et perpendiculaires à la direction de propagation de la fissure, permet la validation des résultats obtenus par modélisation numérique. Ainsi, les Figs 3 et 4 montrent respectivement la visualisation en volume 3D et surfacique de l'échantillon de Padouk sous une variation d'humidité. Les résultats trahissent l'effet de la teneur en humidité sur la densité et les hétérogénéités de la variabilité spatiale de l'essence. De toute évidence, pour les formes régulières de fibres de bois, la méthode MCT fournit une description fiable de la morphologie du bois.

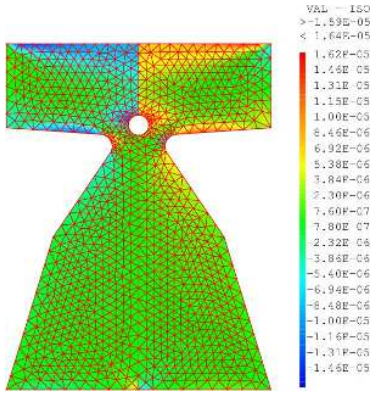


Fig. 1 : Maillage numérique de l'échantillon MMCG de bois Padouk sous chargement hydrique

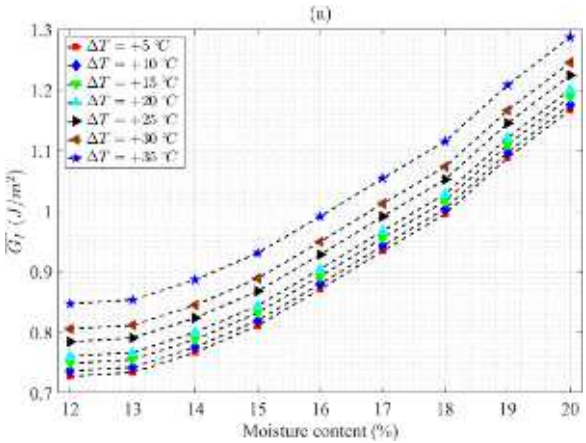


Fig. 2 : Evolution du taux de restitution d'énergie G_I vs. teneur en humidité pour différentes variations de température

En outre, il semble nécessaire d'utiliser une stratégie d'analyse adaptative et complémentaire pour tirer parti des atouts de la MCT pour étudier les paramètres de fissuration.

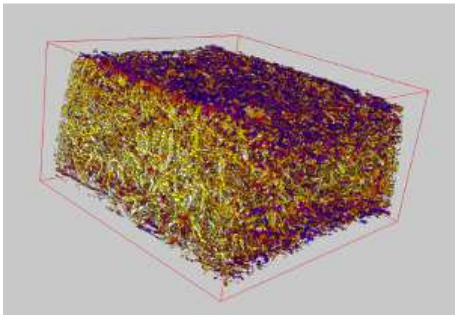


Fig. 3 : Visualisation du volume 3D de l'échantillon de Padouk sous variation hydrique.

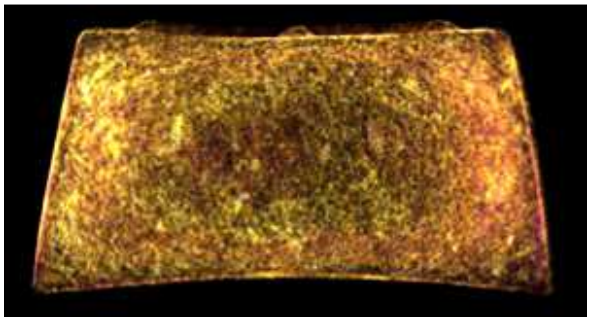


Fig. 4 : Visualisation en coupe transversale 2D de l'effet d'humidité sur la croissance interne des fissures.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier l'Agence Nationale de Recherche (ANR) pour son soutien financier à ce travail par le biais du projet CLIMBOIS N ° ANR-13-JS09-0003-01.

Références

Hamdi S.E., Delisée C., Malvestio J., Da Silva N., Le Duc A., Beaugrand J. (2015) X-ray computed microtomography and 2D image analysis for morphological characterization of short lignocellulosic fibers raw materials: A benchmark survey », Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 76:1-9.

Moutou Pitti R, Dubois F, Petit C. (2010) Generalization of T and A integrals to time-dependent materials: analytical formulations. International Journal of Fracture, 161, 187-198.

Sur la fissuration en mode mixte des bois tropicaux par mesure de champs: application à l'Okoumé

ODOUNGA Bernard[1,2], MOUTOU PITTI Rostand[1,3], TOUSSAINT Evelyne[1], GREDIAC Michel[1]

[1] Université Clermont Auvergne, CNRS, Institut pascal, F-63000 Clermont-Ferrand, France
[2] Université des Sciences et Techniques de Masuku, BP 901 Franceville, Gabon
[3] CENAREST, BP. 2246, Libreville, Gabon
Bernard.Odounga@etudiant.univ-bcplermont.fr

Mots clefs : Eprouvette MMCG, Essence tropicale, Grille, Mode mixte, Rupture.

Contexte et objectif

Le Gabon, pays d'Afrique équatoriale dont 85% du territoire est recouvert de forêt, contribue largement à la régulation du climat de notre planète. Cette forêt regorge d'innombrables espèces soumis aux charges climatiques extrêmes, notamment la forte pluviométrie et une humidité relative de plus de 80%. C'est dans le but de connaître le comportement de différentes essences et orienter les populations locales dans leurs choix de matériaux de construction autres que le béton et l'acier que l'étude de la fissuration est menée.

Matériel et méthodes

Le dispositif expérimental comporte une éprouvette, une presse de traction et une caméra. Le bois étudié est l'Okoumé (*Aucoumea klaineana* Pierre) avec une densité de 0,44 et une teneur en eau de 9,12%. Les essais ont lieu à température 21°C±1°C et humidité relative 42%±2%. Sept éprouvettes *Mixed Mode Crack Growth* (MMCG, Moutou et al. 2008) de dimension *Lxlxe* = 105x70x15mm^3 ont été testées en mode mixte avec un taux de mixité de 30°. La fissure initiale de longueur a_i = 28mm est orientée dans le sens des fibres. Les trous de fixation, les congés de raccordement et la partie supérieure de l'éprouvette sont renforcés par des plaques d'aluminium afin d'éviter qu'elles ne cassent à ce niveau. Sur une des faces de l'éprouvette une grille de pas régulier de 200µm est transférée. Une caméra PCO-2000 installée devant l'éprouvette enregistre les images ensuite traitées par la méthode de la grille (Grédiac et al. 2016) afin de mesurer l'ouverture et la longueur de fissure durant l'essai. La Fig. 1 présente une grille transférée sur une éprouvette MMCG et la Fig. 2 l'éprouvette montée dans le système de fixation Arcan. Le taux de restitution d'énergie est donné par la méthode de la complaisance à déplacement imposé suivant la relation :

$$G_c = \frac{F_c^2}{2 \cdot b} \cdot \left(\frac{\Delta C}{\Delta a}\right)_a$$

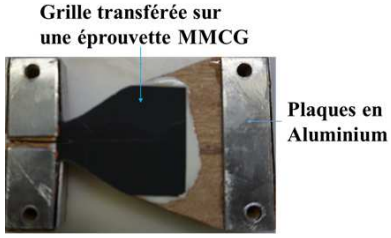


Fig. 1 : éprouvette MMCG typique sur laquelle est transférée une grille et sont collées des renforts d'aluminium

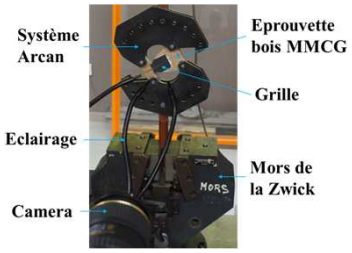


Fig. 2 : montage expérimental.

Résultats

Les Fig. 3 et 4 présentent l'évolution des taux de restitution d'énergie critique G en fonction de la longueur de fissure *a*.

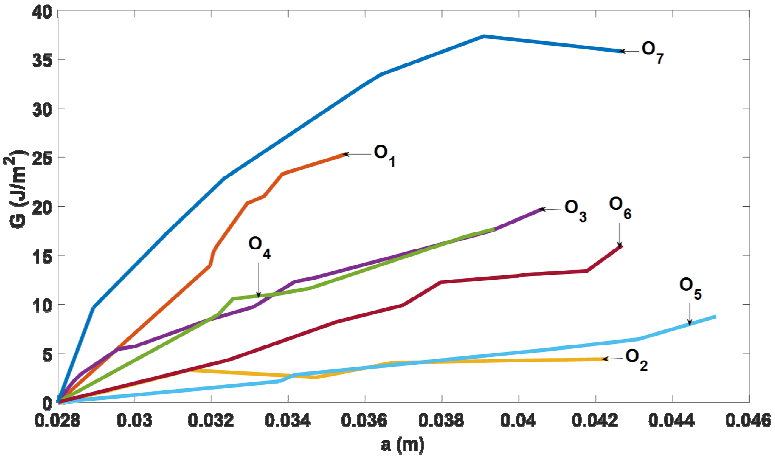


Fig. 3 : Taux de restitution d'énergie : G_1

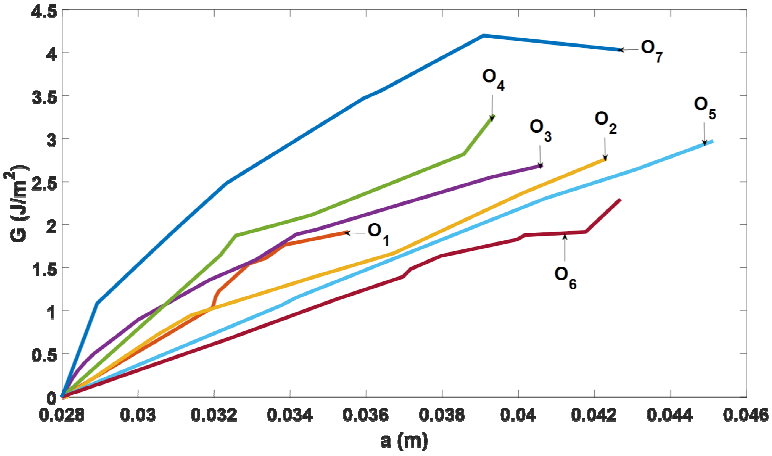


Fig. 4 : Taux de restitution d'énergie : G_2

Les valeurs moyennes minimales du taux de restitution d'énergie critique (G_{imin}) sont comparées. Les essais ont donné G_{1min} = 7,75 J/m^2 et G_{2min} = 0,82 J/m^2. Pour les valeurs moyennes maximales du taux de restitution d'énergie critique (à la rupture: G_{imax}), on trouve G_{1max} = 18,19 J/m^2 et G_{2max} = 2,85 J/m^2. Ces résultats montrent, après découplage des modes, que la part de G_1 est bien supérieure à celle de G_2, avec un rapport G_1/G_2 égal à 7 pour les valeurs minimales et 6,4 pour les valeurs maximales.

Dans les travaux à venir, une étude numérique sera conduite pour simuler les paramètres de fissuration de cette essence tropicale.

Références

Grédiac M, Sur F., Blaysat B. (2016). The grid method for in-plane displacement and strain measurement: a review and analysis. Strain, 52(3), 205-243.

Moutou Pitti R., Dubois F., Pop O. (2008). Sur une éprouvette assurant la stabilité de la propagation de fissure en mode mixte dans le matériau bois. Comptes Rendus Mécanique, 336(9), 744-749.

Influence des fissures sur l'évolution de la flèche des poutres entaillées soumises au fluage en climat variable

PAMBOU NZIENGUI Claude Feldman[1, 2], MOUTOU PITTI Rostand[1, 3], FOURNELY Eric[1], GRIL Joseph[1]

[1]Université Clermont Auvergne (UBP-IP), Clermont-Ferrand, France.
[2]Ecole Nationale des Eaux et Forêts (ENEF), Libreville, Gabon.
[3]CENAREST, IRT, Libreville, Gabon.
claude_feldman.pambou_nziengui@étudiant.univ-bpclermont.fr

Mots clefs : Fissuration du bois, Douglas, sapin Blanc, fluage

Contexte et objectifs

L'utilisation du bois dans le milieu de la construction exige la maîtrise de plusieurs mécanismes physiques et mécaniques qui peuvent être à court terme ou à long terme des facteurs limitant la résistance intrinsèque du bois. En particulier, le comportement hygroscopique du bois soumis à une ambiance climatique variable est caractérisé par le processus d'humidification et de séchage. Ce comportement entraine parfois la création et le départ des fissures qui, suite à leur propagation, peuvent provoquer la rupture du bois et ainsi réduire sa durée de vie en structure. L'objectif de cette étude, est de proposer, sur la base d'essais de fluage en climat variable réalisés sur poutres en dimensions d'emploi, un modèle expérimental mettant en exergue l'impact de la création et de la propagation des fissures sur l'évolution de la déformation d'une poutre entaillée. L'étude présente, des résultats expérimentaux obtenus sur *Pseudotsuga menziesii* (D) et *Abies alba* Mil (S).

Matériel et méthodes

Le dispositif expérimental est composé : des poutres de *Pseudotsuga* et de *Abies* préalablement dimensionnées (figure 1a) pour les essais de fluage extérieur ; des blocs de béton servant de charge constante, supportées par les poutres en essais (Figure 1b) ; de capteurs LVDT permettant de suivre l'évolution de la flèche centrale; de traits gradués d'incréments 1cm, placés sur les deux faces de la poutre, suivant les coins d'entaille, afin de suivre l'avancement des fissures (Figure 1a). Le tableau 1 montre les valeurs des charges respectives des blocs de béton appliquées sur les différentes poutres testées.

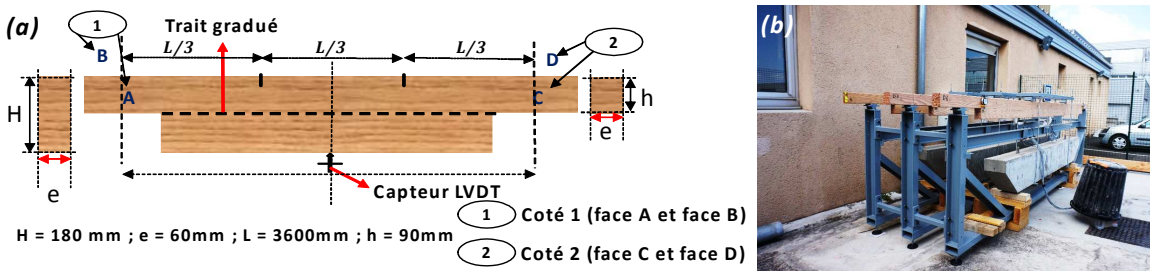


Fig. 1 : Poutres de *Pseudotsuga* entaillées en fluage en condition externe.

Tableau 1 : poids des blocs de béton appliqués sur les poutres

Espèces	Poutres	Poids des blocs de beton (kN)	Moy ± Ecart-type (kN)
D	D9	4.150	
S	S5	4.137	3.482±0.327
	S9	3.290	
	S1	3.262	

Résultats

Les figures 2a, 2b, 2c et 2d montrent respectivement les évolutions des déflexions (FS1, FS5,FS9 et FD9) des poutres S1, S5, S9 et D9 en relation avec celle de la propagation des fissures apparues aux droits des entailles durant les essais de fluage. Les ellipses en rose, montrent le lien prononcé entre l'augmentation de la longueur de la fissure et l'évolution de la flèche. L'information qui ressort de l'observation de ces différentes figures est que l'amorçage de la fissure crée une perturbation sur la propagation de la flèche créant ainsi une nette amplification du risque de rupture du matériau.

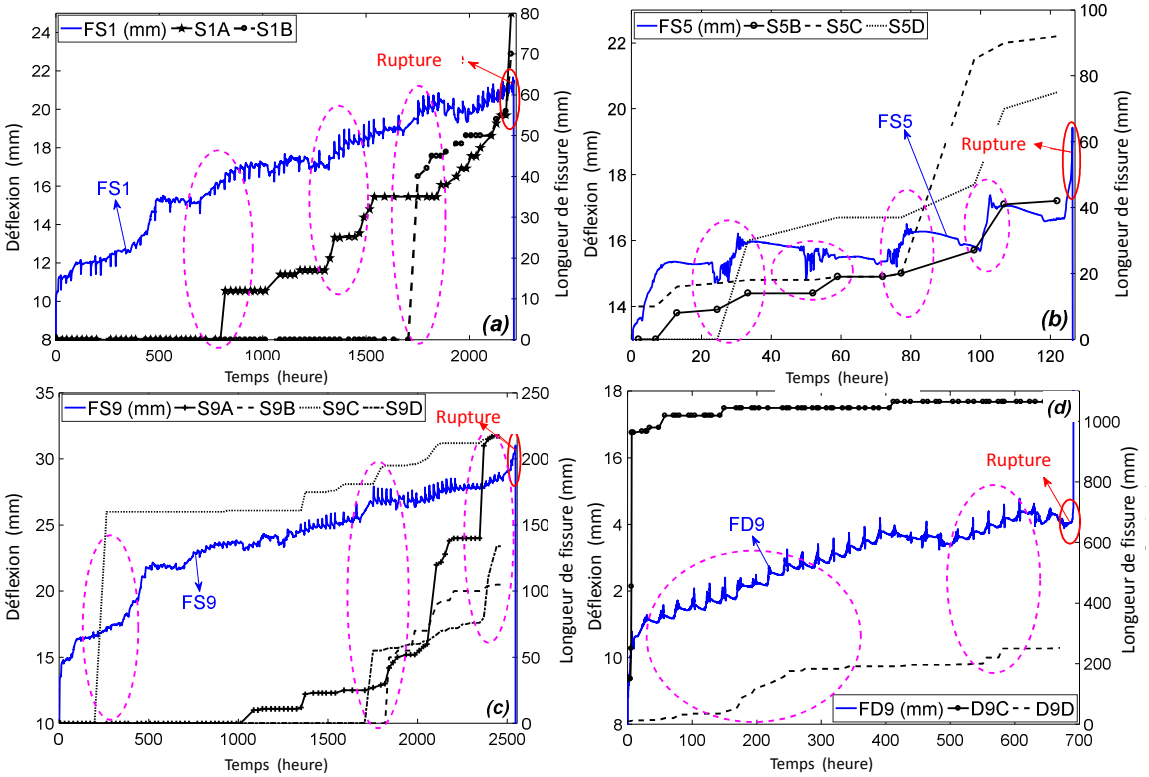


Fig. 2 : Evolution de la flèche en fonction de la propagation de la fissure

Conclusion et perspectives

L'objectif de cette étude est de montrer l'impact de la création et de la propagation de fissures sur l'évolution de la flèche. Le couplage établi entre l'évolution de la flèche et de la fissure, montre que l'apparition et la progression de la fissure qui se produit lors de la phase de séchage (Chaplain et al. 2006) est poursuivi d'une perturbation au niveau de l'évolution de la flèche ce qui augmente les risques de cassure de la poutre. La prochaine phase aura pour but de proposer un modèle analytique RDM de l'évolution de la flèche, couplant les phénomènes climatiques et les phénomènes de fissurations du bois.

Remerciements

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

Références

Chaplain M. et al. (2006) Effects of climatic conditions changes on crack growth. In 9th World Conference on Timber Engineering, WCTE, Portland, USA

Transient tensile and compressive strains differentially modulate wood formation

ROIGNANT Jeanne[1], BADEL Eric[1], LEBLANC-FOURNIER Nathalie[1], BRUNEL-MICHAC Nicole[1], RUELLE Julien[2], MOULIA Bruno[1], DECOURTEIX Mélanie[1]

[1]Université Clermont Auvergne, INRA, PIAF, F-63000 Clermont-Ferrand, France
[2] UMR LERFoB, AgroParisTech, INRA, 54000, Nancy, France
melanie.decourteix@uca.fr

Mots clefs : bois de flexion, mechanobiologie, bois de réaction, croissance, déformation, traction, compression, anatomie du bois

Context and objective

Trees constantly experience wind, perceive resulting mechanical cues, and modify their growth and development accordingly. Previous studies, mainly in gymnosperms, have demonstrated that multiple bendings mimicking the effect of wind trigger ovalization of the stem and the formation of a special type of reaction wood called flexure wood (Telewski 2016). Very few studies on ovalization and flexure wood relate to angiosperm trees, and all the experiments conducted so far have used multidirectional bendings of uncontrolled intensities. Assuming bending is composed of tensile and compressive strain, we hypothesized that different local strains may generate specific growth and wood differentiation responses.

Material and methods

To assess this hypothesis, multiple quantified flexural strains were applied to young Populus stems. This was achieved using unidirectional bendings; thereby a given cell is experiencing always strains of the same sign (longitudinal compression or longitudinal tension only), allowing to distinguish the wood formed under tensile and compressive flexural strains. The different effects of bendings were characterized quantitatively studying radial growth, cell size and cell wall ultrastructure. Moreover, to gain a first molecular insight into how multiple bendings can modulate wood anatomical traits, we used a Q-PCR approach to investigate the expression of 4 target mechanosensitive genes known for their role in wood differentiation.

Results

In response to multiple unidirectional bendings, poplar stems developed a significant ovalization of their cross-section. At tissue level, some aspects of wood differentiation were similarly modulated by compressive and tensile strains (vessel frequency, diameter of fibres without G-layer), whereas other anatomical traits (vessel diameter, G-layer formation, diameter of fibres with G-layer, microfibril angle) and expression of fasciclin-encoding genes were differentially modulated by compressive and tensile strains. This work leads to the proposition of new terminologies to distinguish the “flexure wood” produced in response to multiple bidirectional bendings from wood produced under transient tensile strain (TSW) or under transient compressive strain (CSW). By highlighting similarities and differences between tension wood and TSW and by demonstrating that plants are able to discriminate positive strains from negative strains, this work brings new insights on the mechanisms of mechanosensitivity in plants.

Reference

Telewski, F. W. (2016). Flexure wood: mechanical stress induced secondary xylem formation. Chapter 5 In *Secondary Xylem Biology: Origins, Functions, and Applications*, 73-87. Ed. Kim, Y. S., Funada, R., & Adya, P. Academic Press.

Adjustments of mechanical and hydraulic properties of wood formed under environmental stresses

NIEZ Benjamin[1], BADEL Eric[1], DLOUHA Jana[2], MOULIA Bruno[1]

[1]Université Clermont Auvergne, INRA, PIAF, F-63000 Clermont-Ferrand, France
[2] INRA, UMR LERFoB, 54280 Champenoux, France
benjamin.niez@inra.fr

Key words: Acclimation, Environmental stresses, Hydraulics, Mechanics, Wood

Context and objectives

Trees adjust their development to the environmental conditions they experience. Storms events of last decades showed that acclimation of trees to mechanical stresses due to wind is a very important process that allow the trees to sustain for long years. In the future, trees will experience new wind patterns, namely, more often strong winds and fewer daily moderate winds (Chauveau, 2013). Moreover, these patterns will go along with drought periods that may interact with the capacity of trees to adjust their growth to mechanical stresses due to wind. It is necessary to understand the mechanisms of wood functional acclimations to environmental conditions in order to predict their behaviour and in order to give foresters and breeders the relevant tools to adapt their forest management. This work aims to study how trees adjust the mechanical and hydraulic functions of their wood to environmental stresses and how this acclimation may be beneficial for the tree to resist to future stresses.

Material and methods

In this work, young poplars were grown under controlled climatic conditions (see Fig. 1) that include permanent environmental stress (daily mechanical stress of the stem by bending (Badel, 2015; Kern, 2005; Pruyn, 2000) and/or hydric stress (Awad, 2010)).

Fig. 1 : (A) Daily mechanical stress of the stem by bending; (B) Apply of hydric stress.

Then, the properties of wood formed under these stressed conditions were characterized (local measurements (see Fig. 2). First, hydraulic conductivity (Awad, 2010; Mayr, 2003) and sensibility to cavitation (Cochard, 2015) were measured at the tissue level in order to evaluate the changes in water transport capacity. Secondly, bending tests and Charpy impact tests were carried out at the millimetric scale to locally measure mechanical parameters such as elastic modulus, elastic limit or rupture energy of the different kind of wood (wood grown

under tension or compression stresses, watered stressed wood).

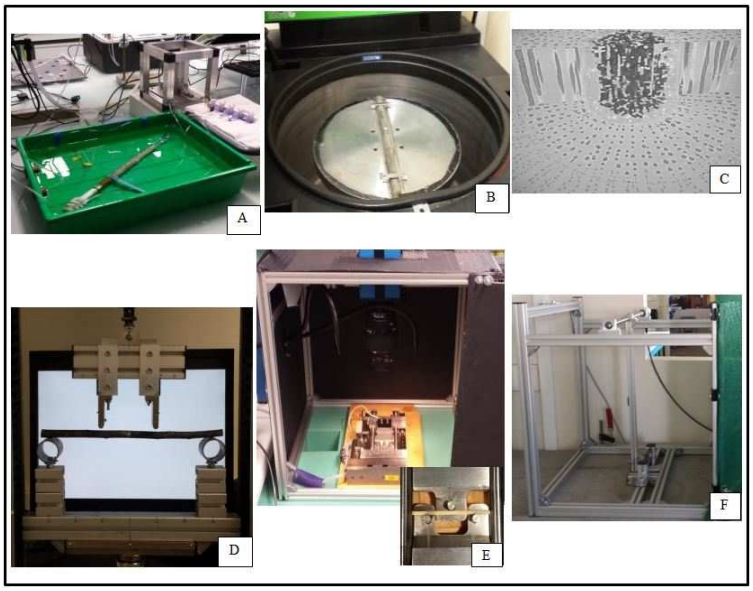


Fig. 2 : (A) Measurement of hydraulic conductivity; (B,C) Measurements of vulnerability to cavitation; (D,E) Macro and micro bending tests; (F) Charpy impact test.

Results

These experimental data allow evaluating the impacts of mechanical and water stress on the wood material properties. At the stem level, they will be merged in an integrative model in order to evaluate the beneficial aspect of wood acclimation for trees.

References

Awad H., Barigah T., Badel E., Cochard H., Herbette S. (2010) Poplar vulnerability to xylem cavitation acclimates to drier soil conditions, Physiologia Plantarum, 139:280-288

Badel E., Ewers F., Cochard H., Telewski F.W. (2015) Acclimation of mechanical and hydraulic functions in trees: impact of the thigmomorphogenetic process, Frontiers in Plant Science, 6

Chauveau, M., S. Chazot, C. Perrin, P.Y. Bourgin, E. Sauquet, J.P. Vidal, N. Rouchy, E. Martin, J. David, T. Norotte, P. Maugis, X.de Lacaze (2013) What will be the impacts of climate change on surface hydrology in France by 2070 ? , Houille Blanche-Revue Internationale De L Eau, 5-15

Cochard H., Delzon S., Badel E. (2015) X-ray microtomography (micro-CT): a reference technology for high-resolution quantification of xylem embolism in trees, Plant Cell and Environment, 38:201-206

Kern K.A., Ewers F.W., Telewski F.W., Koehler L. (2005) Mechanical perturbation affects conductivity, mechanical properties and aboveground biomass of hybrid poplars, Tree Physiology, 25:1243-1251

Mayr S., Cochard H. (2003) A new method for vulnerability analysis of small xylem areas reveals that compression wood of Norway spruce has lower hydraulic safety than opposite wood, Plant Cell and Environment, 26:1365-1371

Pruyn M.L., Ewers B.J., Telewski F.W (2000) Thigmomorphogenesis: changes in the morphology and mechanical properties of two Populus hybrids in response to mechanical perturbation, Tree Physiology, 20:535-540

Comparaison des performances analytiques entre MP-AES et ICP-AES sur diverses biomasses lignocellulosiques

CANDELIER Kévin[1], TELLA Marie[2], OUALI Oussemah[2], ALBAUT Graziella[2], THEVENON Marie-France[1]

[1] CIRAD, UPR 114 BioWooEB, F-34398 Montpellier, France
[2] CIRAD, US 49 Analyse, F-34398 Montpellier, France
kevin.candelier@cirad.fr

Mots clefs : Bois, Composition minérale, Foin, Feuille, ICP-AES, Minéralisation, MP-AES

Contexte de l'étude

La composition chimique des biomasses lignocellulosiques, plus particulièrement leur teneur en éléments minéraux, est aujourd'hui une caractéristique primordiale pour leur valorisation. Elle définit les propriétés, la qualité et les perspectives d'application, ainsi que les problèmes ou avantages technologiques et environnementaux lié à tous les produits et sous-produits de ces filières (Vassilev *et al.* 2010, 2012). Des méthodes analytiques de quantification sensibles et robustes ouvrent des perspectives (i) sanitaires : assurer de la qualité d'un produit de consommation [agricole, huiles essentielles, bois, eau…] (Varbanova *et al.* 2015), (ii) environnementales : contrôler la pollution due à l'activité humaine (Jeannot *et al.* 2000), (iii) agronomiques : suivre l'évolution de la composition d'une plante au cours d'un traitement (Belaid, 2010), (iv) technologiques [résidus inorganiques de combustion] (Piednoir 2017).

Dans les sciences analytiques, l'analyse élémentaire inorganique est dominée par la spectrométrie d'émission atomique à plasma à couplage inductif (ICP-AES), une technique multi-élémentaire simultanée, quantitative, sensible (LD de l'ordre du µg/l) et robuste. Mais l'utilisation de l'argon pour la génération du plasma induit un important inconvénient financier pour cette technique (consommation en Ar = 6L/min). Ce surcoût d'utilisation est contourné par le développement d'un plasma induit par micro-ondes (MP-AES) avec pour gaz vecteur l'azote. Cet instrument fiable, robuste et simple d'utilisation serait une opportunité pour les pays du Sud pour réaliser des analyses élémentaires inorganiques en routine (Karlsson *et al.* 2015). L'objectif de ce travail est de doser différents éléments minéraux dans plusieurs matrices lignocellulosiques afin de confronter les performances du MP-AES à celles de l'ICP-AES afin d'évaluer l'utilisation du MP-AES (Agilent 4100 MP AES) comme une alternative fiable à l'ICP-AES (Agilent ICP-OES 700). Ce résultat déterminera la pertinence de conseil auprès des laboratoires des pays du Sud qui souhaiteraient s'équiper d'un tel instrument analytique alliant performances et économie.

Matériels et Méthodes

Sélection des échantillons. 3 composés lignocellulosiques de référence ont été sélectionnés: feuilles de fraisier (Réf. LGC-7162); balle de foin (Ref. BCR-129) et granulés de bois (Ref. enquête inter-laboratoire IPE-2008-T1-184). Ces composés possèdent des compositions élémentaires inorganiques certifiées (Al, B, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, N, Pb et Zn).

Minéralisation. Les composés ont été minéralisés suivant deux techniques de minéralisation : voie triacide (double calcination HCl/HF) sèche et voie humide (HCl/HNO_3) assistée par un four micro-onde. Le couplage de ces deux modes de minéralisation permet la quantification des éléments volatils ainsi que des récalcitrants. Les minéralisations sont réalisées en 5 répétitions minimum en incluant dans les séries 10 blancs, qui suivent exactement le même protocole de minéralisation que les échantillons.

Analyses ICP-AES et MP-AES. Les minéralisats des différents composés ont été analysés en ICP-AES et MP-AES pour la détermination d'éléments majeurs et mineurs (Al, B, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, N, Pb et Zn).

Fig. 1 : Spectromètre de masse à plasma induit ICP-AES 700 series AGILENT, CIRAD, US49 Analyse.

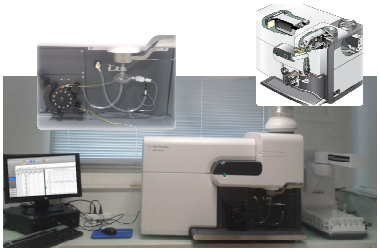


Fig. 2 : Spectromètre d'émission à Plasma micro-ondes MP-AES 4100 AGILENT, CIRAD, UR114 BiowWooEB.

Principaux résultats

Le niveau de performance analytique du MP-AES est légèrement inférieur à celui de l'ICP-AES, principalement en ce qui concerne la détection d'éléments mineurs. Les grands avantages du MP-AES sont donc son faible coût d'analyse et la sécurité opérationnelle d'un plasma généré sous azote. Le système MP-AES étudié pourrait fournir une performance comparable à celle de l'ICP-AES pour la détermination d'éléments majeurs et peut ainsi être utilisé pour réaliser des analyses de routine.

Remerciements

Cette étude a été rendue possible grâce au financement ANR-10-EQPX-16-Xyloforest.

Références

Belaid N. (2010) Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques. Thèse de l'École Nationale d'Ingénieurs de Sfax.

Jeannot R., Lemière B., Chiron S. (2000) Guide méthodologique pour l'analyse des sols pollués. Rap. BRGM R 50128, 110 p.

Karlsson S., Sjöberg V., Ogar A. (2015) Comparison of MPAES and ICP-MS for analysis of principal and selected trace elements in nitric acid digests of sunflower (*Helianthus annuus*). Talanta 135, 124–132.

Piednoir B. (2017) Optimisation des propriétés des biomasses marginales par mélange en vue de leur valorisation thermochimique. Thèse CIRAD-UPR BioWooEB.

Varbanova E., Stefanova V. (2015) A comparative study of inductively coupled plasma optical emission spectrometry and microwave plasma atomic emission spectrometry for the direct determination of lanthanides in water and environmental samples. Ecology & Safety, Volume 9, 2015.

Vassilev S., Baxter D., Andersen L., C. Vassileva C. (2010) An overview of the chemical composition of biomass, Fuel, 89, 913–933.

Vassilev S., Baxter D., Andersen L., C. Vassileva C. (2012) An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass, Fuel, 94, 1–33.

Analyse comparative et déterminants de l'évolution des prix du Teck de plantation et de forêt naturelle

GERARD Jean, LANGBOUR Patrick, RODA Jean-Marc

CIRAD – Unité de Recherche Biomasse, Bois, Energie, Bioproduits (BioWooEB)
jean.gerard@cirad.fr

Mots clefs : Teck, plantations, prix, prospective, marché international

Contexte et objectif

Cette analyse constitue un des trois volets d'une étude globale réalisée à la demande d'une société de plantation de Teck. Les deux autres volets de l'étude traitent de la situation actuelle des ressources en Teck dans le monde puis des perspectives d'évolution des plantations et de la disponibilité de cette ressource sur le marché international à l'horizon 2030.

Résultats

Le Teck a été largement planté à l'intérieur de son aire naturelle de répartition (principalement Myanmar, puis Inde, Laos, Thaïlande, Indonésie), mais aussi en dehors, dans toute l'Asie tropicale, en Afrique (Ghana, Nigéria, Côte d'Ivoire, Togo, Bénin, Tanzanie…), en Amérique latine et aux Caraïbes (Brésil, Panama, Equateur, Costa Rica, Nicaragua, Guatemala…), et en Océanie (Papouasie Nouvelle Guinée, Iles Salomon, Fidji…). Les ressources en Teck de forêt naturelle ayant tendance à se raréfier, les plantations de Teck sont devenues des ressources stratégiques, attirant les investisseurs.

L'Inde joue un rôle prépondérant dans le commerce international du Teck, absorbant 75% des importations mondiales. Le marché du Teck, comme celui de toutes les essences de bois, n'est pas un marché transparent et aucune mercuriale ne fournit les cours officiels des bois bruts ou transformés mis en marché au niveau international.

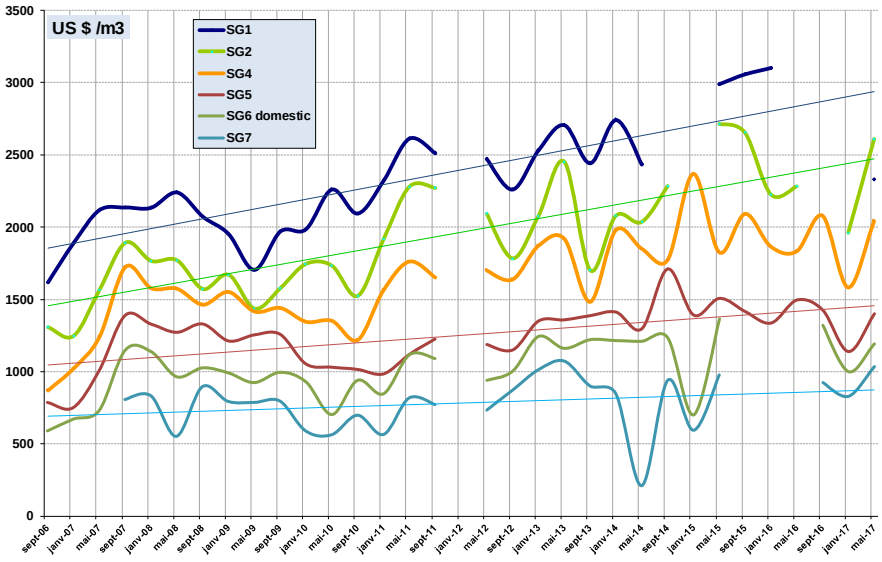


Fig. 1 : Evolution du prix des grumes de Teck birman de 2006 à 2017 pour les qualités 1 à 7

Les Teck de forêt naturelle ont les prix les plus élevés ; cependant, le prix du Teck est directement lié à sa qualité et aux dimensions des produits ; certains Teck de plantations matures et bien gérées atteignent des prix voisins de ceux de Teck de forêt naturelle.

Entre 1998 et 2002, les grumes de forêt naturelle du Myanmar ont progressivement augmenté, passant de plus de 2000 US$ par Hoppus ton (= 1,8 m3) à environ 2500 US $. A partir de 2003, une augmentation plus soutenue des prix est enregistrée jusqu'en 2008. Après cette hausse, on enregistre une baisse brutale courant 2008 directement liée à la crise économique qui a provoqué une chute de la demande ; les prix rejoignent alors le niveau de ceux enregistrés sur la période 2005 - 2006 (figure 1). Ces fluctuations des prix du Teck couplées à des mouvements de marchés sont complexes à appréhender ; elles sont souvent une des conséquences de pratiques d'exploitation et mise en marché illégales.

L'interdiction d'exportation des grumes du Myanmar en avril 2014 a eu pour effet de stimuler le développement de plantations dans toutes les régions productrices, l'accent étant mis sur la production de Teck de haute qualité. En Amérique latine, les Tecks issus de coupe finale sont de plus en plus fréquemment mis en marché, leur diamètre pouvant dépasser 45 cm. Dans la mesure où ces bois présentent peu de défauts, leurs prix sont plus élevés que pour les bois d'éclaircie, et peuvent approcher voire dépasser les prix des Tecks de forêt naturelle.

Entre 2010 et 2017, malgré quelques fluctuations ponctuelles, les prix des grumes de Teck d'Amérique latine à destination de l'Inde ont relativement peu varié, même pour les meilleures qualités : entre 540 et 750 US$/m3 pour le Brésil (avec une tendance à la baisse depuis 2016), entre 500 et 600 US$/m3 pour le Nicaragua, entre 400 et 750 US$/m3 pour le Panama. Chez Floresteca, le plus gros producteur brésilien, notamment de Teck FSC, les niveaux de prix pratiqués pour la qualité Premium (correspond à un « 4-faces nettes ») rejoignent ceux des sciages de Teck de forêt naturelle de qualité supérieure.

De 2015 à 2017, les prix des grumes de Teck en provenance du Ghana ont varié entre 870 et 450 US$/m3 (avec une forte baisse en 2016), entre 400 et 500 US$/m3 pour le Nigeria, et entre 600 et 780 US$/m3 pour le Bénin. Les prix du Teck de Côte d'Ivoire ont été relativement stables, voisin de 750 US$/m3.

Les pays fournisseurs de grumes, notamment ceux Amérique latine, s'accordent à reconnaitre que l'exportation du Teck sous forme de bois rond est la plus lucrative. Sachant que les marchés domestiques des pays producteurs voient leur propre demande intérieure augmenter et que la demande indienne reste tout aussi pressante, les tensions du marché ne devraient que s'amplifier à court ou moyen terme.

Ces tensions sont de nature à faire augmenter les prix et à favoriser les Tecks de plantation, principalement ceux de qualité supérieure. Afin de répondre au mieux à cette demande croissante, il devient impératif : (i) de renforcer le contrôle de l'origine des plants ; (ii) d'appliquer de façon plus rigoureuse et contrôlée les « bonnes » pratiques sylvicoles ; (iii) de renforcer les pratiques d'éco-certification forestière en ciblant les marchés occidentaux plus rémunérateurs et plus exigeants que les marchés indiens.

