Actes des 2èmes journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois

Sabine Caré, Stéphane Vaiedelich, Joseph Gril

▶ **To cite this version:**

Sabine Caré, Stéphane Vaiedelich, Joseph Gril. Actes des 2èmes journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois. 2èmes journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois, Nov 2013, Champs-sur-Marne, France. Volume 2, , 2013, Journées Annuelles du GDR 3544 Sciences du Bois. hal-01295769

HAL Id: hal-01295769

https://enpc.hal.science/hal-01295769

Submitted on 31 Mar 2016

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

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

Actes des 2èmes journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois

Thème : « Savoir-faire et Outils » en Sciences du Bois

19-21 novembre 2013

Ecole des Ponts ParisTech, Champs-sur-Marne, France

Manifestation : 2èmes journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois, Champs-sur-Marne, Nov. 2013

Collection : Journées annuelles du GDR 3544 sciences du bois, Volume 2, 2013

Coordination et édition des actes : Sabine CARE (Navier Champs-sur-Marne), Stéphane VAIEDELICH (Cité de la musique-Philharmonie Paris), Joseph GRIL (LMGC Montpellier)

SOMMAIRE

SOMMAIRE 3
EDITORIAL 4
PARTENAIRES 6
COMITES D'ORGANISATION et SCIENTIFIQUE 7
PROGRAMME 8
GROUPES DE TRAVAIL 10
VISITE TECHNIQUE 11
CONFERENCES INVITEES 12
POSTERS 27
PARTICIPANTS 158

EDITORIAL

Le **Groupement de Recherche en Sciences du bois** (GDR 3544 « Bois ») a été créé en 2012 par le CNRS. La mission du groupement est : (1) de structurer la recherche sur le bois en France pour lui donner une visibilité nationale, (2) de contribuer au développement de la formation en sciences du bois et (3) de servir de relai aux réseaux internationaux de sciences du bois. Afin de répondre à ces objectifs des journées scientifiques sont organisées qui doivent permettre de partager une culture commune, de promouvoir les travaux des laboratoires membres du GDR, d'échanger sur des enjeux transversaux (relations internationales, formation, partage des ressources). Les trois journées sont ouvertes à tous les chercheurs intéressés par les sciences du bois, français comme étrangers; l'objectif étant d'accueillir un maximum de participants des laboratoires partenaires du GDR et de favoriser la participation des jeunes chercheurs (doctorants ou post-doctorants). Dans l'esprit du GDR, nous souhaitons que tous les chercheurs assistent à l'ensemble des journées annuelles car l'objectif n'est surtout pas de cloisonner les thématiques mais bien au contraire de développer une culture commune en espérant stimuler l'interdisciplinarité et les transferts de savoir-faire et d'outils entre thématiques.

Les 2èmes journées scientifiques ont été organisées par le laboratoire Navier Champs-sur-Marme. Les sessions étaient composées de présentations orales par des conférenciers invités autour du thème ***« savoir-faire et des outils en sciences du bois »***, suivies de présentations "flash" qui étaient appuyées par des séances de posters. Les meilleurs posters ont été primés (prix du meilleur poster ou le plus original). Une visite technique à la cité de la musique a aussi été organisée. Des créneaux étaient réservés pour des groupes de travail réunis à l'initiative des participants.

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

Les actes de ces 2èmes journées annuelles rassemblent les résumés des conférenciers invités (exposés) et ceux des contributions volontaires (posters).

Joseph GRIL
Directeur du GDR 3544 Sciences du bois

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

Laboratoires hôtes (lieu et contacts)

Lieu : Ecole des Ponts ParisTech, Champs sur Marne.

Laboratoire Navier Champs sur Marne (Sabine Caré)
Cité de la musique-Philharmonie Paris (Stéphane Vaiedelich)

Illustration 1ère page

Gauche : Structure mixte bois-béton collé pour des applications en Génie Civil et Bâtiment (ponts, planchers), Laboratoire Navier (contact : Robert Le Roy, robert.leroy@enpc.fr)

Droite : Orpheoeron, Instrument anonyme XIXe, présenté lors de l'exposition universelle de Paris en 1878. Tête de lion sculptée réalisée en érable. Copyright: Musée de la musique | Cité de la musique-Philharmonie de Paris.

Remarque

Version pour les actes des journées annuelles 2013 déposés dans la collection HAL « sciences du bois » : *https://hal.archives-ouvertes.fr/BOIS/*.
Date d'édition : Mars 2016 – Auteur : Sabine Caré, Navier Champs-sur-Marne -

PARTENAIRES

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

COMITES D'ORGANISATION et SCIENTIFIQUE

Comité d'organisation (coordinateurs : Sabine Caré et Joseph Gril)

Sabine CARÉ	Navier - IFSTTAR Champs sur Marne
Joseph GRIL	LMGC - CNRS Montpellier
Rachida ATMANI	Navier - ENPC Champs sur Marne
Sandrine COQUERET	Navier - Labex MMCD Champs sur Marne
Marie-Françoise KASPI	Navier - ENPC Champs sur Marne
Carmen SANCHEZ	Navier - CNRS Champs sur Marne
Corinne MARTIN	LERFoB - AgroParisTech Nancy
Meriem FOURNIER	LERFoB - AgroParisTech Nancy
Sandie LE CONTE	Cité de la musique-Philharmonie - Paris
Stéphane VAIEDELICH	Cité de la musique-Philharmonie - Paris
Isabelle THÉRY	CEPAM – CNRS Nice
Alexia DUFRAISSE	AASPE - Paris 1
Catherine LAVIER	LAMS - Paris 6
Emmanuel MAURIN	LRMH - Champs sur Marne

Comité scientifique (comité scientifique de pilotage du GDR)

Christophe BELLONCLE	ESB - Nantes
Laurent BLÉRON	ENSTIB - Épinal
Sabine CARÉ	Navier - Champs sur Marne
Bertrand CHARRIER	IPREM - Pau
Jean-Luc COURAUD	I2M - Bordeaux
Patricia DREVET	PIAF - Clermont-Ferrand
Frédéric DUBOIS	GEMH - Égletons
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
Patrick PERRÉ	LGPM – Châtenay-Malabry
Frédéric ROUGER	FCBA - Bordeaux
Isabelle THÉRY	CEPAM - Nice
Marie-France THÉVENON	BioWooEB - Montpellier
Bernard THIBAUT	LMGC - Montpellier
Stéphane VAIEDELICH*	Cité de la musique-Philharmonie - Paris

* En tant que hôte et co-organisateur des journées annuelles 2013.

PROGRAMME

Mardi 19 novembre 2013

09h30-10h30	Accueil-café
10h30-13h30	**Session introductive** – Modération : Bernard Thibaut En présence de : Thierry Caquet (chef dép. INRA/EFPA) Andrei Constantinescu (chargé mission CNRS/INSIS) Sylvie Max-Colinart (Ministère de la culture et de la communication) Karam Sab (dir. Laboratoire Navier) Stéphanie Thiébault (dir. CNRS/INEE) Représentants du Ministère de de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt et du Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie *(à confirmer)* Joseph Gril – Activités du GDR, avec : *Le site web du GDR* (Corinne Martin) *Le partage des ressources au sein du GDR* (Bertrand Charrier) *L'offre de formation bois en France* (Philippe Gérardin) *Point sur l'international* (Frédéric Rouger) *Conférences bois de l'année passée et à venir en France* *Thèmes des groupes de travail* Robert Le Roy - *Ouvrages d'art en bois - perspectives de développement en France*
13h30-14h30	Déjeuner
14h30-15h30	**Session 1** : ***Modélisation multiéchelle*** – Modération : Frédéric Dubois Patrick Perré - *Effet de la structure du bois sur ses propriétés : Changement d'échelle et approche multiéchelle* Jean-Luc Coureau - *Quelques analyses de comportements macroscopiques par des modélisations mésocopiques*
15h30-16h30	Session 'flash-talks' A
16h30-17h30	Pause café + Session poster A
17h30-19h30	Réunions de groupes de travail (1)
19h30-23h00	**Dîner Gala sur place**

Mercredi 20 novembre 2013

08h30-09h45	**Session 2** : ***Méthodes avancées en expérimentation*** – Modération : Bertrand Charrier Bruno Clair - *Méthodes avancées (ou pas) en observation et expérimentation : quelques exemples autour de l'étude de l'origine propriétés du bois de tension* Stéphane Dumarçay - *Utilisation de couplages pyrolyseurs-GC/MS pour étudier la composition chimique du bois et ses variations* Guy Costa - *Une nouvelle méthode d'analyse des polysaccharides pariétaux*
09h45-10h30	Session 'flash-talks' B
10h30-11h30	Pause café + Session poster B
11h30-12h45	**Session 3** : ***Le bois marqueur*** – Modération : Isabelle Théry Jean-Louis Julien, Ameglio Thierry, Roeckel-Drevet Patricia - *Le bois marqueur de l'environnement* Patrick Gassmann - *Modes de diffusion du bois de résonance en Europe centrale pendant le 18ème siècle*
12h45-13h30	Session 'flash-talks' C
13h30-14h30	Déjeuner
14h30-15h30	Session poster C
15h30-19h30	**Visite technique à la Cité de la Musique** (soirée libre) *(réunion du comité de pilotage scientifique du GDR à l'issue de la visite)*