Références

Kollert W., Kleine M. (eds), 2017. The Global Teak Study – Analysis, Evaluation and Future Potential of Teak Resources. IUFRO World Series Volume 36, Vienna, 108 p.

Midgley S., Somaiya R.T., et *al.*, 2015. Planted teak: global production and markets, with reference to Solomon Islands. ACIAR Technical Reports n°. 85. Australian Centre for International Agricultural Research: Canberra. 92 p.

Qiang Li, 2016. Teak Trade and Market – ITTO's Perspective. TEAKNET, 24 February 2016, Clark, Philippines, 33 p.

Analyse comparative de la qualité du bois de peupliers I 214 agroforestiers et forestiers sur pied

GUYOT Alban, KOUAKOU S., BRANCHERIAU Loic, MARCHAL Rémy

CIRAD / UR BioWooEB, Biomasse, Bois, Energie, Bioproduits, TA-B-114 / 16 - 73 rue Jean François Breton 34 398 Montpellier Cedex 5
alban.guyot@cirad.fr

Mots clés : Peuplier, I 214, agroforesterie

Contexte et objectif

Dans l'objectif d'apporter des connaissances sur la qualité des bois issus de l'agroforesterie, cette étude est basée sur la comparaison de quelques propriétés du bois de peuplier selon deux systèmes de plantation : plantation classique et agroforestier.

Matériels et méthodes

Le site d'étude est localisé dans le domaine expérimental de Restinclières à 15 km au nord de Montpellier.

Ce domaine présente de nombreuses parcelles expérimentales dont deux composées de peupliers I214 conduit en peuplement « forestier » dense (témoins, 156 individus, 400 arbres/ha) et agroforesterie avec des cultures intercalaires de blé et pois chiche (57 individus, 119 arbres/ha). Ces deux parcelles se jouxtent et ont été plantées il y avait 19 ans au moment des mesures.

En vue de mettre en évidence des qualités de bois différentes dues à la densité de plantation différente (accès à la lumière, aux ressources et exposition différente aux vents), nous avons élaboré un comparatif en mesurant dans chaque parcelle :

- les niveaux de contrainte de croissance (mesure des déformations résiduelles longitudinales de maturation, DRLM) auxquelles sont soumis les arbres et l'impact de ces contraintes sur la qualité du bois (présence du bois de tension, pourcentage de lignine).
- la quantité de bois juvénile et sur le mode de transition juvénile/adulte par l'étude de l'évolution radiale des angles de micro fibrilles.
- la rigidité du bois suivant les trois directions du tronc.

La mesure du module d'élasticité des arbres sur pied a été faite en utilisant le système WISIS (Wood In Situ InSpection, Brancheriau et Paradis 2008). Ce dispositif de contrôle non destructif permet l'évaluation de l'état mécanique d'éléments de structure du bois, poteaux ou arbres sur pied. Cette méthode de détection est basée sur le principe de la modification de la propagation d'onde élastique en présence des singularités du bois. Après chaque essais WISIS, on prélève une carotte de bois à la base du tronc à l'aide d'une tarière de Pressler afin de connaître le taux d'humidité par double pesée ainsi que la densité du bois vert au moment de la mesure. Une autre carotte radiale a été prélevée pour réaliser une mesure d'angle de microfibrille par cerne (Lichtenegger 1999) Les déformations résiduelles longitudinales de maturation (DRLM) sont corrélées à l'intensité des contraintes de croissance. La méthode utilisée est la méthode dite « du trou unique » (Archer 1986). Quatre mesures sont réalisées sur chaque tronc suivant les quatre orientations nord, ouest, sud et est de l'arbre.

Résultats

Les mesures de DRLM n'ont révélé aucune différence entre les deux traitements forestier et agroforestier. La mesure du module d'élasticité à l'aide du dispositif WISIS laisse apparaître que le fût des arbres agroforestiers est plus rigide que celui des arbres forestiers. La mesure de l'angle des microfibrilles a mis en évidence une présence de bois juvénile dans les arbres agroforestier. Le pourcentage de lignine est toutefois légèrement plus élevé dans les arbres agroforestiers. Le Tableau 1 récapitule les différents résultats de comparaison.

Tableau 1 Résultats de comparaison

	Agroforestier		Témoin Forestier	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
Hauteur (m)	23.78	0.92	25.86	1.34
Ø (m)	0.42	0.02	0.29	0.02
Hum Int (%)	205.28	40.15	225.97	69.92
Hum Ext (%)	103.39	49.04	88.32	16.08
AMF (°)	19.74	3.41	16.66	0.63
MoE_R (MPa)	2399	514	3333	1611
MoE_L (MPa)	5147	1116	810	395
MoE_T (MPa)	569	142	6995	3910
Drlm (0.1m)	3.51	5.94	2.61	3.63
Lignines (%) Bois mature	20.36	4.44	19.06	2.88
Lignines (%) Bois juvénile	24.37	1.36	23.77	1.18

Globalement, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence, ces résultats devant être confirmés par ailleurs, un fort gradient en disponibilité en eau à l'intérieur des parcelles ayant pu introduire une forte interaction masquant les effets « sylvicoles ».

Références

Archer R.R. (1986) Application of a new method for growth stress measurement to Pinus caribaea. Proc IUFRO Proc Group P5.01. Properties and utilization of tropical wood Manaus, Brazil (19-23/11/84)

Brancheriau L., Paradis S. (2008) WISIS - Wood In Situ InSpection version 1.1, Contrôle non destructif des éléments de structure bois, poteaux ou arbres sur pied, 4p. https://ur-biowooeb.cirad.fr/content/download/5151/38473/version/1/file/Description+du+principe+Wisis.pdf.

Lichtenegger H., Müller M., O. Paris O., Riekel Ch., Fratzl P. (1999) Imaging of the helical arrangement of cellulose fibrils in wood by synchrotron X-ray microdiffraction. Journal of Applied Crystallography, déc. 1999, DOI: 10.1107/S0021889899010961.

La xylothèque du Cirad : 80 ans au service de la recherche, de l'expertise et de la formation

LANGBOUR Patrick[1], PARADIS Sébastien[1], THIBAUT Bernard[2]

[1]CIRAD – Unité de Recherche Biomasse, Bois, Energie, Bioproduits
[2] CNRS - Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (LMGC), Univ. Montpellier
patrick.langbour@cirad.fr

Mots clefs : Xylothèque, bois tropicaux, bois tempérés, anatomie du bois

Un peu d'histoire

En 1937, D. Normand, botaniste et anatomiste au laboratoire d'anatomie des bois de la STBC (Section Techniques des Bois Coloniaux) à Nogent sur Marne, regroupe différentes collections de bois existantes au sein de différents organismes en lien avec l'outremer et initiées à des fins d'exposition, de démonstration ou d'essais. Il s'efforce de retrouver quelques liaisons bois-herbier des échantillons préexistants et il veille à ce que les nouveaux bois introduits dans la collection soient associés à une récolte botanique de façon à lui apporter une valeur scientifique certaine.

En 1949, la STBC fut remplacée par le Centre technique Forestier Tropical (CTFT) ; la collection est alors enregistrée dans l'association mondiale des collections de bois sous l'indicatif international « CTFw ». Après le départ de D. Normand, Alain Mariaux et Pierre Détienne étaient les conservateurs suivants de la xylothèque. En 1994, la collection fut transférée à Montpellier, au Cirad, entité qui avait englobé le CTFT en 1985.

La collection n'a cessé de progresser grâce aux récoltes de botanistes, aux dons de services forestiers de divers pays ou par des échanges avec d'autres collections (Madison et Syracuse (Etats Unis d'Amérique), Ultrech (Pays Bas),…; Fin 1950, la collection rassemblait 5949 échantillons, 13859 fin 1960, 18420 fin 1970, 26704 fin 1980, 31781 fin 1990, 33385 fin 2000 et 34395 fin 2013. Entre 1950 et 1990, l'importance des collectes était motivée par

- la connaissance et l'utilisation des bois des anciennes colonies,
- l'appui à la réalisation d'habitats nouveaux pour faire face à la forte croissance démographique d'après-guerre et des trente glorieuses,
- l'aide au développement des industries du bois dans les nouveaux pays indépendants après le début des années soixante.

Description de la collection

Seuls les spécimens de bois issus des arbres (pas d'arbustes ou de lianes) se trouvent dans la collection. La très grande majorité se présente sous forme d'échantillon de 13cm x 6cm x 1cm avec une étiquette où sont inscrit un N° CTFT, le pays d'origine, un nom botanique voir un nom vernaculaire, une valeur de densité. Les autres échantillons se présentent sous une forme géométrique quelconque. Pour la plupart des espèces, des lames minces (7000 environ) des coupes anatomiques des trois plans (RT, TL et RL) ont été réalisées pour l'observation et le descriptif microscopique des plans ligneux.

A ce jour, 235 familles, 2160 genres et 8385 espèces sont identifiés. Les gymnospermes ne représentent que 930 échantillons, 5 familles, 42 genres et 250 espèces (entre 2% et 3% du total dans chaque catégorie).

Parmi les angiospermes, les légumineuses (Césalpiniacée, Mimosacée et Fabacée) rassemblent 20% de tous les échantillons. Les méliacées, les lauracées, les sapotacées et les malvacées comptent plus de 1000 échantillons chacune et 56 familles sont représentées avec plus de 100 échantillons.

A l'exception de l'Antartique, tous les continents sont représentés. Le plus grand nombre d'échantillons (45,8%) concerne l'Afrique, suivi par l'Amérique (34,5%), l'Asie (13,4%), l'Océanie (4,4%) et l'Europe (1,9%).

Les échantillons proviennent de 123 pays. La France, regroupant la France métropolitaine et les départements et territoires français d'outre-mer tels que la Guyane française, la Guadeloupe, la Martinique, La Réunion, La Nouvelle Calédonie et la Polynésie française, donne le plus grand nombre d'échantillons (6120 dont 3654 de la Guyane française).

Sur la base du nombre d'échantillons, les dix pays les plus représentés sont successivement France (17,9%), Madagascar (9,9%), Cameroun (7,3%), Gabon (6,7%), Côte d'Ivoire (5,4%), Congo (5,3%), Brésil (5%), Viet-Nam (3%), Equateur (2,8%) et Suriname (2,6%). Globalement, 88% des échantillons peuvent être décrits comme des bois tropicaux provenant de forêts tropicales ou humides en Afrique, en Asie, en Amérique et en Océanie. Les espèces tempérées ou méditerranéennes représentent le complément.

Utilisation de la collection

La collection CIRAD a permis la publication de livres de référence d'anatomie et de clés de détermination. Elle permet également d'aider à l'identification des pièces de bois à des fins commerciales (légales ou illégales), pour la rénovation de construction, la justice, la culture, l'histoire et l'archéologie.

L'existence d'échantillons bien conservés et identifiés permet de tester des outils pour la description du bois comme l'analyse d'image, la micro tomographie 3D ou encore la spectroscopie proche infrarouge. La collection présente également un intérêt pour des mesures de propriétés par les méthodes non destructives comme les relevés de spectres d'adsorption en utilisant différentes sources lumineuses (rayons X, UV ou IR) ou des méthodes utilisant des sollicitations par vibration ou par ultrasons.

Références

Normand D. (1972) Manuel d'identification des bois commerciaux - Tome 1 : généralités Centre technique Forestier Tropical.

Normand D, Paquis J. (1976) Manuel d'identification des bois commerciaux - Tome 2 : Afrique guinéo- congolaise. Centre technique Forestier Tropical.

Détienne P., Jacquet P., Mariaux A. (1982) Manuel d'identification des bois commerciaux – Tome 3 : Guyane française. Centre technique Forestier Tropical.

https://doi.org/10.18167/xylotheque

ArchiWood : morphologie végétale, anatomie et architecture des espèces endémiques de bois à Madagascar

AZIZAN Amira[3], GUILLON Emma[3], LANGBOUR Patrick[1], CARAGLIO Yves[5], PARADIS Sébastien[1], BONNET Pierre[5], HEINZ Christine[2], BROHARD Yannick[4], BOUTAHAR Nabila[1], BRANCHERIAU Loïc[1]

[1] UPR BioWooEB, Cirad, Montpellier, France
[2] UMR AMAP, Université Montpellier, CIRAD, CNRS, INRA, IRD, Montpellier, France
[3] UMR AMAP, Université Montpellier
[4] AMAP, CNRS, Université Montpellier, CIRAD, INRA, IRD, Montpellier, France
[5] AMAP, CIRAD, Université Montpellier, CNRS, INRA, IRD, F-34398 Montpellier, France
sebastien.paradis@cirad.fr

Mots clefs : Anatomie, architecture des plantes, biodiversité, bois tropicaux, Madagascar, numérisation

Keywords: anatomy, biodiversity, digitization, Madagascar, plant morphology, tropical woods

Contexte

The output of the project ArchiWood is a dataset of digitized documents, annotated with specific metadata, which provides information on the structural diversity of some endemic tropical species in Madagascar. The data comes from CIRAD xylotheque (scientific wood collection initiated in 1937), and were also collected during various fieldworks (since 1964). The field notes and photographs were provided by French botanists; particularly by Francis Hallé. The dataset covers 250 plant species with anatomical, morphological, and architectural traits indexed from digitized wood slides and fieldwork documents. The digitized wood slides were constituted by the transverse, tangential, and radial sections with three optical magnifications. The main specific anatomical traits can be found within the digitized area. Information on morphological and architectural traits were indexed from digitized field drawings including notes and photographs. The data are hosted in the website archiwood.cirad.fr.

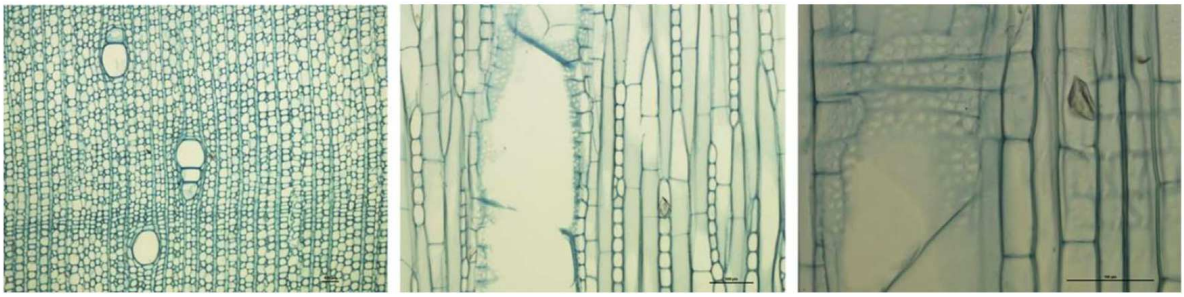


Fig. 1 : Digitized wood slides highlighting anatomical traits. From left to right: transverse (×40), tangential (×100) and radial (×200) sections of Givotia madagascariensis Baill

Remerciements

Francis Hallé, Pierre Détienne

Références

IAWA Committee 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. IAWA Bulletin

Hallé F., Oldeman R.A.A. (1970) Essai sur l'architecture et la dynamique de croissance des arbres tropicaux. Masson & Cie.

Hallé F., Oldeman R.A.A. , Tomlinson P?B. (1978) Tropical trees and forests:an architectural analysis. Springer Berlin.

Barthélémy D., Caraglio Y. (2007) Plant architecture: A dynamic, multilevel and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny. Annals of Botany, 99(3)

Cornet A (1974) Essai cartographique bioclimatique à Madagascar, carte à 1/2'000'000 et notice explicative N° 55. Paris: ORSTOM

Caractérisation et procédés de séchage de bois tropicaux pour la facture d'instruments à vent

ALKADRI Ahmad[1,2], JULLIEN Delphine[2], ARNOULD Olivier[2],
LANGBOUR Patrick[3], GRIL Joseph[4]

[1]Henri Selmer Paris, 25 rue Maurice Berteaux, 78711 Mantes-la-Ville, France
[2]Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (LMGC), Université de Montpellier, CNRS (UMR 5508), Montpellier, France
[3]CIRAD UR BioWooEB, 73 Rue J.F. Breton, 34398 Montpellier Cedex 5, France
[4]Institut Pascal Université de Clermont Auvergne, CNRS (UMR 6602), Aubière, France
ahmad.alkadri@umontpellier.fr

Mots clefs : anatomie, bois, diffusion, extractible, hygro-mécanique, séchage, teneur en eau

Contexte et objectif

La thèse « Caractérisation et procédés de séchage de bois tropicaux pour la facture d'instruments à vent » a débuté en mai 2017 dans le cadre d'une collaboration entre Henri Selmer Paris et le LMGC autour de l'étude des bois pour la facture des clarinettes, notamment l'ébène du Mozambique (*Dalbergia melanoxylon* Guill.). Les objectifs de la thèse sont de mieux caractériser la ressource utilisée par l'entreprise Henri Selmer Paris et de proposer un processus de séchage permettant de gagner du temps tout en assurant une stabilité dimensionnelle des instruments sans fissuration au cours de la fabrication. Pour atteindre ces objectifs, l'étude portera sur l'anatomie du bois, la diffusion de l'eau dans le bois, la teneur en eau à l'équilibre du bois et, à plus long terme, sur ses propriétés hygro-mécaniques.

Méthode

1. L'observation anatomique des échantillons a été faite sur les surfaces tangentielles et transversales directement avec un microscope optique. La vérification des espèces est faite par référence à la base de données « InsideWood » (Wheeler 2011).

2. L'expérimentation sur la diffusion permet d'estimer le temps pour atteindre l'équilibre et prévoir ainsi le temps de séchage. Deux types d'échantillons sont utilisées : une géométrie à faces parallèles pour évaluer la diffusion dans une direction préférentielle (tangentielle, radiale, transversale) et une autre, sous forme de cylindre creux, permettra de simuler le séchage réel des ébauches. On caractérise la progression de la diffusion au moyen de la grandeur sans dimension *E* ci-dessous (Siau 1984) :

$$E = \frac{M - M_i}{M_0 - M_i}, \qquad \text{(Eq. 1)}$$

avec M_i la concentration d'eau initiale dans le bois, M_0 la concentration en eau à l'équilibré et M la concentration au temps t. La solution de Crank (1975) pour la diffusion dans un échantillon à surfaces parallèles s'écrit :

$$E = 1 - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} \exp\left\{ - D(2n+1)^2 \pi^2 \frac{t}{4l^2} \right\}, \qquad \text{(Eq. 2)}$$

avec D le coefficient de diffusion (cm^2/s), t le temps (s), l la demi-épaisseur d'échantillon (cm). Pour l'échantillon cylindrique creux, nous utiliserons la solution de Carslaw et Jaeger (1959).

3. Pour prédire la teneur en eau à l'équilibre du bois pour les différents niveaux d'HR (%) et *T* (°C), on utilisera l'équation proposée par Hailwood et Horrobin (1946) :

$$MC = \frac{1800}{M_P}\left[\frac{Kh}{1-Kh} + \frac{K_1Kh + 2K_1K_2K^2h^2}{1+K_1Kh+K_1K_2K^2h^2}\right], \qquad \text{(Eq. 3)}$$

avec *MC* la teneur en eau (%), *h* l'HR (%), et M_P, *K*, K_1, K_2 les paramètres des matériaux, corrélés au *T* et déterminés par une méthode de régression non-linéaire décrite dans le papier de Simpson (1973).

Résultats

Sur les premières observations anatomiques, une structure des rayons ligneux étagés sur la surface tangentielle (Fig. 1) a été trouvée et, sur la surface transversale, un nombre élevé de rayons au mm. Sur les premières expérimentations de séchage, une comparaison entre le modèle (Eq. 2) et les données de diffusion sur la direction tangentielle, radiale et longitudinale ont été faites.

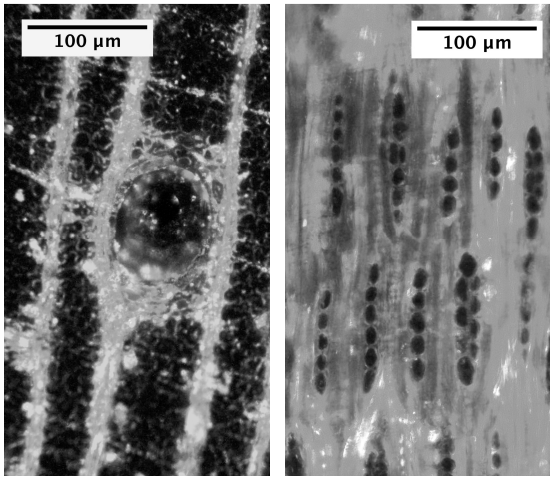


Fig. 1 : Surface transversale (gauche) et tangentielle (droite) *Dalbergia sp.*

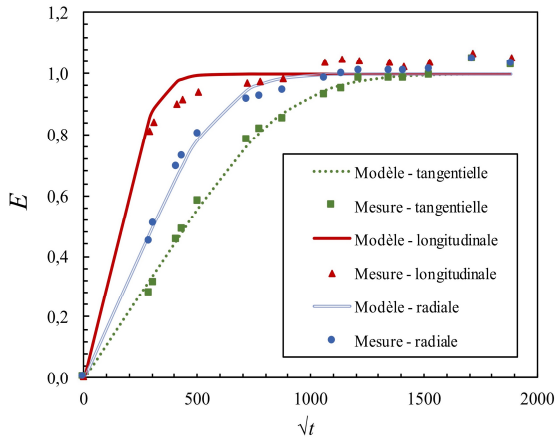


Fig. 2 : Données expérimentales comparées au modèle de diffusion suivant différentes directions anatomiques (Eq. 2)

Références

Crank J. (1975) The Mathematics of Diffusion, 2nd ed. New York: Oxford University Press.

Carslaw H.S., Jaeger J.C. (1959) Conduction of Heat in Solids, 2nd ed. New York: Oxford University Press.

Hailwood A.J., Horrobin S. (1946) Absorption of water by polymers: Analysis in terms of simple model. *Trans. Faraday Soc.* 42B: 84–102.

Siau J.F. (1984) Transport Processes in Wood. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Simpson W.T. (1973) Predicting equilibrium moisture content of wood by mathematical models. *Wood and Fiber* 5(1): 41–49.

Wheeler E.A. (2011) InsideWood–a web resource for hardwood anatomy. *IAWA J* 32(2): 199–211.

Modélisation visco-élastique des contraintes de maturation dans le bois en relation avec les mesures de recouvrance-hygro-thermique, en particulier du bois de tension

CAPRON Marie[1], BARDET Sandrine[2], SUJAN K.C.[1], MATSUO Miyuki[1], YAMAMOTO Hiroyuki[1]

[1]Graduate School of Bio-agricultural Sciences, Nagoya University, Nagoya 464-8601, Japan
[2] LMGC, Université Montpellier, CNRS, Montpellier, France
sandrine.bardet@umontpellier.fr

Mots clefs : bois de tension, bois vert, contraintes de maturation, modélisation, recouvrance-hygro-thermique.

Contexte et objectif

L'étude des déformations bloquées dans le bois lors de l'élaboration du bois dans l'arbre est un enjeu pour l'utilisation de ce matériau. En effet, la libération de ces déformations lors de l'abattage ou de l'étuvage humide des grumes peut entraîner des dégradations importantes (fissurations des planches ou même éclatement des grumes). Les déformations de maturation peuvent être mesurées en périphérie des arbres sur pied dans le sens longitudinal (L) et tangentiel (T) (Archer 1986, Kubler 1987, Yamamoto 1989), ces mesures correspondent à la partie élastique des déformations de maturation. Une partie visco-élastique est mise en évidence lorsque l'on chauffe des échantillons de bois vert au dessus de la température de transition vitreuse des composants polymériques du bois (environ 70°C), et est connue sous le nom de Recouvrance Hygro-Thermique (RHT). La RHT correspond à une contraction dans le sens L d'environ 0,1% et une expansion dans le sens T d'environ +0.2~1.0% (Gril 1992, 2017). Dans le cas du bois de tension, la RHT dans le sens L peut atteindre des valeurs plus importantes.

L'objectif de ce travail est de proposer une modélisation rhéologique des déformations bloquées lors de la maturation cellulaire dans le bois, et notamment de prendre en compte le comportement différé. Cette modélisation s'appuie sur une hypothèse proposé par Gril (1994) : l'état rhéologique du bois lors de la maturation cellulaire peut être assimilé à l'état du bois vert chauffé, c'est-à-dire que les éléments visqueux sont « mous ». Un modèle rhéologique est proposé permettant de simuler l'état du bois en périphérie de l'arbre à la fin de son élaboration soit la forme des parties élastiques et différées de la déformation bloquée. Ces valeurs simulées ont été confrontées aux mesures expérimentales dans le but de trouver des paramètres du modèle réalistes.

Matériel et méthodes / Approche de modélisation

Cette modélisation uni-directionnelle est composée d'un ressort (S_0) représentant l'élasticité du bois mature, de 2 éléments visco-élastiques de type Kelvin-Voigt (S_1, S_2) permettant de rendre compte de l'état du bois durant le processus de maturation et d'un élément (α) représentant la déformation bloquée à la fin de la maturation cellulaire du bois (Fig. 1).

Lors de la croissance cellulaire, la déformation totale est égale à 0. L'étape de maturation cellulaire est modélisée par un changement de valeur de α qui passe d'une valeur nulle à une valeur α_{mat}. L'étape de rigidification cellulaire est modélisée par une augmentation forte des valeurs de τ_1 et τ_2, les temps de relaxations des éléments amortisseurs 1 et 2. A la fin de ces 2 étapes, la déformation totale est toujours nulle mais la déformation de maturation α ainsi que que les déformations des 2 Kelvin-Voigt sont non nulles. On peut calculer la contrainte de

maturation σ_{mat} associée à cet état. A l'étape suivante, on coupe le bois, ce qui revient mécaniquement à appliquer une contrainte égale à $-\sigma_{mat}$. Enfin, la RHT est simulée par un retour de τ_1 et τ_2 à leurs valeurs avant rigidification, et permet de calculer la valeur de la déformation libérée par l'étuvage ε_{RHT}.

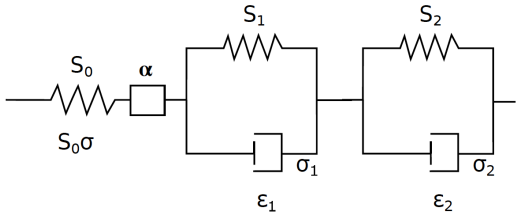


Fig. 1 : Modèle rhéologique composé d'un ressort de complaisance S_0, de 2 éléments visco-élastiques de complaisances S_1 et S_2 et de taux de relaxation τ_1 et τ_2 et d'un élément de déformation de maturation α.

Résultats

Le modèle proposé permet de représenter le comportement du bois de tension lors de la RHT ainsi que d'estimer la valeur de certaines propriétés mécaniques, par ailleurs mesurables soit en périphérie de l'arbre sur pied, soit lors de la RHT.

- la valeur de la contrainte de maturation σ_{mat} peut être confrontée à la valeur de la contrainte de maturation liée à la déformation instantanée mesurée en périphérie de l'arbre ;
- la valeur de la déformation libérée lors de la RHT, ε_{RHT} est comparée aux valeurs de RHT mesurées lors d'une étude menée par Sujan (2015) sur 3 essences : konara (*Quercus serrata* Murray), urihada (*Acer rufinerve* Siebold et Zucc.) et keyaki (*Zelkova serrata* Makino). La présence de bois de tension impliquant des valeurs de RHT spécifiques est prise en compte dans la modélisation par l'intermédiaire de α_{mat}.

Références

Archer R.R. (1986) Growth stresses and strains in trees. Springer Series in Wood Science

Gril J. (1992) Maturation and viscoelasticity: Rheology of wood in formation and hygrothermal recovery of growth strains, IUFRO All-division 5 conference (Nancy, France)

Gril J., Thibaut B. (1994) Tree mechanics and wood mechanics: relating hygrothermal recovery of green wood to the maturation process, Ann For Sci 51:329–336

Gril J., Jullien D., Bardet S., Yamamoto H. (2017) Tree growth and its related problem, Review paper, Journal of Wood Science. https://doi.org/10.1007/s10086-017-1639-y OPEN ACCESS

Kubler H. (1987) Growth stresses in trees and related wood properties, For Prod Abstr 10(3):61–119

Sujan K.C., Yamamoto H., Matsuo M., Yoshida M., Naito K., Shirai T (2015) Continuum contraction of tension wood fiber induced by repetitive hygrothermal treatment,Wood Sci Technol 49(6):1157–1169

Yamamoto H., Okuyama T., Iguchi M.(1989) Measurement of growth stresses on the surface of a leaning stem. Mokuzai Gakkaishi 35: 595-601

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

DUPLEIX Anna[1], JULLIEN Delphine[1], CARLIER Capucine[1]

[1]Laboratoire de Mécanique et de Génie Civil, Montpellier
capucine.carlier@umontpellier.fr

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

Contexte et objectif

Confrontées depuis plusieurs années à de fortes contraintes environnementales (agents pathogènes, pesticides, canicules), les colonies d'abeilles domestiques (*Apis mellifera*) font l'objet de nombreuses recherches apidologiques. Cependant, aucune de ces recherches n'interroge les matériaux constitutifs des ruches contenant les colonies d'abeilles domestiques. Il s'agit pourtant potentiellement d'une source importante d'amélioration de l'état sanitaire et donc de la survie des colonies aujourd'hui en déclin. L'objectif de ce projet est de comprendre les interactions entre le matériau et le vivant par l'étude de l'influence du matériau de la ruche sur l'état sanitaire des colonies d'abeilles à savoir: leur résiliences d'une part face au *Varroa Destructor* (acarien parasite de l'abeille) et d'autre part à l'environnement hygrothermique. De plus, il est également envisagé de mieux comprendre les représentations chez les apiculteurs et les fabricants de ruches de l'impact du matériau des ruches sur les colonies grâce à l'apport des sciences sociales.

Matériel et méthodes

Pour répondre à ces problématiques, un plan d'action présenté dans la figure 1 a été prévu pour une durée de 2 ans et demi impliquant plusieurs laboratoires.

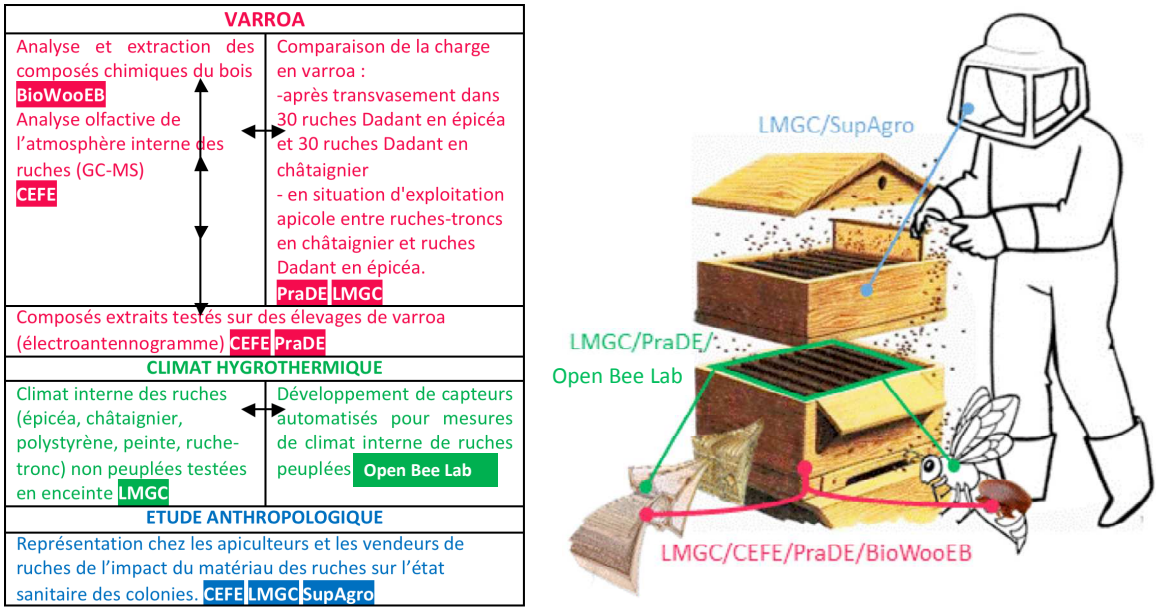


Fig. 1 : Ensemble des expérimentations et des collaborations prévues pour étudier les questions matériau-vivant

Résultats

La fabrication de 9 ruches s'est faite en partie avec le CIRAD d'une part, puis également sous forme de projet pédagogique avec les étudiants de l'ENSAM Cluny (Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers). Par ailleurs, 6 ruches en châtaignier et 7 ruches en épicea ont été également récupérées d'un projet mené antérieurement au CIRAD. Des reines soeurs ont été élevées grâce à la collaboration avec Alban Thomas un apiculteur professionnel et l'AdaO (l'interprofession apicole en Occitanie), afin de garantir un même pool génétique entre les différentes colonies. Ces ruches ont été installées au sein d'un rucher mis en place sur le site du CNRS en mai 2017, en collaboration avec Matthieu Rousset de l'IBMM (Institut des Biomolécules Max Mousseron) . Une première campagne de comptage du Varroa a été mise en place dès 2017 puis interrompue suite à des perturbations au sein du rucher (allergie aux piqûres d'abeilles de l'expérimentateur, perte de quelques colonies, forte pression des frelons asiatiques). De nouveaux aménagements techniques sanitaires et sécuritaires du rucher sont en cours de préparation afin de pérenniser les ruches et reprendre le comptage du varroa.

D'un autre côté, différents procédés d'extraction de composés chimiques du bois sont mis en place au CIRAD avec le soutien de Marie-France Thévenon et Kévin Candelier à la fois pour le châtaignier et l'épicéa afin de caractériser les composés volatiles de ces différentes essences par GC-MS (Gas Chromatography Mass Spectomètre). Il est ensuite prévu de tester ces composés chimiques extraits du bois sur le varroa par électroantennographie au CEFE -afin de déterminer quels composés olfactifs le varroa est capable de détecter - sur des varroas élevés à l'UMT PraDE.

Un étudiant de Master 2 mécanique de l'Université Montpellier, Dao Dougbaka, a mené des premiers essais de caractérisation des variations de températures et d'humidité à l'intérieur de ruches en polystyrène et en bois instrumentées, et soumises à des chargements hygrothermiques contrôlés.

Une première enquête anthropologique visant à cerner les relations entre les apiculteurs et le matériau constitutif des ruches a été mise au point et le questionnaire a été créée à l'aide du logiciel Sphinx. A ce jour, 23 réponses ont été collectées. Il en ressort l'existence d'une certaine idéalisation des pratiques et des connaissances des apiculteurs. En effet, sur l'échantillon rencontré, seulement une partie des apiculteurs s'intéresse au matériau bois des ruches et estime le connaître assez pour accepter de se prononcer sur le sujet. De plus, cette étude préliminaire a permis de mettre en avant la diversité de l'importance des connaissances des apiculteurs sur ce sujet. Enfin, l'analyse de cette enquête quantitative révèle la nécessité d'une seconde approche plus qualitative envisagée sous forme d'entretiens plus longs ou de récits de vie.

Remerciements

Les auteurs souhaitent vivement remercier le Labex Numev pour le support financier ainsi que leurs principaux collaborateurs : Matthieu Rousset de l'IBMM, Marie-France Thévenon et Kévin Candelier du CIRAD, Bertrand Schatz du CEFE, Pascale Maïzi de IRD SupAgro, Dao Dougbaka et Pauline Milliet Treboux pour leur aide.

Session C (22 novembre 2017)

N°	Laboratoire; Ville	Auteurs	Titre	Page
C1	UAC ; Abomey (BJ)	Osseni Sibiath, Ahouannou Clément, Sanya Emile, Jannot Yves	Méthode du plan chaud à deux mesures de température pour la caractérisation thermique des essences de bois et des composites contenant des résidus de bois	109
C2	Agap ; Piracicaba (BR)	Pires Franco Mariana, Chaix Gilles, Tomazello Filho Mario, Vidal Cristiane, Pasquini Celio, Gorretta Nathalie, Roger Jean Michel	Prediction of Eucalyptus grandis chemical compounds using hyperspectral imaging for drought and fertilization impact study on wood formation	111
C3	ERRMECe ; Cergy-Pontoise	Barboux Rony, Bousta Faisl, Di Martino Patrick	Spectroscopie Infra Rouge à Transformée de Fourier pour l'analyse moléculaire du bois	113
C4	Navier ; Champs-s-M	Bonnet Marie, Dao Co, Caré Sabine, Aimedieu Patrick, Bornert Michel	Mise en évidence de l'influence de l'hétérogénéité intra-cerne sur le comportement hygromécanique du bois	115
C5	Navier ; Champs-s-M	Rostom Leila, Caré Sabine, Courtier-Murias Denis, Bonnet Marie	Etude des mécanismes de sorption dans le bois par Résonance Magnétique Nucléaire	117
C6	Navier ; Champs-s-M	Zhou Meng, Caré Sabine, Aimedieu Patrick, Bonnet Marie, Bornert Michel, King Andrew, Coussot Philippe	Neutralisation du mouillage par l'adsorption de l'eau liée dans les parois du bois (feuillus) observée par microtomographie aux rayons X	119
C7	LMC2 ; Villeurbanne	Grazide Cécile, Ferrier Emmanuel, Michel Laurent	Réhabilitation des structures en béton armé par du bois et des PRF	121
C8	ESB ; Nantes	Blanchard Philippe	Conception et expérimentation d'ateliers d'initiation à l'innovation radicale pour des élèves ingénieurs en filière bois	123
C9	ESB ; Nantes	Buchner Julia, Irle Mark, Belloncle Christophe, Michaud Franck, Macchioni Nicola	Surface roughness of naturally and artificially weathered Oak and Douglas fir wood	125
C10	ESB ; Nantes	Kaci Lila, Boudaud Clément, Briot Sébastien, Martinet Philippe	RobEcolo : Conception et commande d'un robot industriel en bois	127
C11	ESB ; Nantes	Hobballah Mohamad Hussein, Michaud Franck, Ndiaye Amadou, Irle Mark	Conception multiobjectif d'un isolant thermique biosourcé optimisé : du recueil des connaissances à l'aide à la décision interactive	129
C12	ESB ; Nantes	Munir Muhammad Tanveer, Belloncle Christophe, Pailhories Hélène, Aviat Florence, Federighi Michel, Eveillard Matthieu	Microbial Safety of Wood as Contact Surface	131
C13	GEM ; Nantes	Avellaneda-Malagón Gustavo, Manfoumbi Nicaise, Bastidas-Arteaga Emilio, Moutou Pitti Rostand	Caractérisation de la variabilité spatiale des propriétés mécaniques des bois tropicaux	133
C14	Pprime ; Poitiers	Dupré Jean-Christophe, Hesser Franck, Jullien Delphine, Uzielli Luca, Riparbelli Lorenzo, Bousvarou Marina	Suivi du comportement mécanique d'une peinture sur bois, soumise à des variations d'hygrométrie	135
C15	Lermab ; Vandoeuvre	Menana Zahra, Ziegler-Devin Isabelle, Guedon Emmanuel, Brosse Nicolas	Prétraitement de saule (Salix Viminalis) issu de phytoremédiation par explosion à la vapeur pour la production de bioéthanol	137

C16	Lermab ; Vandoeuvre	Mnasri Faiza, Mohammed El Ganaoui, Bennacer Rachid	Caractérisation et prédiction des propriétés équivalentes d'un matériau composite bois-ciment	139
C17	Lermab ; Vandoeuvre	Mubarok Mahdi, Dumarcay Stephane, Gerardin Philipe, Militz Holger	Valorization of beech wood through development of innovative and environmentally friendly chemical modification treatments	141
C18	Lermab ; Vandoeuvre	Ngwa Obame Sébastien, Devin Ziegler Isabelle, Brosse Nicolas, Safou-Tchiama Rodrigue	Optimisation du prétraitement des déchets du bois d'aubier et de coeur d'Okoumé : vers la production d'éthanol cellulosique	143
C19	Lermab ; Vandoeuvre	Meyo Degboevi Henri, Gérardin Christine, Edou Engonga Prosper, Dumarcay Stephane, Gérardin Philippe	Quantification, caractérisation et possible valorisation des bio-molécules du bois de Iroko (Chlorophora excelsa) du Gabon	145
C20	Lermab ; Vandoeuvre	Gambier François, Falk Veronique, Durand Alain, Brosse Nicolas	Projet LIGNDEVI : LIGNine comme source de DEVeloppement d'Ingrédients fonctionnels	147

Méthode du plan chaud à deux mesures de température pour la caractérisation thermique des essences de bois et des composites contenant des résidus de bois

OSSENI Sibiath[1], AHOUANNOU Clément[1], SANYA Emile[1], JANNOT Yves[2]

[1] Université d'Abomey Calavi, LEMA (Bénin)
[2] Université de Lorraine, LEMTA (France)
sibiath88@gmail.com

Mots clés : bois, confort thermique, plan chaud 2T, propriétés thermophysiques, résidus.