Jeudi 21 novembre 2013

08h30-09h30	**Session 4** : ***Le bois dans l'ingénierie*** – Modération : Frédéric Rouger Sylvain Gagnon - *État de la situation au Québec et au Canada: le bois toujours plus haut* Alain Celzard - *Matériaux poreux dérivés de tannins*
09h30-10h30	Session 'flash-talks' D
10h30-11h30	Pause café + Session poster D
11h30-13h30	Réunions de groupes de travail (2)
13h30-14h30	Déjeuner
14h30-15h30	Mériem Fournier : *Conclusion, remise des prix poster et clôture*
15h30-16h30	Réunion des représentants des équipes

GROUPES DE TRAVAIL

Mardi 19/11

no	horaire	Contact	Sujet de la réunion	Salle
G1	17:30-19:30	Louis.Denaud @ensam.eu	Groupe Usinage bois (1)	B102 Belgrand/ENPC
G2	17:30-19:30	patrick.perre @ecp.fr	Le rôle du bois dans la mutation énergétique mondiale : besoin en recherche	M001 Mauperthuis/Enpc
G3	17:30-19:30	sabine.care @ifsttar.fr	Bois et imagerie : potentialité des techniques d'imagerie pour l'étude des propriétés multiéchelles et multiphasiques du bois - lien et complémentarité avec d'autres méthodes de mesures ou de caractérisation	B103 Belgrand/ENPC
G4	17:30-19:30	bthibaut @univ-montp2.fr	Collections xylologiques et dendrologiques de bois tropicaux: état, utilisations et potentialités d'étude.	B004 Belgrand/ENPC
G5	17:30-18:30	bertrand.charrier @univ-pau.fr	Réunion Xylomat	B005 Belgrand/ENPC
G6	18:30-19:30	joseph.gril @univ-montp2.fr	Planification d'activités à venir (écoles de chercheur…)	B005 Belgrand/ENPC

Jeudi 21/11

no	horaire	Contact	Sujet de la réunion	Salle
H1	11:30-13:30	Louis.Denaud @ensam.eu	Groupe Usinage bois (2)	B102 Belgrand/ENPC
H2	11:30-13:30	alain.celzard @univ-lorraine.fr	Nouveaux matériaux dérivés de la biomasse végétale	B017 Bienvenüe /Ifsttar
H3	11:30-13:30	arcantique.recherche @wanadoo.fr	Evaluation de l'impact chimique d'un traitement sur le bois archéologique - Analyses micromorphologique, chimique et physique	B202 Belgrand/ENPC
H4	11:30-12:30	iris.bremaud @univ-montp2.fr	Etablir un lien de réciprocité entre sciences et artisanats du bois - propriétés du matériau, histoire des techniques, métiers, savoirs traditionnels, perception sensorielle… et sources d'inspiration ?	B004 Belgrand/ENPC
H5	12:30-13:30	claire.alix @univ-paris1.fr	Artisanat traditionnel et traces du passé	B004 Belgrand/ENPC
H6	12:30-13:30	ahoussay @cite-musique.fr	Etudes historiques sur les arts et métiers et leur impact sur l'environnement : le cas du tournage	B005 Belgrand/ENPC
---	11:30-13:30	sabine.care @ifsttar.fr	*Visite du laboratoire (microtomographe aux rayons X, Imageur à Résonance Magnétique…)*	-

VISITE TECHNIQUE

Musée de la musique, Paris
Mercredi 20 Novembre 2013

La journée technique organisée par l'équipe du laboratoire du Musée de la Musique a été conçue afin d'offrir plusieurs regards sur les usages et les pratiques du bois dans l'instrument de musique. Quatre cessions ont réuni un membre du laboratoire et un musicien autour d'une présentation « à quatre mains » abordant de manière scientifique et musicale la question du bois dans l'instrument de musique, ses fonctions structurelles, fonctionnelles, musicales, symboliques, son histoire. Mariant en direct musique et sciences, cette visite a permis d'aborder de façon interactive avec les participants l'ensemble des thèmes portés par l'équipe de recherche du musée.

PROGRAMME

16h30 Accueil et introduction par Éric de Visscher, directeur du Musée de la musique

17h | 17h30 | 18h Conférences et concerts dans les collections du Musée de la musique

Espace XVIIe siècle

La physique du fac-similé, le facteur bois : approches expérimentales et choix des facteurs

Sandie Le Conte, ingénieure de recherche, Laboratoire du Musée de la musique

Florence Bolton, mucisienne, fac-similé d'une basse de viole d'après Michel Collichon, 1683 (collection Musée de la musique) et fac-similé d'une basse de viole Henry Jaye, 1624

Espace XVIIIe siècle

Mécanique des structures : une approche scientifique de l'art de faire les pianos

Julien Colmars, chercheur post-doctorant, Laboratoire du Musée de la musique/Institut Jean Le Rond d'Alembert/Université Pierre et Marie Curie

Aya Okuyama, mucisienne, Fac-similé du piano de S.Erard, réalisé par C.Clarke, 2011 (collection Musée de la musique)

Espace XIXe siècle

Des Arts et Métiers à l'industrie - du bois au métal : spécialisations et commerce

Anne Houssay, organologue, Laboratoire du Musée de la musique

Volny Hostiou, mucisienne, fac-similé d'un serpent Jean-Baptiste Coeffet, vers 1830 (collection Musée de la musique), basshorn et saxhorn

Espace Musiques du monde

Pourquoi ce bois ? Diversité, biodiversité, substitutions

Stéphane Vaiedelich, Responsable du Laboratoire du Musée de la musique

Fadhel Messaoudi, musicien, oud Georges Nahat, 1931 (collection Musée de la musique)

18H30 à 20H Visite libre des collections en présence des conférenciers

CONFERENCES INVITEES

no	Auteurs	Titre
Introduction des journées		
01	Le Roy Robert	Ouvrages d'art en bois - perspectives de développement en France
Session 1 : Modélisation multiéchelle		
02	Perré Patrick	Effet de la structure sur les propriétés du bois et matériaux à base de bois : changement d'échelle et approche multiéchelle
03	Coureau Jean-Luc	Quelques analyses de comportements macroscopiques par des modélisations mésocopiques.
Session 2 : Méthodes avancées en expérimentation		
04	Clair Bruno	Méthodes avancées (ou pas) en observation et expérimentation : quelques exemples autour de l'étude de l'origine propriétés du bois de tension
05	Dumarçay Stéphane	Utilisation de couplages pyrolyseurs-GC/MS pour étudier la composition chimique du bois et ses variations
06	Costa Guy	Une nouvelle méthode d'analyse des polysaccharides pariétaux
Session 3 : Le bois marqueur		
07	Julien Jean-Louis, Ameglio Thierry, Roeckel-Drevet Patricia	Le bois marqueur de l'environnement
08	Gassmann Patrick	Modes de diffusion du bois de résonance en Europe centrale pendant le 18ème siècle
Session 4 : Le bois dans l'ingénierie		
09	Gagnon Sylvain	État de la situation au Québec et au Canada: le bois toujours plus haut
10	Celzard Alain	Matériaux poreux dérivés de tannins

Conférence invitée 01

Ouvrages d'art en bois - perspectives de développement en France

LE ROY Robert

Ecole des Ponts ParisTech, Champs-sur-Marne, 77455 Marne-la-Vallée Cedex 2
robert.leroy@enpc.fr

Résumé

L'exploitation des propriétés structurelles du bois reste en France, comparativement à d'autres pays voisins, peu répandue pour les ponts et passerelles. Les recherches présentées ici ont pour but de contribuer à inverser cette tendance. Elles portent sur l'augmentation des performances mécaniques par hybridation et sur la validation des conditions d'usage du bois qui amènent à une réduction des impacts environnementaux des structures de franchissement par rapport aux solutions courantes.

L'ingénieur dispose de deux stratégies pour les ouvrages d'art en bois. Pour franchir des portées plus grandes qu'une dizaine de mètres, la conception à partir de simples poutres ne suffit plus et le recours à des typologies tels que l'arc, le treillis de grande hauteur, les béquilles, le haubanage, etc., sont nécessaires. C'est une première voie assez répandue, qui peut néanmoins s'avérer onéreuse. La seconde solution porte sur l'amélioration des performances, à l'échelle de la section courante du tablier, par la mixité structurelle. La collaboration mécanique du béton avec le bois apparaît comme une voie prometteuse. Le béton est placé dans la structure pour travailler essentiellement en compression, ce qui est son domaine de prédilection, tandis que la mixité engendre une remontée de la fibre neutre dans la partie bois, donc une augmentation importante de l'inertie. Pour atteindre ce type de fonctionnement mécanique, les solutions proposées par le laboratoire Navier ont pour principe le collage des deux matériaux. Cette technologie a nécessité des recherches sur les méthodes de mise en œuvre et sur la vérification des performances mécaniques en statique, en fatigue, et sous sollicitations hydriques. Nous montrons que le collage permet d'atteindre une mixité parfaite, c'est-à-dire une liaison sans glissement aux interfaces entre les 2 matériaux (Pham 2007, Le Roy 2009). Les tests présentés montrent les améliorations de résistance et de raideur obtenues par rapport aux systèmes de connexion mécanique. Une approche par renforcement multi couches a ensuite permis de repousser les limites précédentes de manière significative (Nguyen 2010). Les tests en fatigue, sous des sollicitations simulant la vie d'un ouvrage d'art supportant un trafic de route nationale, ont également été probants (Pham 2007). Ces premiers résultats positifs ont conduit plus récemment le laboratoire à vérifier la durabilité du collage sous l'effet des variations hydriques du milieu extérieur (Loulou, (2013). C'est un point crucial à démontrer pour pouvoir développer industriellement les solutions proposées. Les résultats montrent que l'anisotropie du bois doit être absolument prise en compte dans la conception de l'interface. Nous mettons en évidence la création de contraintes d'arrachement et de cisaillement à l'interface bois-béton, en fonction de l'orientation des cernes, ces résultats numériques corroborant des expériences instrumentées par corrélation d'images. Le modèle numérique développé permet maintenant d'explorer un ensemble de solutions.