Contexte et objectif

L'efficacité énergétique dans le bâtiment est aujourd'hui une priorité pour tout projet de construction et peut être mise en œuvre efficacement, par exemple à travers les parois. En effet, les parois constituées de matériaux organiques, tels le bois ou ses résidus, contribuent de manière décisive à obtenir un climat d'habitation confortable grâce à leur capacité à absorber et à restituer l'humidité de l'air ambiant. Il paraît alors nécessaire d'aller vers une plus grande fiabilisation des matériaux utilisés par une bonne connaissance de leurs propriétés thermiques sous différentes conditions d'utilisation. Ainsi, différentes études ont porté sur le bois et ses résidus qui constituent une ressource naturelle, renouvelable et relativement disponible du fait de la forte transformation industrielle du bois. En général, ces études révèlent que l'ajout de bois dans les parois conduit à une diminution de leur conductivité thermique (Meukam et al. 2004, Raji et al. 2009, Taouakil et al. 2011). La présente étude porte sur une nouvelle méthode de caractérisation thermophysique des matériaux, la méthode du plan chaud à deux mesures de température (Osséni et al. 2017). Elle permet d'estimer toutes les propriétés thermophysiques des matériaux avec une bonne précision et sera utilisée pour déterminer les propriétés de quelques essences tropicales de bois et composites contenant des résidus de bois afin d'apprécier leur capacité d'isolation thermique.

Matériel et méthodes

Le dispositif du plan chaud (Fig. 1) permet, par la mesure en régime transitoire des températures des deux faces principales des échantillons (Fig. 2), d'estimer la conductivité thermique λ, la capacité thermique volumique ρc, la diffusivité thermique a et l'effusivité thermique E des échantillons considérés.

Fig. 1 : Photo du dispositif du plan chaud

Fig. 2 : Photo des échantillons

Résultats

Les résultats des essais de caractérisation thermique sont portés dans le tableau 1.

Tab. 1 : Propriétés thermiques des matériaux étudiés

	Propriétés thermiques			
Matériaux	E $(J\,s^{-1/2}\,m^{-2}K^{-1})$	λ $(Wm^{-1}K^{-1})$	$a \times 10^{-7}$ (m^2s^{-1})	$\rho c \times 10^{6}$ $(J\,m^{-3}\,K^{-1})$
Acajou d'Afrique ($10 \times 10 \times 2\ cm^3$)	650,4	0,266	1,68	1,57
Afzélia ($10 \times 10 \times 2\ cm^3$)	640	0,248	1,53	1,619
Borassus ($10 \times 10 \times 2\ cm^3$)	633	0,248	1,531	1,62
Kosso ($10 \times 10 \times 2\ cm^3$)	610	0,235	1,48	1,59
Composite : ciment + sciure de teck ($10 \times 10 \times 2\ cm^3$)	389	0,186	2,27	0,817
Composite : polystyrène + sciure d'ébène ($10 \times 10 \times 1\ cm^3$)	327	0,114	1,20	0,945
Composite : sachet + sciure d'ébène ($10 \times 10 \times 1\ cm^3$)	760	0,318	1,75	1,82

Conclusion

Cette étude nous a permis de connaître avec une bonne précision les propriétés thermophysiques des essences de bois considérées. Les échantillons testés ont des propriétés comprises entre celles du bois pin d'Oregon et des briques cuites (sio2 64-71). Ils ont donc un meilleur pouvoir isolant par rapport au mortier de ciment classique utilisé en construction dans les régions chaudes. Ils pourront alors servir d'isolant dans le bâtiment et contribuer à la réduction de la consommation énergétique.

Références

Jannot Y., Kofane T.C., Meukam P., Noumowe A. (2004) Thermo physical characteristics of economical building materials, Construction and Building Materials, 18, pp. 437–443.

Ahouannou C., Jannot Y. Osséni S.O.G., Sanya E.A. (2017) Hot Plate Method with Two Simultaneous Temperature Measurements for Thermal Characterization of Building Materials, International Journal of Thermophysics 38 : 81, doi : 10.1007/s10765-017-2217-7, 17p.

Jannot Y., Lagière P., Puiggali J.R., Raji S. (2009) Thermophysical characterization of a laminated solid-wood pine wall, Construction and Building Materials 23, pp. 3189-3195.

Ajzoul T., El Bouardi A., Ezbakhe H., Taoukil D. (2011) Caractérisation mécanique et hydrique d'un béton allégé avec les résidus de bois. Revue Internationale d'Héliotechnique N° 43, pp. 1-7.

Prediction of *Eucalyptus grandis* chemical compounds using hyperspectral imaging for drought and fertilization impact study on wood formation

PIRES FRANCO Mariana [1], CHAIX Gilles [1,2,3], TOMAZELLO FILHO Mario [1], VIDAL Cristiane[4], PASQUINI Celio [4], GORRETTA Nathalie [5], ROGER Jean-Michel [5]

[1] ESALQ-USP, Wood Anatomy & Tree-Ring Lab, Piracicaba, Brazil
[2] CIRAD, UMR AGAP, Montpellier, France
[3] AGAP, Univ Montpellier, CIRAD, INRA, Montpellier SupAgro, Montpellier, France
[4] Chemistry Institute, Department of Analytical Chemistry, UNICAMP, Campinas, Brazil
[5] IRSTEA, Unité ITAP, Montpellier, France
marianapfranco@usp.br

Keywords: chemical compounds, hyperspectral image, wood, NIR

Context and objective

The study of chemical wood to explain the response of trees to climate variation is efficient for retrospective analysis of changes induced in wood during the process of adaptation to seasonal variations. Water stressed trees can produce specific metabolites to protect themselves from, for example, growth inhibition as an adaptive response to drought (Levitt, 1980; Bussotti et al., 2002; Kozlowski, 2003). Hyperspectral imaging (HSI) in near infrared could useful for the prediction of several chemical components on wood based on previous calibrations. Our objective is to better understand how water constraints in *Eucalyptus* influence wood formation.

Material and methods

We sampled wood disks of *E. grandis* clone for 6 treatments (100% and 65% of rainfall: +W –W crossed with 3 fertilizations: -K, +K, +Na) in a field experiment located in Sao Paulo state, Brazil. HIS were obtained on sanded transversal section of the disks using a line scan hyperspectral camera (*SisuCHEMA*, Specim®) from 1000 to 2500 nm with a pixel size of 625 x 625 µm. The spectral resolution was of 12 nm and a 256-wavelength spectra absorbance acquired per pixel. For the calibration, we selected 60 wood solid samples (3 x 3 x 3 cm) from our Eucalyptus collection for which we measured the total extractive values (from 2.7% to 11.1% of DM). HSI of these samples were acquired from transversal section with the same camera. We regressed the mean spectra for each sample with extractives values by PLS-R (Partial Least Square Regression).

Results

Then, thanks to the model, we predicted the total extractives for each pixel to produce image for the wooden disks (Fig. 1). Based on these images, we compared total extractive distribution according to growth conditions. The results showed that the trees under stress conditions show a higher heterogeneous chemical profile from the pith to bark of the wooden discs (Fig. 2). The results allow inferring that eucalypts are sensitive to precipitation variations, with rapid growth and considerable increase in DBH during the rainy season and the reverse in drought. In addition, the negative effect of rain exclusion in DBH growth was detected only in dry period and indicated no effect in rainy season. Consequently, our results seem to show different patterns of chemical compound distribution according to the growth conditions controlled both by precipitation and by fertilization.

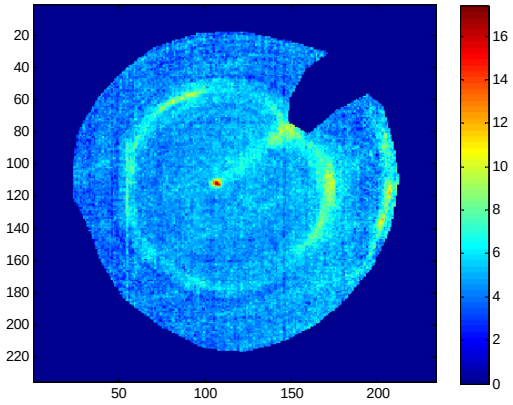
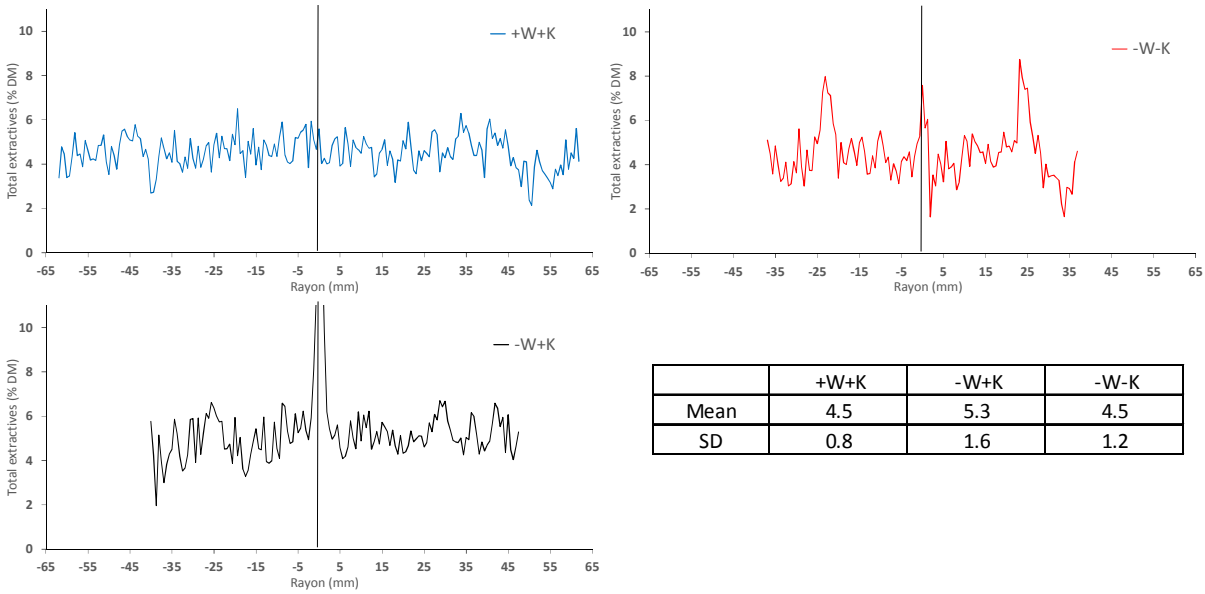


Fig. 1: Extractive percentage image on *Eucalyptus grandis* wooden disk



	+W+K	-W+K	-W-K
Mean	4.5	5.3	4.5
SD	0.8	1.6	1.2

Fig. 2: Profiles bark to bark of wood extractives for 3 main treatments (+W+K, -W+K, -W-K), the table shows the mean values and standard deviations for each treatments.

Acknowledgements

We thank CAPES, FAPESP in Brazil and CIRAD for their financial support.

References

Bussotti F., Bettini D., Grossoni P., Mansuino S., Nibbi R., Soda C., Tani C. (2002) Structural and functional traits of *Quercus ilex* in response to water availability. Environmental and Experimental Botany, 47, 11-23

Kozlowski T.T. (2003) Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. The Botanical Review, 68, 270-334

Lattanzio V. (2010) Recent Advances in Polyphenol Research. Vol. 2. Chichester: Wiley-Blackwell, 352 p

Levitt J. (1980) Responses of plants to environmental stresses. Vol. 1. 2nd Ed. New York: Academic Press, 607 p

Spectroscopie Infra Rouge à Transformée de Fourier pour l'analyse moléculaire du bois

BARBOUX Rony[1], BOUSTA Faisl[2], DI MARTINO Patrick[1]

[1]Laboratoire ERRMECe-EA1391 Université de Cergy-Pontoise
[2] LRMH-CRC-USR3224 Ministère de la Culture et de la Communication
rony.barboux@u-cergy.fr

Mots clefs : Autoclave, Biodétérioration, Bois, IRTF-ATR

Contexte et objectifs

Les champignons lignivores peuvent être globalement divisés en champignons de la pourriture blanche, qui dégradent complètement tous les composants de la paroi cellulaire de la plante dont la lignine; en champignons de la pourriture brune, qui dégradent rapidement la cellulose et les hémicelluloses, mais ne dégradent pas la lignine ; et en champignons de la pourriture molle qui eux aussi dégradent la cellulose et les hémicelluloses (Gabriel et al. 2017, Stirling et al. 2017). La composition moléculaire du bois, son état de dégradation et le type de biodégradation qu'il a subi peuvent être déterminés par spectroscopie infra-rouge à transformée de Fourier en mode de réflexion totale atténuée (IRTF-ATR) (Xu et al. 2013). La spectroscopie IRTF est basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par le matériau étudié. Elle permet de détecter les vibrations caractéristiques des différents groupements chimiques qui forment les molécules constitutives du matériau. Le spectre d'absorption obtenu correspond à la signature chimique du matériau analysé. Ce travail a consisté en l'étude de l'impact d'un traitement d'autoclavage sur un échantillon de bois par IRTF-ATR.

Matériel et méthodes

L'échantillon de bois sous forme de copaux a été mis en forme de pastilles circulaires de 13 mm de diamètre et 2 mm d'épaisseur sous presse. Les pastilles de bois ont été placées ou non dans de l'eau distillée, soumises ou non à un traitement à l'autoclave (15 minutes à 120°C) puis séchées 48h à 50°C. Des spectres IR correspondant à cinq positions sur chaque pastille ont été réalisés. Les hauteurs des signaux spécifiques de la cellulose à 1158 cm^{-1}, de la lignine à 1507 cm^{-1}, et des hémicelluloses à 1737 cm^{-1} et de composés volatiles du bois à 1232 cm^{-1} ont été mesurées. Les rapports des signaux hémicelluloses/cellulose, lignine/cellulose, lignine/hémicelluloses, composants diffusibles/cellulose et composés volatiles/lignine ont été calculés.

Résultats

Les spectres IRTF-ATR des échantillons de bois présentent un profil caractéristique des signaux moléculaires de ce matériau quelles que soient les conditions de traitement (Fig. 1). Les rapports des signaux hémicelluloses/cellulose et composés volatiles/cellulose restent inchangés après autoclavage. Par contre, les rapports des signaux lignine/cellulose et lignine/hémicelluloses augmentent après autoclavage de manière significative, pour les échantillons placés dans de l'eau distillée ou non. De plus, les rapports des signaux composés volatiles/lignine diminuent après autoclavage de manière significative, pour les échantillons placés dans de l'eau distillée ou non. Cela montre une dégradation partielle de la cellulose et des hémicelluloses et une diminution de la teneur en composés volatiles après autoclavage sans modification de la lignine. Néanmoins, les modifications de la composition du bois

restent limitées et permettent d'envisager l'utilisation d'échantillons de bois autoclavés pour des études de biodétérioration.

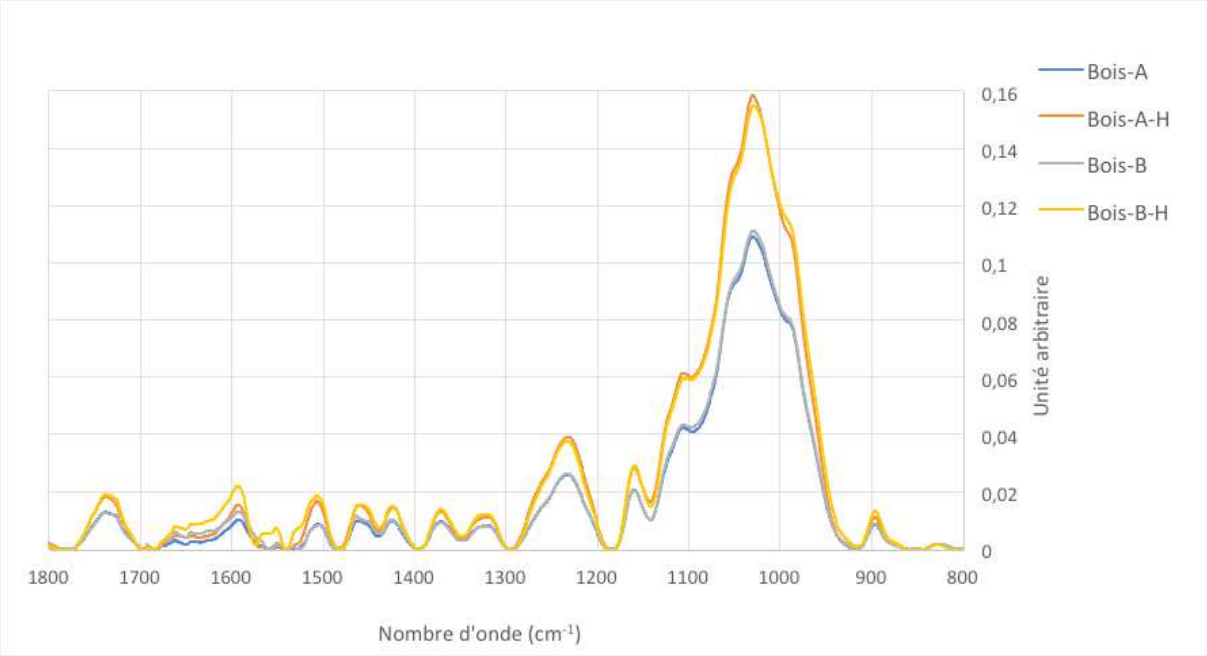


Fig. 1 : Spectres IRTF-ATR des échantillons de bois non traités (A, B) et traités par autoclave après placement en eau distillée (A-H) ou non (B-H).

Références

Gabriel J., Svec K. (2017) Occurrence of indoor wood decay basidiomycetes in Europe, Fungal Biology Reviews, 31(4) : 212-217.

Stirling R., Sturrock R.N., Braybrooks A. (2017) Fungal decay of western redcedar wood products, a review, International Biodeterioration & Biodegradation, 125 : 105-115.

Xu F., Yu J., Tesso T., Dowell F., Wang D. (2013) Qualitative and quantitative analysis of lignocellulosic biomass using infrared techniques: A mini-review, Applied Energy, 104 : 801-809.

Mise en évidence de l'influence de l'hétérogénéité intra-cerne sur le comportement hygromécanique du bois

BONNET Marie, DAO Co, CARE Sabine, AIMEDIEU Patrick, BORNERT Michel

Laboratoire Navier, UMR 8205, Ecole des Ponts, IFSTTAR, CNRS, UPE,
Champs-sur-Marne, France
marie.bonnet@enpc.fr, sabine.care@ifsttar.fr

Mots clefs : Bois final, bois initial, corrélation d'images volumiques, densité, Douglas, microtomographie aux rayons X, modélisation, retrait-gonflement.

Contexte et objectif

La variabilité des propriétés du bois ainsi que son hygroscopicité pourraient être un frein à son utilisation dans la construction, même si il peut être considéré comme un matériau de choix dans le contexte environnemental et économique actuel. Il est donc primordial de mieux comprendre les origines physiques du comportement du bois pour être capable d'améliorer la prédiction de ses propriétés, et pouvoir ainsi le rendre plus compétitif par rapport aux autres matériaux de construction. Le comportement hygromécanique du bois, caractérisé par des variations dimensionnelles en présence de variations d'hygrométrie, est particulièrement difficile à prédire, du fait de sa microstructure multi-échelle et de ses interactions complexes avec l'eau. Ce travail vise à comprendre et enrichir les relations entre la microstructure du bois et son comportement hygromécanique, en étudiant l'influence de l'hétérogénéité de au sein du cerne, constitué de bois initial et de bois final dont la structure et les propriétés présentent de nombreuses différences. Les mécanismes de déformation du bois initial, du bois final et du cerne sont étudiés à différentes échelles par corrélation d'images volumiques à partir d'images de microtomographie aux rayons X. Une discussion sur les interactions entre le bois initial et le bois final est réalisée à travers ces résultats et complétée au moyen d'une modélisation par éléments finis.

Matériaux et méthodes

Cette étude a été menée sur du Douglas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), actuellement référencé comme un matériau de structure intéressant. Un barreau prélevé dans un plateau de cœur a été utilisé dans ce travail. Trois échantillons de bois initial et de bois final, de dimensions 3x10x8 mm^3 (R, T, L), ainsi qu'un échantillon de la taille d'un cerne, de dimensions 6x6x6 mm^3 (R, T, L) ont été prélevés dans le même cerne. La zone de prélèvement très restreinte permet de limiter la variabilité entre les échantillons.

Les échantillons ont été imagés par microtomographie aux rayons X de laboratoire à différents états hydriques au cours d'un cycle complet d'humidification-séchage compris entre 2 et 97% HR. Les images, dont la taille de voxel est 8 µm, ont été acquises avec une intensité du courant et une tension dans le tube à rayons X de 80 µA et 80 kV respectivement. Les champs de déformations locaux et globaux ont été ensuite étudiés en analysant ces images par corrélation d'images volumiques.

Enfin, un modèle aux éléments finis a été développé. Les échantillons sont modélisés par des matériaux multicouches, dont chaque couche possède des propriétés mécaniques et une dilatation hydrique qui dépendent de la densité locale, afin de prendre en compte les gradients de propriétés dans le cerne.

Résultats

A l'échelle locale, des hétérogénéités du champ de déformations dans le bois initial, le bois final et le cerne sont mises en évidence. Le champ des déformations radiales du bois initial est très homogène par rapport à celui du bois final dans lequel un fort gradient radial apparaît (Fig. 1). Dans le cerne, une évolution progressive des déformations dans la direction radiale est montrée. Les champs de déformations tangentielles (non présentés ici) mettent en évidence une évolution radiale des déformations dans les trois types d'échantillons. Cette hétérogénéité radiale est quantifiée au travers des profils radiaux de déformations, dont l'évolution en fonction de la teneur en eau est analysée, comme montré par exemple dans la Fig. 2.

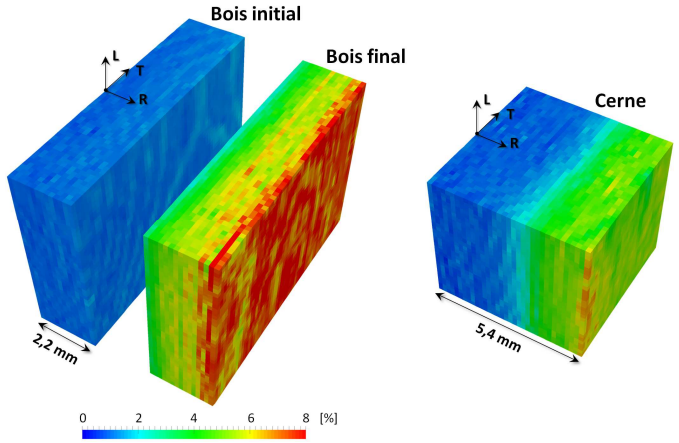


Fig. 1 : Cartes des déformations radiales entre 2 et 97% HR

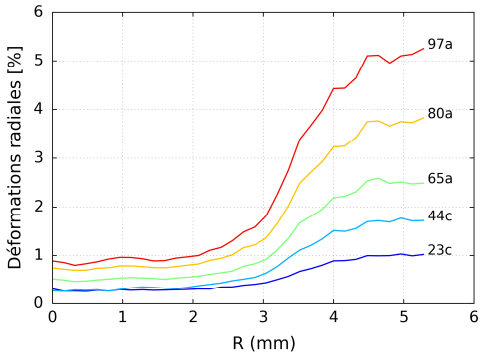


Fig. 2 : Evolution du profil radial des déformations radiales dans le cerne

Les profils de déformations sont comparés aux profils de densité du bois, mesurée à partir des images de µTRX. Les relations déformations-densité sont aussi établies pour différentes teneurs en eau et permettent de remonter aux relations entre les coefficients d'hygro-expansion et la densité. Par ailleurs, des interactions mécaniques au sein du cerne sont mises en évidence en comparant localement les déformations des trois types d'échantillons. Ces interactions semblent complexes. En particulier, le bois final semble être impacté par le couplage avec le bois initial, ce qui est contraire aux théories classiquement admises. Le modèle par éléments finis vient finalement compléter cette étude pour mieux comprendre ces observations expérimentales. Les relations entre les coefficients d'hygro-expansion et la densité sont utilisées comme données d'entrée. Les propriétés mécaniques sont quant à elles issues de la littérature. Les champs de contraintes mécaniques permettent de mettre en évidence les interactions mécaniques liées au gradient de propriétés dans le cerne. Le gradient de propriétés mécaniques semble notamment jouer un rôle important sur ces interactions.

Remerciements

Nous remercions l'INRA de Nancy de nous avoir fourni notre matériau d'étude, en particulier Julien Ruelle (LERFoB Nancy).

Référence

Bonnet M. (2017) Analyse multi-échelle du comportement hygromécanique du bois : mise en évidence par relaxométrie du proton et mesures de champs volumiques de l'influence de l'hétérogénéité au sein du cerne. Thèse de doctorat de l'Université Paris-Est.

Etude des mécanismes de sorption dans le bois par Résonance Magnétique Nucléaire

ROSTOM Leila, CARE Sabine, COURTIER-MURIAS Denis,
BONNET Marie, RODTS Stéphane

Laboratoire Navier, UMR 8205, Ecole des Ponts, IFSTTAR, CNRS, UPE,
Champs-sur-Marne, France
leila.rostom@enpc.fr

Mots clefs : Bois final, bois initial, Douglas, sorption, hystérèse, résonance magnétique nucléaire.

Contexte et objectif

L'utilisation du bois dans la construction peut présenter un atout en termes de structures innovantes et d'enjeux environnementaux. Les recherches actuelles au sein du laboratoire Navier tentent de mieux comprendre l'effet de l'humidité sur les propriétés mécaniques du bois et des structures en bois. En effet, ce matériau est sensible aux variations climatiques (température, humidité relative) et ses propriétés peuvent être altérées en condition d'usage et induire des désordres dans les structures, du fait notamment des variations dimensionnelles. Il est donc nécessaire de mieux comprendre les comportements du bois en conditions variables d'hygrométrie. Ce travail vise à étudier le comportement hygroscopique du bois en sorption/désorption, mis en lien avec sa structure, par la technique de relaxométrie par Résonance Magnétique Nucléaire. Cette technique non destructive et non invasive permet de suivre les états de l'eau dans le bois au cours de variations hygrométriques.

Matériaux et méthodes

L'étude est menée sur un bois résineux, le pin Douglas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). Trois échantillons de bois initial et de bois final de dimensions 3x10x8 mm^3 (R, T, L) ont été prélevés dans un barreau issu d'un plateau de cœur. Ils sont prélevés dans le même cerne et proches les uns des autres pour limiter la variabilité entre les échantillons.

Ils sont conditionnés à différentes humidités relatives comprises entre 2 et 99% HR au cours d'un cycle complet d'humidification-séchage. Les teneurs en eau sont mesurées à différentes humidités relatives d'équilibre par relaxométrie du proton (RMN ^1H) en 2D (cartes T_1-T_2) sur un instrument BRUKER Minispec (champ magnétique de 0,5 Tesla). Les cartographies obtenues sont utilisées pour la localisation de l'eau adsorbée sur les parois cellulaires du bois et pour le calcul de la teneur en eau liée dans le bois. Un suivi cinétique est également effectué entre deux niveaux d'humidité relative d'équilibre (basses et hautes humidités relatives).

Résultats

Les essais de relaxométrie du proton en 2D permettent d'obtenir des cartographies qui révèlent la présence de deux pics particuliers correspondant à des types d'eau liée différents (B et C) ou plus précisément à de l'eau liée adsorbée sur des polymères différents (Fig. 1). Dans le cadre d'une étude ultérieure réalisée en adsorption [Bonnet 2017a, Bonnet 2017b], des hypothèses ont été proposées quant à leur localisation dans la paroi cellulaire, à savoir dans deux environnements distincts : les zones lamellaires (« zone B ») et les zones lenticulaires (« zone C ») en lien avec des énergies d'absorption différentes.

Les mesures par RMN permettent d'obtenir les isothermes des différentes eaux liées détectées (Fig. 2). Ces isothermes montrent une teneur toujours plus élevée en eau B qu'en eau C dans les parois cellulaires du bois, pour le bois d'été, quelle que soit l'humidité relative. Tandis qu'une inversion se produit pour le bois de printemps vers les hautes humidités relatives. Une hystérèse de sorption est mise en évidence pour ces deux types d'eau liée mais semble plus marquée pour l'isotherme de l'eau liée C que de l'eau liée B.

Les mesures de cinétique entre 2 humidités relatives montrent un comportement différent pour les 2 types d'eau liée, en adsorption ou en désorption et en fonction de la tranche d'humidité relative (basses ou hautes humidités). Par exemple le processus d'absorption est plus rapide pour l'eau liée C que pour l'eau liée B lors de l'adsorption entre 23 et 44% d'humidité relative.

Des discussions quant à l'hydrophilie et l'accessibilité des sites de sorption sont proposées pour les deux types d'eau liée, notamment pour expliquer l'hystérèse.

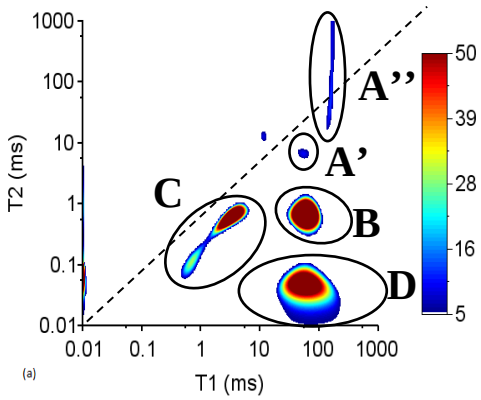


Fig. 1 : Cartographie T1T2 de la teneur en eau dans le bois d'été en cycle d'adsorption (B et C : eau liée – D polymère – A' et A'' : eau liquide ou artefact)

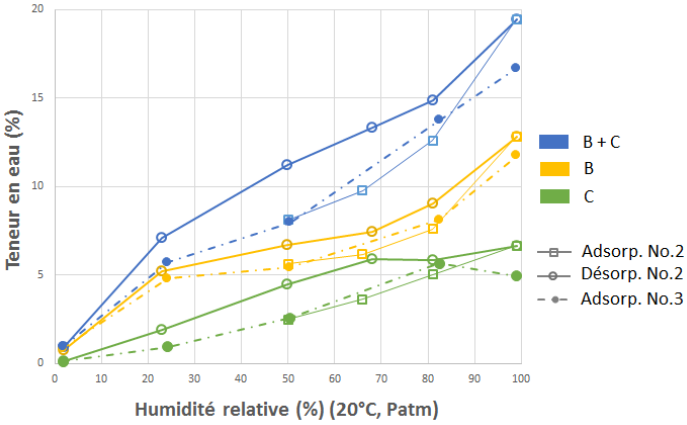


Fig. 2 : Teneur en eau des différents types d'eau liée (B+C, B et C) dans le bois d'été mesurés par RMN

Références

Marie B. (2017) Analyse multi-échelle du comportement hygromécanique du bois : mise en évidence par relaxométrie du proton et mesures de champs volumiques de l'influence de l'hétérogénéité au sein du cerne. Thèse de doctorat de l'Université Paris-Est.

Bonnet M., Courtier-Murias D., Faure P., Rodts S., Care S. (2017) NMR determination of sorption isotherms in earlywood and latewood of Douglas fir. Identification of bound water components related to their local environment. Holzforschung, 71(6) : 481-490.

Neutralisation du mouillage par l'adsorption de l'eau liée dans les parois du bois (feuillus) observée par microtomographie aux rayons X

ZHOU Meng[1], CARE Sabine[1], AIMEDIEU Patrick[1], BONNET Marie[1], BORNERT Michel[1], KING Andrew[2], COUSSOT Philippe[1]

[1] Université Paris-Est, Laboratoire Navier, ENPC-IFSTTAR-CNRS, Champs-sur-Marne, France
[2] Synchrotron SOLEIL, L'Orme des Merisiers Saint-Aubin, Gif-sur-Yvette, France
meng.zhou@ifsttar.fr

Mots clefs : Mouillage, Imbibition, Eau liée, Feuillu, Tomographie aux rayons X

Contexte et objectifs

La compréhension des mécanismes de transferts d'eau dans le bois est essentielle pour étudier les comportements de ce matériau de construction sous différentes conditions, par exemple, en imbibition ou en séchage. Nous nous intéressons ici à l'imbibition d'eau dans un feuillu, dont la structure est considérée comme un milieu poreux composé principalement de longs tubes parallèles (vaisseaux), dans une matrice de petites cellules allongées (fibres) avec des longueurs limitées. Malgré la structure relativement simple, nos résultats récents montrent que, contrairement à une imbibition capillaire dans un milieu poreux homogène, la pénétration d'eau dans le bois est de 3 ordres de grandeur plus lente par rapport à ce qui est prédit par la loi de Washburn. Ce décalage significatif ne semble pas être dû à un « mauvais » mouillage (angle de contact supérieur à 90°), puisque nous avons observé qu'à long terme, l'eau est capable d'atteindre des hauteurs importantes. Les mesures par IRM (Imagerie par Résonance Magnétique) permettant de distinguer l'eau libre dans le lumen et l'eau liée absorbée dans la paroi, suggèrent que la pénétration d'eau est contrôlée par la diffusion de l'eau liée dans la paroi (Zhou et al 2017).

Pour comprendre l'origine de ces phénomènes, nous avons réalisé des observations directes au sein des cellules de bois à l'échelle du µm à l'aide de la microtomographie aux rayons X. Par l'atténuation du signal à travers des régions avec différente densité locale, nous sommes capables, via les niveaux de gris sur les images obtenues, de différencier l'eau, l'air et la matière du bois. Les évolutions de la structure interne du bois, de l'angle de contact de l'interface eau/air, et de la forme des ménisques sont directement mesurables par analyse d'images.

Matériel et méthodes

Des éprouvettes de bois (charme) de section transversale d'environ 2×2 mm^2 pour 4 mm de longueur sont préparées. L'échantillon est tenu verticalement dans un récipient d'environ 2 cm de diamètre, puis de l'eau est injectée dans le récipient de façon à immerger l'échantillon de quelques mm (Fig. 1). 4 images successives avec une résolution de 1,3 µm pendant les 30 premières minutes après le début de l'imbibition sont réalisées sur la ligne Psiché du centre de rayonnement synchrotron SOLEIL. Une image de référence avec l'échantillon sec a été prise avant l'imbibition. Pour comparer avec l'eau qui est un liquide polaire, nous avons aussi réalisé des essais avec de l'huile de silicone 47V350 (viscosité : 350 mPa.s), qui est un liquide non-polaire. Nos résultats précédents (Zhou et al 2017) ont montré que contrairement à l'eau, l'imbibition d'huile de silicone suit bien la loi de Washburn en utilisant une perméabilité estimée à partir de la structure du milieu. Pour ces essais avec de l'huile, l'échantillon est d'abord immergé de quelques mm dans du liquide pendant 2 min, puis il en est sorti pour

réaliser des observations. Cette fois-ci les observations sont réalisées avec le tomographe aux rayons X disponible au Laboratoire Navier, avec une taille de voxel de 1,7 µm et une durée de scan d'environ 18h.

Résultats

L'analyse des images dans différents plans nous permet de mettre en évidence la distribution du liquide dans le bois. La Fig. 2 nous montre une coupe transversale après quelques minutes d'imbibition d'eau. Sur cette coupe nous observons que, d'une part la majorité de l'eau se trouve au sein des vaisseaux et d'autre part, seule une fraction de fibres autour de vaisseaux est remplie d'eau. Cette observation met en évidence que les vaisseaux sont bien des voies importantes pour le transport de l'eau.

Fig. 1 : Eprouvette pour tests d'imbibtion d'eau

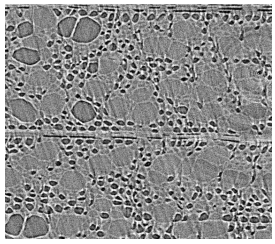


Fig. 2 : Coupe RT pendant l'imbibition

La haute résolution des images nous permet d'observer directement la forme des interfaces eau/air au sein des cellules sur les coupes TL (Fig. 3). Des interfaces planes et droites, parfois penchées, sont observées. Ceci montre notamment que la pression de Laplace à l'interface, qui est inversement proportionnelle au rayon de courbure, est très faible, voire nulle. Les effets capillaires sont donc, au moins momentanément, négligeables. Cette observation suggère qu'un autre effet, probablement l'adsorption de l'eau liée dans la paroi, est responsable des transferts d'eau dans les vaisseaux. Au contraire, l'huile de silicone montre un bon mouillage (angle de contact : 20°) sur la paroi de vaisseaux (Fig. 4), ce qui explique son comportement bien décrit par la loi de Washburn.

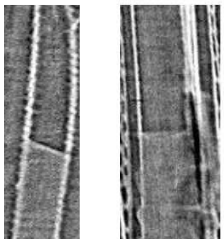


Fig. 3 : Interfaces eau/air planes observées dans des vaisseaux

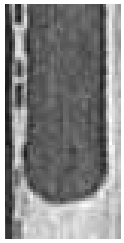


Fig. 4 : Interface eau/huile avec un angle de contact environ 20°

Remerciements

Ces travaux ont été rendus possibles grâce au financement du Labex MMCD, et aux accès au synchrotron Soleil (20141433 proposal) et au microtomographe aux rayons X de Navier.

Référence

Zhou M., Caré S., Courtier-Murias D., Faure P., Rodts S., Coussot P. (2017). How bound and free water dynamics coupling slow down wood imbibition, Submitted to Wood Science and Technology, en révision.

Réhabilitation des structures en béton armé par du bois et des PRF

GRAZIDE Cécile[1], FERRIER Emmanuel[1] MICHEL Laurent[1]

[1] Université Lyon 1, Laboratoire des Matériaux Composites pour la Construction
82 boulevard Niels Bohr, 69622 Villeurbanne Cedex
cecile.grazide@univ-lyon1.fr

Mots clefs : Béton armé, bois, comportement mécanique, Polymères Renforcés de Fibres

Contexte

La durabilité des structures en béton armé peut être limitée par la qualité de la conception, des matériaux utilisés et des dispositions constructives, des conditions d'usage, d'exploitation et de maintenance... La réhabilitation et le renforcement de ces structures, souvent coûteux, sont donc nécessaire pour renforcer, contrôler/limiter le processus de fissuration. Pour minimiser les coûts de réfection, un recouvrement partiel des éléments structurels avec des bandes de Polymères Renforcés de Fibres de Carbone ou de Verre (PRFC et PRFV) est utilisé en construction, Luyckz (1999), Marouani *et al.* (2008). Cependant, ces renforts présentent des inconvénients tels que le risque de fissuration sur le reste de la structure et une faible résistance au feu. Pour pallier ces deux aspects, il est proposé ici de renforcer des poutres BA avec un élément bois avec ou sans PRF.

Des essais ont été réalisés pour comparer le comportement mécanique de ce mode de renfort à ceux des renforts ponctuels avec des bandes de PRFC et PRFV. Le renforcement continu bois présente une force ultime deux fois plus importantes que celles avec les bandes PRF. Pour poursuivre ces travaux, 9 poutres en BA avec renfort continu bois/PRF ont été conçues, testées en flexion et comparées à une poutre de référence.

Matériel et méthode

Les matériaux utilisés ont les caractéristiques suivantes :

- *Poutres en béton armé* (BA). 10 poutres en BA de dimensions 150 x 250 x 3000 mm3 avec un ratio d'acier : As=0.004Ac (As= section d'acier et Ac=section de béton) et une classe de béton C30/37 ont été réalisées.

- *Lamelles bois.* Avant d'être connectées aux poutres en BA, 9 lamelles bois en Pin Douglas ont été pesées, mesurées et testées dans le domaine élastique. Une masse volumique moyenne de 440kg/m3 et un module d'élasticité longitudinal moyen de 12450 MPa ont été obtenus.

- *Polymères Renforcés de Fibres* (PRF). 2 types de barres en PRF ont été utilisés dans cette étude, les PRF en Carbone et Verre (PRFC et PRFV). Pour les PRFC, un diamètre de barre a été testé (ϕ_c=9 mm) et pour les PRFV, deux diamètres (ϕ_v= 9mm et 14 mm).

Pour les éléments béton-bois, 7 poutres en BA ont été renforcées par des éléments bois de section 45x90mm² (dont 5 avec des barres PRF) et 2 poutres avec des lamelles bois de section 25x90mm² (sans PRF). Sur les 7 poutres, 2 ont été réalisées avec des PRFV de diamètre 14mm, 1 avec un PRFV de diamètre 9 mm, 2 avec des barres en PRFC de diamètre 9 mm. Les 2 dernières étaient seulement composées de lamelles bois de section 45x90mm². La connexion entre les différents éléments est assurée par collage époxy (Fig.1).

Les 10 éléments (9 + 1 référence) ont été ensuite testés en flexion 4 points.

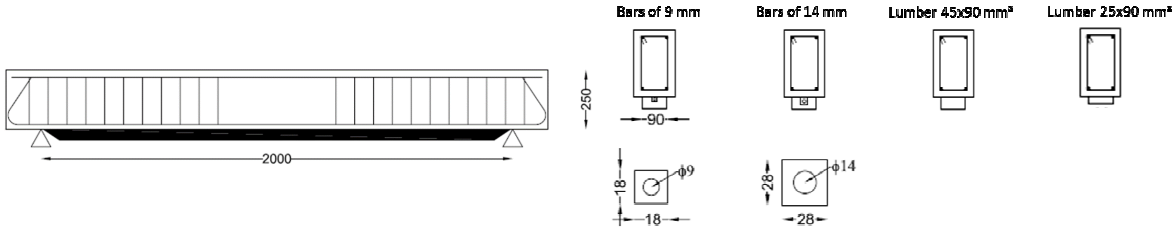


Fig.1 : Géométrie des éléments en mm

Résultats

La figure 2 illustre les résultats obtenus en termes de force-déplacement. Le gain sur la force ultime est compris entre 40% (rupture due à la présence de nœuds dans le tiers central) et 130%. Pour les poutres avec lamelle 45x90mm², la raideur des éléments avec PRF est plus importante pour une force maximale équivalente. Pour ce qui est de l'effet de l'épaisseur de la lamelle, on peut voir qu'une épaisseur trop faible entraine la rupture du bois. Une épaisseur optimale est donc possible pour éviter la rupture du bois en traction parallèle et ainsi augmenter la force à la rupture.

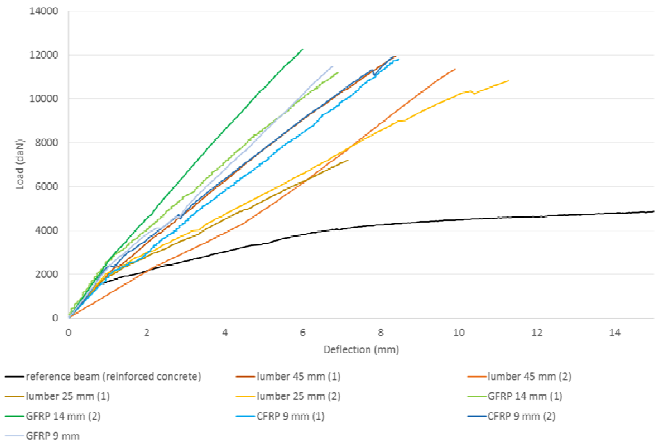


Fig.2 : Courbes force-déplacement des 10 poutres

Conclusions

La réhabilitation et le renforcement des structures en béton armé sont réalisés avec des renforts ponctuels de PRF. Une réflexion sur la possibilité de renforcer les éléments BA avec du bois a été proposé dans cette étude. Les résultats préliminaires ont montré une force ultime 2 fois plus importante qu'avec des bandes de PRF. Dans la continuité, 9 poutres ont été testées selon différentes configurations (épaisseur des lamelles, type et diamètre de FRP). Le gain sur la force ultime est compris entre 40 et 130%. Pour les poutres renforcées avec seulement des lamelles bois, une épaisseur de bois trop fine entraine une variabilité des résultats. La présence de PRF permet une augmentation de la raideur de l'élément structurel composite. D'autres tests sont prévus avec d'autres sections d'armatures longitudinales acier et d'autres épaisseurs de bois.

Références

Luyckz J. (1999) Composites à fibres de carbone dans le Génie civil. *Techniques de l'Ingénieur – Traité Plastiques et Composites.* Réf : AM 5 620, Publié.

Marouani S., Curtil L., Hamelin P. (2008) Composites realized by hand lay-up process in a civil environment: initial properties and durability. *Mater Struct*, vol. 41(5), pp. 164-74.

Conception et expérimentation d'ateliers d'initiation à l'innovation radicale pour des élèves ingénieurs en filière bois

BLANCHARD Philippe

Ecole Supérieure du Bois, LIMBHA, Nantes, France
philippe.blanchard@ecoledubois.fr

Mots clefs : conception innovante, innovation radicale, ambiguïté, incertitude, Théorie C-K, atelier, filière bois

Intérêts de concevoir des ateliers de conception innovante

L'Ecole Supérieure du Bois et l'Ecole de Design Nantes Atlantique sont engagées dans une formation à l'innovation radicale. Elles ont opté pour concevoir un modèle d'atelier de conception innovante conjoint aux 2 établissements. Ils sont principalement structurés autour de la démarche "design thinking" et de la Théorie C-K.

Notions d'ambiguïté et d'incertitude

Pour s'affranchir de solutions trop routinières, les notions d'ambiguïté et d'incertitude seront examinées sous l'angle du VUCA et de Carleton (voir Fig. 1).

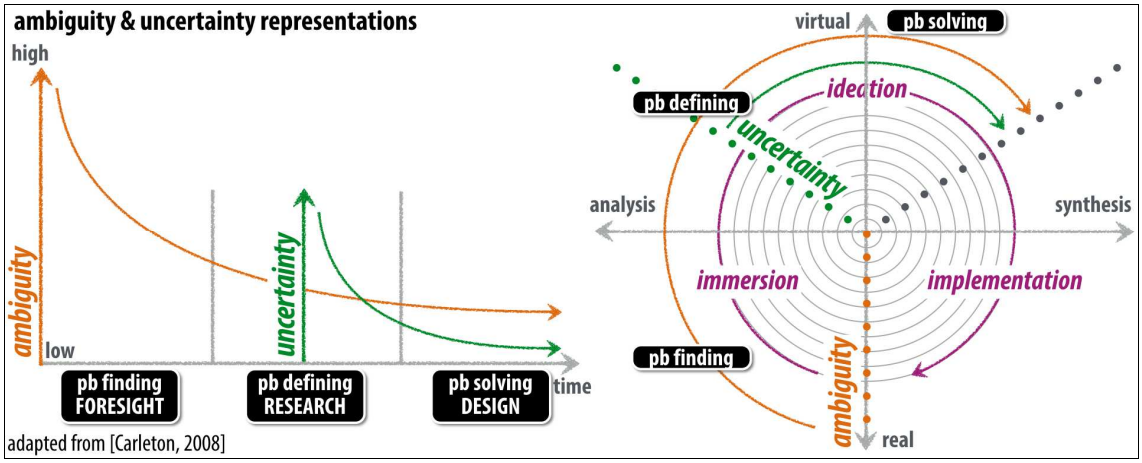


Fig. 1 : Représentations de l'ambiguité et de l'incertitude [Carleton, 2006].

Expérimentations

2 ateliers se sont déroulés au sein de l'Ecole de Design puis ils ont été étendus à l'Ecole Supérieure du Bois (voir Tab. 1).

Tab. 1 : Historique des différents ateliers.

Epoque	Lieu	Nombre d'étudiants
2011-2012	Nantes	18 (EDNA seule)
2012-2013	Nantes	20 (EDNA seule)
avril 2015	Berlin	38 (les 2 écoles)
avril 2016	Lisbonne	36 (les 2 écoles)
juin 2017	Amsterdam	52 (les 2 écoles)

Conclusions

Ces 6 années d'expérimentations ont permis de tester plusieurs configurations d'ateliers et d'attentes pédagogiques. La liste de préconisations s'enrichit à chaque nouvelle expérience.

La notion d'incertitude décrite par Carleton se trouve compétée par un pic supplémentaire (voir Fig. 2).

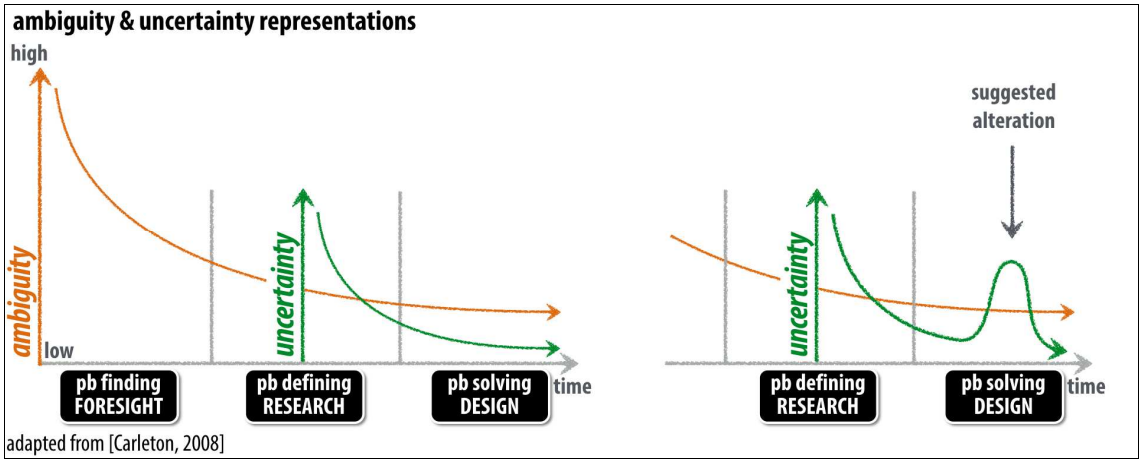


Fig. 2 : Nouvelle proposition de courbe d'incertitude.

Ces expériences cumulées servent de terreau au prochain exercice qui se déroulera en République Tchèque en juin 2018 avec, en plus des 2 classes traditionnelles, la participation de la classe de l'Université d'accueil.

Références

Beckman S.L., Barry M. (2007) Innovation as a Learning Process: Embedding Design Thinking, California Management Review.

Bennett N., Lemoine J. (2014) What VUCA Really Means for You, Harvard Business Review.

Blanchard P. et al. (2013) On the Effectiveness of Experimenting with C-K Theory in Design Education: Analysis of Process Methodology, Results and Main Lessons Drawn. In ICED 2013, Séoul.

Brown T. (2008) Design Thinking, Harvard Business Review.

Carleton T., Cockayne W.R., Leifer L. (2008) An Exploratory Study abouit the Role of Ambiguity during Complex Problem Solving, in AAAI Spring Symposium: Creative Intelligent Systems'08, Stanford, Califormia, USA.

Hatchuel A., Le Masson P., Weil B. (2009) Design Theory and Collective Creativity: a theoretical framework to evaluate KCP process. in ICED 2009, Stanford University, The design Society.

Surface roughness of naturally and artificially weathered oak and Douglas fir wood

BUCHNER Julia[1], IRLE Mark[1], BELLONCLE Christophe[1], MICHAUD Franck[1], MACCHIONI Nicola[2]

[1]Ecole Supérieure du Bois, LIMBHA, Nantes, France
[2] IVALSA, Florence, Italy
julia.buchner@ecoledubois.fr

Keywords: Surface roughness, natural weathering, artificial weathering, *Quercus robur, Pseudotsuga menziesii*

Context and objectives

When wood is used in outdoor environments, the material, as most construction materials, degrades during several years in service. The visual appearance of a wooden facade changes over time and, often, the discoloration is heterogeneous and the surfaces appear rougher. Extensive research on wood decay by abiotic factors, such as UV light, humidity and temperature, as well as by biotic factors such as fungi, has already been carried out. There is however a lack of research concerning the influence of bacteria during the weathering process of wood, particularly for facades where the wood is wetted intermittently.

Exposure to UV light leads to lignin degradation. The lignin breakdown products are leached by rain and wind creating a cellulose rich surface. A complete delignification after 30 days of natural weathering is reported by Feist and Hon (1984). Wood exposed outdoors becomes grey and appears “fuzzy” after 6 to 12 months of weathering, depending on climate conditions and wood species (Arndt and Willeitner 1969).

The aim of the project is to study the effect of different artificial and natural weathering methods on the surface roughness of oak and Douglas fir wood.

Material and methods

Wood samples of oak *(Quercus Robur)* and Douglas fir *(Pseudotsuga menziezii)* are weathered naturally outdoors as well as artificially in a QUV, with different standard cycles and adapted weathering methods. The surface roughness of Douglas fir and oak wood samples are measured with the stylus MarSurf XT20 instrument (by Mahr GmbH) after different times of exposure. Table 1 presents the four different weathering methods applied.

Results

First observations of weathered wood surfaces under the electron microscope revealed that these surfaces show cracks and loose fibres. Micro- checking was also reported by Evans (2013). Figures 1 and 2 compare a non-weathered oak wood surface and one weathered for 24 h. In the lower part of Figure 2 cracks can be observed. It is proposed that microorganisms are likely to develop more easily in micro-checks because they will be protected from UV light and they will experience higher moisture contents than on smooth surfaces.

Measurements of roughness of surfaces after the fourth abovementioned weathering protocols are in progress.

Table 1 : Weathering methods

ASTM- G154 Cycle no. 1	**Function**	**Temperature [°C]**	**Irradiation [W/m²/nm]**	**Time [h]**
1	UVA-340	60	0,89	8
2	Condensation	50	/	4
3	Repeat first two steps			1 Cycle: 12 h
ASTM- G154 Cycle no. 7				
1	UVA-340	60	1,55	8
2	Water spray		/	0,25
3	Condensation	50	/	3,75
4	Repeat first three steps			1 Cycle: 12 h
ASTM- G154 Cycle no. 7 adapted				
1	UVA-340	60	0,89	8
2	Water spray		/	0,25
3	Condensation	50	/	3,75
4	Repeat first three steps			1 Cycle: 12 h
Natural weathering- Exposed to an Atlantic climate				

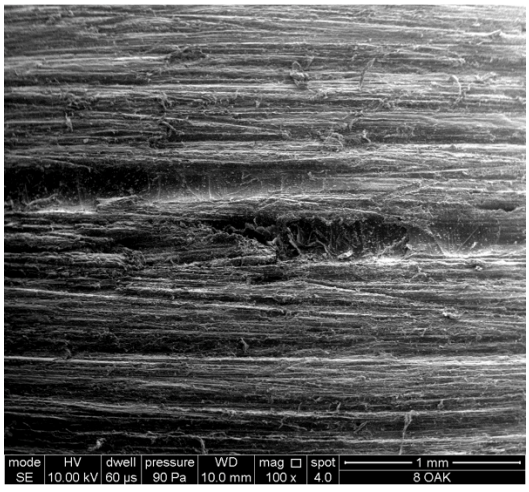


Fig. 1 : Oak wood - Non weathered

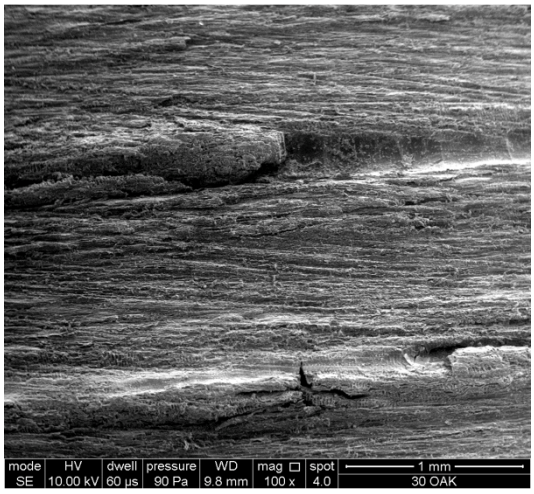


Fig. 2 : Oak wood - Artificially weathered for 24 h

Acknowledgment

The authors would like to acknowledge the support of the Transylvania University of Brasov and especially Prof. Lidia Gurau.

References

Arndt U., Willeitner H. (1969) Zum Resistenzverhalten von Holz bei natürlicher Bewitterung. In Holz als Roh-und Werkstoff 27 (5), pp. 179–188. DOI: 10.1007/BF02612818.

Evans P. (2013) Weathering of Wood and Wood Composites. 2. ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press.

Feist C., Hon D.N.-S. (1984) Chemistry of Weathering and Protection 207, pp. 401–451. DOI: 10.1021/ba-1984-0207.ch011.

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

KACI Lila[1,2], BOUDAUD Clément[3], BRIOT Sébastien[1], MARTINET Philippe[2]

[1] Laboratoire des sciences du Numérique de Nantes (LS2N), UMR CNRS 6004
[2] Ecole Centrale de Nantes
[3] LIMBHA, Ecole Supérieure du Bois (ESB)
lila.kaci@ls2n.fr

Mots clefs : Bois, Conception robuste, Modèle de comportement mécanique, Robotique

Contexte

Il est méconnu que l'utilisation des robots (sans même considérer le procédé industriel pour lequel ils seront utilisés) impacte considérablement l'environnement. On estime l'impact pour la réalisation (seulement) du stock mondial de robots industriels (1 500 000 unités, 180 000 unités vendues par an avec 12% d'augmentation annuelle), en termes de rejet de gaz à effet de serre, à 11 millions de tonnes en équivalent CO_2 rejetées dans l'atmosphère tel qu'il est montré dans Briot (2015). Le projet RobEcolo, financé pour 3 ans par la région Pays de la Loire, se focalise sur la réduction de cet impact environnemental par l'utilisation de matériaux bio-sourcés, et de bois dans un premier temps. Peu d'études existent sur ce type de sujet, on peut par exemple citer Laurent *et al.* (2010), qui montre qu'il est possible d'avoir des propriétés mécaniques intéressantes pour le robot en bois, mais qui ne mentionne pas comment réussir à créer de manière certifiée un robot fiable, raide, précis et sans problème de vibrations avec des éléments en bois.

Objectifs

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

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

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

Avancement et résultats

La méthode de travail prévue va au-delà du « simple » remplacement de pièces métalliques ou composites par des éléments en bois pour évaluer la performance du robot. Il s'agit de combiner les domaines de la robotique et du bois. La première année du projet a surtout été marquée par les travaux sur la conception de robots orientée commande (Kaci *et al.* (2016)). Ces algorithmes de conception ont permis d'avoir les dimensions nécessaires des bras de robot ainsi que la distance entre les deux moteurs, afin de satisfaire la contrainte de précision définie dans le cahier des charges. Le bois présente des propriétés mécaniques intéressantes, cependant ses propriétés/dimensions varient avec les conditions atmosphériques ainsi que les sollicitations externes. Pour cette raison, afin de pouvoir concevoir un robot industriel rigide, des approches de conception robustes par rapport à la variabilité des propriétés du bois ont été

développées. Ces algorithmes prennent en compte la variabilité des performances du bois et ont permis la définition d'une architecture de robots pour lesquelles l'impact de cette variabilité est minimal (Fig.1). Pour l'utilisation de ces algorithmes, une définition des modèles élasto-statique (calcul de déformation) et élasto-dynamique (calcul des fréquences propres) sont nécessaires. Les expérimentations réalisées sur une maquette qui a été conçue (Fig. 2) ont permis de valider les approches de modélisation proposées : modèle basés sur la théorie des poutres simples.

De plus, pour fournir aux algorithmes de conception les données nécessaires sur la rigidité des éléments en bois, il a été choisi de travailler dans un premier temps sur du bois acétylé. En effet, si l'acétylation impacte peu les aspects mécaniques, elle limite beaucoup les phénomènes de retraits/gonflements. Néanmoins, des caméras vont être utilisées pour la commande du robot, afin de compenser les erreurs liées à la variation dimensionnelle des éléments en bois.

Au cours de cette deuxième année du projet, plusieurs travaux ont été réalisés. D'une part, la caractérisation expérimentale de la rigidité pour des pièces dont les dimensions correspondent à celles d'un bras de robot et pour le bois acétylé (pin radiata), suivi de la validation des modèles élastiques en statique et en dynamique proposés. D'autre part, la définition des approches de conception robuste pour les robots industriels en bois.

La réalisation du prototype est en cours, et nos perspectives dans un premier temps sont de mettre en place le contrôleur basé capteurs extéroceptifs et de réaliser une validation expérimentale de toutes les approches théoriques développées durant le projet.

Fig. 1 : CAO du prototype de robot parallèlle en bois finale

Fig. 2 : Maquette de mécanisme à cinq barres en bois (Accoya Pin)

Remerciements

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

Références

Laurent T., Kergueme J.L., Arnould O., Dureisseix D. (2010) Eco-conception : Vers un robot en bois, Technologie, 168.

Kaci L., Briot S., Boudaud C., Martinet P. (2016) Control-based Design of a Five-bar Mechanism, Proceedings of the 6th European Conference on Mechanism Science (EuCoMeS2016). Nantes, France.

Briot S. (2015) Analyse d'Eco-conception de deux robots : KUKA 270 et IRSbot-2, Etude disponible sur http://www.irccyn.ec-nantes.fr/~briot/Project_Review.html

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

Conception multiobjectif d'un isolant thermique biosourcé optimisé : du recueil des connaissances à l'aide à la décision interactive

HOBBALLAH Mohamad Hussein[1,2], MICHAUD Franck[1], NDIAYE Amadou[2], IRLE Mark[1]

[1] Laboratoire Innovation Matériau Bois Habitat Apprentissage (LIMBHA), Ecole Supérieure du Bois, 7 Rue Christian Pauc, F-44306 Nantes, France
[2] INRA, USC 1368, Institut de Mécanique et d'Ingénierie (I2M), Université de Bordeaux, 351 Cours de la Libération, F-33405 Talence, France
franck.michaud@ecoledubois.fr

Mots clefs : Recueil des connaissances, Modélisation, Optimisation multiobjectif, Algorithmes évolutionnaires, Fouille de données, Décision multicritère interactive, Fibre de Bois, Isolation thermique.

Contexte et objectifs

L'objectif de ce travail[1] est de développer un cadre méthodologique et générique de conception de procédés de fabrication de matériaux biosourcés couplant différentes méthodes et techniques : recueil des connaissances auprès d'experts (interviews, enquêtes), modélisation des connaissances (graphes causals, arbres hiérarchiques, tableaux), modélisation mathématique et informatique, optimisation multiobjectif (algorithmes évolutionnaires) (Talbi 2009) et aide à la décision multicritère interactive (MAUT, value function learning) (Branke et al. 2016). La méthodologie a été déployée sur un problème d'optimisation d'un isolant thermique biosourcé à base de fibre de bois. Quatre objectifs ont été retenus en concertation avec des industriels : minimisation de la résistance thermique et du coût de production, maximisation de la reprise en épaisseur et une prise en compte de l'impact environnemental.

Matériels et méthodes

Une méthode de recueil des connaissances auprès d'experts a été proposée (Hobballah et al. 2018) : définir et conduire une enquête auprès des experts pour préciser les connaissances nécessaires à recueillir puis, définir une procédure adaptée aux interviews semi-dirigés et dirigés. En résultat, les connaissances nécessaires à la construction des fonctions objectif sont recueillies. Pour visualiser et intégrer les connaissances venant des différents experts un graphe causal (Milton 2007) a été élaboré (Fig. 1). Ce modèle a permis de visualiser les variables d'intérêt et leurs influences entre elles et sur les objectifs à optimiser. Il a aussi permis de circonscrire les expérimentations à conduire et leurs nécessaires répétitions. Les modèles mathématiques des objectifs de l'optimisation (fonctions discontinues) ont été établis à l'aide d'un graphe causal construit à partir de données expérimentales.

Résultats

Les modèles, qui sont contradictoires, ont été optimisés simultanément pour trouver les solutions optimales au sens de Pareto (Fig. 2, Coello Coello 2007). Les solutions optimales ont fait l'objet d'une fouille de données afin de générer des règles de conception et de visualisation pour aider à la réflexion des experts et ainsi à l'affinage des modèles et/ou des

[1] Thèse, portée par l'Ecole Supérieure du Bois (Nantes) et effectuée au laboratoire I2M de Bordeaux dans le cadre du projet ADEME ECOMATFIB. Elle s'inscrit dans une dynamique de développement des composites biosourcés.

connaissances recueillis. La méthodologie est itérative, après chaque visualisation et génération des connaissances, les modèles et les connaissances sont questionnés et affinés si besoin. Enfin, un algorithme d'optimisation évolutionnaire interactive basé sur le principe de la décomposition de l'espace des objectifs et la méthode de tri de NSGA-II (Deb et al. 2002) a été proposé et utilisé pour aider au choix des solutions optimales préférées.

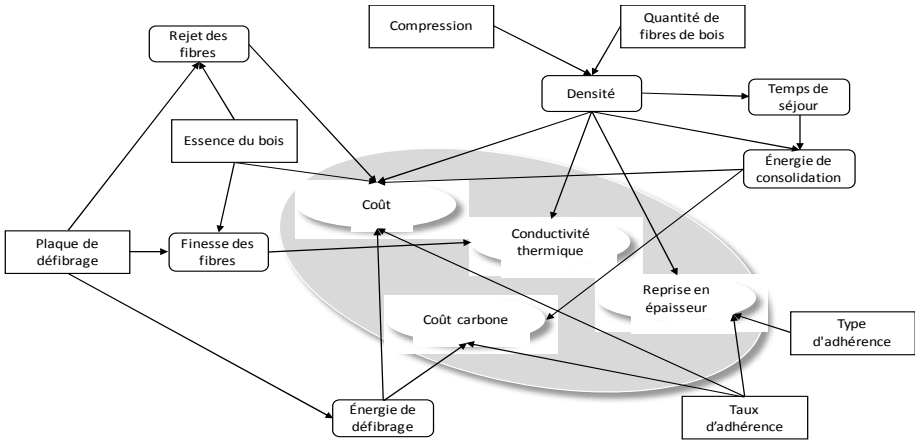


Fig. 1 Carte Causale d'assemblage des connaissances des différents experts

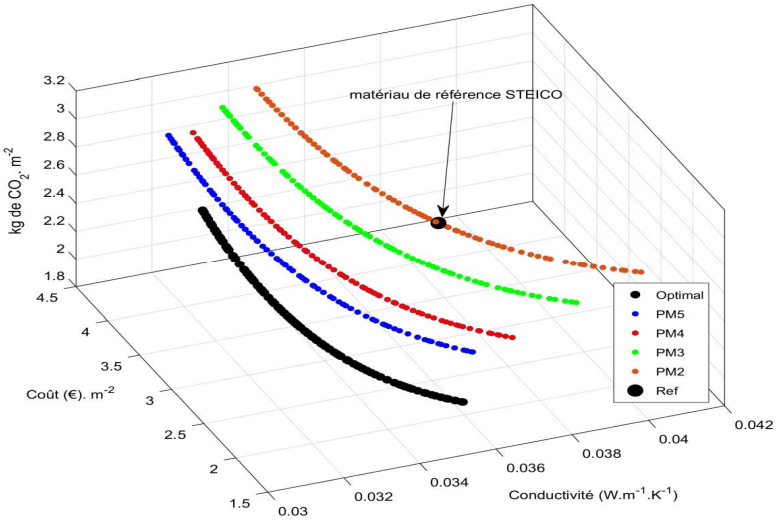


Fig. 2 Front de Pareto calculé

Références

Branke J., Corrente S., Greco S., Słowiński R., Zielniewicz P. (2016) Using Choquet integral as preference model in interactive evolutionary multiobjective optimization. European Journal of Operational Research, 250(3), 884-901.

Coello Coello C.A., Lamont G.B., Van Veldhuizen D.A. (2007) Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems. Springer (2nd edition ed.).

Deb K., Pratap A., Agarwal S., Meyarivan T.A.M.T. (2002) A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE transactions on evolutionary computation, 6(2), 182-197.

Hobballah M.H., Ndiaye A., Michaud F., Irle M. (2018) Formulating preliminary design optimization problems using expert knowledge: Application to wood-based insulating materials. Expert Systems with Applications, 92, 95–105.

Milton N.R (2007) Knowledge acquisition in Practice: a Step-by-step guide**.** Springer Science & Business Media

Talbi E.G. (2009) Metaheuristics: from design to implementation, vol.74, John Wiley & Sons.

Microbial Safety of Wood as Contact Surface

MUNIR Muhammad Tanveer[1], BELLONCLE Christophe[1], PAILHORIES Hélène[2], AVIAT Florence [3], FEDERIGHI Michel[3], EVEILLARD Matthieu[2]

[1] LIMBHA, Ecole Supérieure du Bois, Nantes, France.
[2] ATOMycA, Inserm Equipe Avenir, L'UBL Université, Bretagne-Loire, Angers, France.
[3] Hygiène et qualité des aliments, Oniris, Nantes, France.
tanveer.munir@ecoledubois.fr

Keywords: Antimicrobials, Contact surfaces, Environmental health, Infections, Restorative conditions, Wood

Context and objectives

Wood is a renewable resource which provides a restorative environment to inhabitants when used in interior construction. The wood made contact surfaces have positive physiological and psychological effects on public health (Fell 2010). However, wood is generally viewed as an unhygienic material owing to its porosity which is questioned for microbial retention (Aviat et al 2016). This research investigates whether wood porosity is responsible for microbial growth. Both the chemical (extractive) and physical (structure) interactions were studied.

Materials and methods

Softwood (European fir) and hardwood species (Ash and Okume) were tested against two gram positive bacteria (*Staphylococcus aureus* – sensitive and *Staphylococcus aureus* multi resistant) and two gram negative strains of bacteria (*Escherichia coli* sensitive – ATCC 25922 and *Escherichia coli* resistant – BLSA). Wooden discs were prepared by laser cutting in tangential (LT) and transversal (RT) plans and saw dust by grinding the wood material. All samples were sterilized by gamma radiation (> 25 kGy). Agar diffusion method was used to test the antimicrobial sensitivity by recommended methods (Munir et al 2017). Wooden discs were directly placed while the sawdust was added to wells created on the bacteria inoculated agar plates and zone of inhibition was measured after 24 hours of incubation (Fig. 1).

Results

All the tested wood species were observed active against *Staphylococcus aureus ATCC* (Pailhoriès et al 2017).

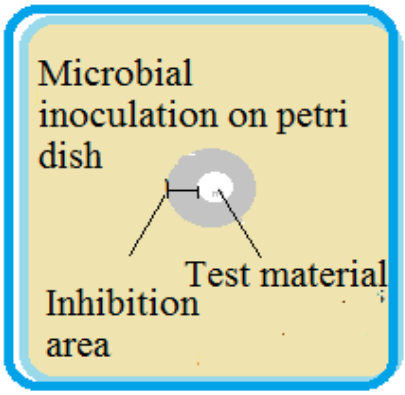


Fig. 1: Agar diffusion method to test the antimicrobial sensitivity of test material on bacteria inoculated agar

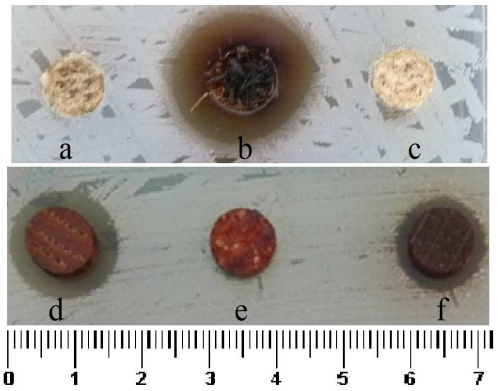


Fig. 2: Wooden discs were directly placed (d, e, f) while the sawdust was added to wells (a, b, c) created on the bacteria inoculated agar

plates. and zone of inhibition (on mm scale)

Tab. 1: Antibiogram- Antimicrobial activity of different species' wood discs tangential (LT) and transversal (RT) cuts and sawdust against different bacterial strains

	pH	Structure	Mass (mg)	*S. aureus* ATCC 29213	SARM	E. coli ATCC 25922	E. coli BLSE
Ash (Fraxinus excelsior)	5.40	Disc LT	111.2±4.8	+	-	-	-
		Disc RT	106.9±1.9	+	-	-	-
		Saw dust		-	+	-	-
European Fir (Abies alba)	5.58	Disc LT	117.9±19.1	-	-	-	-
		Disc RT	93.7±18.8	+	-	-	-
		Saw dust		-	-	-	-
Okumé-Gabon (Aucoumea klaineana)	4.64	Disc*	86.7±3.4	+	-	-	-
		Saw dust		-	-	-	-

"+" Presence of antimicrobial effect; "-" No antimicrobial effect; "*" Definition of transversal and tangential cut not applicable; "SARM" *Staphylococcus aureus* multi resistant

The diffusion of extractives around discs stopped the growth of microbes and no microbial growth were observed over discs (Fig. 2). The transverse cut wooden discs seem to be more active against bacteria than tangential cuts. However a more complex effect exists as indicated by the non-response of sawdust on identical conditions. This will be investigate later.

Conclusion

Some solid wood species present antibacterial effect that could be used for specific applications or process in places were hygienic conditions are crucial. However, these effects are specific to bacteria species and should be further investigated.

Acknowledgement

This research has been partially founded by CODIFAB.

References

Fell D.R. (2010) Wood in the human environment: restorative properties of wood in the built indoor environment. PhD thesis, UBC. Doi : 10.14288/1.0071305.

Aviat et al. (2016) Microbial Safety of Wood in Contact with Food: A Review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 15(3): 491-505.

Munir et al. (2017) Rapid, simple and direct screening methods to assess antimicrobial behavior of untreated woods, submitted to European Journal of Wood and Wood Product

Pailhoriès et al. (2017) Oak in Hospitals, the Worst Enemy of Staphylococcus aureus? *Infection Control & Hospital Epidemiology* 38(3): 382-384
DOI: https://doi.org/10.1017/ice.2016.304

Caractérisation de la variabilité spatiale des propriétés mécaniques des bois tropicaux

Gustavo AVELLANEDA-MALAGÓN[1], Nicaise MANFOUMBI[2], Emilio BASTIDAS-ARTEAGA[1], Rostand MOUTOU PITTI[3,4]

[1]UBL, Université de Nantes, Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique, GeM CNRS UMR 61B3, France
[2]Université des Sciences et Technique de Masuku, URMM, BP 941, Franceville Gabon
[3]Université Clermont Auvergne, Institut Pascal, IP CNRS UMR 19300 Clermont Ferrand
CENARST, IRT, 10794 Libreville, Gabon
emilio.bastidas@univ-nantes.fr

Mots clefs : Bois, Fiabilité, Moabi, Variabilité Spatiale.

Contexte et objectif

Les recherches sur le comportement mécanique des bois tropicaux dans leur environnement constituent un véritable défi pour leur utilisation massive dans la construction bois. La présente étude porte sur la caractérisation expérimentale et la modélisation de la variabilité spatiale des paramètres mécaniques de poutres en bois massif d'une essence tropicale Moabi (Baillonella Toxisperma, (Manfoumbi *et al*, 2012)).

Matériel et méthodes

Les poutres d'environ 3m de long ont été découpées en sections de 317 mm de long (Fig 1). Des échantillons pour effectuer des tests en flexion, en compression et en traction ont été extraits de chaque tronçon.

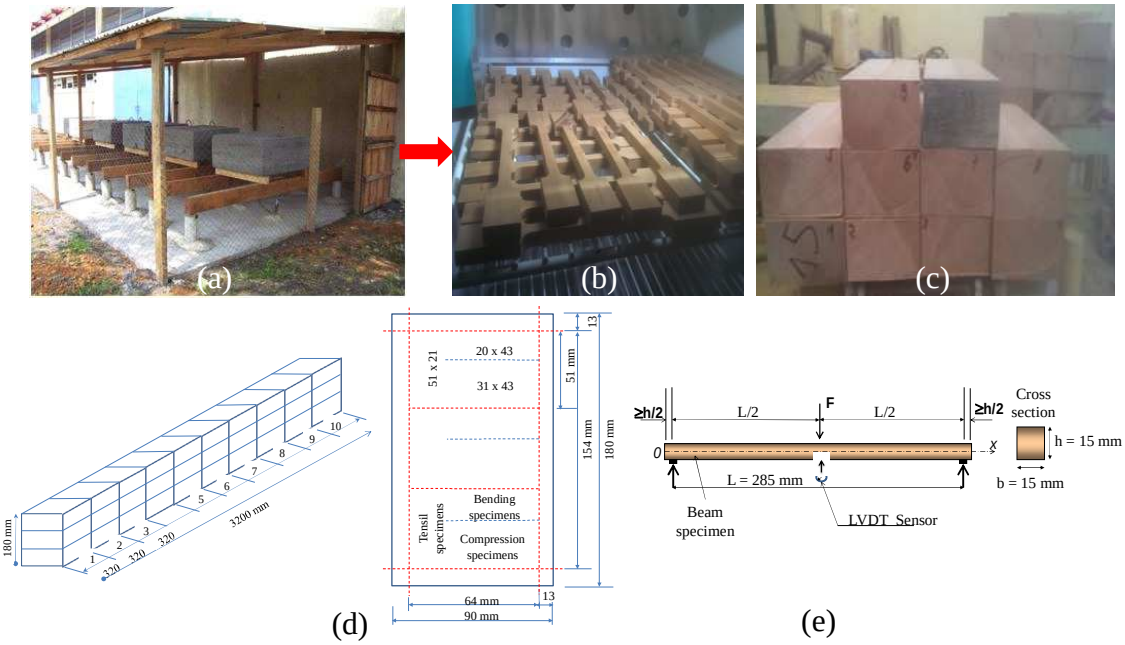


Fig. 1 : Poutres en bois et plans de découpe

Résultats

Cette base de données expérimentale a été utilisée pour reconstituer des trajectoires dans l'espace pour chaque test. Les résultats (Fig. 2 par exemple) ont montré une variation spatiale des valeurs mesurées. Ces données ont été utilisées pour caractériser la variabilité spatiale des propriétés mécaniques. Après avoir vérifié la stationnarité des trajectoires, nous avons déterminé des valeurs pour la moyenne, l'écart-type et la corrélation spatiale de chaque propriété. Ces paramètres peuvent être utilisés pour modéliser le champ à l'aide par exemple de la décomposition de Karhunen-Lòeve (Ghanen and Spanos, 1991). Des travaux futurs porteront sur la propagation des incertitudes et de la variabilité spatiale sur des modèles mécaniques pour l'évaluation de la fiabilité des poutres en bois avec ou sans fissures.

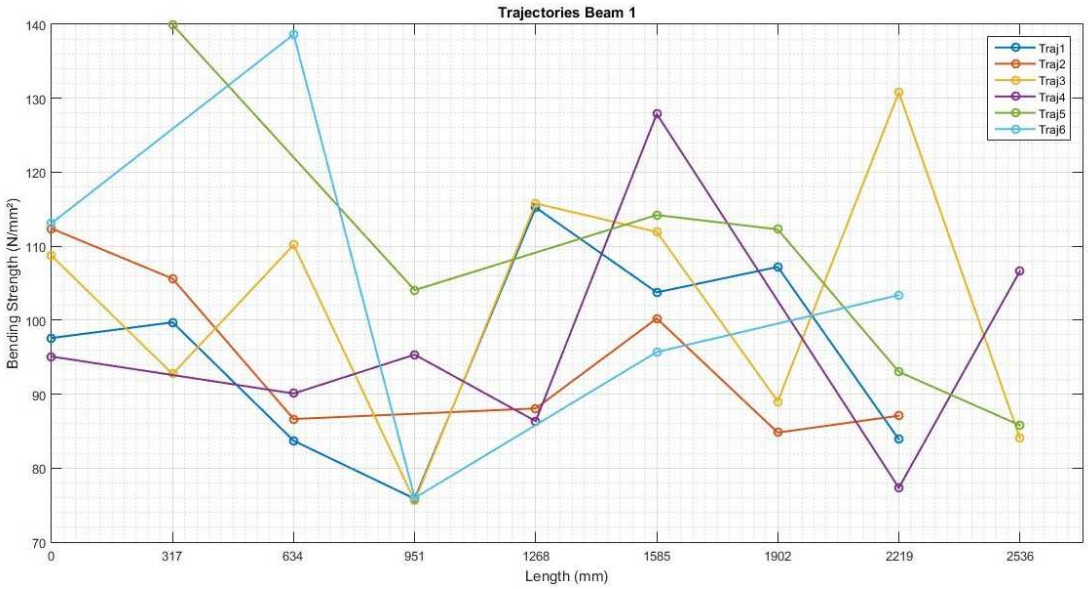


Fig. 2 : Trajectoires de la résistance à flexion.