Dans une seconde partie, nous présentons des simulations d'analyse du cycle de vie d'un ouvrage d'art en bois afin d'identifier les phases du cycle auquelles il faut porter attention dans une recherche de diminution des impacts environnementaux (Bouhaya et al. 2009). Nous observons ainsi que la phase de transport, même sur une grande distance, n'est pas un facteur pénalisant, mais que le mode de traitement du bois en fin de vie détermine les gains que l'on peut retirer de l'usage du bois. Ces gains environnementaux étant principalement le bilan carbone et l'énergie dépensée sur l'ensemble du cycle de vie. Nous montrons en particulier qu'il n'est pas possible d'optimiser tous les indicateurs d'impact en même temps. La disponibilité récente, sur le site de l'association française de Génie Civil, de données environnementales de produits en bois (bois massif traité ou

non traité, bois lamellé collé d'origine française, contreplaqué, etc.) devrait permettre d'affiner ces premiers résultats dans le cadre des futures réalisations d'ouvrages d'art en bois.

Une valorisation de ces travaux a pu s'exprimer dans le cadre d'un groupe de travail, piloté par le centre d'études techniques de l'équipement de Metz, sur le thème de la conception d'un pont type type en bois, dont un premier exemplaire devrait se construire dans les prochaines années. Nous présentons ici quelques aspects innovants de la conception de l'ouvrage. Ce premier exemplaire, associé à la parution prochaine d'un guide détaillé du dimensionnement[1], devrait initier un élan vers d'autres réalisations en bois.

Bibliographie

Bouhaya L., Le Roy R., Feraille A., (2009) A simplified environmental study on innovative bridge structure, Environ. Sci. Technol. 43(6), 2066-2071

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

Loulou L., (2013) Durabilité des assemblages mixtes bois-béton collés sous chargement hydrique, thèse de l'école des Ponts

Nguyen T.V.A., (2010) Structures hybrides en bois pour les ouvrages d'art. Thèse de l'école des Ponts

Pham H. S. (2007) Optimisation et comportement en fatigue de la connexion bois-BFUP pour de nouveaux ponts mixtes. Thèse de l'école des Ponts

[1] Guide de conception d'un pont mixte bois-béton, SETRA – CETE de l'Est – IFSTTAR – ENPC – DIR Est – ENSTIB, à paraitre en 2014.

Conférence invitée 02

Effet de la structure sur les propriétés du bois et matériaux à base de bois : changement d'échelle et approche multiéchelle.

Patrick Perré

Ecole Centrale Paris
Laboratoire de Génie des Procédés et Matériaux (LGPM)
Grande Voie des Vignes, Châtenay-Malabry, France
patrick.perre@ecp.fr

Mots-clés

Anatomie, paroi, plan ligneux, homogénéisation, maillage, morphologie, phases.

Résumé

Le bois et les matériaux à base de bois présentent des structurations spatiales dans lesquelles les échelles caractéristiques sont empilées comme des poupées gigognes. Dans le cas du bois, on distingue de façon évidente l'échelle des macromolécules, le multicouche pariétal, l'agencement cellulaire, le plan ligneux, l'empilement de cernes et la tige (tronc ou branche).

Quand on parle de propriétés du matériau, on se réfère souvent, sans forcément le formuler explicitement, à l'échelle pertinente pour la configuration considérée. La formulation macroscopique s'intéresse généralement à l'empilement de cernes. C'est à cette échelle que sont définis rigidité et retrait par exemple.

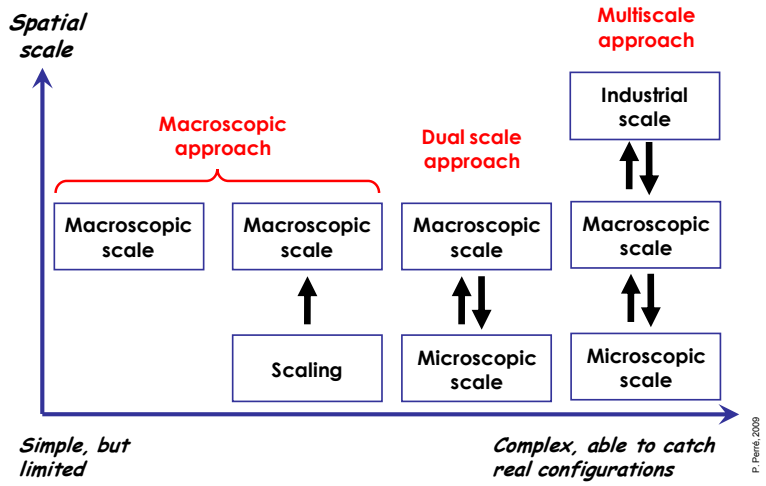


Figure 1 – Du simple au plus complexe : formulation macroscopique, changement d'échelle, double échelle et multiéchelle (Perré, 2010).

Le changement d'échelle (*scaling* de la fig. 1) permet de passer d'une échelle à la suivante. En soi, ce n'est pas une technique prédictive (le changement d'échelle n'est pas capable de prédire *ex-nihilo*), c'est juste un moyen de passer la connaissance d'une échelle à l'autre. C'est en revanche un bon moyen de comprendre les relations entre échelles et, ainsi, de séparer les grandeurs pertinentes et de **prédire**, par exemple, les propriétés à l'échelle supérieure en fonction de la propriété des phases hétérogènes à l'échelle inférieure et de leurs morphologies. Il faut néanmoins alimenter le modèle théorique avec ces données d'entrée (par exemple la morphologie est obtenue par traitement d'images réelles de l'anatomie). La figure 2 montre un exemple de changement d'échelle dans le cas du collapse.

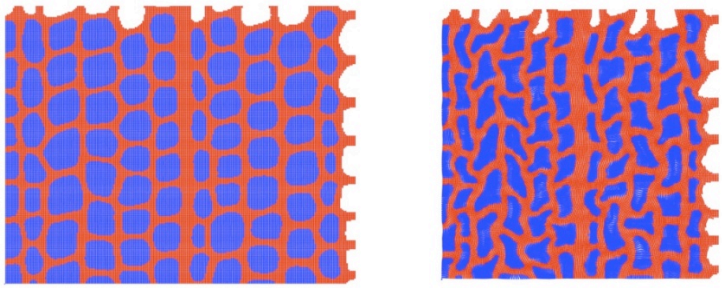


Figure 2 – Exemple de changement d'échelle : prise en compte de la morphologie cellulaire pour prédire la sensibilité au collapse à l'échelle du tissu par modélisation MPM (Perré et al. 2012).

Parfois (assez souvent en fait), le changement d'échelle n'est pas suffisant : les champs microscopiques dépendent de l'histoire macroscopique. Dans ce cas, il faut passer à une approche double échelle (les deux échelles et leur évolutions temporelles sont considérées simultanément). Ceci correspond schématiquement à la double flèche *Dual scale* (Fig. 1).

Enfin, en plus des échelles spatiales intrinsèques du matériau (liées à la genèse biologique du bois dans l'arbre), peuvent s'ajouter d'autres échelles pertinentes, produites par les procédés de transformation ou les ouvrages (par exemple, lit épais de plaquettes dans le cas du bois énergie, assemblage de poutres et panneau dans la cas d'une construction). Ces configurations nécessitent des approches multiéchelles et multiphysiques. La figure 3 montre l'évolution temporelle de la teneur en eau de certaines plaquettes de bois lors du séchage dans un lit épais brassé à intervalles réguliers.

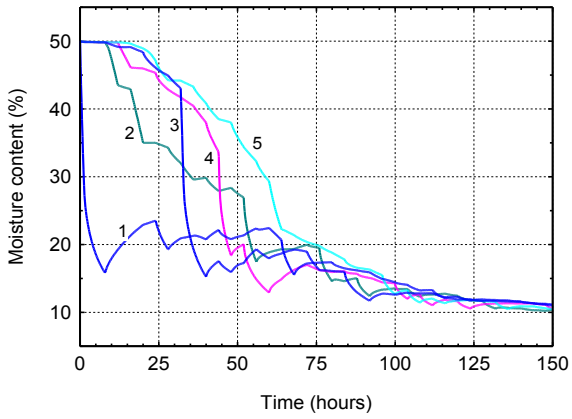


Figure 3 – Exemple d'approche double échelle : suivi lagrangien de 5 particules différentes lors du séchage dans un lit épais brassé à intervalles réguliers (Perré 2010).