Remerciements

Les auteurs souhaitent exprimer leur reconnaissance à l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) pour le soutien de ce travail par l'intermédiaire du projet CLIMBOIS ANR-13-JS09-0003-01 labellisé par ViaMéca.

Références

Ghanem R G, and Spanos P D. (1991) Stochastic Finite Elements: A Spectral Approach. New York, USA: Springer. f

Manfoumbi N., Dubois F., Sauvat N. (2012) Behavior in service of beams in flexion: adaptation of the Eurocode 5 to a tropical climate, World Conference on Timber Engineering (WCTE2012), Session 27, Engineering case studies 1, Auckland, New Zealand, 15-19 July 2012, pp. 455-459.

Suivi du comportement mécanique d'une peinture sur bois, soumise à des variations d'hygrométrie

DUPRE Jean-Christophe[1], HESSER Franck[1], JULLIEN Delphine[2], UZIELLI Luca[3], RIPARBELLI Lorenzo[3], BOUSVAROU Marina[4]

[1]Equipe PEM, Institut PPRIME, UPR 3346, Université de Poitiers-CNRS
[2] Equipe Bois, LMGC, UMR5508 Université Montpellier-CNRS
[3] GESAAF, Université de Florence, Italie
[4] Musée Fabre, Montpellier
jean.christophe.dupre@univ-poitiers.fr

Mots clefs : déformation, environnement hygrothermique, mesure de déplacement, stéréovision, panneaux peints, patrimoine

Contexte et objectif

Ce travail collaboratif (présenté lors de la précédente journée) regroupe le musée Fabre, des restaurateurs mobilier et couche picturale ainsi que des chercheurs du GESAAF (Université de Florence), de l'institut PPRIME (Université de Poitiers) et du LMGC (Université de Montpellier). Le but de cette étude est la caractérisation du comportement mécanique d'un panneau de bois peint du patrimoine soumis à des variations d'environnement hygrothermique contrôlées. Dans la perspective d'une exposition prévue en 2018 et destinée à faire connaître les pratiques de la restauration des œuvres d'art au public, la communication sur cette interaction entre acteurs patrimoniaux et académique fait l'objet d'une attention particulière.

Matériels et méthodes

Ce projet concerne une œuvre du musée Fabre de Montpellier, intitulée « La Sainte Trinité », une peinture flamande du 16° siècle, de type huile sur bois, de dimensions hors cadre : hauteur 137 cm, largeur 98 cm, épaisseur 3 cm. Le panneau est constitué de planches de sapin verticales, 3 radiales et 1 sur dosse, assemblées par des traverses horizontales. Des montants verticaux recouvrent ces traverses à mi-bois, et sont cloués sur les traverses par morceaux

Ce panneau est soumis depuis plusieurs années à des variations mécaniques qui ont rendu nécessaire la pose de *facings* pour protéger sa couche picturale et ont poussé les conservateurs du Musée Fabre à envisager sa restauration. C'est dans ce cadre, qu'avant sa restauration, le tableau a été soumis à des variations contrôlées d'hygrométrie, le but étant ensuite de refaire ces mêmes variations après restauration.

Ces essais ont été réalisés dans une salle du musée ouverte au publique. Cela a imposé plusieurs contraintes, comme la réalisation d'une enceinte climatique et la mise en place d'un dispositif optique de mesure adapté. Le suivi de la déformée et des déformations du panneau est réalisé par la méthode de stéréo suivi de marqueurs. Deux paires de caméras placées de part et d'autre du panneau permettent un suivi des deux faces. Trois dispositifs déformométriques permettent de mesurer, par contact, les déformations et courbures locales. Les variations de masse d'eau sont obtenues à l'aide d'une balance.

Résultats

Les variations d'hygrométrie de +/-10% ont été réalisées sur des paliers de deux mois environ (fig.1). La position des marqueurs est mesurée toutes les heures, ce qui permet de calculer les

déplacements locaux du panneau dans les trois directions. Sur les Fig. 2 et 3 sont représentés les déplacements hors plan. On observe que la déformée du panneau est concave lors d'une humidification. A partir des déplacements, les déformations en surface sont calculées. Pour la même variation d'hygrométrie les déformations sont alors négatives. Les données obtenues par les capteurs déformométriques seront croisées avec les mesures optiques. Le comportement mécanique sera aussi relié aux variations de masse d'eau mesurées.

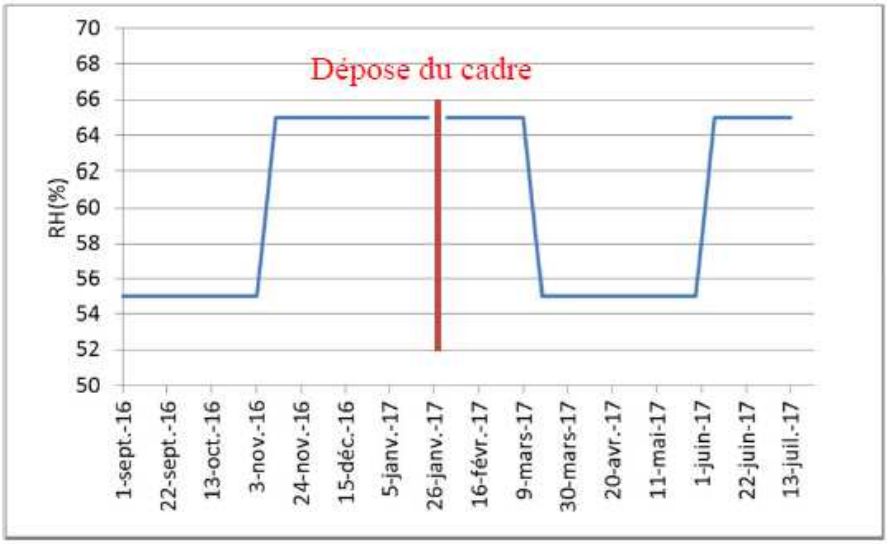


Fig. 1 : Variations d'hygrométries imposées

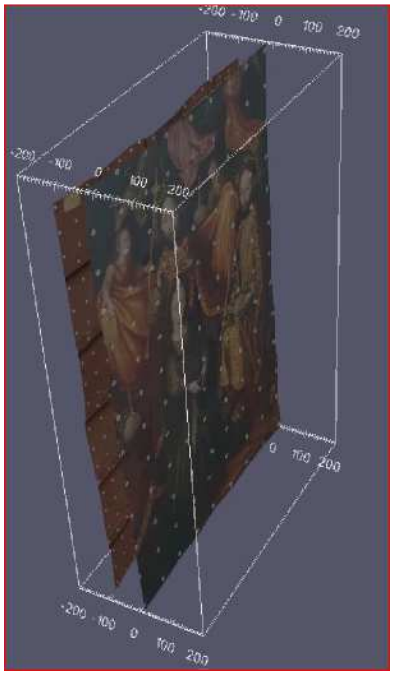


Fig. 2 : déformée du panneau mi-septembre, (axe en 1/100mm)

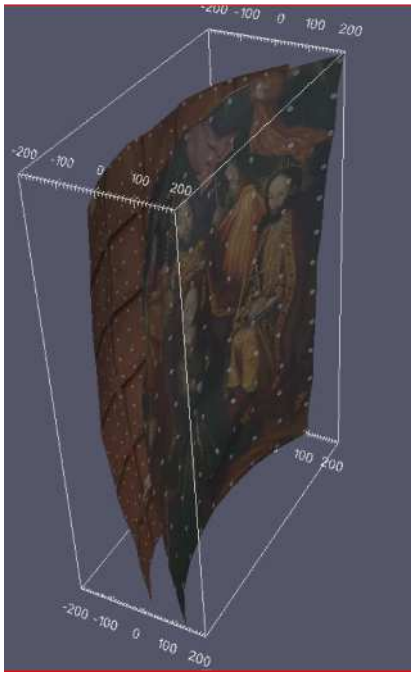


Fig. 3 : déformée du panneau après une augmentation de 10% de l'hygrométrie, fin novembre

Prétraitement de saule (*Salix Viminalis*) issu de phytoremédiation par explosion à la vapeur pour la production de bioéthanol

MENANA Zahra[1], ZIEGLER-DEVIN Isabelle [1], GUEDON Emmanuel [2], BROSSE Nicolas [1]

[1]Laboratoire d'Etudes et de Recherche sur le Matériau Bois (LERMaB), Faculté des Sciences et Technologies, Université de Lorraine, Boulevard des Aiguillettes, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France
[2]Laboratoire Réactions et Génie des Procédés (LRGP) CNRS : UMR7274, Université de Lorraine B.P. 54505 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex - France
zahra.menana@univ-lorraine.fr

Mots clefs : Bioéthanol, Explosion à la vapeur, Hydrolyse enzymatique, LOREVR, Métaux lourds, Phytoremédiation

Contexte et objectifs

LORVER est un projet régional soutenu par la Région Lorraine et l'Union Européenne (FEDER) destiné à créer une filière de production de biomasse végétale à usage non alimentaire par la valorisation de sites dégradés et de sous-produits industriels. Le projet regroupe un consortium d'entreprises privées et de laboratoires de recherche scientifique lorrains, qui rassemble les compétences et les procédés nécessaires à l'élaboration d'une filière opérationnelle permettant la valorisation économique et environnementale de ressources délaissées dans le respect des principes du développement durable.

L'objectif de notre travail est de trouver des voies de valorisation industrielles pour les biomasses issues de phytotechnologies et contaminées par les métaux lourds en bioraffinerie, pour la production de biocarburant de seconde génération. Pour y répondre, un prétraitement d'explosion à la vapeur a été appliqué sur les échantillons de saule préalablement imprégnés à l'acide sulfurique 0.9 et 2% pendant 4 heures. Le but du prétraitement est double : (1) préparer la matière lignocellulosique à des transformations ultérieures (extraction, hydrolyse…), (2) extraire une partie des métaux pour un recyclage ou un piégeage.

Matériels et méthodes

L'étude a été menée sur du bois de saule dont la concentration initiale en métaux est la suivante (Zn= 223.30±11.96 mg/kg) et (Mn=25.78±1.91mg/kg). La biomasse est traitée avec une vapeur de 180, 200 et 220°C pour des temps de séjours de 3, 5 et 8 min. Durant le processus, la vapeur est injectée dans le réacteur et est mise en contact avec la biomasse, ce qui provoque son gonflement. La vapeur d'eau produite, génère une pression élevée, correspondant à une pression de 0.69–4.83 MPa. Une fois le temps de séjour écoulé, la pression est relâchée ce qui provoque l'explosion de la matière, en passant du réacteur à l'éclateur, entrainant la séparation des différents biopolymères (cellulose, hémicelluloses et lignine). Les factions récupérées sont analysées par ICP-AES.

Le résidu solide récupéré après prétraitement est hydrolysé en présence d'enzymes (*Trichoderma reesei*) dans une solution tampon d'acétate de sodium à pH=4.8 pendant 72 heures. Des prélèvements périodiques ont été effectués pour suivre la conversion de la cellulose en glucose et ainsi évaluer l'effet des métaux lourds sur l'activité enzymatique. Le dosage du glucose est réalisé par chromatographie ionique.

La dernière étape de valorisation étant la fermentation pour transformer le glucose en éthanol en présence de levure de type *Saccharomyces cerevisiae*. Les hydrolysats issus de l'hydrolyse

ont été centrifugés puis filtrés (0.45µm). Les levures sont ajoutées dans chaque milieu puis l'ensemble est incubé à 37°C, 175 rpm pendant 48 h. Des prélèvements ont été effectués pour suivre le développement des levures et la production de l'éthanol. Le dosage de l'éthanol est effectué par HPLC.

Résultats

Après prétraitement, le mélange récupéré est filtré. Les phases solide et liquide sont minéralisées puis analysées par ICP-AES pour déterminer les teneurs en métaux. Les analyses ICP-AES montrent qu'après prétraitement, la fraction solide contient entre 20-40% des métaux. Le traitement est plus efficace sur les échantillons traités à 220°C pendant 8 min le résidu solide n'en contient plus que 20% des métaux.

Pour l'hydrolyse enzymatique, les échantillons récupérés sont dilués puis analysés par chromatographie ionique (HPAEC-PAD) pour quantifier le glucose produit. Après dosage de glucose, il semblerait que la présence de métaux n'affecte pas l'hydrolyse enzymatique, ce qui pourrait être un bon point dans la valorisation des biomasses contaminées par les métaux lourds, en bioéthanol.

Le dosage de l'éthanol a été réalisé par HPLC. Les résultats montrent que le glucose présent dans les hydrolysats est fermentescible même en présence des métaux lourds dans le milieu, sachant que cette étape est très importante pour boucler le processus de conversion.

L'étude montre que le procédé d'explosion à la vapeur permet à la fois le prétraitement et une détoxification partielle de bois pollué par des métaux lourds. La conversion de la cellulose en glucose et puis en éthanol est possible en présence de métaux lourds (Zn et Mn) à l'état de trace.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le FEDER et la région Lorraine pour le financement du projet LORVER.

Références

Asad M., Menana Z., Ziegler-Devin I., Bert V., Chalot M., Herzig R., et al. (2017) Pretreatment of trace element-enriched biomasses grown on phytomanaged soils for bioethanol production. Industrial Crops and Products 107:63-72.

Chiaramonti D., et al. (2012) Review of pretreatment processes for lignocellulosic ethanol production, and development of an innovative method. Biomass and energy 46:25-35.

Cybulska I., Brudecki G., Lei H. (2013) Hydrothermal pretreatment of lignocellulosic biomass. Green biomass pretreatment for biofuels production, chapter 4, p. 87-106.

Caractérisation et prédiction des propriétés équivalentes d'un matériau composite bois-ciment

MNASRI Faiza[1], EL GANAOUI Mohammed[1], BENNACER Rachid[2]

[1] LERMAB, Université de Lorraine, IUT Henri Poincaré de Longwy, Cosnes et Romain, France
[2] LMT, ENS Cachan, France
faiza.mnasri@univ-lorraine.fr

Mots clefs : Bois, Caractérisation, Ciment, Composite biosourcé, Propriétés équivalentes, Reconstruction 3D, Tomographie par rayons X

Contexte et objectifs

La majorité des bâtiments résidentiels ou industriels, constituent des systèmes dont la consommation d'énergie est importante. Cette consommation est liée généralement aux installations de chauffage ou de climatisation qui permettent de maintenir un certain confort thermique désiré par les occupants. Ainsi, la mise en œuvre d'une stratégie d'économie d'énergie dans le secteur habitat devient de plus en plus une des actions prioritaires à entreprendre. Dans ce contexte, les nouvelles réglementations thermiques, s'orientent davantage vers la nature des matériaux utilisés dans l'enveloppe pour constituer des parois plus performantes et économes en énergie tout en assurant le confort de l'habitat. Ce travail constitue une contribution à l'utilisation d'un composite biosourcé issu d'une matière végétale (le bois) mélangée avec un liant minéral (le ciment). L'objectif est la prédiction des propriétés équivalentes de ce matériau à composition hétérogène.

Matériels et méthodes

Cette étude propose une analyse des phénomènes de transfert de chaleur et de masse au sein du composite bois-ciment, en utilisant la technique de tomographie par rayon X accompagnée d'une reconstruction 3D à partir des volumes représentatifs (Fig. 1).

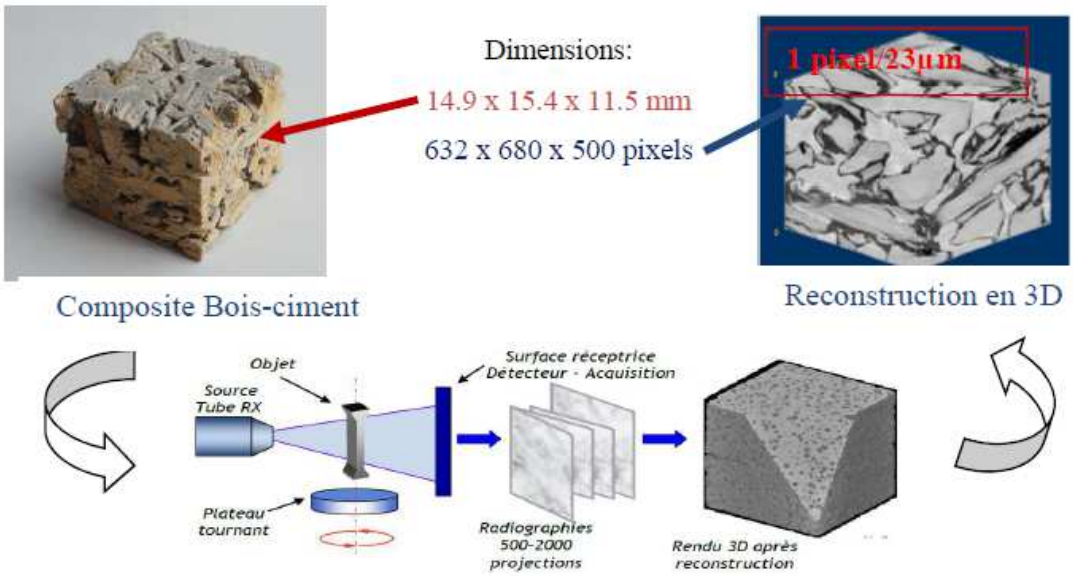


Fig.1 : Caractérisation par tomographie ray-X du composite Bois-Ciment

Ces deux méthodes couplées permettent d'identifier les différentes phases présentes dans le mélange (Fig.2) et également de contrôler et d'optimiser ses propriétés thermophysiques en fonction des dosages de ses constituants afin d'élaborer un éco-matériau plus performant, à propriétés prédéfinies.

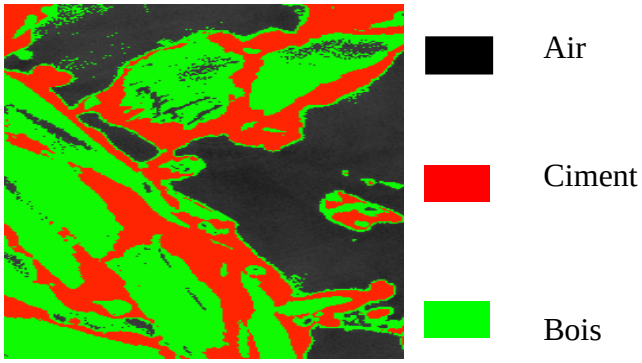


Fig.2 : Structure numérisée en Imorph®

Résultats

Les deux propriétés étudiées dans ce contexte sont les deux coefficients principaux qui quantifient la résistance du matériau contre le transfert de chaleur et d'humidité et qui sont la conductivité thermique λ et la perméabilité k. Il a été constaté que la perméabilité ainsi que la conductivité thermique de ce composite dépendent fortement de la porosité et de la distribution des pores dans la phase continue (la phase solide) (Faiza 2017).

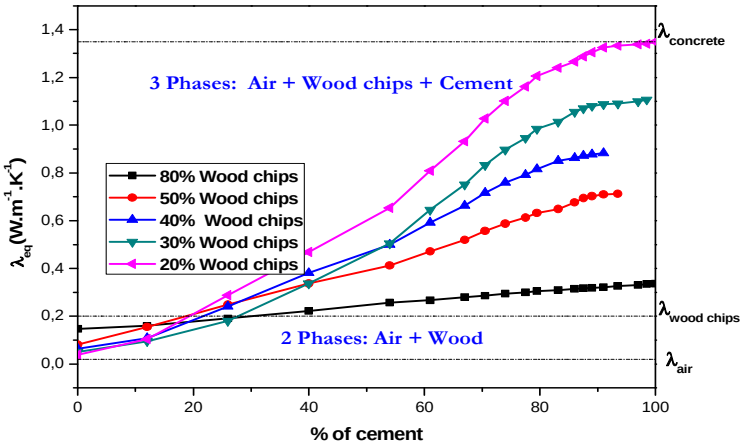


Fig.3 : Variation de conductivité thermique équivalente en fonction des pourcentages de ciment dans le mélange et la porosité du matériau

De plus, la composition de ce matériau et les fractions volumiques de chacun de ses constituants influent sur la formation de sa microstructure et par conséquent sur ses propriétés de transferts thermiques et hydriques.

Références

Faiza M, Rafael C.D., Rachid B., Mohammed E. (2017) Experimental method and numerical investigation for the prediction of equivalent thermo physical proprieties of a wood-cement material, International Conference on MATERIALS & ENERGY, Tianjin, China, Paper n°29.

Valorization of beech wood through development of innovative and environmentally friendly chemical modification treatments

MUBAROK Mahdi[1], DUMARCAY Stéphane[1], MILITZ Holger[2], GERARDIN Philippe[1]

[1] LERMAB, Faculté de Science et Technologie, Université de Lorraine, Nancy, France
[2] Wood Biology and Wood Technology, Göttingen University, Germany
mahdi.mubarok@univ-lorraine.fr

Keywords: chemical modification, fagus sylvatica, glycerol, glycidyl methacrylate, heat treatment, maleic anhydride, polyglycerol

Context and objective

European beech (*Fagus sylvatica*) is known as one of the most important commercial wood species in Europe. Beside its huge abundance, its good enough mechanical properties and easy workability lead it to be widely used in various applications. Unfortunately, its low dimensional stability and poor natural durability limit its utilization especially for exterior applications. As the responds to the limited utilization of biocide as wood preservative a decade ago, techniques such as heat treatment and chemical modification have been investigated strictly until present. The objective of this study was to develop an innovative chemical modification method for European beech wood, based on the utilization of waterborne solution of different vinylicpolyglycerol (Roussel et al. 2001, Soulounganga et al. 2004, Salman et al. 2014, 2015) and glycerol derivatives. Combination with varied heat treatments (150, 200, 220^{o}C) under inert condition was also performed to investigate their synergic effect. The general goal of this research is also to develop non biocide wood preservation systems and minimize the utilization of active petroleum-based chemical.

Material and methods

Beech wood samples with various dimension (2.5 × 1.5 × 0.5), (3 × 1.5 × 0.5), and (19 × 2 × 0.5) cm^3 were dried at 103°C until constant anhydrous mass and some of their volume were re-measured and recorded. Dried samples were then exposed under vacuum condition (P = 200 mbar, t = 10 min) and impregnated in 10% aqueous synthesized additive solutions (polyglycerol-maleic anhydride/PG-MA, glycerol-maleic anhydride/Gly-MA, polyglycerol-glycidyl methacrylate/PG-GM, glycerol-glycidyl methacrylate/Gly-GM, polyglycerol-glycidyl methacrylate-maleic anhydride/PG-GM-3MA, glycerol-glycidyl methacrylate-maleic anhydride/Gly-GM-2MA, maleic anhydride/MA) for 30 min under P = 10 −12 bar, returned back to P = 1 bar, reset under vacuum (P = 70 − 100 mbar, t = 1 h). Samples were air conditioned, and dried at 103°C (24h). Some samples were divided for heat treatment at 150, 200, and 220°C for 20h under inert condition.

Samples were then analyzed for their weight percent gain (WPG) and mass changes (Δm); dimensional changes; swelling; density changes; anti swelling efficiency (ASE) (Pfriem et al. 2012); wettability by water drop test method; leaching test referred to ENV 1250-2 (1994); modulus of elasticity (MOE)/modulus of rupture (MOR) referred to EN 310 (1993); decay test against *Coriolus versicolor* for sample before and after leaching referred to EN 113 (1996); thermo-gravimetric analysis of raw material, synthesized reactive, and reactive-treated wood; and ATR-FTIR analysis.

Results

Based on the observation and data analysis, the synergic effects of chemical modification and heat treatments have been examined. For the most important properties such as dimensional stability, resistance to the leaching, MOE/MOR, and decay resistance analysis, some additive-treated wood have shown their properties improvement by the increase of curing temperature, with an exception for their MOE/MOR diminution. Wood treated with Gly-GM-2MA at 200°C seemed has better properties than others. At this curing condition, mass changes (Δm), dimensional changes, swelling, density changes compared to density at 103°C, contact angle values at 114 seconds, ASE, mass loss by leaching, MOE/MOR value and MOE/MOR reduction compared to control, mass loss reduction against *Coriolus versicolor* before and after leaching compared to control treated at 200°C were 3.39 ± 0.91%, 6.39 ± 1.27%, 8.58 ± 1.56%, -3.51 ± 0.42%, 92.9 ± 3.9°, 63.80 ± 6.5%, 1.56 ± 0.97%; 10965.35 ± 961.94 / 73.41 ± 14.74 N/mm^2 and 12.00% / 44.61%, 96.94% and 93.66%, respectively. The second and third treatments that also gave good results were treatments with PG-MA and PG-GM-3MA.

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge to Laboratoire d'Excellence ARBRE for the financial support for the research and doctoral scholarship program.

Références

EN 113 (1996) Wood preservatives—determination of toxic values of wood preservatives against wood destroying basidiomycetes cultured on agar medium, Eur. Comm. Stand., ISSN 0335-3931.

EN 310 (1993) Determination of modulus elasticity on flextion and resistance on flextion, Eur. Comm. Stand., ISSN 0335-3931, B51-124.

ENV 1250-2 (1994) Wood preservatives—methods for measuring losses of active ingredients and other preservative ingredients from treated timber—part 2: laboratory method for obtaining samples for analysis to measure losses by leaching into water or synthetic sea water, Eur. Comm. Stand.

Pfriem A, Dietrich T, Buchelt B. (2012) Furfuryl alcohol impregnation for improved plasticization and fixation during the densification of wood, Holzforschung., 66:215–218.

Roussel C., Marchetti V., Lemor A., Wozniak E., Loubinoux B., Gérardin P. (2001) Chemical Modification of Wood by Polyglycerol/MaleicAnhydride Treatment, Holzforschung., 55:57–62.

Salman S., Petrissans A., Thevenon MF., Dumarcay S., Perrin D., Pollier B., Gerardin P. (2014) Development of new wood treatments combining boron impregnation and thermo modification: effect of additives on boron leachability, Eur. J. Wood Prod., 72:355–365.

Salman S., Petrissans A., Thevenon MF., Dumarcay S., Perrin D., Pollier B., Gerardin P. (2016) Decay and termite resistance of pine blocks impregnated with different additives and subjected to heat treatment, Eur. J. Wood Prod., 74:37–42.

Soulounganga P., Loubinoux B., Wozniak E., Lemor A., Gerardin P. (2004) Improvement of wood properties by impregnation with polyglycerol methacrylate, HolzRohWerkst., 62:281–285.

Optimisation du prétraitement des déchets du bois d'aubier et de cœur d'Okoumé : vers la production d'éthanol cellulosique

NGWA OBAME Sébastien[1], DEVIN-ZIEGLER Isabelle[1], BROSSE Nicolas[1], SAFOU-TCHIAMA Rodrigue[2]

[1]Laboratoire d'Etude et de Recherches sur le Matériau Bois (LERMaB), Faculté des Sciences et Technologies, Université de Lorraine,Vandœuvre-lès-Nancy, France
[2]Laboratoire de Recherche et de Valorisation du Matériau Bois (LaReVa Bois). Bât du Master Recherche en Sciences du Bois. Ecole Nationale des Eaux et Forêts, Libreville, Gabon
Sebastien.ngwa-obame@univ-lorraine.fr

Mots clefs : *Aucoumea klaineana Pierre*, bioéthanol, déchets du bois, explosion à la vapeur, prétraitement, hydrolyse enzymatique.

Contexte et objectifs

Qualifié de bois d'excellente qualité en 1889, *Aucoumea klaineana* Pierre (Okoumé) est l'essence phare de la filière bois du Gabon et largement disponible (*Minkué 2000, Medzegue 2007)*. Le développement d'unités de déroulage de et de tranchage de cette essence suite à la crise financière qui a touché la zone Asie en 1998 et en 2001 a provoqué une réorientation de la politique industrielle du Gabon. Il s'en suit une production de rebuts de bois (houppier abandonné en zone d'abattage, noyau de déroulage, copeaux, dosses de sciage...) faiblement valorisés. De plus, le pays reste dépendant des revenus pétroliers dont la contribution est de 40% du PIB et le secteur financier très vulnérable à la chute du prix du pétrole avec une baisse de 37% des recettes pétrolières en 2008 et 31% en 2014 (*FMI, 2016*). D'où la nécessité d'une valorisation énergétique pour renforcer son activité économique. A cet effet, ce travail de recherche concerne l'optimisation de l'une des étapes clé du procédé de conversion de la biomasse (cœurs de déroulage et dosses) en éthanol, notamment le prétraitement. Le principal procédé étudié au cours de ces travaux de thèse est l'un des plus promoteur pour le développement industriel futur, à savoir l'explosion à la vapeur. Le prétraitement vise à séparer et rendre accessibles les constituants intimement liés et cristallisés de la BLC : cellulose, hémicellulose et lignine. Nos travaux portent (1) sur l'optimisation du prétraitement à l'aide d'un plan d'expérience en vue d'une hydrolyse enzymatique pour la production de glucoses fermentescibles, (2) l'étude de la chimie des composants du bois (lignine, cellulose et hémicellulose) durant le prétraitement pour évaluer l'influence du traitement sur leurs structures en vue d'une meilleure valorisation de ces composés.

Matériels et méthodes

Le procédés de l'explosion à la vapeur est composé de deux phases distinctes : le vapocraquage et la décompression explosive dont les actions combinées vont, selon les conditions, modifier les propriétés physiques du matériau (surface spécifique, rétention d'eau, coloration, taux de cristallinité de la cellulose,..), améliorer l'hydrolyse des fractions hémicellulosiques (formation de mono et oligosaccharides) et induire des modifications de la structure des lignine, ce qui facilite leur extraction.

Une méthodologie de conception appelée plan d'expérience, du type composée central et de surface de réponse, est utilisée pour optimiser les conditions de prétraitement via le logiciel statistique JMP.11. La température de réactions (170, 190 et 210°C), le temps de réaction (2,5, 5 et 7,5 minutes) et la taille des particules (0,160, 1 et 2 millimètres) ont été étudiés comme trois variables indépendantes.

Pour le choix du solvant (dioxane, éthanol et la soude) d'extraction de la lignine, la condition suivante a été retenu : température 210°C, temps 10min et diamètre 1mm. Parmi les trois (dioxane, éthanol, soude), un solvant d'extraction de la lignine est d'abord choisi avant toutes études structurales via la spectroscopie de résonance magnétique nucléaire (RMN). La RMN ^{13}C, à l'occurrence, permet de mesurer les vibrations caractéristiques des carbones constitutifs de la lignine.

Résultats

La Fig. 1 indique que, sur les deux conditions de la réaction de prétraitement, les extractions à l'éthanol et à la dioxane conduisent à des rendements d'extraction en lignine supérieurs. Le choix pour la suite de l'étude s'est porté sur l'éthanol car moins onéreux. On peut aussi remarquer à priori que le rendement de la lignine extraite après prétraitement augmenterait avec la sévérité des conditions (température, temps).

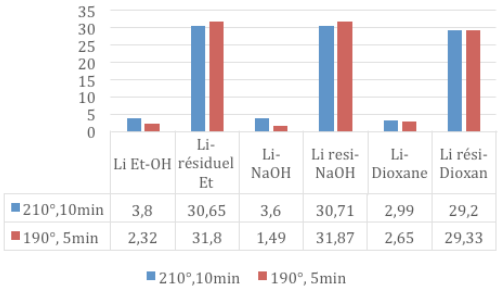


Fig. 1 : choix du solvant

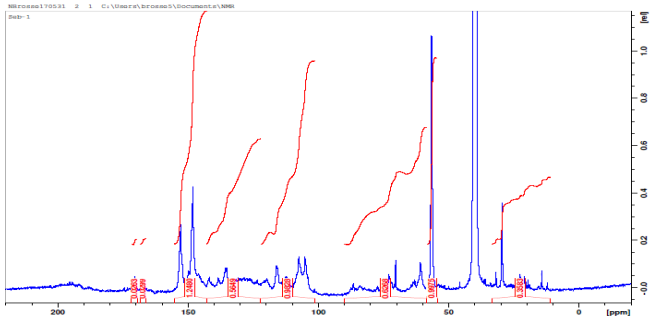


Fig. 2 : spectre RMN ^{13}C quantitatif

La Fig. 2 représente le spectre RMN ^{13}C de la lignine d'Okoumé extraite à l'éthanol après explosion à la vapeur (210°C, 10 min). Ce spectre est conforme au spectre des lignines de feuillus : OMe à 55 ppm, la Chaine latérale (58-90 ppm), le Carbones aromatique (102ppm-115ppm). D'après ce spectre : - La liaison beta-O-4 sur la chaine latérale est partiellement conservés après extraction et confirmé en HSQC. Les unités S (102-108 ppm) et les unités G (111 ppm-115ppm). Unités S éthérifiées (153 ppm) et non éthérifiées (148ppm). On remarque un pic anormalement intense vers 108 ppm attribué au groupe S oxydé en alpha sur la chaine latérale, Visible également en HSQC. Il serait peut-être lié au mécanisme de dépolymérisation par l'explosion à la vapeur. Ce pic sera étudié ultérieurement par injection de la vapeur seulement.

Références

International Monetary Fund. (2016) Country Report No. 16/87, Gabon.

Medzegue M. (2007) Etude comparative des bois d'okoumé (*Aucoumea klaineana P.*) des plantations et de la forêt naturelle : Anatomie et durabilité. Thèse de Doctorat. Université Bordeaux 1, France.

Minkué M'Eny S. (2000) Étude chimique des substances extractibles d'Okoumé. Mémoire de Maîtrise. Université de Laval, Canada.

Quantification, caractérisation et possible valorisation des bio-molécules du bois d'Iroko (*Chlorophora excelsa*) du Gabon

MEYO DEGBOEVI Henri[1,3], GERARDIN-CHARBONNIER Christine[3], EDOU ENGONGA Prosper[2], DUMARCAY Stéphane[3], GERARDIN Philippe[3]

[1] Ecole Nationale des Eaux et Forêts de Libreville, Gabon
[2] Laboratoire Pluridisciplinaire des Sciences de Libreville (LAPLUS), Ecole Normale Supérieure de Libreville, B.P 17009 Libreville, Gabon
[3] LERMAB, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Lorraine, 54506 Vandoeuvre-lès-Nancy, France
henri.meyo-degboevi@univ-lorraine.fr

Mots clefs : bio-molécule, chlorophorin, colorant, connexe, extractible, valorisation

Contexte et objectif

Le Gabon, situé en Afrique Centrale, possède une grande diversité de ressources forestières, 80% de son territoire étant occupé par la forêt. Depuis 2009, les autorités gabonaises ont interdit l'exportation des grumes issues de l'exploitation des forêts. Mise en application en 2010 cette interdiction a conduit à la mise en place de différentes unités de première transformation du bois engendrant la production de quantités importantes de connexes bois peu ou pas valorisés à ce jour (Mandoukou 2010).

L'objectif de ce travail de thèse est de valoriser ces sous produits en s'intéressant plus particulièrement aux connexes issus des essences les plus exploitées au Gabon. Ces essences, naturellement très durables pour la plupart, contiennent généralement des quantités importantes de substances extractibles potentiellement valorisables. Nos travaux se sont orientés vers la quantification et la caractérisation des substances extractibles dans le but de proposer des valorisations de ces molécules pour des applications à haute valeur ajoutée (nutraceutique, cosmétique, pharmacie, bio-pesticide…).

Matériel et méthodes

Des premiers travaux ont été réalisés sur l'Iroko (*Chlorophora excelsa*). Différentes parties (écorce, aubier et duramen) du bois d'Iroko ont été séchées à l'étuve de 103°c durant 2 semaines, puis broyées suivi d'extractions successives avec des solvants de polarité croissante (dichlorométhane, acétone, toluène-éthanol et eau) au dionexe. Après évaporation des solvants d'extraction au rotavapor et séchage des extraits au dessiccateur, pour identifier et caractériser les molécules dans les extractibles (molécules extraites des sciures) une analyse s'est faite par injection à la GC-MS. Concernant le test en tant que colorants naturels, une macération à 150°c de la sciure de l'écorce s'est faite avec de l'eau et des solutions alcalines de 0,1N et 0,5N dans un erlenmeyer et filtrage sous vide pour l'obtention des solutions colorantes. Un mélange coton et solutions colorantes avec ou sans mordant ($A_{12}(SO_4)_3$) a été fait et chauffé à 25°c durant 30 min, puis 60°c et laissé à chaud. Après 2h de temps pour la teinte des fibres de coton, celui-ci est lavé à 60°c pendant 30 min.

Résultats

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence différents composés stilbéniques dont la Chlorophorin présente en quantités particulièrement importantes. Cette molécule, déjà rapportée dans la littérature, présente des propriétés anti-oxydantes et une solubilité dans les graisses intéressante du fait de la présence de noyaux phénoliques et d'une chaîne géranyle,

lui conférant des propriétés intéressantes pour des applications dans des milieux peu polaires. (Minn 1996). Des études sur les propriétés tinctoriales de ces extraits ont été réalisées pour évaluer leur potentiel d'application comme colorants naturels (Saha Tchinda 2014).

Tab.1 : Taux extraits iroko

	écorce	aubier	duramen
dichlorométhane	3,4±0,3	3,7±0,5	6,4±1,2
acétone	3,1±0,4	5,4±0,9	8,9±0,7
Toluène-ethanol	0.5±0.08	0,5±0,2	0,5±0,1
eau	4,5±0,04	3,3±0,2	3,8±0,4
Total	11,8±0,9	12,9±1	20,4±2,6

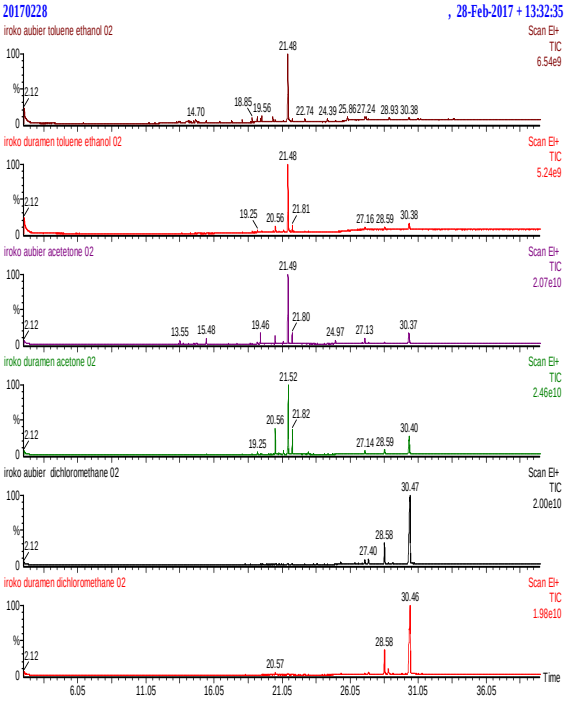


Fig.1 : Chromatographie des extraits iroko

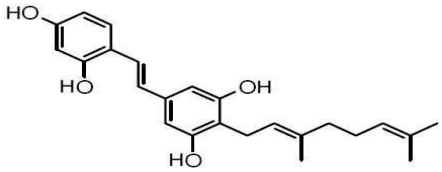


Fig.2 : Chlorophorin

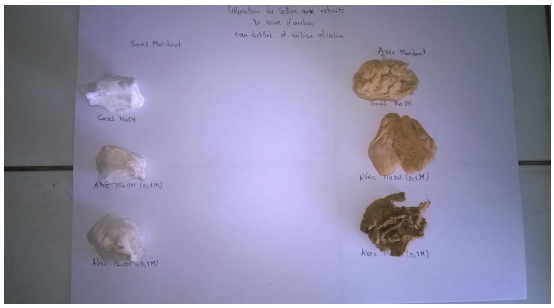


Fig.3 : Test de solution colorante

Références

Mandoukou L., http://archives-lepost.huffingtonpost.fr consulté 16/06/2017.

Minn J., Daly W H., Negulescu II., McMurtrey K D., Schultz T P. (1996) Antioxidant properties of the hydrophobic stilbenol Chlorophorin, J.Agric.Food Chem, 44,2946-2947.