La conférence tentera d'illustrer toutes ces notions par des exemples concrets.

Références

Carr E., Turner I., Perré P., 2013. A dual-scale modeling approach for drying hygroscopic porous media, Multiscale Modeling & Simulation, **11**: 362-384.

Perré P., 2007. Multiscale aspects of heat and mass transfer during drying, Transport in Porous Media, 66:59-76.

Perré P., 2010. Multiscale modelling of drying as a powerful extension of the macroscopic approach: application to solid wood and biomass processing, Drying Technology, **28**: 944-959.

Perré P., Almeida G., Frank X., 2012. MPM modelling of the cellular collapse of bio-products due to capillary forces, proceedings of the 18th Int. Drying Symposium, 5 pages, Xiamen, China.

Conférence invitée 03

Quelques analyses de comportements macroscopiques par des modélisations mésocopiques

COUREAU Jean-Luc

Université Bordeaux1, I2M/GCE, 351 cours de la libération-33405 Talence cedex France

Il est proposé dans cette présentation de montrer deux exemples d'approches de modèles locaux (Zone cohésive et courbes de résistance) pour traduire la propagation de fissure dans le bois. Il est détaillé par la suite les dispositions à prendre en compte pour pouvoir identifier les propriétés mécaniques des lois locales à partir d'un comportemant mécanique macro, afin d'éviter les pièges expérimentaux. Les applications proposées concernent la caractérisation des énergies de rupture du bois et les applications aux composants de structures et assemblages. D'autre part, il est possible par rétro analyse de faire de l'indentification dite ‘courbe à courbe’, pour alimenter les données locales au lieu de traiter les donnés macroscopiques de manière statistiques et d'en déduire par la suite les propriétés des modèles mésoscopiques.

Conférence invitée 04

Méthodes avancées (ou pas) en observation et expérimentation : quelques exemples autour de l'étude de l'origine propriétés du bois de tension.

Bruno CLAIR

CNRS, UMR « Ecologie de Forêts de Guyane » (EcoFoG),
Campus Agronomique, BP 701, 97387 Kourou
bruno.clair@ecofog.gf

Mots-clés

Instrumentation, microscopie, bois de tension

Résumé

Le bois de tension est un type de bois particulier produit par les feuillus pour générer des fortes contraintes de tension permettant de maintenir la verticalité ou réorienter un axe de l'arbre. Si ce bois est un atout pour l'arbre sur pied, il est souvent présenté comme un souci majeur pour le matériau car ses propriétés diffèrent fortement du bois dit normal.

Dans cet exposé, je présenterai la diversité des outils qui ont permis de faire avancer la compréhension de l'origine microscopique du retrait de séchage paradoxal du bois de tension et de la genèse des contraintes de maturation.

J'y évoquerai l'utilisation de la microscopie en lumière blanche et en contraste de phase, la microscopie électronique en balayage, la microscopie électronique environnementale, la microscopie à force atomique, la diffraction de rayon X et le rayonnement synchrotron, les isothermes d'adsorption-désorption d'azote pour la mesure de mesoporosité, la mesure macroscopique du retrait de séchage et de la recouvrance hygrothermique, la mesure des contraintes de croissance longitudinal et tangentiel sur l'arbre sur pied.

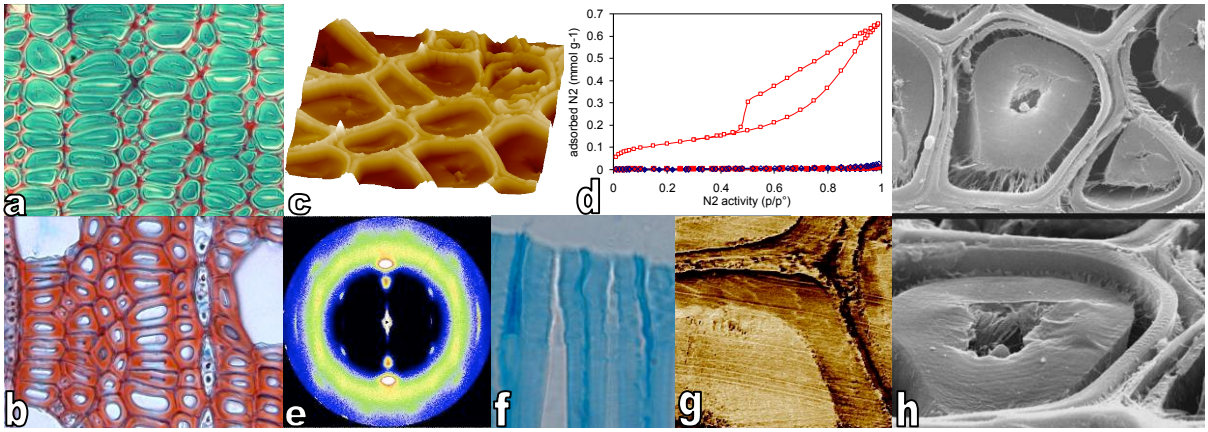


Fig. 1 : (a) Bois de tension à couche gélatineuse et (b) bois normal de *Sextonia rubra*. (c) Topographie de surface par AFM d'une coupe de peuplier. (d) Isotherme d'adsorption-desorption d'azote sur du bois de tension (rouge) et du bois normal (bleu) de peuplier. (e) Diffractogramme RX de bois de tension à couche G. (f) Artefact de coupe en bord de bloc sur bois de tension de peuplier. (g) Imagerie qualitative des propriétés élastiques d'une fibre de chêne. (h) Décolement et retrait de séchage de la couche G en MEB.

Références

http://www.lmgc.univ-montp2.fr/~clair/publi/

Conférence invitée 05

Utilisation de couplages pyrolyseurs-GC/MS pour étudier la composition chimique du bois et ses variations

DUMARCAY Stéphane

LERMaB , Université de Lorraine - FST BP 70239 – 54506 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex
stephane.dumarcay@univ-lorraine.fr

Résumé

La connaissance de la composition chimique du bois ainsi que le suivi de ses variations sont des étapes cruciales de la compréhension au niveau moléculaire des caractéristiques du matériau.

Ainsi, que ce soit la durabilité naturelle ou conférée, la stabilisation dimensionnelle obtenue par différents traitements ou bien encore les propriétés mécaniques, il est tentant de vouloir relier ces propriétés à la structure moléculaire ou macromoléculaire du bois et surtout de corréler l'évolution de ces structures à l'amélioration des capacités du matériau recherchée dans la plupart de nos travaux

Cependant, du point de vue du chimiste, l'étude du bois est un défi car il s'agit d'un objet excessivement complexe, étant formé de plusieurs types différents de macromolécules associées entre elles de manière covalente présentant des réactivités différentes et constituant une matrice solide pratiquement insoluble dans la plupart des solvants usuels. Il en résulte qu'il faut dégrader de manière plus ou moins contrôlée et souvent dans des conditions assez dures, une partie de ces bio-polymères pour pouvoir accéder à la structure chimique du constituant restant, qui ne sera de fait qu'une structure approchée, obtenue de surcroît après de nombreuses manipulations couteuses en produits et en temps. C'est pourquoi il est intéressant de développer des protocoles rapides d'analyse du matériau comme les deux méthodes chromatographiques couplées à des pyrolyses que nous présentons ici, qui permettent de mettre en évidence de manière plus ou moins directe, les changements de composition intervenant lors des traitements appliqués au bois.

Conférence invitée 06

Une nouvelle méthode d'analyse des polysaccharides pariétaux

COSTA Guy

Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles, Université de Limoges
guy.costa@unilim.fr

Abstract

Ionic liquid (IL) have been extensively use as a polymer solvent for biofuel experiments. Here we propose to use IL not only to breakdown wood cell wall, but also to determine the polysaccharide molecular composition of the timber wall. Polysaccharides from walnut wood have been extracted both by a sequential proceeding as by IL and heating or microwave activation before being spotted on nitrocellulose membrane and hybridized against JIM5, LM10 and LM15 mAb. Ionic liquid heating and microwave activation were tested on 50 ng and 500 ng of walnut wood before being compared with results gain by sequential extraction proceeding as published by Vanzin et al. (2002). We demonstrated that mAb could well be used for polysaccharide quantification previously solubilized in IL. The mAb fingerprint of polysaccharide extraction from walnut wood are consistent with gas chromatography data of per-O-trimethylsilylated methyl glycosides collected in each fraction of the sequential extraction of wood. The IL solvent coupled with microwave activation strongly reduce wood polysaccharide extraction time and offers the opportunity to follow them by mAb macroarrays. Low amount material (50 ng), associated to an easy proceeding of polysaccharide extraction and identification permit us to develop large scale analyses of wood material such as polysaccharide wood phenotyping.

Conférence invitée 07

Le bois marqueur de l'environnement

JULIEN Jean-Louis[1,2], AMEGLIO Thierry[2,1],ROECKEL-DREVET Patricia[1,2]

[1]Clermont Université, Université Blaise Pascal, UMR 547 PIAF, BP 10448, F-63000 CLERMONT-FERRAND, FRANCE
[2]INRA, UMR 547 PIAF, F-63171 Aubière, FRANCE
Jean-Louis.Julien@univ-bpclermont.fr

Mots-clés

Croissance secondaire, rythme de croissance, mesures continues, bois de réaction.

Sous les climats tempérés, l'arbre a un fonctionnement saisonnier qui se traduit par la mise en place d'unités de croissance en hauteur et en diamètre (cernes). Il se forme généralement un cerne par an, dont les caractéristiques sont déterminées par les conditions du milieu dans lequel l'arbre s'est développé. Le bois apparaît alors comme un marqueur de l'environnement. La longévité des espèces pérennes tempérées, permet une analyse rétrospective de la dynamique de croissance (Fritts 1971). Les analyses dendrochronologiques classiques ne peuvent cependant pas mettre en évidence les variations de croissance de l'arbre au cours d'une journée ou d'un jour à l'autre. Pourtant, la formation du bois et la qualité du bois produit résultent de l'intégration des réponses de l'arbre au cours du temps. Ainsi les rythmes de croissance radiale annuelle voire saisonnière intègrent des variations de croissance journalière qui ne peuvent être mises en évidence et étudiées que par une mesure continue de la croissance radiale. Des biocapteurs PépiPIAF ont été développés au sein de l'UMR 547 en collaboration avec le Lycée Lafayette de Clermont-Ferrand, permettant le suivi en continu des micro-variations de diamètre des organes (tronc, branche) sur lesquels ils sont installés et une mesure de température. L'analyse des données obtenues par ces biocapteurs révèle un processus réversible de contraction journalière dépendant principalement de l'état hydrique de l'arbre et de la demande climatique. Ces données confirment également que la croissance radiale journalière est liée à la capacité de l'arbre à fixer du carbone par la photosynthèse et à mobiliser et utiliser ce carbone (Daudet *et al.* 2004).

Les variations quantitatives de la croissance radiale reflètent donc les variations de l'environnement mais ces dernières peuvent également avoir des effets sur la nature et donc la qualité du bois produit. Les conséquences de divers stress abiotiques ou biotiques sur la formation du bois peuvent ainsi être étudiées. L'impact de stress abiotiques comme la sècheresse, les inondations et les stress mécaniques est particulièrement intéressant à analyser dans le contexte du changement climatique qui prévoit une augmentation de la fréquence des évènements extrêmes (tempêtes, canicules, précipitations). Ainsi par exemple, les sollicitations gravitropiques qui apparaissent lors d'inclinaisons des arbres sont à l'origine d'un redressement dont le moteur est la croissance radiale et qui se traduit par la mise en place de bois de réaction. L'étude cinématique du mouvement gravitropique chez le peuplier a révélé des phases de courbures mais aussi de décourbures dues à la mise en place de bois de tension (Coutand *et al.* 2006). En conditions naturelles le vent est la principale source de sollicitations mécaniques et induit essentiellement des flexions et des torsions des axes des plantes. En réponse à des flexions contrôlées, un bois aux propriétés proches de celles du bois de tension a été mis en évidence.

C'est certainement par la compréhension de ces différents mécanismes et par la modélisation des réponses que l'on pourra sélectionner les arbres possédant le meilleur potentiel adaptatif aux changements globaux en cours.

Références

Fritts H.C. (1971) Dendroclimatology and Dendroecology. Quaternary Research, 1 : 419-449.

Daudet F.A., Ameglio T., Cochard H., Archilla O., Lacointe A. (2004) Experimental analysis of the role of water and carbon in tree stem diameter variations, Journal of Experimental Botany, 56 : 135-144.

Coutand C, Fournier M, Moulia B (2007) The gravitropic response of poplar trunks : key roles of prestressed wood regulation and the relative kinetics of cambial growth versus wood maturation. Plant Physiology 144: 1166-1180.

Conférence invitée 08

Modes de diffusion du bois de résonance en Europe centrale pendant le 18ème siècle

GASSMANN Patrick,
Laboratoire de dendrochronologie,
Office du Patrimoine et de l'Archéologie de Neuchâtel, Hauterive, Suisse
Patrick.Gassmann@ne.ch

Résumé

Pendant l'entier du 18ème siècle, le monde de la lutherie était constamment confronté à un approvisionnement en bois de résonance plutôt aléatoire.

L'origine montagnarde et la rareté de ce bois dans les peuplements forestiers le rendaient difficile à obtenir. De plus, les liens commerciaux entre les régions de montagne et les grandes capitales d'Europe n'étaient pas toujours établis.

La datation des instruments du quatuor, raison première des analyses dendrochronologiques, a permis l'ouverture d'autres axes de recherche.

S'avérant très prometteur, l'un concerne l'origine géographique du bois de lutherie, alors qu'un autre, découlant du premier, concerne les différents modes de déplacement de ce bois.

Au sujet de la fourniture des planchettes d'épicéa – pour différentes raisons que nous développerons lors de l'exposé – l'entremise de marchands de bois ou le déplacement de maîtres-luthiers venant choisir un arbre particulier en forêt sont des postulats qui ne sont plus automatiquement acceptés aujourd'hui.

Parmi d'autres modes d'acquisition et de transport du bois de résonance, la filière commerciale du Gruyère sera présentée comme exemple alternatif.

Pour envisager un approvisionnement régulier en bois d'épicéa, le moyen de déplacement le plus attrayant entre tous était la filière – florissante au 18ème siècle – des barons gruériens du fromage.

Pour le transport, des lieux de production aux grandes villes d'Europe, les meules de fromage étaient placées dans des tonneaux cylindriques à usage unique fabriqués avec du bois d'épicéa. Dès leur arrivée à destination, les fûts étaient démontés; fonds et couvercles pouvaient alors servir de matière première d'excellente qualité.

Par extension, il n'est pas interdit de penser que des planchettes, préparées pour les luthiers, pouvaient emprunter cette même filière du fromage pour arriver à leurs destinataires.

Conférence invitée 09

État de la situation au Québec et au Canada: le bois toujours plus haut

GAGNON, Sylvain

FPInnovations, Québec, Canada
Systèmes de construction avancés
sylvain.gagnon@fpinnovations.ca

Mots-clés

Multi-étages, CLT, Poteaux et poutres, Ossature légère, Hybride

Introduction

Durant plus d'un siècle, l'acier et le béton se sont tous deux partagé le marché de la construction de bâtiments de moyenne et de grande hauteur. Nous entrons maintenant dans une nouvelle ère où les nouveaux produits de bois d'ingénierie, combinés aux nouvelles techniques de construction et avancées scientifiques, nous permettent d'atteindre des niveaux jusque-là inégalés pour le bois.

Jusqu'à aujourd'hui au Canada, le bois était principalement utilisé dans des bâtiments de quatre étages et moins dans des systèmes à ossature légère, et dans une moindre mesure dans des systèmes de poteaux et poutres en gros bois d'œuvre ou en bois lamellé-collé.

Toutefois, le Québec et la Colombie-Britannique ont récemment pris la décision de suivre un mouvement international novateur en permettant la construction en bois jusqu'à six étages.

Cette conférence présentera des exemples de produits et autres systèmes innovants en bois destinés à remplacer ou complémenter les systèmes usuels utilisés dans la construction d'édifices de moyenne et de grande hauteur. Plusieurs projets de bâtiments en bois de moyenne et de grande hauteur seront également présentés.

Fig. 1 : Bâtiment en CLT de 6 étages à Québec

Fig. 2 : Bâtiment en bois lamellé-collé de 6 étages

Conférence invitée 10

Matériaux poreux dérivés de tannins

CELZARD Alain

Institut Jean Lamour, Université de Lorraine, CNRS, Epinal
alain.celzard@univ-lorraine.fr

Résumé

Lors de cette présentation, j'introduirai les différents types de matériaux poreux qui ont pu être préparés à partir de tannins condensés. Ces molécules extractibles, présentes jusqu'à 30% en masse de matière sèche dans les écorces d'acacia, ont essentiellement des débouchés dans l'industrie du cuir, mais de plus en plus dans les industries chimiques et agroalimentaires. Leur structure chimique leur permet d'être polymérisées en réseaux poreux d'architecture ajustable et d'être aisément fonctionnalisables, et leur caractère aromatique fait d'eux d'excellents précurseurs de carbones de spécialité. De ces matériaux dérivés peuvent alors être synthétisés des céramiques poreuses et des hybrides organo-minéraux. Du point de vue des matériaux organiques, mousses rigides, semi-élastiques ou souples, hydrogels, aérogels et cryogels sont autant de solides hautement poreux qui ont pu être préparés et caractérisés, ayant des applications variées, depuis l'isolation thermique aux électrodes de supercondensateurs en passant par le piégeage de métaux lourds. Après pyrolyse, les homologues en carbone vitreux ont été obtenus, présentant des propriétés améliorées ou nouvelles. Les mousses de carbone à porosité hiérarchisée, les gels de carbone hydrothermaux ou les mésoporeux à porosité ordonnée sont également des matériaux nouveaux, n'ayant jusqu'à présent pas d'équivalent d'origine synthétique. Tous sont multifonctionnels, avec des applications dans les domaines de l'énergie et de l'environnement.