Saha Tchinda JB., Pétrissans P., Molina S., Kor Ndikontour M., Mounguengui S., Dumarçay S., Gérardin P. (2014) Study of the feasibility of a natural dye on cellulosic textile supports by red padouk (Pteroscorpus soxauxii) and yellow movingui (Distermonanthus benthamainus) extracts, Industrial Crops and Products, 60, 291-297.

Projet LIGNDEVI : LIGNine comme source de DEVeloppement d'Ingrédients fonctionnels

GAMBIER François[1], FALK Véronique[2], DURAND Alain[3], BROSSE Nicolas[1]

[1] Laboratoire d'Etudes et de Recherche sur le Matériau Bois (LERMAB), Université de Lorraine, Faculté des Sciences et Technologies, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France
[2] Laboratoire Réactions et Génie des Procédés (LRGP), Université de Lorraine, CNRS, ENSIC, 54001 Nancy, France
[3] Laboratoire de Chimie-Physique Macromoléculaire (LCPM), Université de Lorraine, CNRS, ENSIC, 54001 Nancy, France
nicolas.brosse@univ-lorraine.fr

Mots clefs : activité antioxydante, génie des produits, ingrédients fonctionnels, lignine

Contexte et objectif

Le projet LIGNDEVI est porté par la Fédération Jacques Villermaux, regroupant six laboratoires dans les domaines de l'énergie, de la mécanique, du génie des procédés et des produits. Ce projet présente une approche multidisciplinaire et son but est de développer de nouveaux produits en utilisant de la lignine industrielle comme ingrédient fonctionnel antioxydant.

La lignine est un polymère phénolique tridimensionnel et un des trois constituants principaux de la biomasse lignocellulosique, représentant 20 à 40 % de la masse pour la plupart des essences de bois (Ragauskas et al. 2014). Environ 50 millions de tonnes de lignine industrielle sont produites annuellement, principalement par les industries de la pâte et papier (A. Bruijnincx et al. 2015). Une part très minoritaire de cette lignine industrielle est actuellement utilisée pour des applications dans le domaine de la chimie ou des matériaux, la plus grande partie étant brulée pour produire de l'énergie.

Le développement des bioraffineries pose la question d'un débouché financièrement avantageux pour la lignine, pouvant ainsi rendre viable leur modèle économique. Deux options sont généralement proposées pour valoriser la lignine. La première implique une dépolymérisation de la lignine pour obtenir des phénols à haute valeur ajoutée (Kang et al. 2013). La seconde voie de valorisation, privilégiée le cadre de ce projet, est d'utiliser la lignine polymérique ou oligomérique comme ingrédient pour des produits formulés (Thakur et al. 2014).

Une démarche de « génie des produits » est mise en œuvre dans le cadre de ce projet de recherche. Cette méthode permet de formaliser la ou les innovations recherchées dans de nouveaux produits. L'idée principale est de définir les besoins du consommateur, pour ensuite trouver des éléments capables d'y répondre. L'idée sélectionnée comme celle répondant le mieux à la problématique posée sera choisie et mise en place pour développer ce produit. Cette méthode d'ingénierie permet aux chercheurs de mettre en évidence d'éventuels verrous scientifiques et techniques afin de les lever, tout en participant activement au développement de produits innovants. Pour améliorer les chances de succès avec cette approche, une communication constante avec les partenaires industriels est primordiale. Leurs apports et retours d'expériences sont nécessaires pour définir précisément les spécifications du produit cible (Cussler and Moggridge 2011).

Matériels et méthodes

La première action de ce projet est d'étudier l'effet du broyage sur les caractéristiques de la lignine. Pour cela, de la lignine organosolv est produite à partir de hêtre dans une solution aqueuse d'éthanol à 65 % volumiques, acidifiée avec 1,5 % massique d'acide sulfurique (par rapport à la masse de bois sec). Ce prétraitement est réalisé dans un réacteur fermé de 10 litres avec un ratio liquide/solide de 10 et 500 g de hêtre (masse sèche). Le réacteur est chauffé à 195 °C pendant 80 minutes avant refroidissement rapide. La lignine contenue dans la fraction liquide (liqueur) obtenue par filtration du mélange réactionnel et lavage de la phase solide lors de la filtration avec une solution aqueuse d'éthanol à 65 % portée à 60 °C (environ 8 litres). Trois volumes d'eau sont ajoutés à un volume d'eau de liqueur afin de faire précipiter la lignine, qui est ensuite séparée par centrifugation (El Hage et al. 2010).

Cette lignine est ensuite broyée sur plusieurs durées à l'aide d'un broyeur à billes. L'impact du broyage sur la dimension des particules de lignine, sur leur activité antioxydante et sur la structure des fragments de lignines est alors étudié. Les tailles de particules de lignine seront mesurées par granulométrie laser. L'activité antioxydante est quant à elle déterminée par inhibition des radicaux DPPH. Des méthodes d'analyse telles que la RMN (HSQC et ^{31}P) et la chromatographie d'exclusion stériques (SEC) sont utilisées pour étudier les éventuelles modifications de structure de la lignine selon les conditions de broyage. Cette étude granulométrique sera une base de données utile pour identifier la taille de particules nécessaire et suffisante pour l'application visée avec cette lignine.

Résultats

La lignine organosolv a été produite avec un rendement de 16 % massiques par rapport à la masse de hêtre sec utilisée. Les premiers broyages ont été réalisés à l'aide d'un vibro-broyeur à bille. La lignine non broyée a déjà été caractérisée par SEC, la caractérisation des lignines broyées ainsi que les caractérisations complémentaires de la lignine non broyée sont en cours de réalisation.

Références

Bruijnincx P. C. A., Rinaldi R., M. Weckhuysen B. (2015) Unlocking the potential of a sleeping giant: lignins as sustainable raw materials for renewable fuels, chemicals and materials, Green Chemistry, 17(11):4860–4861.

Cussler E. L., Moggridge G. D. (2011) Chemical Product Design, Cambridge University Press, 454 p.

El Hage R., Brosse N., Sannigrahi P., Ragauskas A. (2010) Effects of process severity on the chemical structure of Miscanthus ethanol organosolv lignin, Polymer Degradation and Stability, 95(6):997–1003.

Kang S., Li X., Fan J., Chang J. (2013) Hydrothermal conversion of lignin: a review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 27(Supplement C), 546–558.

Ragauskas A.J., Beckham G.T., Biddy M.J., Chandra R., Chen F., Davis M.F., Davison B.H., Dixon R.A., Gilna P., Keller M., Langan P., Naskar A.K., Saddler J.N., Tschaplinski T.J., Tuskan G.A., Wyman C.E. (2014) Lignin valorization: improving lignin processing in the biorefinery, Science, 344(6185), 1246843-1–1246843-10.

Thakur V.K., Thakur M.K., Raghavan P., Kessler M.R. (2014) Progress in green polymer composites from lignin for multifunctional applications: a review, ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2(5):1072–1092.

Session D (23 novembre 2017)

N°	Laboratoire; Ville	Auteurs	Titre	Page
D2	I2M ; Bordeaux	Coureau Jean-Luc, Grazide Cecile, Cointe Alain, Morel Stéphane	Courbes de performance mécanique pour le classement mécanique du Pin Maritime	151
D3	I2M ; Bordeaux	Sorin Edouard, Coureau Jean-Luc, Chaplain Myriam, Morel Stéphane, Lanata Francesca, Cointe Alain, Galimard Philippe	Renforcement par frettage de poutres en lamellé-collé sujettes au fendage	153
D4	UDs ; Dschang (CM)	Foadieng Emmanuel, Talla Pierre, Fogue Médard, Mr Ntabe Eric	Effet de la variation du taux d'humidité sur quelques propriétés mécaniques de Milicia excelsa (Iroko)	155
D6	LabECAM ; Lyon	Blanchard Mathis, Tetaz Thibault, Atli Atilla, Candelier Kévin, Alteyrac Jerome	Elaboration et caractérisation d'un matériau composite bois-plastique écologique	157
D7	Iprem ; Pau	Bikoro Bi Athomo Arsène, Safou-Tchiama Rodrigue, Eyma Florent, Charrier Bertrand	Valorisation des co-produits de la transformation industrielle de l'Acajou (K. ivorensis A. Chev).	159
D8	Iprem ; Pau	Cabaret Thomas, Charrier Bertrand	Étude et contrôle de l'exsudation de la résine dans le bois de Pin Maritime	161
D9	Iprem ; Pau	Engozogho Anris Starlin Peguy, Safou-Tchiama Rodrigue, Denaud Louis, Vidal Marcia, Charrier Bertrand	Extraction, analyse et caractérisation des tanins d'Okoume (aucoumea klaineana pierre) du Gabon par Maldi-Tof-ms et FTIR-MS	163
D10	Iprem ; Pau	Frances Manon, Charrier Bertrand	Étude de la mise au point d'un vernis industriel à base de colophane et d'huile végétale	165
D11	Iprem ; Pau	Leroyer Léo, Charrier Bertrand	Xylomat : une expertise autour des matériaux biosourcés au service de la recherche et des industriels	167
D12	ESSA ; Tananarive (MG)	Andrianindrina Mikala, Razafimahatratra Andriambelo, Aritsara Amy, Chaix Gilles, Ramananantoandro Tahiana	Utilisation de la spectroscopie proche infrarouge pour la prédiction des propriétés physiques et mécaniques de 5 essences autochtones de la station forestière de Mandraka (Madagascar)	169
D13	ESSA ; Tananarive (MG)	Ramananantoandro Tahiana, Thévenon Marie-France, Belloncle Christophe, Tomazello Filho Mario, Razakamanarivo Herintsitohaina, Razafinarivo Ravo, Rakotovololonalimanana Herizo, Rajemison Andraina, Rafetrason Nirintsoa, Mevanarivo Zo, Razafimbelo Tantely, Chaix Gilles	Projet SPIRMADBOIS, Madagascar	171
D14	ICA ; Toulouse	Li Hang, Perrin Marianne, Eyma Florent, Jacob Xavier, Gibiat Vincent	Utilisation de matériaux bois intelligents pour la gestion durable des infrastructures ? Suivi de l'humidité par capteurs intégrés	173

D15	ICA ; Toulouse	Ramanakoto Miora, Eyma Florent, Ramananantoandro Tahiana, Geisler Jeremy, Castanie Bruno	Evaluation de la qualité esthétique de la finition sur les surfaces bois usinées. Quid du regard des industriels et des consommateurs ?	175
D16	ICA ; Toulouse	Yahyaoui Imen, Perrin Marianne, Gong Xiaojing	Contribution au suivi par émission acoustique de l'endommagemnt des structures multi-matériaux à base de bois	177
D17	CIRCERB ; Québec (CA)	Hilsz Cynthia, Pierre Blanchet	Concepts Architecturaux pour la Durabilité des Ouvrages en Bois	179

Courbes de performance mécanique pour le classement mécanique du Pin Maritime

COUREAU Jean-Luc[1], GRAZIDE Cécile[2], COINTE Alain[1] et MOREL Stéphane[1]

[1]Université de Bordeaux, Laboratoire I2M-département GCE
[2] Université Lyon 1, Laboratoire LMC2
jean-luc.coureau@u-bordeaux.fr

Mots clefs : bois de structure, classement mécanique, modélisations par éléments finis

Contexte et objectif

Dans le cas du bois massif, les résistances en flexion et de traction peuvent être altérées par la présence de défauts et en particulier de nœuds. Les nœuds et la pente de fil qu'ils entrainent, sont les causes de la diminution du rendement mécanique des sections de poutres de structure. Il a été démontré que la taille et la position du nœud sur l'élément de structure avaient des effets plus ou moins préjudiciables sur la réponse mécanique, Mihashi *et al.* (1999). A cause de la déviation des fibres autour du défaut, les éléments présentant un nœud sollicités en traction ou flexion affichent des contraintes de cisaillement et de traction perpendiculaire au fil. A ce jour, l'effet de ces défauts sur la perte de résistance de l'élément de structure ne peut être quantifié avec exactitude. Le classement mécanique n'est alors pas optimal et ne permet pas de valoriser les éléments structurels de fortes résistances. La présente étude a pour objectif d'étudier l'influence de la nodosité sur le rendement mécanique de poutres en Pin Maritime pour améliorer son classement mécanique, actuellement limité au C30.

Matériel et méthodes

Les résultats numériques vont être comparés à ceux obtenus expérimentalement sur 188 poutres de structure de longueur 4,5m et de section 200x100mm², pour lesquels une base de données a été créée recensant le module d'élasticité global, la résistance en flexion et les propriétés géométriques (diamètre et position) « d'un nœud critique », Grazide *et al.* 2015.

Des modélisations éléments finis ont été effectuées afin d'établir les courbes de performances mécaniques en présence d'un nœud. Des tronçons de poutre de section $1000x200^{ht}$ mm² ont été modélisés en flexion en 2D sur Castem. Un nœud circulaire centré selon la longueur a également été introduit dans le maillage et la pente de fil a été modélisée au moyen d'une équation de type exponentielle paramétrée en fonction de la taille du défaut et de la distance de la fibre au nœud. 3 diamètres de nœuds (10, 20 et 40 mm) et différentes positions selon la hauteur (du nœud centré jusqu'au nœud coupé à ¾ situé sur la fibre tendue) ont été testés. Concernant les propriétés mécaniques, le tronçon de poutre est considéré comme un composite bois - nœud. Les propriétés élastiques des nœuds ont été fixées et seule l'influence des propriétés du bois a été étudiée. Les modélisations ont été faites pour un E_L du bois de 8000 MPa (modèle A'), 10 000 MPa (modèle B') et 13 100 MPa (modèle C'), les autres propriétés élastiques ont été déterminées au moyen de ratios imposés.

A partir de ces modélisations, les champs de contraintes longitudinales, tangentielles et de cisaillement ont été extraites et un critère de ruine, de type Tsai-Hill, a été utilisé pour identifier la « contrainte à la rupture », nommée contrainte équivalente. Les résistances utilisées dans le critère ont été obtenues par des essais Arcan et sont fonction du E_L du bois.

Résultats

La figure 1 illustre a) l'influence des propriétés géométriques des nœuds pour un E_L de 10 000 MPa et b) l'effet de E_L sur un nœud de ϕ_k= 20 mm sur la contrainte équivalente.

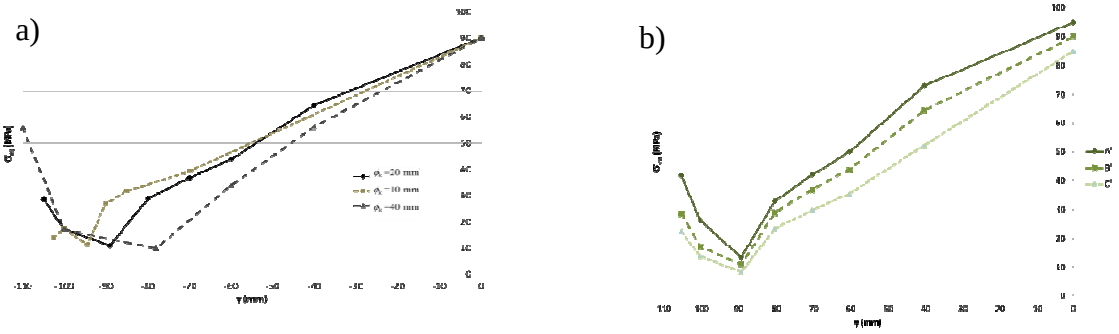


Fig. 1 : Effet a) des propriétés géométriques des nœuds et b) des propriétés élastiques

Pour la comparaison entre les modélisations et les essais expérimentaux, à partir des MEF un tri fonction de la position du défaut et du module d'élasticité global (E_0 inférieur ou supérieur à E) a été proposé. Différents seuils de module d'élasticité ont été testés E= 10, 11 et 12 GPa. La résistance en flexion caractéristique a été ainsi déterminée pour chaque classe. La figure 2, illustre les classes obtenues selon le seuil de E choisi. Dans la réalité, 50% des 188 poutres est en C40, 64% en C35, 80% en C30 et C24 est la classe de résistance de toute la population. Par les MEF et le tri fonction de E=12 GPa, 25% de la population peut être identifiée en C40 et en prenant un seuil E de 11GPa, 32% de la base de données peut être classée en C35. Ainsi l'identification d'un nœud critique(position et taille) et un critère fonction du E, permet d'identifier des classes de résistances supérieures à C30 pour le Pin Maritime.

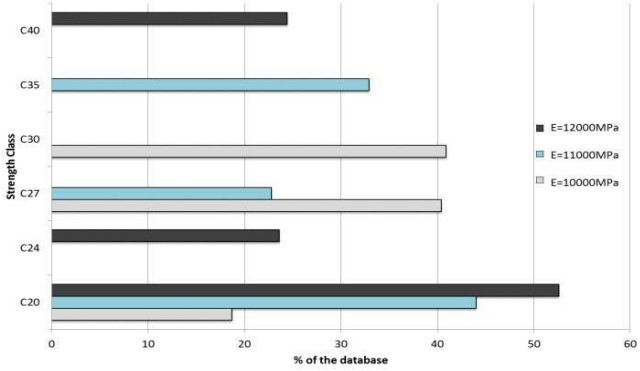


Fig. 2 : Classes de résistance fonction de différents seuils du module d'élasticité.

En conclusion, les nœuds sont les défauts les plus préjudiciables sur la résistance en flexion. A partir de MEF 2D, d'un critère de ruine, d'un tri fonction d'un E arbitraire et d'un critère visuel, des classes de résistance supérieures à celle autorisée pour le classement mécanique du Pin Maritime ont été identifiées, à savoir C35 et C40 (32% et 25% de la population).

Références

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

Mihashi H, Navi P, Sunderland H, Itagaki N, Nimomoya S (1999) Micromechanics of knot's influence on tensile strength of Japanese cedar, 1st Rilem Symposium on Timber Engineering, volume Stockholm, Sweden, pages 181-190.

Renforcement par frettage de poutres en lamellé-collé sujettes au fendage

SORIN Edouard[1], COUREAU Jean-Luc[1], CHAPLAIN Myriam[1], MOREL Stéphane[1], LANATA Francesca[2], COINTE Alain[1], GALIMARD Philippe[1]

[1]I2M CNRS UMR 5295, Talence
[2] LUNAM, Ecole Supérieure du bois (ESB), LIMBHA, Nantes
edouard.sorin@u-bordeaux.fr

Mots clefs : Renforcement, Bois, Rupture, Mode mixte, vis SFS, FPZ

Contexte

Le renforcement du bois dans la direction perpendiculaire au fil est une solution permettant d'assurer un transfert d'efforts plus important dans les zones d'assemblages. Il contribue à modifier la distribution des charges dans le volume fretté pour apporter plus de résistance dans les directions de faiblesse du matériau. Les renforts insérés dans les éléments de structures peuvent être en acier ou en matériaux composites. Leur accroche peut être mécanique (organes vissés) ou par adhérence (collage structural : goujons collés par exemple). Dans les deux cas, le transfert des sollicitations reste mal connu et les effets d'amorce ou de déviation de fissure ne sont pas bien appréhendés par la seule « théorie des poutres », puisque dans les règles proposées pour ces techniques, la résistance apportée par le bois dans la zone frettée reste négligée.

Actuellement, les investigations scientifiques s'intéressent à la résistance des poutres renforcées sans pour autant se pencher sur les mécanismes quasi-fragiles qui régissent le gain en performance mécanique. En 2003, à la suite du projet COLORETIM, des études sur le renforcement local de structures par collage de composites de fibres de verre ont montré expérimentalement que la résistance due au frettage dépendait de la résistance du composant en bois et de la capacité de reprise des renforts (Coureau, 2002). Ces solutions peuvent aboutir à un gain relatif proche de 200%. Les expériences ont montré que la rupture était provoquée simultanément par la fissuration progressive du bois et la perte d'ancrage du renfort. Il a été montré phénoménologiquement que la charge de rupture pouvait correspondre à la superposition de la résistance au fendage de l'élément non-renforcé et d'une résistance additionnelle induite par la méthode de renforcement. Cette conclusion corrobore les observations faites en 1998 par Bernasconi (Bernasconi, 1998).

De nos jours, les règles de renforcement par frettage ne proposent pas ce type d'approche, en dépit des résultats publiés en 2002 et 2003 (Coureau, 2002; Coureau and Cuvillier, 2003). Pour les poutres entaillées par exemple, la résistance ultime est calculée sans prendre en compte la résistance du bois dans le plan de cisaillement (fissuration potentielle de la zone pontée) (Franke et al., 2015). De plus, l'effort repris par les renforts, « $F_{t,90}$ », est estimé à partir d'une seule direction perpendiculaire au fil du bois alors qu'il a été démontré que les mécanismes dus au pontage sollicitaient majoritairement une direction supplémentaire (cisaillement longitudinal) (Coureau, 2002; Jockwer, 2014). La prédiction des charges ultimes reste donc très conservative et par conséquent plus consommatrice de renforts ou de bois. Enfin, les propositions actuelles n'aboutissent pas à quantifier les forts gains de résistances obtenus expérimentalement (Blass and Bejtka, 2004), ce qui ne permet pas d'exploiter pleinement le potentiel constaté de ces techniques, qui peuvent multiplier par trois la résistance à court-terme d'un composant de structure dans les configurations les plus favorables.

Campagne expérimentale envisagée

Pour comprendre plus finement les mécanismes à l'origine de la rupture des poutres renforcées, un protocole d'essai spécifique a été mis en place. L'objectif de cette campagne expérimentale est d'observer l'impact des renforts sur la répartition des modes de rupture et sur la forme de la « Fracture Process Zone » (FPZ). Afin d'observer ces phénomènes, les essais seront instrumentés par stéréovision couplée à une caméra thermique. Les expériences seront réalisées en plusieurs étapes, une première série d'une quarantaine d'éprouvettes de 1m de portée sera testée, puis une autre série de poutres de 4m de portée sera également testée en flexion 3 points pour apprécier l'effet d'échelle. Pour chaque série, différentes géométries, renforcées et non-renforcées, seront étudiées (Fig.1).

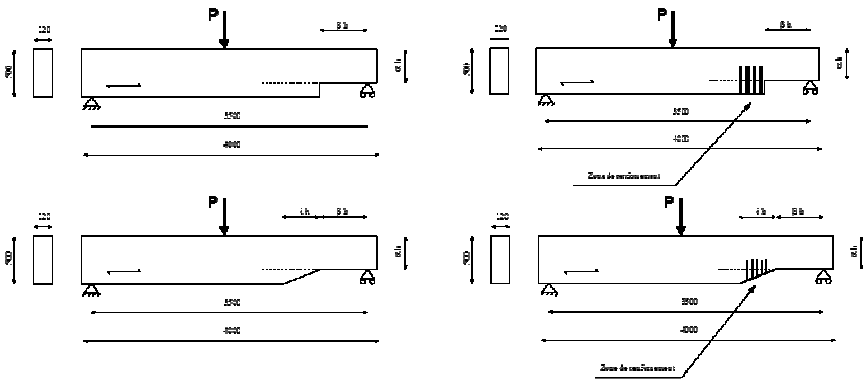


Fig. 1 : Les différentes configurations de poutres testées

L'autre objectif de cette campagne est de valider le modèle numérique développé sur la base du comportement quasi-fragile du bois, qui permet d'obtenir la charge ultime des poutres entaillées non-renforcées de façon plus fiable que l'Eurocode 5. A terme un modèle prenant en compte l'effet des renforts devrait être développé avec des approches similaires.

Remerciements

Les auteurs remercient le Projet XYLOFOREST (ANR 10- EQPX 16), pour la mise à disposition des équipements expérimentaux, et le Mésocentre de Calcul Intensif Aquitain (MCIA) de l'Université de Bordeaux et de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour permettant la réalisation des simulations par éléments-finis.

Références

Bernasconi A. (1998) Shear and bending reinforcement perpendicular to grain. Presented at the 5th world conference on Timber Engineering, Montreux, pp. 508–515.

Blass H.J., Bejtka I. (2004) Reinforcements perpendicular to the grain using self-tapping screws, in: The 8th World Conference on Timber Engineering, Lahti, Finland.

Coureau J.-L. (2002) Renforcement local d'éléments de structures bois par des matériaux composites. Thèse Université Bordeaux 1.

Coureau J.-L., Cuvillier E. (2003) Prédiction de la résistance d'éléments de structures bois renforcés localement par des matériaux composites. Rev. Fr. Génie Civ. 7:499–527.

Franke S., Franke B., Harte A.M. (2015) Failure modes and reinforcement techniques for timber beams – State of the art. Constr. Build. Mater. 97:2–13.

Jockwer R. (2014) Structural behaviour of glued laminated timber beams with unreinforced and reinforced notches. ETH ZURICH, Zurich.

Effet de la variation du taux d'humidité sur quelques propriétés mécaniques de *Milicia excelsa* (Iroko)

FOADIENG Emmanuel[1,2], FOGUE Médard[2], TALLA Pierre Kisito[1], NTABE Eric N[1]

[1]HTTTC Kumba, Université de Buea, Cameroun
[2]Faculté des Sciences, L2MSP, LISIE, Université de Dschang, Cameroun
foidienge@yahoo.fr

Mots clefs : Bois, *Miliciaexcelsa*, taux d'humidité, module d'élasticité, matériau de construction

Contexte et objectif

La production des matériaux artificiels destinés à la construction des bâtiments nécessite beaucoup d'énergie et engendre la pollution sous plusieurs aspects. Dans de nombreux pays en voie de développement, et en particulier au Cameroun, les revenus d'une grande partie de la population ne leur permettent de construire que des logements bon marché (CIFORD 2013, Isabelle et al. 2003, FAO2005). *Milicia excelsa* est une espèce disponible en abondance, peu onéreuse, et facile à régénérer. Elle est par conséquent très sollicitée par la population locale pour la construction de l'habitat en bois. Le Cameroun possède de vastes réserves de cette espèce qui toutefois demeurent à l'état sauvage et ne sont pas suffisamment exploitées (CIFORD 2013, Isabelle et al. 2003, FAO 2005).

Dans la région du Sud-Ouest du Cameroun, plus précisément dans le département de Mémé où nous avons extrait nos échantillons, cette espèce est largement utilisée dans l'ameublement et la construction en bois pour des éléments soumis à des charges de flexion et de compression. Les ouvrages obtenus tombent en ruine prématurément du fait que leur réalisation n'obéit à aucune norme technique et ne tient pas compte de l'humidité ambiante. Des travaux ont été réalisés sur cette espèce en botanique et en propriétés physico-mécaniques (CIRAD 1998-2011). Nous présentons dans ce travail les résultats expérimentaux concernant le module d'élasticité en compression et en flexion, le taux d'humidité et la variation du module d'élasticité en fonction du taux d'humidité.

Matériel et méthodes

Nos éprouvettes et nos tests ont été réalisés selon la norme *ASTM D 1037* dans des conditions climatiques protégées des intempéries (intérieur du laboratoire). De chaque échantillon, nous avons prélevé 12 éprouvettes. Ces éprouvettes saturées d'eau sont progressivement séchées pour la détermination du module d'élasticité correspondant au taux d'humidité obtenu.

Les éprouvettes ont été trempées pendant 5 jours jusqu'à saturation, pesées ensuite et placées dans une étuve réglée à 100°C. Après 1 heure de séchage, l'éprouvette est retirée de l'étuve, pesée et emballée dans du papier nylon pendant 24 heures pour que le taux d'humidité s'uniformise dans l'éprouvette ; l'éprouvette est ensuite retirée de l'emballage et testée en compression ou en flexion. Au fur et à mesure que le taux d'humidité diminue, nous avons augmenté la durée du séjour de l'éprouvette dans l'étuve pour que la différence de masse soit significative. Aux environs de 10% d'humidité, nous avons arrêté les tests et séché les éprouvettes jusqu'à l'état anhydre. Connaissant la masse anhydre nous avons remonté les calculs et avons déterminé le taux d'humidité correspondant à chaque module d'élasticité trouvé pour chaque étape de séchage. Les tests ont été arrêtés aux environs de 10% d'humidité pour éviter de tester les éprouvettes déformées par gauchissement par exemple (qui arrive probablement à moins de 10%). Les tests se sont réalisés en près de 3 mois. Nous

avons fait des tests de compression parallèlement au grain et des tests de flexion perpendiculairement au grain.

Résultats

Des résultats expérimentaux obtenus, nous pouvons déduire que ce bois peut être classé parmi les bois mi-durs utilisés en construction (CIRAD 1998-2011, Nattereret al. 2004). Les courbes de la Fig.1 montrent une relation pratiquement linéaire entre le module d'élasticité obtenu en flexion ou en compression et le taux d'humidité. Ce module d'élasticité, proche de celui trouvé dans la littérature, décroit presque linéairement en fonction du taux d'humidité, rapidement entre le taux d'humidité le plus bas (11,37 % pour la Fig. 1a et 11,02% pour la Fig. 1b) et le point de saturation moyen (CIRAD 1998-2011, Agnieska et al 2016, Natterer et al 2004) et faiblement au-delà. Il ressort aussi que, pour une construction sécurisée, la réalisation des ouvrages à base de ce bois doit prendre en compte la protection constructive.

Nous allons focaliser nos prochaines investigations sur ses propriétés mécaniques au cours du séchage, et la relation entre le taux d'humidité et les changements dimensionnels.

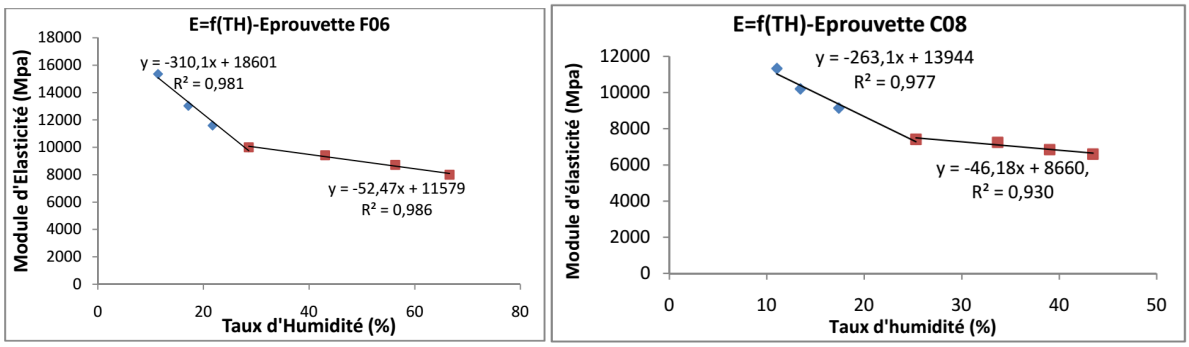


Fig 1 : Variation du module d'élasticité de flexion en fonction du taux d'humidité ; (a) éprouvette F06 ; (b) éprouvette C06

Références

Agnieszka J., Pawel K. (2016) Determination of fibre saturation point of selected tropical wood species using different methods, Warsaw university of life Sciences, Dremo, Vol 59, N° 197.

CIFORD (2013) Étude de l'importance économique et sociale du secteur forestier et faunique au Cameroun, Rapport final 277 p.

CIRAD (1998-2011) Reports TROPIX 7.

FAO (2005) Situation des Forêts du monde, Rome, 153 pages.

Isabelle A., Mette L. W., Pape K. et Mechel N. (2003) Gestion durable des forêts tropicales en Afrique Centrale, Recherche d'excellence, Etude FAO FORESTS,143.

Natterer J., Sandoz J. L., Rey M., Fiaux M. (2004) Construction en bois, matériau, technologie et dimensionnement. Traité de Génie Civil de l'Ecole Polytechnique fédérale de Lausanne, vol 13, Presse Polytechniques et Universitaires Romandes, CH-1015, Lausanne.

Elaboration et caractérisation d'un matériau composite bois-plastique écologique

BLANCHARD Mathis[1], TETAZ Thibaut[1], ATLI Atilla[1], CANDELIER Kévin[2], ALTEYRAC Jérôme[1]

[1] ECAM, 40 Montée St Barthelemy, LYON, France
[2] CIRAD-Unité de Recherches BioWooEB, TA B 114/16, Montpellier, France
jerome.alteyrac@ecam.fr

Mots clés : Composites bois-plastique, Durabilité, Polymère biodégradable, Propriétés mécaniques, Spectrophotométrie, Indice de fluidité

Contexte et objectifs

L'intérêt écologique des composites bois-plastique (WPC) est de remplacer une partie des polymères d'origine fossile par de la matière d'origine renouvelable.). Parmi les polymères déjà utilisés dans la composition des WPCs, le Bioplast GS 2189 (Amidon/Polyester) présente la particularité d'être biodégradable. L'objectif est de caractériser le matériau obtenu et de vérifier les conditions de température pour l'injection.

Matériels et méthodes

Dans cette étude, des composites bois-plastique ont été obtenus par mélange, à 160°C, de fibres de bois d'épicéa tamisées à 400µm avec du Bioplast. Le taux d'incorporation du bois dans le mélange a été réparti selon les proportions massiques suivantes: 0%, 10%, 15%, 20%, 25% et 30% (Fig. 1). Le mélange a ensuite été broyé, puis injecté dans une presse à 180°C (Fig. 2) pour obtenir des éprouvettes standards. Sur le mélange initial (avant injection) des tests MFI (Melt Flow Index) ont été effectués afin d'estimer la fluidité à chaud du matériau en vue de l'injection. Les éprouvettes standards ont quant à elles été utilisées pour les tests physiques (couleur), mécaniques (MOE, résilience) et biologiques (résistance aux agents biologiques de dégradation).

Fig. 1 : Echantillons de WPCs en fonction du taux d'incorpation de bois d'épicéa

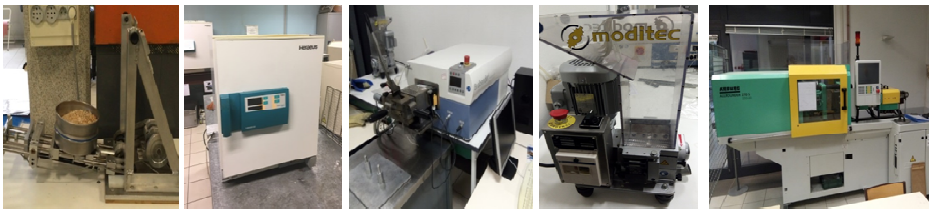


Fig. 2 : Procédé de fabrication des WPCs

Résultats et discussion

Les résultats ont montré une variation de couleur (L*a*b) - linéaire pour les paramètres L et a - en fonction du taux d'incorporation de bois dans le mélange. On constate également que l'augmentation du taux de bois contenu dans les WPCs diminue leurs résistances aux champignons mais que le matériau obtenu reste de Classe de Durabilité - 1 (très résistant). Des résultats similaires ont été trouvés pour la résistance de ces WPCs vis-à-vis de l'attaque de termites. La quantité de bois dans le mélange abaisse le MFI jusqu'en dessous du seuil de 12 g/10min, rendant difficile l'injection pour les groupes 25% et 30%. Enfin, on observe que le taux de bois augmente les propriétés mécaniques du matériau (Fig. 3) mais le rend plus fragile (Fig. 4).

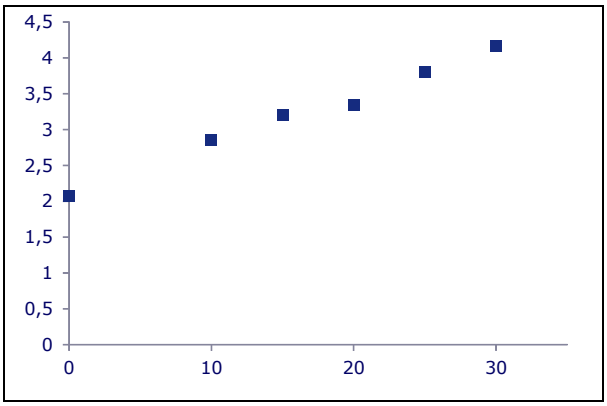


Fig. 3 : Variation du MOE (Gpa) en fonction du taux de bois (%) contenu dans le WPC

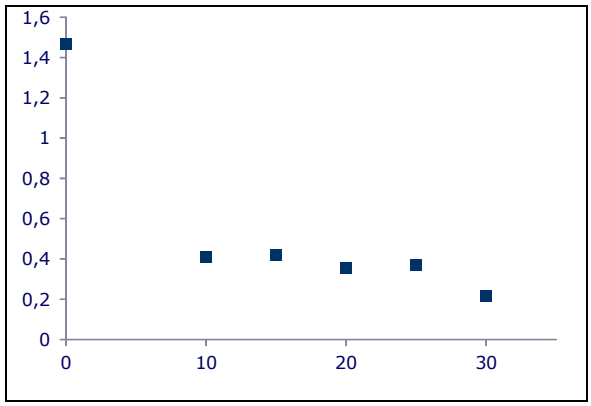


Fig. 4 : Variation d'énergie (J) (pour une même section d'éprouvette) de résilience en fonction du taux de bois (%) contenu dans le WPC

Remerciements

Nous remercions le Dr. Adem GHARSALLAOUI, maître de conférences au département Génie Biologique option Industries Alimentaires et Biologiques, IUT Lyon 1, de nous avoir mis à disposition le spectrophotomètre utilisé dans cette étude.

Références

Bioplast GS 2189. http://fr.biotec.de/bioplast/bioplast-gs-2189.

Valorisation de coproduits de la transformation industrielle de l'Acajou (*K. ivorensis* A. Chev)

Bikoro Bi athomo Arsène[1,2], Safou-Tchiama Rodrigue[2], Eyma Florent[3], Bertrand Charrier[1]

[1] CNRS/ Univ Pau & Pays Adour, Institut des Sciences Analytiques et Physico-Chemie pour l'Environnement et les Materiaux- Xylomat, UMR5254, 40004, Mont de Marsan, France.
[2] Ecole Nationale des Eaux et Forêts (ENEF), BP. 3950, Libreville, Gabon.
[3] Unité de Recherche ICA Composite, Unité de Recherche Productique Bois, Tarbes, France.
arsene.bikoro-bi-athomo@univ-pau.fr

Mots clefs : aubier, bois de cœur, écorce, FTIR, Maldi-Tof, sciures, tanins.

Contexte et objectifs

La Forêt Gabonaise recouvre plus de 85% du territoire et est constituée d'une grande diversité d'essences tropicales valorisables. Si l'okoumé reste l'essence la plus abondante, d'autres essences comme l'acajou sont aussi exploitées à cause de la qualité de leur bois. L'industrie forestière Gabonaise est essentiellement liée à la première transformation et génère donc beaucoup de déchets (environ 50% du bois transformé). De ce fait, des stratégies de valorisation des coproduits sont à développer. Notre projet de recherche consiste tout d'abord à analyser la nature des différents coproduits d'acajou afin de pouvoir envisager plusieurs voies de valorisation. Nous avons dans un premier temps caractérisé la composition chimique des extraits d'écorce, d'aubier et de bois de cœur par diverses techniques analytiques.

Matériels et méthodes

Nous avons travaillé à partir de trois échantillons d'acajou dont nous avons séparé les écorces l'aubier et le duramen. Après broyage à 60 mesh nous avons réalisé des extractions (Acétone/H2O). Les extraits obtenus ont été séchés et analysés par désorption laser assistée par matrice (Maldi-Tof) afin d'identifier la nature des tannins (Dravou et al 2015). Une analyse FTIR a confirmé la présence de tannins polymérisés (Fig.4). Des analyses chromatographiques par HPLC ont complété la démarche analytique de ces extraits. Des mesures de polymérisation ont été également réalisées (tests de Stiasny).

Fig.1 : Extraction des polyphénols d'acajou.

Résultats

La Maldi-Tof a révélé la présence de plusieurs monomères (Fig. 2) de tanins condensés (Fisétinidine, trihydroxyflavane, gallocatéchine etc) et certains oligomères (jusqu'à 5 monomères) qui ont été identifiés pour la première fois dans ces extraits. Le nombre de Stiasny (Fig. 4) montre que les tannins d'acajou se polymérisent bien (Chupin et al 2015).

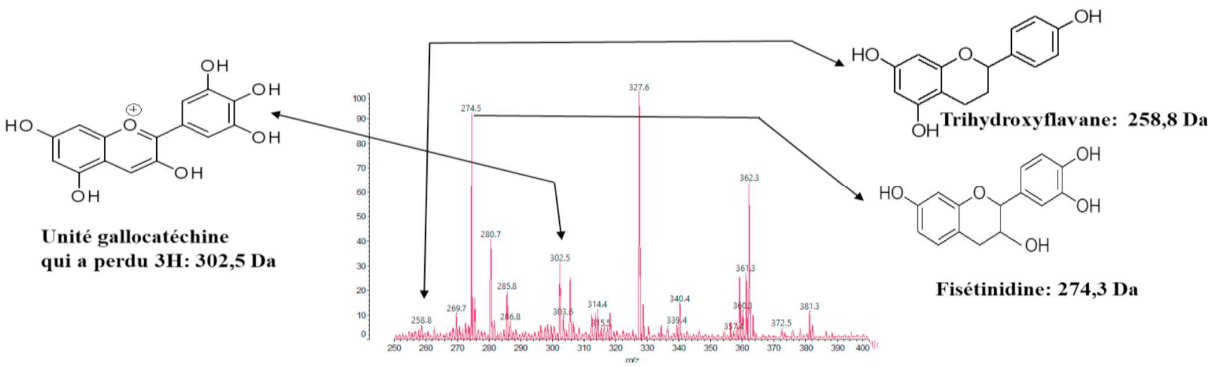


Fig.2 : Spectre Maldi-Tof 250 à 400 Da, tannins acajou.

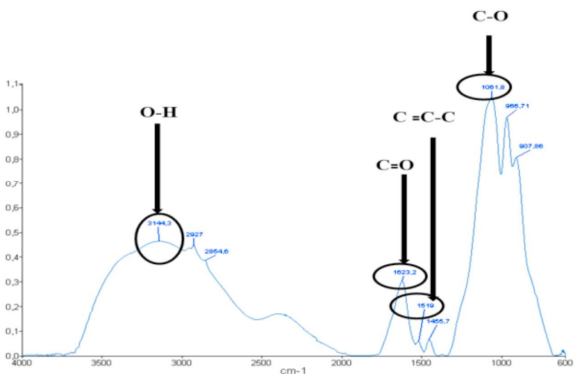


Fig.3 : Spectre FTIR, tannins acajou.

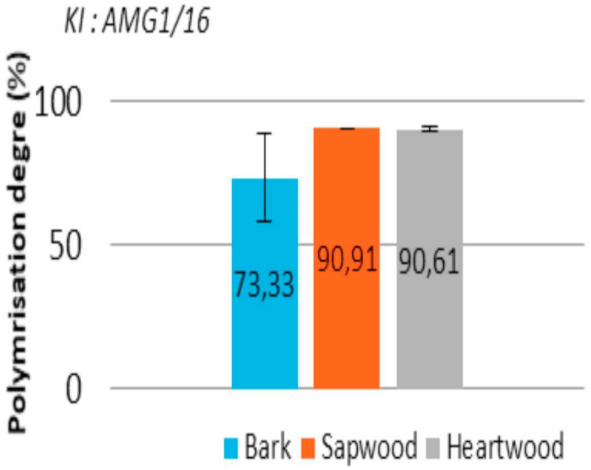


Fig.4 : Nombre de Stiasny des tannins d'acajou.

Conclusion et Perspectives

Cette étude nous a permis de mettre en valeur des extractibles issus des coproduits de l'acajou d'Afrique à partir de diverses techniques de chimie analytique. Ainsi nous avons identifié des monomères et oligomères de tannins qui possèdent des aptitudes à se polymériser et pourraient être valorisés dans l'industrie de la biomasse (résines biosourcées notamment). Des essais sont en cours de réalisation dans ce sens en combinant farine de bois/Polyéthylène haute densité dans différentes proportions.

Remerciements

Nos remerciements vont à l'endroit de l'Agence Nationales des Bourses du Gabon (ANBG), de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA), au Professeur Antonio Pizzi pour son aide dans l'analyse Maldi-tof. Nous remercions aussi Xyloforest pour les équipements d'analyse (ANR-10-EQPX-16 Xyloforest/Xylomat, Mont de Marsan) mis à notre disposition.

Références

Drovou, S., Pizzi, A., Lacoste, C., Zhang, J., Abdulla, S., El-Marzouki, F.M. (2015) Flavonoid tannins linked to long carbohydrate chains–MALDI-TOF analysis of the tannin extract of the African locust bean shells. Ind. Crops Prod. 67:25–32.

Chupin L., Maunu S.L., Reynaud S., Pizzi A., Charrier B., Charrier-EL Bouhtoury F. (2015) Microwave assisted extraction of maritime pine (Pinus pinaster) bark: Impact of particle size and characterization. Ind. Crops Prod. 65:142–149.

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

CABARET Thomas, CHARRIER Bertrand

Laboratoire Xylomat, IPREM-EPCP site de Mont de Marsan,
Université de Pau et des pays de l'Adour
thomas.cabaret@univ-pau.fr

Mots clefs : bois, exsudation, pin maritime, résine, séchage

Contexte et objectif

Après des années d'importante activité à l'issue de la tempête Klaus de janvier 2009, les producteurs de sciages de pin maritime sont à nouveau en difficulté. Le marché du sciage reste globalement en recul depuis 10 ans en Aquitaine. La filière du pin maritime a besoin d'améliorer la qualité de ses produits pour conserver et développer ses marchés. Le projet collaboratif FIXAPIN se positionne dans cet axe au travers d'un programme de recherches pour réduire le problème d'exsudation de la résine.

En effet, le fort taux de résine dans le bois de Pin Maritime peut entrainer des coulures disgracieuses qui représentent un défaut important lorsque le bois est utilisé en extérieur (Fig. 1). Ce phénomène est un frein à l'utilisation des bois de pin maritime en extérieur.

Fig. 1 : Exsudation de résine sur un bardage extérieur

La résine est constituée d'environ 70% de colophane et 30% d'essence de térébenthine (Ghanmi et al. 2009) et certaines planches peuvent présenter un taux de résine supérieur à 10% (Lloyd 1972). L'objectif de cette thèse est d'optimiser le cycle de séchage industriel du bois afin de fixer la résine dans les planches.

Des mesures ont montré une nette diminution de cette viscosité en fonction de la température. Des simulations numériques ont démontré également que la température de surface de certains bardages en pin pouvait atteindre 90°C dans certaines conditions, ce qui explique en partie l'écoulement de la résine.

Matériels et méthodes

Les principales études sont réalisées grâce à des équipements d'analyse thermique. La DSC (Differential Scanning Calorimetry) est utilisée sur des échantillons de colophane pour obtenir sa température de ramollissement. Plus précisément ces mesures ont été appliquées avant et après des isothermes à différentes températures (90°C, 100°C, 110°C et 120°C). Les résultats ont été confirmés par une analyse TMA (ThermoMechanical Analysis). Des études complémentaires sur des échantillons de résines réalisées par TGA (ThermoGravimetric

Analysis) ont permis également de mesurer le taux en essence de térébenthine de ces échantillons et de mieux appréhender les interactions entre l'essence de térébenthine et la colophane.

Résultats et discussion

Avant traitement thermique la température de ramollissement est d'environ 45°C et peut être décalée à une température supérieure à 60°C à l'issue d'un traitement thermique à 120°C pendant 12h. Une étude cinétique réalisée par DSC permet d'évaluer cette température en fonction de la durée et de la température du traitement thermique (Fig. 2).

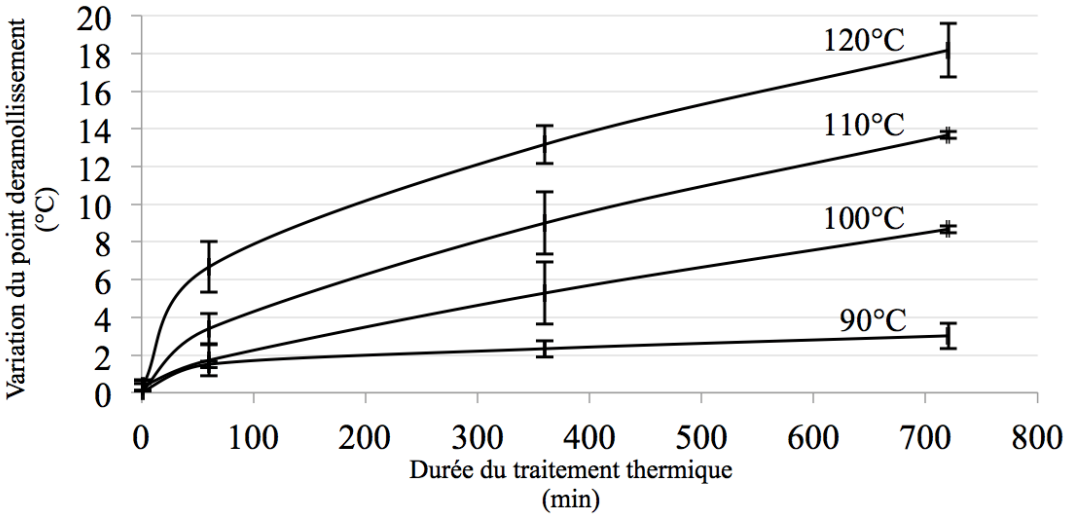


Fig. 2 : Variation de la température de ramollissement de la colophane en fonction de la durée d'un traitement thermique à différentes températures

Cette étude permet de démontrer pour la première fois qu'il est possible d'augmenter la température de ramollissement de la colophane à une température supérieure à la température maximale de surface d'un bardage extérieur sans revêtement. Cette température peut être légèrement supérieure à 60°C (Penaranda Moren and Korjenic 2017).

Remerciements

Cette étude est financée par la région Nouvelle Aquitaine, le conseil départemental des Landes (France) et l'ANR-10-EQPX-16 XYLOFOREST (Mont de Marsan, France). Nous remercions également nos partenaires industriels : Bardage Bois Neoclin, FCBA, FPbois, Gascogne Bois, Lesbats Scieries d'Aquitaine et Scierie Labadie.

Références

Ghanmi M., Satrani B., Aafi A. et al (2009) Évaluation de la qualité de la colophane du pin maritime (Pinus pinaster) et du pin d'Alep (Pinus halepensis) du Maroc, Acta Bot Gallica 156:427–435.

Lloyd J.A. (1972) Distributoin of extractives in Pinus Radiata, N Z For Serv 8:288–294.

Penaranda Moren M.S., Korjenic A. (2017) Hotter and colder – How Do Photovoltaics and Greening Impact Exterior Facade Temperatures: The synergies of a Multifunctional System, Energy Build 147:123–141.

Extraction, analyse et caractérisation des tanins d'Okoume (*Aucoumea klaineana* Pierre) du Gabon par Maldi-Tof-ms et FTIR-MS.

ENGOZOGHO ANRIS Starlin Peguy[1,2], SAFOU-TCHIAMA Rodrigue[2], DENAUD Louis[3], VIDAL Marcia[4], CHARRIER Bertrand[1]

[1]CNRS/ Univ Pau & Pays Adour, Institut des Sciences Analytiques et de Physico-Chimie pour l'Environnement et les Matériaux - Xylomat, UMR5254, 40004, Mont de Marsan,France
[2]Ecole Nationale des Eaux et Forêts (ENEF), Libreville, Gabon.
[3]Laboratoire Bourguignon des Matériaux et Procédé, Cluny, France
[4]Ecole Catholique d'Arts et Métiers ECAM – Lyon,France
engozogho-anris.st@univ-pau.fr

Mots clefs : *Aucoumea klaineana* Pierre (Okoumé), FTIR, Maldi-Tof, Polyphenols, Tanins condensés.

Contexte et Objectifs

Le bois d'Okoumé est utilisé depuis une cinquantaine d'années pour la production de panneaux de contreplaqués. Il possède une aptitude remarquable au déroulage. Peu de travaux ont été réalisés sur la composition chimique de ce bois. En 1980 Delaveau et al. montrèrent que l'oléorésine d'Okoumé présentait des propriétés bactericides. Des monomères de phenols presents dans l'huile essentielle d'Okoumé seraient également à l'origine de cette propriété. Plus récemment, les travaux de Koudou et al. (2014) J ont montré que l'Okoumé possédait des propriétés antifongiques. Au regard des connaissances limitées sur les propriétés de l'Okoumé il apparait important de mieux étudier ce bois afin d'améliorer la valorisation des co-produits de sa transformation industrielle.

Matériel et Méthodes

Les échantillons d'Okoumé proviennent de quatre arbres issus de trois zones géographiques, pour lesquels ont été analysées les sciures (60 mesh) d'aubier de duramen et d'écorce (Fig. 1). Ces sciures ont été utilisées pour l'extraction des polyphénols afin d'analyser leur composition chimique et leur pouvoir collant ; Un dispositif Maldi-Tof (Fig. 2) a été employé pour la caractérisation des polyphénols et l'identification des oligomères présents.

Fig. 1 : Extraction des polyphénols de la scuire d'OKoumé

Fig. 2 : Dispositif Maldi-Tof

Résultats

Les résultats obtenus ont montré dans un premier temps une grande variabilité de nos tannins en fonction de l'essence et de la partie du bois étudié et dans un second temps un pouvoir collant intéressant dont les valeurs vont de 50 à 93% (table 1). Au regard des travaux réalisés par Ping et al. (2011) qui ont pu réaliser une colle de bonne qualité avec un numéro de Stiasny de 46 %. Des analyses Maldi-Tof ont permis de mettre en évidence la présence de composés

de poids moléculaire élevés reliés à des molécules de glucose (Fig. 3). L'analyse FTIR a mise en évidence des vibrations caractéristiques des tannins déjà identifiés par Maldi-Tof (Fig. 4).

Tab. 1 : Numéro de stiany

Echantillon			
Origine de l'essence	Ecorce %	Aubier %	Cœur %
Nzamaligué 1	83,33 ± 0,1	73,33 ± 0,2	53,33 ± 0,1
Nzamaligué 2	73,33 ± 0,4	93,33 ± 0,2	66,67 ± 0,5
Milolé	50,00 ± 0,3	66,67 ± 0,2	66,67 ± 0,1
Mindzik	76,67 ± 0,3	70,00 ± 0,1	60,00 ± 0,4

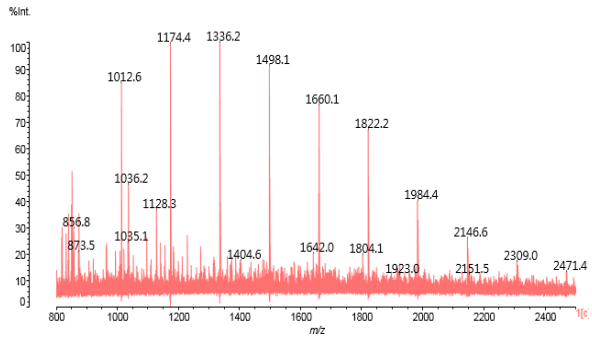


Fig. 3: Analyse Maldi-Tof de l'écorce d'Okoumé

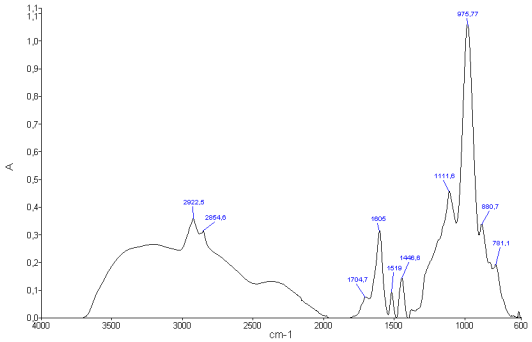


Fig.4 : Analyse infrarouge de l'écorce d'Okoumé

Conclusion et perspectives

Les résultats obtenus ont montré des numéros de stiasny de 50 à 93 % ce qui nous permet de dire qu'il est possible de valoriser toutes les parties du bois d'Okoumé afin de produire des adhésifs bio-sourcés. La caractérisation des tannins par analyse Maldi-Tof de l'écorce a révélé pour la première fois l'existence de tétramères et trimères de fisitinidine-gallocatéchine reliés à 10 molécules de glucose.

Remerciements

Nos remerciements vont à l'endroit de l'Agence Nationale des Bourses du Gabon (ANBG), de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA), au Professeur Antonio Pizzi pour son aide dans l'analyse Maldi-Tof et à Xyloforest pour l'équipement d'analyse mise à disposition.

Références

Ping L., Brosse N., Chrusciel L., Navarrete P., Pizzi A. (2011) Extraction of condensed tannins from grape pomace for use as wood adhesives. Ind. Crops Prod. 33:253–257.

Delaveau P. (1980) Recent advances in Phytochemistry, Vol. 13. Topics in the Biochemistry of natural products, Biochimie 62:13-14.

Koudou B. (2014) Elimination of lymphatic filariasis: The endgame and challenges for meeting the 2020 target. International Journal of Infectious Diseases 21:42.

Étude de la mise au point d'un vernis industriel à base de colophane et d'huile végétale

FRANCES Manon, CHARRIER Bertrand

Xylomat, IPREM-EPCP, UPPA, Mont de Marsan
manon.frances@univ-pau.fr

Mots clefs : colophane, formulation, huile végétale, pin, vernis.

Contexte et objectif

Le sujet de cette thèse est l'étude de la mise au point d'un vernis industriel à base de colophane et d'huile végétale. Le but est de développer l'utilisation de la colophane issue de la résine de pin maritime pour fabriquer un vernis en se basant sur la connaissance des savoir-faire anciens (Tirat 2016). Nous nous sommes intéressés aux vernis employés à la fin du XVIIème et au début du XVIIIème siècle par le luthier Antonio Stradivari. Ses vernis d'une qualité exceptionnelle étaient obtenus à partir de colophane de pin et d'huile de lin (Echard 2010). La thèse consiste à s'inspirer de ces techniques anciennes pour fabriquer un vernis biosourcé industrialisable et de performances élevées.

Matériels et méthodes

Les matières premières utilisées sont de l'huile de lin et de la colophane issue de la résine de pin maritime de Biscarosse (Société Holiste, Landes). Après séchage de la résine entre 120°C et 180°C, les mesures du taux de térébenthine résiduel dans la gemme sont réalisées avec un analyseur thermogravimétrique (TGA) de la marque TA instruments, modèle Q500. Les vernis sont ensuite formulés avec de l'huile de lin et mélangés grâce à une plaque chauffante avec agitateur magnétique. Les formulations sont appliquées au pinceau et séchées avec des lampes UVA. Les couleurs des films sont mesurées avec un spectrocolorimètre de la marque X-rite, modèle Ci62.

Résultats

Les expériences menées à ce jour se sont portées sur la formulation de vernis en étudiant l'optimisation des mélanges d'huile de lin et de colophane. Dans un premier temps, les proportions des différents éléments ainsi que leur aptitude à se mélanger selon différentes températures et différents taux de térébenthine restant dans la colophane ont été mesurés (Fig. 1).

Plusieurs additifs ont ensuite été testés afin d'améliorer la viscosité et les temps de séchage (Vandenabeele 2000). Les principales caractéristiques mécaniques, d'adhérence et de résistance aux solvants (Fig. 2), notés de 0 à 5, des films ont été mesurées. La couleur (Fig. 3) et la brillance ont été également analysées sur les premières séries de formulation de ces nouveaux vernis biosourcés. Seuls les résultats de couleur et de résistance à l'acétone sont présentés.

Les additifs accentuent le jaunissement et entraînent une résistance moins efficace à l'acétone. Cependant ils pourraient réduire efficacement le temps de séchage, et améliorer la performance mécanique des films.

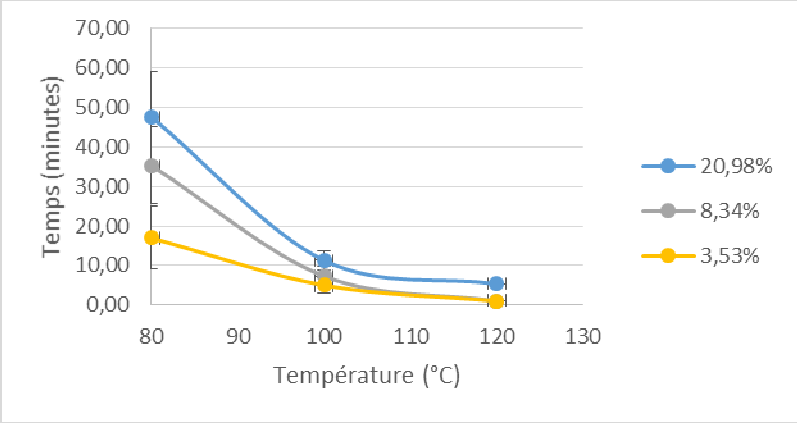


Fig. 1 : Temps de dissolution en fonction de la température compte tenu de la teneur en térébenthine

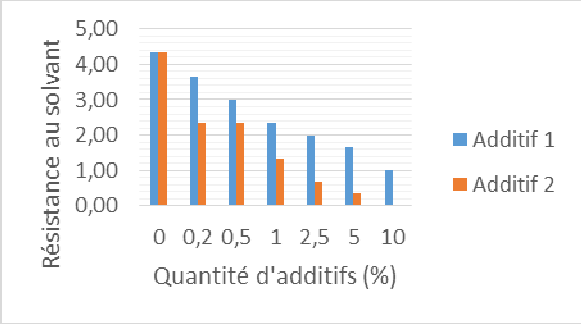


Figure 2: Résistance à l'acétone selon la quantité d'additifs

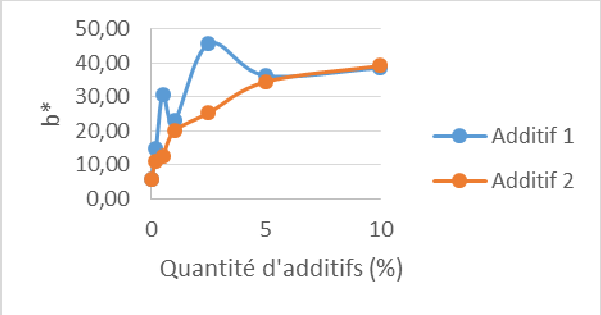


Figure 3: Jaunissement du film en fonction de la quantité d'additifs

Remerciements

Nous remercions la région Nouvelle Aquitaine pour le financement à 50% de la thèse, ainsi que le conseil départemental pour le financement de 50% de la thèse également. La thèse se positionne dans le cadre du projet collaboratif Stradivernis et des actions du réseau Xylomat (ANR-10- EQPX-16 Xyloforest/Xylomat, Mont de Marsan). Nous remercions aussi la comité d'agglomération du Marsan pour son aide au fonctionnement du laboratoire.

Références

Tirat S., Degano I., Echard J.-P., Lattuati-Derieux A., Lluveras-Tenorio A., Marie A., Serfaty S., Le Huerou J.-Y. (2016) Historical linseed oil/colophony varnishes formulations: Study of their molecular composition with micro-chemical chromatographic techniques, Microchemical Journal 126(mai):200-213. doi:10.1016/j.microc.2015.11.045.

Echard J.-P., Bertrand L., von Bohlen A., Le Hô A.-S., Paris C., Bellot-Gurlet L., Soulier B., et al. (2010) The Nature of the Extraordinary Finish of Stradivari's Instruments. Angewandte Chemie International Edition 49(1):197-201. doi:10.1002/anie.200905131.

Vandenabeele P., Wehling B., Moens L., Edwards H., De Reu M., Van Hooydonk G. (2000) Analysis with micro-Raman spectroscopy of natural organic binding media and varnishes used in ar, Analytica Chimica Acta 407 (1–2): 261-74. doi:10.1016/S0003-2670(99)00827-2.

Xylomat : une expertise autour des matériaux biosourcés au service de la recherche et des industriels

LEROYER Léo[1], CHARRIER Bertrand[2]

[1,2]Xylomat, IPREM-EPCP, 403 rue du ruisseau, 40004 Mont de Marsan, France
leo.leroyer@univ-pau.fr

Mots clefs : composites, essais normalisés, matériaux biosourcés, panneaux, plateforme technologique, R&D

Les réseaux Xyloforest et Xylomat

Xyloforest est une plateforme de recherche, d'innovation et de services pour les systèmes [forêts cultivées - produits & matériaux bois], dont Xylomat est un des 6 plateaux.

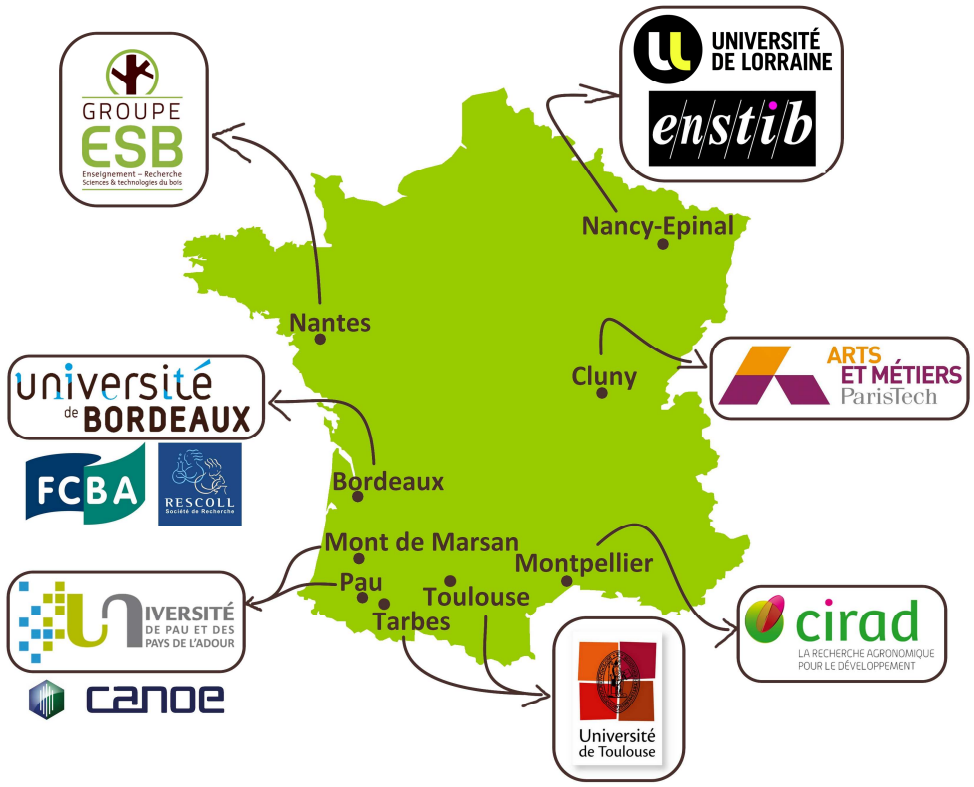


Fig. 1 : Carte du réseau national Xylomat

Le réseau national Xylomat (Fig. 1) est constitué des principaux acteurs impliqués dans la recherche de nouveaux matériaux biosourcés (élaboration, caractérisation et mise en œuvre). Son but est de mettre en place des plateaux techniques au service des chercheurs et industriels de la filière bois et matériaux biosourcés.

Les prestations du plateau de Mont de Marsan

Le plateau de Mont de Marsan offre des services R&D et de transfert de technologies autour du développement de nouveaux composites, panneaux et résines à partir de matières premières renouvelables.

Nous pouvons accompagner les recherches à chaque stade de leur développement : analyse des matières premières (HPLC, GC), élaboration de nouveaux matériaux (formulation de

mélanges collants, mise en œuvre par thermo-compression et thermo-formage) et évaluation de leurs propriétés physico-chimiques (TMA, ATG, DSC, conductivité thermique, performance acoustique, PCI, PCS), biologiques (résistance aux insectes et aux champignons) et de vieillissement (QUV).

Nous réalisons également des tests préliminaires pour la préparation des essais normalisés et certifications produits.

Exemples de projets développés récemment par l'équipe Xylomat Mont de Marsan

- Etude d'un nouveau support à base de bois et de fibres biosourcées pour de la lutte biologique en milieu tropical (Scyll'Agro, 2016)

- Etude de nouvelles voies de valorisation d'emballages de type Tetra Pak® par thermocompression (Cetiba et Institut national agronomique de Tunisie, 2016)

- Développement de panneaux de particules à partir de plaquettes de bois torréfié (Areva Energies Renouvelables, 2015)

Utilisation de la spectroscopie proche infrarouge pour la prédiction des propriétés physiques et mécaniques de 5 essences autochtones de la station forestière de Mandraka (Madagascar)

ANDRIANINDRINA Mikala Yvana [1], RAZAFIMAHATRATRA Andriambelo Radonirina [1], ARITSARA Amy Ny Aina [1,2], CHAIX Gilles [3,4,5], RAMANANANTOANDRO Tahiana [1]

[1] Université d'Antananarivo, ESSA-FORETS, Antananarivo, Madagascar
[2] Guangxi University, College of Forestry, Guangxi, China
[3] CIRAD, UMR AGAP, Montpellier, [4] ESALQ-USP, Piracicaba, Brazil
[5] AGAP, Univ Montpellier, CIRAD, INRA, Montpellier SupAgro, Montpellier, France
mikala.yvana@gmail.com

Mots clefs : bois, densité, dureté, MOE, PSF, retraits, SPIR

Contexte et objectif

Seules les caractéristiques de 5% des 4220 espèces ligneuses recensées à Madagascar sont connues. Dans toute l'Ile, l'exploitation forestière est concentrée sur une cinquantaine d'entre elles. Pour une meilleure gestion forestière, il est donc nécessaire de connaître les caractéristiques biologiques et technologiques d'un plus grand nombre d'essences. L'objectif de cette étude est d'utiliser des techniques indirectes comme la spectroscopie proche infrarouge (SPIR) pour caractériser et différencier les essences de bois et de contribuer à enrichir la base de données malgache sur les caractéristiques des essences autochtones. Les propriétés du bois sont également évaluées au moyen de méthodes normalisées afin de réaliser un étalonnage basé sur des valeurs de référence normalisées.

Matériel et Méthodes

Plus de 1235 échantillons de bois de 5 essences natives de la station forestière de Mandraka : *Agauria* sp., *Neotina isoneura*, *Nuxia capitata*, *Tambourissa trichophylla* et *Weinmannia rutenbergii* ont été évaluées (densité anhydre, dureté, retrait longitudinal, radial et tangentiel, module d'élasticité (MOE), module d'élasticité (PSF)) suivant les méthodes normalisées (Brancheriau 2013, NF B51-002, NF B51-003, NF B51-005, NF B51-006, NF B51-013, NF B51-016, NF P63-202-1, NF EN 1534). Les spectres PIR d'absorbance ont été mesurés sur ces mêmes échantillons au moyen d'un spectromètre portatif MicroNIR et utilisés pour les modèles de régression PLS spécifiques et multi spécifiques afin d'étalonner chaque propriété. Plusieurs prétraitements des spectres ont été testés pour l'établissement des modèles. Par ailleurs, des modèles de discrimination (méthode PLS-DA) ont été construits à partir des mêmes échantillons. Le logiciel en ligne CHEMFLOW (http://chemproject.org) a été utilisé.

Résultats

Les meilleurs modèles sont ceux qui concernent les spectres des faces RT et basés sur toutes les espèces. Les trois propriétés qui s'étalonnent le mieux sont, dans l'ordre décroissant, la densité, le PSF, le MOE, conformément à la littérature (Kokutse et al. 2010 ; Schimleck et al. 2001, Tab.1, Fig. 1). Les modèles spécifiques ne sont pas assez performants. L'analyse discriminante basée sur les seuls spectres PIR en validation croisée a permis d'identifier les espèces avec un taux d'efficacité inférieur à 1% d'erreur (spectres bruts ou spectres prétraités par detrend, Tab. 2).

Tab. 1: Résutats en validation croisée des modèles multi espèces SPIR de la face RT (MOE : Module d'élasticité ; PSF : point de saturation des fibres ; RMSECV : Erreur en validation croisée ; R^2 : coefficient de détermination ; RPD : Rapport d'efficacité

Propriétés	N. échantillons	LV	RMSECV	R^2	RPD
Densité anhydre	328	9	0.053	0.86	2.42
Retrait longitudinal	234	3	0.201	0.07	1.01
Retrait radial	184	4	1.460	0.22	1.10
Retrait tangentiel	215	8	1.919	0.28	1.12
Dureté	93	5	0.481	0.57	1.47
MOE	328	3	2395.195	0.70	1.79
PSF	234	7	2.850	0.76	1.82

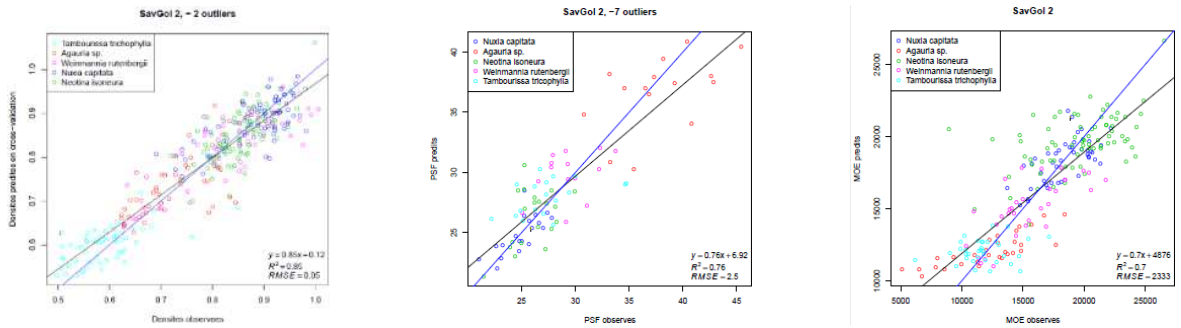


Fig. 1 : Résultats en validation croisée modèles pour la densité, PSF, MOE, multi espèces face RT

Tab. 2: Matrices de confusion en validation croisée par PLS-DA sur les spectres PIR brut et prétraités (detrend - DT)- AG : *Agauria* sp., NE : *Neotina isoneura*, NC : *Nuxia capitata*, TA : *Tambourissa trichophylla*, WR : *Weinmannia rutenbergii*

		Prédictions sans prétraitement (9 DV)					Prédictions après DT (7 DV)				
		AG	NE	NC	TA	WR	AG	NE	NC	TA	WR
Références réelles	AG	49	1				49	1			
	NE		50					50			
	NC			50					50		
	TA				50					50	
	WR		1			49					50

Remerciements

Nous adressons nos remerciements au GDR Sciences du Bois et au Projet Spirmadbois financé par AUF, ESPA et IFS, pour leur appui matériel et financier à ce projet.

Références

Brancheriau L., Baillères H. (2002) Caractérisation acoustique et ultrasonore des produits bois et composites. Wood Science and Technology, 36:347-365.

Kokutse A.D., Brancheriau L., Chaix G. (2010) Rapid prediction of shrinkage and fibre saturation point on teak (Tectona grandis) wood based on near-infrared spectroscopy. Annals of Forest Science, 67(4):403-403

Schimleck L., Evans R., Ilic J. (2001) Application of near infrared spectroscopy to a diverse range of species demonstrating wide density and stiffness variation. IAWA J., 22(4): 415-429

Projet SPIRMADBOIS

RAMANANANTOANDRO Tahiana[1], THÉVENON Marie-France[2], BELLONCLE Christophe[3], TOMAZELLO FILHO Mario[4], RAZAKAMANARIVO Herintsitohaina[5], RAZAFIMAHATRATRA Radonirina A.[1], RAZAFINARIVO Ravo N.G.[1], RAKOTOVOLOLONALIMANANA Herizo[1], RAJEMISON Andraina H.[1], RAFETRASON Nirintsoa F.[1], MEVANARIVO Zo E.[1], RAZAFIMBELO Tantely[5], CHAIX Gilles[4,6]

[1] ESSA-Forêts, Antananarivo, Madagascar
[2] CIRAD, UR BioWooEB, Montpellier, France
[3] Ecole Supérieure du Bois, Nantes, France
[4] ESALQ-USP, Piracicaba, Brazil
[5] Laboratoire des Radio Isotopes, Antananarivo, Madagascar
[6] CIRAD, UMR AGAP, Montpellier, France
ramananantoandro@gmail.com

Mots clefs : bois, couleur, durabilité naturelle, densité, eucalyptus, extractibles, Madagascar, spectroscopie proche infrarouge

Contexte et objectif

La forêt constitue la principale source de matériau et d'énergie pour la population malgache. Une contrainte se pose pourtant en raison du rythme alarmant de la déforestation ces dernières années. Plus de 1,2 million d'hectares de forêts ont été perdues en quinze ans à Madagascar, avec un taux annuel de déforestation de 0,83% sur 1990-2000, et de 0,53% sur 2000-2005. Un des enjeux importants pour la conservation de la forêt malgache consiste en une utilisation rationnelle et durable des ressources forestières. Ceci nécessite la connaissance des propriétés des matériaux et le renforcement du laboratoire en sciences du bois à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo à Madagascar. Le projet Spirmadbois ou « Renforcement des capacités malgaches pour la caractérisation du bois et l'identification des espèces forestières autochtones » est un projet de deux ans (2016-2017) qui vise à :

- Renforcer les recherches en sciences du bois pour contribuer à une gestion rationnelle et durable des ressources forestières malgaches,
- Mettre en place un outil innovant de mesure, non destructif et peu onéreux, la Spectroscopie Proche Infra-Rouge (SPIR), pour évaluer les propriétés des bois malgaches, avec transfert de compétences sur l'exploitation de cet outil,
- Mettre en place un outil innovant (SPIR) permettant de discriminer des échantillons d'une même espèce selon leur provenance géographique,
- Continuer la mise en place d'une xylothèque et d'une base de données sur les bois malgaches.

Matériel et méthodes

Deux types de bois ont été étudiés dans le projet : une espèce de plantation (*Eucalyptus robusta*) et 60 espèces autochtones malgaches. Les échantillons ont été prélevés dans plusieurs sites à l'Est, au Centre et au Sud de Madagascar. Les propriétés des bois ont été mesurées selon les méthodes standardisées : densité, teneur en extractibles, teneur en phénol, couleur, durabilité naturelle et durabilité en service. Les spectres en SPIR ont été pris à l'aide d'un spectromètre portatif Viavi MicroNIR. Les modèles de prédiction et discrimination reposent sur des régressions PLS en utilisant le logiciel R et ChemFlow.

Résultats

(1) Tous les échantillons de bois (1080 échantillons de bois autochtones et 309 échantillons de bois d'eucalyptus) ont été prélevés en forêt et (2) toutes leurs propriétés ont été mesurées (Fig. 1 à 4). La variabilité radiale et longitudinale de la densité a été étudiée (Fig. 1 et 2).

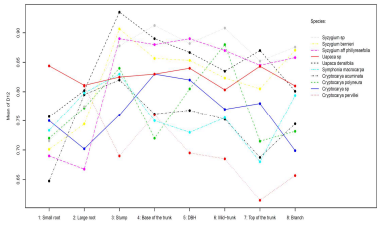


Fig. 1 : Variabilité longitudinale de la densité (des racines aux branches) des bois autochtones

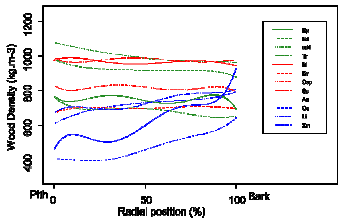


Fig. 2 : Variabilité radiale de la densité des bois autochtones

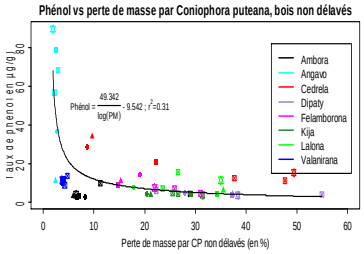


Fig. 3 : Durabilité et teneur en phénol des bois autochtones

(3) L'étalonnage SPIR a été effectué sur les espèces d'eucalyptus pour estimer les propriétés chimiques (taux de lignine, d'hémicellulose et d'extractibles) (Fig. 5). (4) Une xylothèque pédagogique a été mise en place à l'ESSA-Forêts (Fig. 6).