POSTERS

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

Posters primés

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

Poster A3 - **Morin-Rivat Julie**, Relation entre anatomie du bois et traits fonctionnels chez 584 espèces d'Afrique tropicale

Poster B4 - **Louf Jean-François**, Signaux hydrauliques induits par flexion dans des branches artificielles et naturelles: lien avec la mécano-perception et le transport longue distance chez les arbres

Poster C14 - **Carlier Capucine**, Evaluation mécanique-acoustique et perception de la ressource en bois de lutherie du quatuor

Poster D10 - **Kleindienst Quentin**, Evaluation de la durabilité de pieux de fondation bois

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

Poster A12 - **Pfeiffer Renaud**, Simulation du fraisage du bois vert à l'aide de la DEM

Poster B11 - **Loulou Louisa**, Durabilité de l'assemblage mixte bois-béton collé sous chargement hydrique

Poster C10 - **Lira-San-Martín Nicolas**, Le bois dans les embarcations indigènes de la Patagonie du Nord

Poster D11 - **Chaplain Myriam**, Comportement de poutres en LVL sous chargement de torsion cyclique: expérience et modélisation

SESSION A

no	Auteurs	Titre
A 01	Gérard Jean, Langbour Patrick, Guibal Daniel, Nkolo Meze'e Yvonne Nadège, Marchal Rémy	Variations inter-arbres et intra-arbres de propriétés de références de bois d'Afrique centrale à haute valeur ajoutée
A 02	Bourreau Damien, Leban Jean-Michel, Mothe Frédéric	Effet de l'âge cambial et de la hauteur sur des propriétés physiques du bois de Douglas (Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco)
A 03	Vaianopoulos Céline, Henin Jean-Marc, Hebert Jacques, Jourez Benoit	Variation radiale de l'angle des microfibrilles de cellulose et de la longueur des trachéides chez le Douglas
A 04	Morin-Rivat Julie, Fayolle Adeline, Doucet Jean-Louis, Beeckman Hans	Relation entre anatomie du bois et traits fonctionnels chez 584 espèces d'Afrique tropicale
A 05	Lehnebach Romain, Beauchêne Jacques, Amusant Nadine, Nicolini Eric	Structure des couronnes et variation de l'epaisseur et de la surface d'aubier chez l'Angelique de Guyane (Dicorynia guianensis Amsh., Caesalpiniodeae, Fabaceae)
A 06	Cuny Henri, Rathgeber Cyrille, Fournier Meriem	Des grosses cellules à paroi fine aux petites cellules à parois épaisses: comment les processus de la xylogénèse forment la structure du cerne chez les conifères

A 07	Haddadou Imane, Aliouche Djamel, Brosse Nicolas, Amirou Siham	L'influence de quelques propriétés physiques et chimiques de bois de deux espèces de chêne algérien sur le rendement en fibres cellulosiques obtenues par procédés kraft et organosolv
A 08	Franzoni Lorenzo, Foret Gilles, Lebée Arthur, Lyon Florent	Modélisation du comportement au feu des panneaux en bois contrecollés avec adhésifs de nouvelle génération
A 09	Nguyen Sung-Lam, Moutou Pitti Rostand, Destrebecq Jean-François	Modélisation des contraintes hydromécanique dans le bois de structure
A 10	Lachhab Abdelmonem, Moutou Pitti Rostand, Toussaint Evelyne, Et Grediac Michel,	Propagation de fissure en mode I dans une éprouvette en bois par mesures de champs sans contact et approche numérique
A 11	Phan Ngoc Anh, Chaplain Myriam, Morel Stéphane	Influence de l'humidité relative de l'air sur la fissuration du bois: essais et calcul numérique
A 12	Pfeiffer Renaud, Lorong Philippe, Collet Robert, Denaud Louis	Simulation du fraisage du bois vert à l'aide de la DEM
A 13	Ramanakoto Miora F., Rajemison Andraina H., Eyma Florent, Ramananantoandro Tahiana	Exploration des relations entre la préférence visuelle des consommateurs et la qualité de surface des bois usinés
A 14	Rajemison Andraina Hajamanalina, Eyma Florent, Ramanakoto Miora, Ramananantoandro Tahiana, Rajoelison Gabrielle Lalanirina, Castanie Bruno	Identification de zones de bonne coupe en tenant compte des seuils de préférence des consommateurs : application au cas du palissandre (Dalbergia baronii Baker)
A 15	Burgers Agnès, Langbour Patrick, Montéro Cédric, Marchal Rémy, Vinches Marc, Thibaut Bernard	Caractérisations physico-mécaniques de sciages de 1er choix pour la conception mécanique ; application aux pins
A 16	Hamada Joël, Pétrissans Anélie, Mothe Frédéric, Fournier Mériem, Pétrissans Mathieu, Gérardin Philippe	Effect of the natural variability of the oak wood density on the thermo-degradation reactions during heat treatment by mild pyrolysis
A 17	Ai Wei, Duval Hervé, Pierre Floran, Perre Patrick	Identification de paramètres structuraux du bois à partir de mesures de perméabilité apparente en phase gazeuse raréfiée
A 18	Ayouz Mehdi, Perré Patrick	Prédiction de la diffusivité thermique et massique du bois par la méthode Lattice Boltzmann
A 19	Echard Jean-Philippe, Vaiedelich Stéphane, Schanne-Klein Marie-Claire, Latour Gaël	Analyse in situ de bois et de papier par microscopie multiphotonique pour les sciences de la conservation

SESSION B

no	Auteurs	Titre
B 01	Ruelle Julien	La plate-forme Xylosciences
B 02	Song Jialin, Colin Francis, Brendel Oliver, Kremer Antoine	Analyse QTL de la qualité du bois du chêne pédonculé, observée par tomographie à rayon X. Premiers résultats concernant les traces raméales
B 03	Charra-Vaskou Katline, Badel Eric, Charrier Guillaume, Bonhomme Marc, Cochard Hervé, Mayr Stefan, Ameglio Thierry,	Cavitation et Embolie Induites par des cycles gel/dégel

B 04	Louf Jean-François, Guena Geoffroy, Forterre Yoël, Badel Eric, Moulia Bruno	Signaux hydrauliques induits par flexion dans des branches artificielles et naturelles: lien avec la mécano-perception et le transport longue distance chez les arbres
B 05	Chang Shan-Shan, Quignard Françoise, Clair Bruno	Mesoporosity characterization during tension wood cell wall maturation
B 06	Dupleix Anna, De Sousa Meneses Domingos	Sur la transparence du bois aux rayonnements infrarouges
B 07	Khelfa Haithem, Mounier Denis, Picart Pascal, Poilâne Christophe	Caractérisation des propriétés élastiques transverses d'une fibre par spectroscopie de résonance ultrasonore laser
B 08	Pierre Floran, Ayouz Mehdi, Perré Patrick	Une méthode original de détermination des coefficients de diffusion de matériaux hygroscopiques en régime transitoire
B 09	Saifouni Omar, Moutou Pitti Rostand, Destrebecq Jean François, Froidevaux Julien, Navi Parvis, Garmy Joël	Sur des essais mécanosorptifs en relaxation appliqués au Sapin Blanc du massif Central
B 10	Akkaoui Abdessamad, Care Sabine, Vandamme Matthieu	Etude locale et globale du comportement hydro-mécanique du béton de granulats de bois
B 11	Loulou Louisa, Care Sabine, Le Roy Robert, Bornert Michel, Chaitaigner Sylvain, Nedjar Boumedienne, Bertrand François	Durabilité de l'assemblage mixte bois-béton collé sous chargement hydrique
B 12	Amirou Siham, Haddadou Imane, Zerizer Abdellatif	Etude et mise au point d'élaboration des panneaux à base de palmier dattier
B 13	Hu, J., Tondi, G., Thévenon, M.-F.	Termite resistance of tannin-treated Scots pine (Pinus sylvestris L.) wood after exposure to artificial and natural weathering
B 14	Comité de Direction de l'UR BioWooEB	Le CIRAD est heureux de vous annoncer…

SESSION C

no	Auteurs	Titre
C 01	Colin F., Collet C., Constant T., Cuny H., Dlouhà J., Hartmann F., Longuetaud F., Mothe F., Ningre F., Noyer E., Rathgeber C, Ruelle J, Gérardin Ph., Gérardin C., Dumarçay S., Trouy-Triboulot Mc, Bouali A., Brosse N; Brendel O., Richard B., Cabané M., Afif D., Ponton S., Saint-André L.	WADE ou comment le bois s'acclimate aux perturbations du couvert
C 02	Noyer Estelle	La réponse des arbres à l'ouverture de la canopée : caractérisation de la croissance et marquage par les propriétés du bois
C 03	Cabane Mireille, Afif Dany	Biosynthèse des composés pariétaux du bois et contraintes environnementales