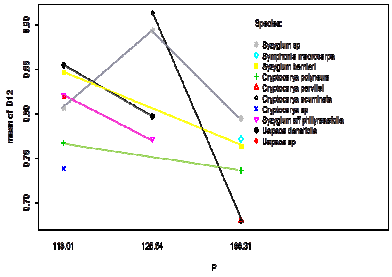


Fig. 4 : Influence de la précipitation sur la densité des bois autochtones

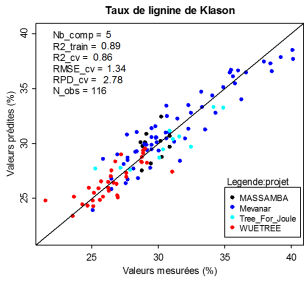


Fig. 5 : Estimation des propriétés chimiques des eucalyptus à l'aide de la SPIR

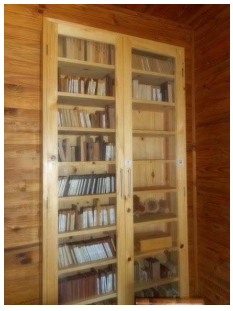


Fig. 6 : Mise en place d'une xyothèque pédagogique

(5) Le projet a permis de financer 2 thèses de doctorat, 2 stages de post doc, 3 stages de Master II et la participation à 2 conférences internationales.

Conclusion et perspectives

Il s'agira à l'aide de la SPIR de : (1) Etalonner en vue d'estimer la densité, la chimie et la durabilité naturelle des espèces autochtones ; (2) Discriminer 60 espèces autochtones ; (3) Discriminer des échantillons d'eucalyptus par leur origine géographique.

Remerciements

Les auteurs remercient l'AUF, le projet p4GES Carbon work package financé par NERC-ESPA programme/projet numéro NE/K008692/1 (www.p4ges.org/) et IFS (International Foundation for Science) pour l'appui financier au projet, l'Ambassade de France à Madagascar et OWSD (Organization for women in Science for the Developing world) pour les bourses d'études et le GDR Sciences du Bois pour les appuis aux déplacements.

Utilisation de matériaux bois intelligents pour la gestion durable des infrastructures – Suivi de l'humidité par capteurs intégrés

LI Hang[1], PERRIN Marianne[1], EYMA Florent[1], JACOB Xavier[2], GIBIAT Vincent[2]

[1]Institut Clément Ader (ICA), CNRS UMR 5312, IUT de Tarbes - Dépt GMP, 1 rue Lautréamont, 65000 Tarbes
[2] Laboratoire PHASE, EA 3028, Université Paul Sabatier - Toulouse III, 118, route de Narbonne, 31400 Toulouse
hang.li@iut-tarbes.fr, marianne.perrin@iut-tarbes.fr

Mots clefs : Bois lamellé-collé, intégration de capteurs, mesures électriques, mesures ultrasonores, ouvrages d'art en bois, suivi de l'humidité.

Contexte et objectifs

Depuis quinze ans, on recommence à construire en bois, et notamment en bois lamellé-collé (LC) pour répondre aux nouveaux challenges imposés par les problématiques de développement durable. Néanmoins, des problèmes de dégradations liés à l'humidité ou aux cycles d'humidification/séchage limitent le développement des ouvrages en bois (Dietsch et al. 2014). De ce fait, afin de permettre une expansion de ce type de construction, les gestionnaires d'ouvrages ont exprimé leur besoin en techniques de contrôle en continu de l'humidité du bois (Kasal 2013). Aujourd'hui, certaines solutions existent mais ne permettent pas un suivi local au niveau des lamelles du bois LC (Dietsch et al. 2014). Une telle solution permettrait d'améliorer la prédiction de la durée de vie des ouvrages. Suite à ces constats, nous proposons de transformer le bois LC en « structure intelligente » par intégration d'un système du suivi de l'humidité au niveau des lamelles, et ce, en tenant compte des principales contraintes de fabrication de ce matériau (faible épaisseur du joint collé, pression de collage importante, etc.).

Recherche bibliographique. Pour ce faire, nous avons identifié les méthodes de suivi permettant à la fois la mesure de l'humidité du bois, mais aussi la possibilité d'intégrer les capteurs de mesure au niveau des lamelles du bois LC. Selon le processus de fabrication de ce dernier, les principales contraintes pour l'intégration de capteurs sont la faible épaisseur du joint collé (0,3 mm) et la pression de collage importante (10 bars). A l'issue de cette recherche, deux technologies se sont révélées intéressantes : les mesures électriques et les mesures ultrasonores (Skaar 1988 ; Bucur 2006). Qui plus est, à partir des informations ressorties de l'étude bibliographique, nous avons identifié 4 configurations des mesures électriques en utilisant des électrodes de type « pointe » ou de type « surfacique » (Skaar 1988), et 2 configurations des mesures ultrasonores en testant 3 familles de capteurs à film piézoélectrique (PVDF, AFC et MFC) (Safari et al. 2008).

Matériels et méthodes

Par la suite, nous avons mis en place un plan d'expérience pour ces deux types de méthodes. Nous avons tout d'abord réalisé des études préliminaires qui avaient pour but de : 1) vérifier la faisabilité des mesures électriques/ultrasonores dans le bois avec les configurations identifiées ; 2) vérifier le comportement de ces capteurs face à la pression de 10 bars. Ensuite, nous avons utilisé deux procédures d'humidification pour faire varier l'humidité dans l'échantillon afin d'investiguer la réponse des capteurs aux changements d'humidité.

Résultats

Concernant les mesures électriques, les études préliminaires ont montré le bon fonctionnement des 4 configurations de mesures identifiées. Il s'avère que toutes les configurations sont capables de suivre la variation d'humidité dans le bois LC pour la plage d'humidité étudiée (10% à 70%). De plus, ces 4 configurations présentent des lois de comportement très proches dans les échantillons LC, ce qui signifie que l'on peut adopter quasiment les mêmes modèles d'étalonnage pour le suivi de l'humidité par mesures résistives, quel que soit le type de capteurs utilisé. Qui plus est, il est possible de récupérer des informations complémentaires par la réalisation simultanée des mesures résistives et des mesures capacitives en utilisant les électrodes surfaciques. L'influence de la pression de collage et de l'espacement des électrodes a été aussi investiguée dans ce travail.

En ce qui concerne les mesures ultrasonores, les études préliminaires réalisées nous ont permis d'obtenir les courbes de sensibilité en fréquences dans le bois pour les trois familles de capteurs à film piézoélectrique évoquées. De plus, ces essais nous ont aussi permis de mettre en évidence le capteur le plus performant pour une mesure ultrasonore dans le bois : à savoir, le capteur MFC. Les tests réalisés par la suite avec ce type de capteur nous ont permis d'identifier la fréquence optimale pour une mesure ultrasonore, l'influence de la pression sur le comportement des capteurs et la taille optimisée de l'échantillon. Puis, après avoir fabriqué les échantillons LC avec les capteurs MFC intégrés, nous avons montré que le passage sous pression des capteurs n'influence pas l'exploitation des signaux. Enfin, les résultats du suivi de l'humidité montrent qu'il est possible de suivre la variation d'humidité dans le bois LC pour les humidités atteintes à ce jour, à savoir entre 10% et 50%.

Conclusions et perspectives

Les résultats obtenus dans ce travail nous ont permis de répondre aux problématiques évoquées relatives à l'intégration de capteurs pour un suivi de l'humidité dans les poutres LC. Dans la continuité de ce projet de recherche, les études futures consisteront à utiliser ces configurations de mesure pour établir un lien entre la durabilité des structures LC et les cycles d'humidification/séchage afin d'avoir une prédiction fiable de la durée de vie de ces structures.

Références

Bucur V. (2006) Acoustics of wood, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 393 p.

Dietsch P., Gamper A., Merk M., Winter S. (2014) Monitoring building climate and timber moisture gradient in large-span timber structures, Journal of Civil Structural Health Monitoring 5(2):153-165.

Kasal B. (2013) Assessment, Reinforcement and Monitoring of Timber Structures–COST FP1101, Advanced Materials Research 778:1037-1040.

Safari A., Akdogan E.K. (2008) Piezoelectric and acoustic materials for transducer applications, Springer, 481 p.

Skaar C. (1998) Wood-water relations, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 283 p.

Evaluation de la qualité esthétique de la finition sur les surfaces bois usinées. Quid du regard des industriels et des consommateurs ?

RAMANAKOTO Miora[1], EYMA Florent[1], RAMANANANTOANDRO Tahiana[2], GEISLER Jeremy[3], CASTANIE Bruno[4]

[1]Univ. Paul Sabatier, IUT, Département GMP, Institut Clément Ader, Tarbes, France.
[2]Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Département des Eaux et Forêts, Antananarivo, Madagascar.
[3]Critt-bois Midi-Pyrénées, Cellule de Diffusion Technologique, Radegonde, France.
[4]Institut National des Sciences Appliquées, Département Génie Mécanique, Laboratoire Institut Clément Ader, Toulouse, France.
miora.ramanakoto@gmail.com

Mots clefs : analyse viso-tactile, consommateurs, industriels, finition aqueuse, qualité de surface, relevés de fibres

Contexte et objectif

Les produits de finition à base de solvant ont été restreints par une directive européenne IED2010/75/UE en 2011 qui réclame la réduction des émissions de composés organiques volatils nocifs pour la santé humaine et pour l'environnement (Roux et al. 2012). Les industriels sont donc obligés de se tourner vers les produits aqueux qui, après application sur une surface usinée, engendrent davantage de relevés de fibres. Ces derniers apparaissent suite au gonflement des fibres par l'eau, induisant la séparation et le soulèvement de fibres individuelles, ou même des sections de fibres en créant des sillons parallèles au fil du bois. La surface devient alors rugueuse au toucher et les relevées de fibres peuvent même être dans certains cas visibles à l'œil nu (Landry et al. 2013). Bien que les recherches antérieures aient tenté d'expliquer ce phénomène (Singh et al. 2010), leur atténuation, voire les moyens pour éviter leur apparition ne sont pas encore connus à ce jour. De plus, aucune étude n'a quantifié l'importance de ces relevés de fibres sur les surfaces vernies. Enfin, il n'existe actuellement aucune définition de ce qu'est une qualité de surface finie acceptable. Pour éliminer ces relevés de fibres, la majorité des entreprises s'imposent aujourd'hui une sur-qualité pour améliorer la qualité de surface du bois usiné. Ils sont obligés d'effectuer l'égrenage, qui est une opération de ponçage entre deux couches de vernis à la fois lente et couteuse. Pour résoudre ces problématiques, notre étude a pour objectifs de : (i) quantifier l'importance des relevés de fibres sur les surfaces usinées après application d'un vernis aqueux en les reliant aux paramètres de rugosité ; (ii) déterminer la différence d'appréciation de la qualité des surfaces finies par les industriels et les consommateurs ; (iii) identifier les conditions de coupe optimales permettant d'obtenir une qualité de surface finie acceptable.

Matériels et méthodes

L'étude a été réalisée sur du chêne et du hêtre des Pyrénées utilisé en menuiserie intérieure. L'usinage et l'application de la finition ont été effectués dans les conditions industrielles. Les surfaces ont été usinées suivant un plan d'expérience complet afin de créer plusieurs gammes de qualité de surface allant de lisse à dégradée. 9 conditions de coupe en rabotage ont été utilisées, en variant la vitesse d'avance Vf (8 - 19 - 30m/mn) et de coupe Vc (31,4 - 47,1 - 62,8m/s). 9 conditions de coupe en ponçage ont également été utilisées, en variant la vitesse d'avance (3 – 10 – 18m/mn) et la taille des grains de ponçage (en 3 programmes P80, P80-120, P80-120-180). 2 couches de vernis aqueux ont été appliquées sur les surfaces usinées. Après application de la première couche de vernis, une moitié des échantillons a été égrenée

avec du papier P260 et l'autre non égrenée. L'analyse a ensuite été effectuée en deux étapes. La première étape consistait à évaluer l'importance des relevés de fibres (RF) sur les surfaces vernies non égrenées après application d'une seule couche de vernis, par une analyse viso-tactile faite par deux industriels. Les scores (sur 5) qu'ils ont attribués ont été corrélés avec des paramètres de rugosité mesurés sur ces surfaces à l'aide d'un appareil de mesure optique 3D ALICONA (ISO 25178, 2012). La deuxième étape consistait à définir une surface finie acceptable. Une analyse viso-tactile a été effectuée par 2 industriels et 60 consommateurs sur les surfaces vernies égrenées et non égrenées. Les scores (sur 9) ont ensuite été corrélés avec les paramètres de rugosité et d'ondulations mesurés sur ces surfaces finies.

Résultats et discussion

Les RF sont plus prononcés sur les surfaces poncées (Fig.1) que sur les surfaces rabotées (Fig.2) pour les deux essences. Trois paramètres de rugosité sont associés à l'importance des RF sur les surfaces vernies des deux essences : Ssk décrivant la prépondérance des pics, sRk et Vmc démontrant l'existence d'une certaine quantité de matière détectée par le toucher au niveau du cœur du profil de rugosité.

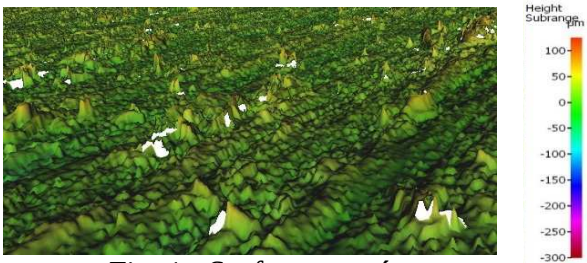


Fig. 1 : Surface poncée

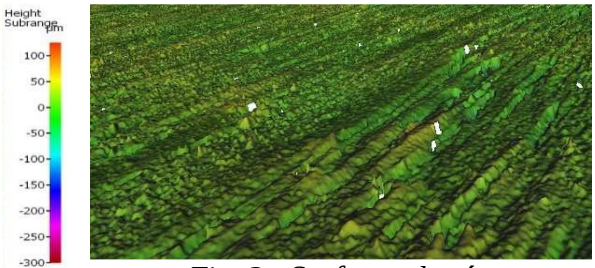


Fig. 2 : Surface rabotée

Le calcul des seuils des paramètres corrélés aux notes viso-tactiles sur les surfaces finies a révélé que les industriels sont plus stricts que les consommateurs quant à l'appréciation de la qualité des surfaces finies (ex : sRa≤8,67µm pour les industriels; sRa≤9,41µm pour les consommateurs). Ils s'imposent donc bien une sur-qualité. Pour le chêne, en rabotage, un abaque de zone de coupe acceptable a été trouvé pour obtenir une surface finie acceptable sans égrenage. Les surfaces poncées et toutes les surfaces de hêtre doivent être égrenées.

Remerciements

Nous remercions la Société ROZIÈRE à Bozouls pour leur collaboration, et tous ceux qui ont participé à l'analyse viso-tactile.

Références

ISO 25178 (2012) Spécification géométrique des produits – Etat de surface : surfacique – Partie 2 : Termes, définitions et paramètres d'états de surface.

Landry V., Blanchet P., Cormier L.M. (2013) Water-based and solvent-based stains : Impact on the grain raising in Yellow Birch. BioResources, 8(2):1997-2009.

Roux M.-L., Delorme T. (2012) Les finitions aqueuses pour les TPE et PME de l'ameublement et de l'agencement : des solutions pratiques. FCBA.

Singh A.P., Dawson B.S.W., Hands K.D., Ward J.V., Greaves, M., Turner, J.C.P., Rickard, C.L. (2010) The anatomy of raised grain on *Pinus radiata* weatherboards. IAWA Journal 31(1):67-76.

Contribution au suivi par émission acoustique de l'endommagement des structures multi-matériaux à base de bois

YAHYAOUI Imen[1], PERRIN Marianne[1], GONG Xiaojing[1]

[1]Institut Clément Ader, IUT de Tarbes, 01 rue Lautréamont, 65000 Tarbes. France
imen.yahyaoui@iut-tarbes.fr

Mots clefs : bois, classification des signaux, émission acoustique, mécanismes d'endommagement, signature acoustique

Contexte et objectifs

Les structures multi-matériaux à base de bois sont en plein développement. Ces dernières années, plusieurs ponts mixtes bois-béton ont été fabriqués sur le territoire français (Pont de Cognin, pont de Lantosque, …) (Renaudin et Jandin 2017). De plus, le projet de recherche européen NR2C (New Road Construction Concept) dévolu aux ponts du futur et piloté par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) a permis de démontrer l'intérêt mécanique de nouveaux tabliers bois/béton/composites (Ben Mekki et al. 2007). Ces structures multi-matériaux à base de bois sont à la fois originales et mécaniquement prometteuses. Chaque matériau a un rôle important dans la performance de la structure. Le remplacement des matériaux classiques (acier, béton) par ces structures hybrides est motivé par l'allégement de la structure à propriétés mécaniques égales. En revanche, l'utilisation de ces multi-matériaux est encore récente. Cela se traduit par une certaine méconnaissance de leur comportement et notamment vis-à-vis de la présence d'endommagements pouvant conduire à une dégradation de leurs propriétés mécaniques (Nguyen 2010). Par mesure de sécurité, il est intéressant de détecter ces endommagements dès leur initiation afin de mettre en place un système de maintenance adéquat. Dans cette optique, il est nécessaire d'utiliser une technique de contrôle non-destructif permettant de suivre en continu l'état de santé de la structure et de prédire l'évolution de l'endommagement. Dans ce contexte, l'émission acoustique (EA) semble une technique intéressante. L'EA permet la détection précoce des défauts évolutifs, la localisation des sources acoustiques ainsi que la caractérisation et l'identification de différents mécanismes d'endommagement.

L'identification de la signature acoustique des mécanismes d'endommagement des matériaux de renfort (composite, béton) est largement étudiée dans la littérature (Godin et al. 2011 ; Saliba 2012, Munoz 2015). Cependant, pour le matériau bois, la technique d'émission acoustique n'a pas connu le même développement. En effet, la variation des propriétés du bois selon le type d'essence, la structure anatomique, la variation d'humidité etc…engendre une grande variabilité au niveau de la réponse acoustique. Aujourd'hui aucune conclusion exhaustive n'est établie sur l'identification des mécanismes d'endommagement du matériau bois par émission acoustique.

Matériels et méthodes

Dans cette perspective, cette étude s'intéresse à l'identification des signatures acoustiques de différents mécanismes d'endommagement inhérents au matériau bois. Si l'objectif affiché est l'utilisation de l'émission acoustique pour la surveillance des structures, un passage par des manipulations en laboratoire a été nécessaire pour valider les protocoles de mise en place. Trois types d'essais mécaniques (traction, compression et flexion) ont été réalisés sur des éprouvettes normalisées de trois essences de bois (Douglas, sapin pectiné et peuplier). En parallèle, du système d'acquisition acoustique, un suivi par thermographie infrarouge et des

observations tomographiques ont été mises en place. Les signaux collectés pendant cette compagne expérimentale font l'objet d'une classification statistique en se basant sur les méthodes de reconnaissance de forme.

Résultats

Les résultats obtenus montrent que l'EA permet de caractériser les cinétiques d'endommagement. Ces cinétiques varient selon l'essence, le type d'endommagement et le type de sollicitation. L'EA est aussi capable de détecter l'initiation de l'endommagement avant les autres méthodes de contrôle non-destructif (exemple : thermographie infrarouge). Le post traitement des signaux par les outils statistiques (Fig. 1) a permis l'identification de la signature acoustique de différents mécanismes d'endommagement. Cette signature dépend de type d'endommagement, de type de sollicitation et de type d'essence.

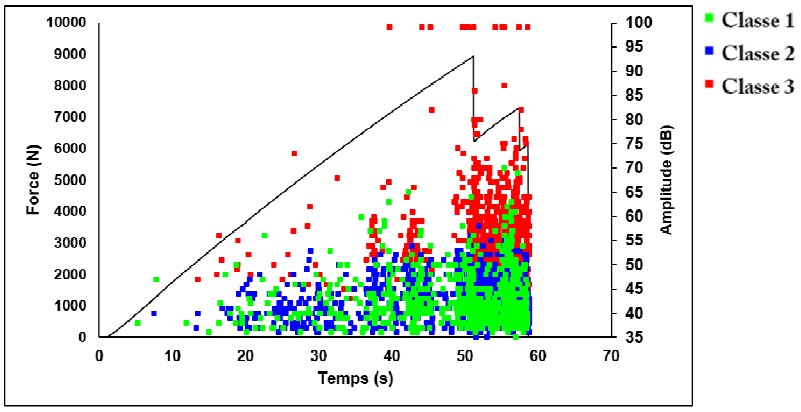


Fig. 1 : Résultat de classification des signaux recueillis pendant l'endommagement d'une éprouvette de Douglas sollicitée en traction longitudinale

Références

Ben Mekki O., Toutlemonde F., Caron J.F. (2007) Testing innovative aspects of a 10m span - Composite UHPFRC carbone fibers timber bridge, New Road Construction Concepts - Work Package 3 - Innovation in civil Engineering.

Godin N., R'mili M., Reynaud P., Lamon J., Fantozzi G. (2011) Emission acoustique et endommagement des composites: Intérêts et limites des techniques de reconnaissance de forme, Comptes-rendus des 17èmes Journées Nationales sur les Composites (JNC17).

Munoz V.A. (2015) Identification de mécanismes d'endommagement de stratifiés carbone-époxyde par couplage de l'émission acoustique et de la thermographie infrarouge, Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 120 p.

Nguyen Trung V.A. (2010) Multi-renforcement du bois lamellé collé- étude théorique et expérimentale, Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 162 p.

Renaudin F., Jandin P (2017) Design of wood-concrete composite beams under deck bridge-Theoretical developments and constructions examples, Internationl conference of Timber Bridges, Skelleftea, Suède.

Sibil A (2012) Comportement thermomécanique et endommagement de nouveaux réfractaires verriers à très haute teneur en zircone : investigation des mécanismes de fissuration par EBSD et émission acoustique, Thèse de doctorat, INSA de Lyon, 261 p.

Concepts architecturaux pour la durabilité des ouvrages en bois

HILSZ Cynthia[1,2], BLANCHET Pierre[2]

[1]Université de Nantes
[2]Chaire industrielle de recherche sur la construction écoresponsable en bois (CIRCERB), Univ. Laval, Québec, Canada
cynthia@hilsz.com

Mots clefs : Architecture, Bioclimatique, Bois, Durabilité, Ouvrages Non-résidentiels, altérations climatiques

Contexte

En France comme au Québec, l'utilisation croissante du matériau bois pour réduire l'empreinte environnementale du secteur de la Construction implique des problématiques nouvelles pour les Maîtres d'Ouvrage et ouvriers sur chantier.

La prise en compte des altérations climatiques dès la phase conception permettrait d'anticiper des dégradations structurelles et esthétiques et de permettre une plus grande durabilité d'un ouvrage en bois.

Plus globalement, l'introduction de la notion d'architecture bioclimatique (Porteous et MacGregor 2005, Courgey et Oliva 2006) dès cette phase permet également de mieux appréhender les enjeux économiques de l'environnement naturel et urbain d'un projet de construction.

Objectifs

Ce projet, développé conjointement entre l'Université de Nantes et le CIRCERB, a pour objectif d'étudier les bons et mauvais concepts architecturaux des ouvrages non-résidentiels en bois au Québec en vue d'en améliorer la durabilité structurelle et esthétique face aux altérations climatiques (Fig. 1 et 2).

Fig. 1 : Exemple de dégradation par l'ensoleillement

Fig. 2 : Exemple de dégradation par la pluie

Conclusions

Aspect structurel :

- L'estimation des altérations climatiques sur un ouvrage en bois nécessite une étude au cas par cas, il n'y a pas de conception idéale.
- De multiples solutions techniques existent comme la mise en place d'un débord de toiture, une surélévation des murs par un soubassement béton, une bavette métallique… (UQAC, Université du Québec à Chicoutimi (2017))

Aspect esthétique :

- Empêcher l'altération de teinte du bois dans la construction est une vision utopiste. Un bon concept architectural permettra de ralentir et d'homogénéiser cette dégradation esthétique, pouvant même la rendre imperceptible au cours du temps.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier l'Université de Nantes, la CIRCERB et Art Massif

Références

Porteous C., MacGregor K. (2005) Solar Architecture in Cool Climates.

Forest Products Society (2010) Wood Handbook, Wood as an Engineering Material.

Bowyer J.L., Shmulsky R., Haygreen J.G. (2007) Forest Product & Wood Science Fifth Edition.

Koch P. (1985) Utilization of Hardwoods Growing on Southern Pine Sites.

Courgey S., Oliva J.P. (2006) La Conception Bioclimatique, Terre Vivante Editions.

UQAC, Université du Québec à Chicoutimi (2017) Webinaire Pérennité d'aspect des ouvrages bois extérieur : Bardage Charpente

PARTICIPANTS

Les participants des laboratoires étrangers sont mentionnés en **gras**. Des étudiants de l'ESB, en particulier dans le cadre de l'approfondissement "*Construction Bois*" ont aussi participé à des séances des journées annuelles (non mentionnés dans les participants ci dessous) ainsi que des industriels (noté *****) pendant les journées, ou lors de la conférence de P-M. Desclos, ou dans le cadre de la table ronde organisée en clôture des journées du GDR bois.

Nom	Laboratoire	email
Alix Claire	ArchAm ; Nanterre	claire.alix@mae.u-paris10.fr
Alkadri Ahmad	LMGC ; Montpellier	ahmad.alkadri@umontpellier.fr
Alméras Tancrède	LMGC ; Montpellier	tancrede.almeras@umontpellier.fr
Alteyrac Jérôme	LabECAM ; Lyon	jerome.alteyrac@ecam.fr
Amouzou Kodzo Vioto Abraham	ESB ; Nantes	kodzo.amouzou@ecoledubois.fr
Amusant Nadine	Ecofog ; Guyane	nadine.amusant@cirad.fr
Andrianantenaina Anjy-N.	Lerfob ; Nancy	anjy-nandrianina.andrianantenaina@inra.fr
Andrianindrina Mikala	**ESSA ; Tananarive (MG)**	**mikala.yvana@gmail.com**
Arnould Olivier	LMGC ; Montpellier	olivier.arnould@umontpellier.fr
***** Ansel Jean-Luc	Cosmetic Valley	jlansel@cosmetic-valley.com
Auchet Sébastien	Lermab ; Epinal	Sebastien.Auchet@univ-lorraine.fr
Avellaneda Malagón Gustavo	GEM ; Nantes	gustavo.avellaneda-malagon@etu.univ-nantes.fr
Ayari Oussama	Lermab ; Epinal	oussama.ayari@univ-lorraine.fr
Badel Eric	Piaf ; Clermont-Fd	eric.badel@inra.fr
Barboux Rony	ERRMECe ; Cergy-Pontoise	rony.barboux@u-cergy.fr
Bardet Sandrine	LMGC ; Montpellier	sandrine.bardet@umontpellier.fr
Bastidas Arteaga Edgar Emilio	GEM ; Nantes	Edgar-Emilio.Bastidasarteaga@univ-nantes.fr
Beauchêne Jacques	Ecofog ; Guyane	jacques.beauchene@cirad.fr
Beaugrand Johnny	Fare ; Reims	johnny.beaugrand@inra.fr
Belloncle Christophe	ESB ; Nantes	christophe.belloncle@ecoledubois.fr
Benistand Thibault	Lermab ; Epinal	thibault.benistand@univ-lorraine.fr
Bernard Vincent	CReAAH ; Rennes	vincent.bernard@univ-rennes1.fr
Bikoro bi Athomo Arsène	Iprem ; Pau	arsenebikoro@yahoo.fr
* Bouillot Jacques	Eiffage	Jacques.bouillot@eiffage.com
Blanchard Philippe	ESB ; Nantes	philippe.blanchard@ecoledubois.fr
Blanchet Pierre	**SBF ; Quebec (CA)**	**Pierre.Blanchet@sbf.ulaval.ca**
Bléron Laurent	Lermab ; Epinal	laurent.bleron@univ-lorraine.fr
Bocquet Jean-François	Lermab ; Epinal	Jean-Francois.Bocquet@univ-lorraine.fr
Bonnet Marie	Navier ; Champs-s-M	marie.bonnet@enpc.fr
Bouali Anis	Lermab ; Epinal	anis.bouali@univ-lorraine.fr
Boudaud Clément	ESB ; Nantes	clement.boudaud@ecoledubois.fr
Brémaud Iris	LMGC ; Montpellier	iris.bremaud@umontpellier.fr
Buchner Julia	ESB ; Nantes	julia.buchner@ecoledubois.fr
Bui Tuan Anh	Lermab ; Epinal	tuan-anh.bui@univ-lorraine.fr
Burgers Agnès	LMGC ; Montpellier	agnes.burgers@mines-ales.org
Buzin Guillaume	Laab ; Rennes	guillaumebuzin@gmail.com
Cabaret Thomas	Iprem ; Pau	thomas.cabaret@etud.univ-pau.fr

Nom	Laboratoire	email
Candelier Kévin	Biowooeb ; Montpellier	kevin.candelier@cirad.fr
Carlier Capucine	LMGC ; Montpellier	capucine.carlier@umontpellier.fr
Cathala Bernard	BIA ; INRA	bernard.cathala@inra.fr
Chadni Morad	UTC ; Compiègne	morad.chadni@utc.fr
Chaplain Myriam	I2M ; Bordeaux	myriam.chaplain@u-bordeaux.fr
Charrier Bertrand	Iprem ; Pau	bertrand.charrier@univ-pau.fr
Chica-Lefort Tiphanie	Arscan ; Paris	chicalefort.tiphanie@gmail.com
Clair Bruno	Ecofog ; Guyane	bruno.clair@cnrs.fr
Constant Thiéry	Lerfob ; Nancy	thiery.constant@inra.fr
Corbineau Paul	ESB ; Bordeaux	paul.corbineau@wanadoo.fr
Costa Guy	LCSN ; Limoges	guy.costa@unilim.fr
Coureau Jean-Luc	I2M ; Bordeaux	jean-luc.coureau@u-bordeaux.fr
Curti Rémi	Labomap ; Cluny	Remi.curti@ensam.eu
Decourteix Mélanie	Piaf ; Clermont-Fd	melanie.decourteix@uca.fr
Déjardin Annabelle	AGPF ; Orléans	annabelle.dejardin@inra.fr
* Delmotte Philippe	CNIEFEB	philippe.delmotte@olamnet.com
Denaud Louis	Labomap ; Cluny	louis.denaud@ensam.eu
Desclos Pierre-Marie	Consultant –Expert Bois ; Rome	desclos@desclos.eu
Destrebecq Jean-François	Pascal ; Clermont-Fd	j-francois.destrebecq@uca.fr
Di Martino Patrick	ERRMECe ; Cergy-Pontoise	patrick.di-martino@u-cergy.fr
Diakhate Malick	IRDL ; Brest	malick.diakhate@univ-brest.fr
Dlouha Jana	Lerfob ; Nancy	jana.dlouha@inra.fr
Dupré Jean-Christophe	Pprime ; Poitiers	jean.christophe.dupre@univ-poitiers.fr
El Houjeyri Imane	Lermab ; Epinal	imane.el-houjeyri@univ-lorraine.fr
El Kabir Soliman	GEMH ; Clermont-Fd	soliman.elkabir@yahoo.fr
Engozogho Anris Starlin Peguy	Iprem ; Pau	anrispeguy@yahoo.fr
Eyma Florent	ICA ; Toulouse	florent.eyma@iut-tarbes.fr
Foadieng Emmanuel	**UDs ; Dschang (CM)**	**foidienge@yahoo.fr**
* Foulonneau Matthieu	AIESB	m.foulonneau@ideobis.fr
Fournely Eric	Pascal ; Clermont-Fd	eric.fournely@uca.fr
Fournier Meriem	Lerfob ; Nancy	meriem.fournier@agroparistech.fr
Frances Manon	Iprem ; Pau	manon.mg.frances@gmail.com
Fuentes Sebastian	ESB ; Nantes	sebastian.fuentes@boishd.fr
Gambier François	Lermab ; Vandoeuvre	francois.gambier@gmail.com
* GENES Gaëtan	ECSB	ecsb.accueil@gmail.com
Gérard Jean	Biowooeb ; Montpellier	jean.gerard@cirad.fr
Girardon Stéphane	Labomap ; Cluny	Stephane.Girardon@ensam.eu
Grazide Cécile	LMC2 ; Lorient	cecile.grazide@univ-lyon1.fr
Gril Joseph	Pascal ; Clermont-Fd	joseph.gril@cnrs.fr
* Guerrin James	SCEA Verlandes	james.guerin@orange.fr
Guyot Alban	Biowooeb ; Montpellier	alban.guyot@cirad.fr
Hafsa Wael	GEMH ; Egletons	wael.hafsa@unilim.fr
Hamdi Seif-Eddine	Pascal ; Clermont-Fd	seif3eddine@yahoo.com
Hernandez Roger	**SBF ; Quebec (CA)**	**Roger.hernandez@sbf.ulaval.ca**
Hesser Franck	Pprime ; Poitiers	franck.hesser@univ-poitiers.fr

Nom	Laboratoire	email
Hilsz Cynthia	**CIRCERB ; Québec (CA)**	**cynthia@hilsz.com**
Irle Mark	ESB ; Nantes	Mark.Irle@ecoledubois.fr
Jamaaoui Amine	GEMH ; Limoges	Amine.jamaaoui@etu.unilim.fr
Kaci Lila	ESB ; Nantes	lila.kaci@ls2n.fr
Khelifa Mourad	Lermab ; Epinal	mourad.khelifa@univ-lorraine.fr
* Lafarge Stéphane	FCBA	stephane.lafarge@fcba.fr
Lanata Francesca	ESB ; Nantes	francesca.lanata@ecoledubois.fr
Larricq Pierre	ICA ; Toulouse	pierre.larricq@iut-tarbes.fr
Lathuillière Damien	Lermab ; Epinal	damien.lathuilliere@univ-lorraine.fr
Lemaître Romain	Lermab ; Epinal	romain.lemaitre@univ-lorraine.fr
Leroyer Léo	Iprem ; Pau	leo.leroyer@univ-pau.fr
Li Hang	ICA ; Toulouse	hang.li@iut-tarbes.fr
Lotte Sylvain	Biowooeb ; Montpellier	sylvain.lotte@cirad.fr
Macchioni Nicola	**Ivalsa ; Florence (IT)**	**macchioni@ivalsa.cnr.it**
Maerky Gisèle	Arscan ; Paris	gisele.maerky@gmx.fr
Maigre Hubert	Lamcos ; Lyon	hubert.maigre@insa-lyon.fr
* Mainard Franck	Urban Biomass	f.mainard@urbanbiomass.fr
Marcon Bertrand	Labomap ; Cluny	Bertrand.marcon@ensam.eu
Martin Corinne	Lerfob ; Nancy	corinne.martin@agroparistech.fr
* Masson Eric	Cribois ; Epinal	eric.masson@cribois.net
Mazet Pauline	Lermab ; Epinal	paulin-mazet@univ-lorraine.fr
McLean Paul	**UC ; Edimbourg (GB)**	**paul.mclean@forestry.gsi.gov.uk**
Meausoone Pierre-Jean	Lermab ; Epinal	Pierre-Jean.Meausoone@univ-lorraine.fr
Medjigbodo Gildas	Ecofog ; Guyane	gildas.medjigbodo@ecofog.gf
Mehats Jérémy	LCPO ; Bordeaux	jeremy.mehats@gmail.com
Menana Zahra	Lermab ; Vandoeuvre	zahra.menana@univ-lorraine.fr
Meyo Degboevi Henri	Lermab ; Vandoeuvre	henri.meyo-degboevi@univ-lorraine.fr
Michaud Franck	ESB ; Nantes	franck.michaud@ecoledubois.fr
Mnasri Faiza	Lermab ; Vandoeuvre	faiza.mnasri@univ-lorraine.fr
Montero Cédric	LMGC ; Montpellier	cedric.montero@umontpellier.fr
Moreau Jérôme	ESB ; Bordeaux	jerome.moreau@ecoledubois.fr
Moutou Pitti Rostand	Pascal ; Clermont-Fd	rostand.moutou_pitti@uca.fr
Mubarok Mahdi	Lermab ; Vandoeuvre	mahdi.mubarok@univ-lorraine.fr
Munir Muhammad Tanveer	ESB ; Nantes	tanveer.munir@ecoledubois.fr
* Munsch Romain	Cribois ; Epinal	romain.munsch@cribois.net
Ngwa Obame Sébastien	Lermab ; Vandoeuvre	sebastien.ngwa-obame@univ-lorraine.fr
Niez Benjamin	Piaf ; Clermont-Fd	benjamin.niez@live.fr
Noyer Estelle	Lerfob ; Nancy	estelle.noyer@hotmail.fr
Odounga Bernard	Pascal ; Clermont-Fd	Bernard.Odounga@etudiant.univ-bpclermont.fr
Osséni Sibiath	**UAC ; Abomey (BJ)**	**sibiath88@gmail.com**
Oudjene Marc	Lermab ; Epinal	Marc.OUDJENE@univ-lorraine.fr
Pambou Nziengui Claude Feldman	Pascal ; Clermont-Fd	claude_feldman.pambou_nziengui@etu.uca.fr
Paradis Sébastien	Biowooeb ; Montpellier	sebastien.paradis@cirad.fr
Parlatore Lancha Julia	LGPM ; Chatenay	julia.parlatore-lancha@centralesupelec.fr
Perrin Marianne	ICA ; Toulouse	marianne.perrin@iut-tarbes.fr

Nom	Laboratoire	email
* Perin Thomas	SOFIDEVE	tperin@sofideve.com
Pham Minh Dung	GEMH ; Egletons	pmdung1701@gmail.com
Pierre Floran	LGPM ; Chatenay	floran.pierre@centralesupelec.fr
Pierrejean Isabelle	Ecofog ; Guyane	isabelle.pierrejean@univ-guyane.fr
Pires Franco Mariana	**ESALQ-USP; Piracicaba (BR)**	**ma.pires@hotmail.com**
* Piveteau Jean	PIVETEAU BOIS	jean.piveteau@piveteau.com
Pop Octavian	GEMH ; Egletons	ion-octavian.pop@unilim.fr
Pot Guillaume	Labomap ; Cluny	guillaume.pot@ensam.eu
Prunier Jonathan	Ecofog ; GUYANE	Jonathan.Prunier@ecofog.gf
Purba Citra	Lerfob ; Nancy	citra-yanto-ciki.purba@inra.fr
Ramanakoto Miora	ICA ; Toulouse	miora.ramanakoto@iut-tarbes.fr
Ramananantoandro Tahiana	**ESSA ; Tananarive (MG)**	**ramananantoandro@gmail.com**
* Robert Blandine	INDDIGO	b.robert@inddigo.com
Rohumaa Anti	Labomap ; Cluny	anti.rohumaa@ensam.eu
Rostom Leila	Navier ; Champs-s-M	leila.rostom@enpc.fr
Rouger Frédéric	FCBA ; Bordeaux	frederic.rouger@fcba.fr
Roussey Claire	LGPM ; Chatenay	claire.roussey@centralesupelec.fr
Ruelle Julien	Lerfob ; Nancy	julien.ruelle@inra.fr
Sauvat Nicolas	GEMH ; Egletons	nicolas.sauvat@unilim.fr
Sbartaï Soubir-Mehdi	I2M ; Bordeaux	zoubir-mehdi.sbartai@u-bordeaux.fr
Sorin Edouard	I2M ; Bordeaux	edouard.sorin@u-bordeaux.fr
Sugimoto Hiroyuki	LMGC ; Montpellier	ojarumal@gmail.com
Takarli Mokhfi	GEMH ; Egletons	mokhfi.takarli@unilim.fr
Teissier du Cros Rémi	Taransaud ; Cognac	rteissierducros@taransaud.com
Théry-Parisot Isabelle	Cepam ; Nice	isabelle.thery@cepam.cnrs.fr
Thibaut Bernard	LMGC ; Montpellier	bernard.thibaut@umontpellier.fr
Toussaint Evelyne	Pascal ; Clermont-Fd	Evelyne.Toussaint@uca.fr
Tran Trong Tuan	Lermab ; Epinal	trong-tuan.tran@univ-lorraine.fr
Uwizeyimana Placide	ICA ; Toulouse	Placide.uwizeyimana@iut-tarbes.fr
Varnier Maximin	GEMH ; Egletons	maximin.varnier92@gmail.com
Vieux Malvina	ESB ; Nantes	malvina.vieux@ecoledubois.fr
Viguier Joffrey	Labomap ; Cluny	Joffrey.viguier@ensam.eu
Vincent Marc	Xylofutur ; Bordeaux	marc.vincent@xylofutur.fr
Yahyaoui Imen	ICA ; Toulouse	imenyahyaoui212@gmail.com
Zhang Xi	GEMH ; Egletons	luciezhang@outlook.com
Zhou Meng	Navier ; Champs-s-M	meng.zhou@ifsttar.fr