C 04	Baly Isabelle, Coubray Sylvie, Dufraisse Alexa, Dupin Aurore, Dupouey Jean-Luc, Girardclos Olivier, Hamdidi Belaid, Laurens Flavie, Lemoine Michel, Maire Aurélien, Nocus Noémie, Rathgeber Cyrille, Ruelle Julien	ANR DENDRAC "Développements d'outils DENDrométriques appliqués à l'anthrACologie: étude des relations hommes-ressources-environnements". Nouvelles avancées
C 05	Alix Claire, Juday Glenn P., Grant Thomas III	Origine et temps de dérive des bois flottés en Alaska: un outil pour dater les bois archéologiques du littoral arctique
C 06	Dussol Lydie, Elliott Michelle, Pereira Grégory, Michelet Dominique	Feux funéraires vs feux domestiques. Etude anthracologique comparée d'un site maya au Classique terminal
C 07	Méreuze Rémi, Alix Claire	Relevés photogrammétriques et modélisation 3D à partir des vestiges archéologiques du cap Espenberg, nord-ouest Alaska
C 08	Lavier Catherine, Chaillou Anne	La gestion des vestiges archéologiques en France : des fiches méthodologiques pour leur évaluation, leur sélection et leur conservation sélective. L'exemple du bois
C 09	Lavier Catherine, Dubus Michel, Asensi Amoros Victoria, Brageu Rémi	Les boites d'archives en bois: datation, origine et interactions avec les documents
C 10	Lira San Martín Nicolas, Lavier Catherine	Le bois dans les embarcations indigènes de la Patagonie du Nord
C 11	Locatelli Christine, Pousset Didier	Archéodendrométrie de tonneaux mérovingiens (VII-VIIIe siècle)
C 12	Brkojewitsch Gaël, Sedlbauer Simon	Aspects morpho-technologiques de trois cuvelages en bois découverts dans la cour agricole d'une villa du Haut-Empire située à proximité de Divodurum (Metz)
C 13	Ogéron Clémence, Davy Damien, Beauchene Jacques, Odonne Guillaume, Clair Bruno	Savoirs locaux sur les usages et propriétés technologiques des bois de construction du bas-Oyapock (Guyane française)
C 14	Carlier Capucine, Brémaud Iris, Gril Joseph	Evaluation mécanique acoustique et perception de la ressource en bois de lutherie du quatuor
C 15	Le Conte Sandie, Brémaud Iris, Lavier Catherine	WoodMusiCK FP1302 – A new COST Action

SESSION D

no	Auteurs	Titre
D 01	Moutou Pitti Rostand, Diakhate Malick, Bastidas Arteaga Emilio, Aounes Younes, Angellier Nicolas	ANR JCJC2013 – Projet CLIMBOIS : Impact des variations climatiques et mécaniques sur la durabilité des constructions bois
D 02	Fournely Eric, Moutou Pitti Rostand, Abdhelamide Bouchair, Racher Patrick	Effet de la semi-rigidité des joints sur des structures bois
D 03	Chataigner Sylvain, Gaillet Laurent, Perier Virginie, Lanata Francesca, Colombe Teddy	Utilisation des acousto-US pour le contrôle non destructif d'éléments en bois lamellé collé
D 04	Rafidiarison Helisoa, Mougel Eric, Remond Romain	Etudes des performances hygrothermiques des parois en bois en conditions réelles extérieures

D 05	Hahn Benjamin	Soudage du bois par friction – Liaisons sans adhésifs pour la préfabrication des éléments constructifs
D 06	Benbrahim Zouheyr, Kennouche Salim, Zerizer Abdalatif	Elaboration et caractérisation de LVL et contreplaqué à différent épaisseurs à base de pin d'Alep
D 07	Derbal Wassila, Zerizer Abellatif, Gérard Jean	Caractérisation physico-mécanique de trois espèces de bois algériens en vue de la fabrication de carrelets 3-plis pour des menuiseries intérieures
D 08	Ouadou Yasmina, Aliouche Djamel, Thevenon-Brillard Marie-France	Influence de différents modes de vieillissement sur le comportement mécanique du bois
D 09	Simon Hannouz, Robert Collet, Jean-Claude Butaud, Kevin Candelier, Laurent Bléron	Classement mécanique du frêne traité thermiquement en vue de sa mise en œuvre
D 10	Kleindienst Quentin, Lallemand Julien, Freyburger Charline, Bléron Laurent, Trouy Marie-Christine, Besserer Arnaud, Bocquet Jean-François	Evaluation de la durabilité de pieux de fondation bois
D 11	Chaplain Myriam, Nafa Zahreddine, Bouras Faouzi	Comportement de poutres en LVL sous chargement de torsion cyclique: expérience et modélisation
D 12	Lavalette Anne, Elbez Gérard, Pommier Régis, Danis Michel, Délisee Christine	Etude de la mouillabilité du bois par un adhésif polyuréthane: application au collage du pin Maritime à l'état vert
D 13	Chupin Lucie, Charrier-El Bouhtoury Fatima, Charrier Bertrand	Extraction de tanins d'écorce de pin maritime (Pinus pinaster) pour la conception de colles bio-sourcées
D 14	Imbert A., Gérardin P., Gérardin C.	Développement de formulations originales à base de gels pour la préservation du bois ou le traitement des bois anciens
D 15	Michaud Franck, Aymen Jmal, Ndiaye Amadou, Irle Mark	Livre de connaissances : Valorisation des produits récupérés à base de bois
D 16	Michaud Franck, Masseteau Benjamin, Alise Gaelle, Roy Annette, Irle Mark	Faisabilité d'un composite biosourcé applicable à l'aéronautique
D 17	Ndong Engone J.G, Xing Zhi, Djelal Chafika, Vanhove Yannick, Kada Hassina	Mise en forme par extrusion de briques de mortier formulées à base de coproduits issus du bois - influence du taux de substitution
D 18	Xing Zhi, Ndong Engone Jean-Gérard, Kada Hassina, Djelal Chafika, Vanhove Yannick	Effet d'un coproduit issu du peuplier sur les évolutions des propriétés rhéologiques, mécaniques et thermo-physiques d'un mortier extrudable
D 19	Kebbi-Benkeder Zineb, Colin Francis, Dumarçay Stéphane, Gérardin Philippe	Extractibles présents dans les nœuds de douze essences forestières françaises
D 20	Association La Passion du Bois	Le bois en milieu scolaire

A01

Variations inter- et intra-arbres de caractéristiques physiques et mécaniques de bois commerciaux d'Afrique centrale

GERARD Jean[1], LANGBOUR Patrick[1], GUIBAL Daniel[1], NKOLO MEZE'E Yvonne Nadège[2], MARCHAL Rémy[1]

[1]UR *Biomasse, Bois, Energie, Bioproduits* (BioWooEB), CIRAD, Montpellier
[2] Université de Ngaoundéré, Faculté des Sciences, Département de Chimie, Cameroun
jean.gerard@cirad.fr

Mots-clefs

Variations de propriétés ; module d'élasticité longitudinal ; retrait de séchage ; point de saturation des fibres ; Niové ; Padouk ; Okan ; Afrique centrale

Introduction

On considère habituellement que les problèmes de variations intra-espèces des propriétés du bois sont spécifiques aux espèces plantées, résineuses ou feuillues ; en régions tropicales, la plupart des études sur ce sujet ont concerné notamment les Pins et les Eucalyptus.

Cependant, d'importantes variations intra-espèces de propriétés et de comportement technologique sont souvent observées chez certaines essences de forêt naturelle ; il en résulte des variations de qualité des produits obtenus après transformation, variations souvent pénalisantes pour les entreprises concernées qui peuvent rencontrer des difficultés à constituer des lots de qualité homogène pour une essence donnée.

L'étude a pour objectif d'apporter des éléments de réponse à deux questions relatives aux variations de propriétés intra-espèces : pour une espèce donnée, quel peut être le niveau de variations inter-arbres ? Comment varient certaines propriétés à l'intérieur de l'arbre, depuis la moelle jusqu'au cambium ?

Matériels et méthodes

L'étude a porté sur trois espèces abondantes sur certaines concessions forestières d'Afrique centrale et potentiellement intéressantes pour des applications extérieures du fait de leurs caractéristiques mécaniques élevées et de leur très bonne durabilité naturelle (classe 1 selon la norme NF EN 350-2) : Padouk (*Pterocarpus soyauxii*), Niové (*Staudtia kamerunensis*), Okan (*Cylicodiscus gabunensis*).

Les résultats présentés concernent trois caractéristiques de référence parmi celles étudiées :
- le module d'élasticité longitudinal, déterminé à l'aide d'une méthode vibratoire,
- le retrait tangentiel total, déterminé selon la procédure conventionnelle normalisée,
- le point de saturation des fibres, déterminé suivant une méthode non normalisée mise au point au Cirad à partir des variations de dimensions d'échantillons stabilisés à différents taux d'humidité depuis l'état saturé jusqu'à l'état anhydre ; cette caractéristique constitue un indicateur majeur du futur comportement du bois lors du séchage et de sa stabilité dimensionnelle après mise en œuvre.

Résultats et discussions

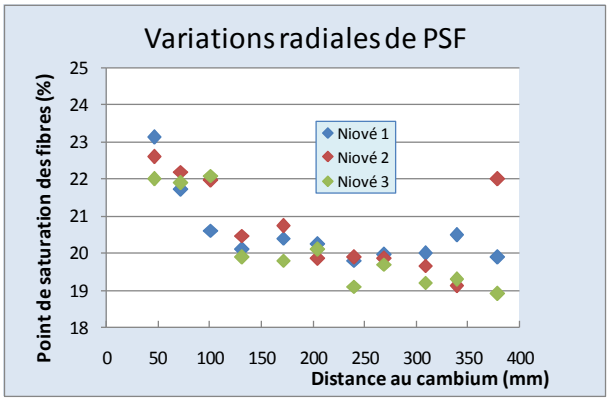
Pour les trois caractéristiques étudiées, les résultats obtenus ont montré que le niveau de variation radiale est d'autant plus important que les valeurs moyennes des caractéristiques sont élevées.

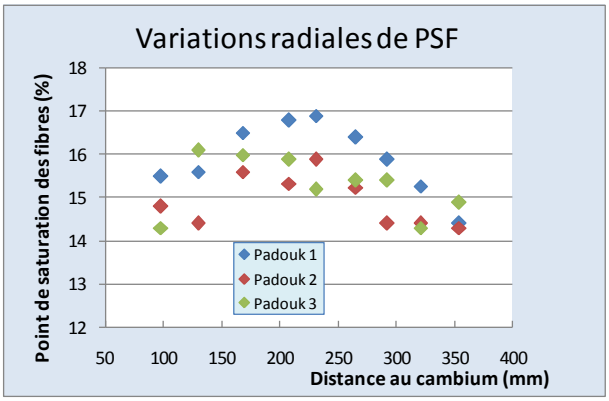
Pour les trois espèces étudiées et pour les trois caractéristiques, les tendances suivantes ont été observées depuis le cœur vers le cambium :

* Module l'élasticité longitudinal : croissance au voisinage de la moelle puis décroissance générale vers le cambium pour le Niové, croissance radiale puis relative stabilisation en périphérie pour le Padouk, croissance radiale sans stabilisation périphérique pour l'Okan.

* Retrait tangentiel total : décroissance radiale sans stabilisation en périphérie pour le Niové, pas de tendance claire de variations radiales pour le Padouk, croissance radiale sans stabilisation en périphérie pour l'Okan.

* Point de saturation des fibres : décroissance radiale puis croissance au voisinage de la périphérie pour le Niové, décroissance puis croissance radiale pour le Padouk (variations en cloche), croissance radiale sans stabilisation périphérique pour l'Okan (courbes ci-dessous).





Interprétations et perspectives

Différentes approches peuvent être envisagées pour interpréter ces résultats ; ainsi, les modèles proposés par Woodcock et Shier (2002) lient les tendances de variations radiales à la position et à la dynamique de croissance des arbres dans la canopée (modèles établis à partir de l'étude des variations radiales de densité chez des espèces tempérées).

Ces variations seraient plus importantes pour les arbres de l'étage dominants que pour ceux situés en sous-étage.

Selon Woodcock et Shier, la stratégie d'adaptation des arbres dans leur environnement serait en fait plus importante que leur position dans la canopée : les croissances radiales de propriétés seraient caractéristiques des espèces pionnières tandis que les décroissances radiales seraient propres aux espèces de succession écologique tardive dans les forêts anciennes.

Pour approfondir ce modèle d'interprétation, il serait nécessaire d'étudier un nombre d'arbres plus élevé, de disposer d'une description générale des arbres échantillonnés et de leur position dans la canopée, et de pouvoir disposer d'individus à différents stades de leur croissance pour une espèce donnée.

Références

Wiemann M. C., Williamson G.B. (1989) Radial gradients in the specific gravity of wood in some tropical and temperate trees, Forest Science 35: 197- 210.

Woodcock D. W., Shier A. D. (2003) Does Canopy Position Affect Wood Specific Gravity in Temperate Forest Trees? Ann Bot 91(5): 529-537

A02

Effet de l'âge cambial et de la hauteur sur des propriétés physiques du bois de Douglas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco).

BOURREAU Damien[1], LEBAN Jean-Michel[2], MOTHE Frédéric[1]

[1] INRA, UMR 1092 LERFoB, F-54280 Champenoux, France
[2] INRA, F-54280 Champenoux, France
dbourreau@nancy.inra.fr

Mots-clés

Age cambial, hauteur, largeur de cerne, densité, humidité

Résumé:

En France, le Douglas est amené à devenir une ressource importante pour la filière bois française. En émerge une volonté industrielle d'optimiser son classement mécanique, indispensable pour augmenter la valeur ajoutée des sciages. Dans un premier temps, et afin d'acquérir des connaissances nécessaires au classement des sciages issus de la ressource, l'influence de la variation spatiale (radiale et longitudinale) sur les propriétés du bois (densité, humidité et largeur de cerne) est présentée dans cette étude.

L'échantillonnage du projet a été réalisé sur des grumes de Douglas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), prélevées sur le parc d'une scierie. Ces grumes de 46 ans proviennent d'un même peuplement situé en Auvergne. Lors de l'échantillonnage, des rondelles ont été prélevées à 4 (ou 5) hauteurs différentes (0.5, 4.5, 8.5, 12.5 et 16.5 m) le long de ces 28 grumes. Les rondelles ont été passées au scanner à rayon X à l'état vert et à l'état anhydre pour établir une cartographie d'humidité et de densité. Enfin, l'âge cambial et les largeurs de cernes ont été mesurés par stéréomicroscope (LinTab 3) sur 4 rayons orthogonaux pour chaque rondelle.

Les résultats en cours d'interprétation semblent confirmer ceux de la littérature. Pour un même cerne, la surface reste constante dans le tronc (le houppier n'étant pas pris en compte) et augmente à l'empattement (Nepveu 1994, Gartner *et al* 2002). A même âge cambial, la densité moyenne du cerne diminue avec la hauteur dans l'arbre, alors que la largeur de cerne augmente (Park *et al* 2009). Enfin, l'effet observé de la position radiale sur les propriétés du bois est principalement due aux variations entre bois juvénile et bois mature (Abdel-Gadir *et al.* 1993, Alteyrac *et al* 2006). Concernant l'humidité du bois, les résultats montrent une augmentation de la teneur en eau avec la distance à la moelle ainsi qu'avec la hauteur, le houppier n'étant pas pris en compte (Spicer and Gartner 2001, Navi and Heger 2005).

Références:

Abdel-Gadir A.Y., Krahmer R.L., McKimmy M.D. (1993) Intra-ring variations in mature Douglas-fir trees from provenance plantations, Wood Fiber Sci., 25:170-181.

Alteyrac J., Cloutier A., Zhang S.Y. (2006) Characterization of juvenile wood to mature wood transition age in black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) at different stand densities and sampling heights, Wood Sci. Technol. 40:124-138.

Gartner B.L., North E.M., Johnson G.R., Singleton R. (2002) Effects of live crown on vertical patterns of wood density and growth in Douglas-fir, Can. J. For. Res., 32:439-447.

Navi P., Heger F. (2005) Comportement thermo-hydromécanique du bois, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse, pp. 298.

Nepveu G. (1994) Le bois matériau d'ingénierie: Variabilité, ARBOLOR, Nancy, France, pp.433.

Park Y.D., Koubaa A., Brais S., Mazerolle M.J. (2009) Effects of cambial age and stem height on wood density and growth of jack pine grown in boreal stands, Wood Fiber Sci. 41(4):346-358.

Spicer R., Gartner B.L. (2001) The effects of cambial age and position within the stem on specific conductivity in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) sapwood. Trees Struct. Funct. 15:222-229.

A03

Variation radiale de l'angle des microfibrilles de cellulose et de la longueur des trachéides chez le Douglas

VAIANOPOULOS Céline[1], HENIN Jean-Marc[1], HEBERT Jacques[2], JOUREZ Benoit[1]

[1] Laboratoire de Technologie du Bois, Service public de Wallonie, Gembloux, Belgique
[2] Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, Gembloux, Belgique
celine.vaianopoulos@spw.wallonie.be

Objectifs

La sylviculture du douglas (*Pseudotsuga menziesii*) en Wallonie est récente et présente des modalités opératoires très contrastées. Aussi, pour guider l'action des sylviculteurs, une étude technologique visant à évaluer l'impact du dynamisme de la sylviculture sur les propriétés du bois de douglas a été initiée.

Il est accepté aujourd'hui que l'angle des microfibrilles de cellulose (AMF) de la paroi des trachéides, ainsi que la longueur des trachéides, peuvent expliquer largement le comportement du bois sans défaut. Dans un premier temps, l'étude a porté sur les variations de l'AMF et de la longueur des trachéides au sein des arbres en fonction de paramètres tels que leur vitesse de croissance, l'âge du cerne, la position radiale ou la hauteur dans l'arbre. Ultérieurement, ces résultats seront utilisés pour tenter d'expliquer les propriétés mécaniques du bois sur la base de ses caractéristiques anatomiques. Il sera alors possible de relier les caractéristiques de croissance avec les propriétés du bois produit afin de proposer les pratiques sylvicoles les plus pertinentes.

Matériel et méthodes

Onze peuplements âgés de 41 à 69 ans, de circonférence moyenne à 1,5 m de 150 cm et présentant des vitesses de croissance différentes (accroissement moyen en circonférence des peuplements de 2,2 à 3,8 cm/an) ont été sélectionnés en Région wallonne. Au sein de chacun d'eux, six arbres de circonférences réparties entre 120 et 180 cm à 1,5 m ont été prélevés. Pour chaque arbre, trois rondelles de 10 cm d'épaisseur ont été découpées à 2, 6 et 10 m. A ce stade, les investigations portent sur les rondelles prélevées à 2 m dans les onze arbres dont la circonférence est comprise entre 150 et 159 cm.

Afin de mesurer l'AMF, des coupes anatomiques suivant le plan radial sont séchées à l'air ambiant afin d'induire des microfissures parallèles aux microfibrilles de cellulose dans la paroi des trachéides. Elles sont ensuite traitées avec une solution iodo-iodurée et de l'acide nitrique à 35 % afin de mettre en évidence ces fissurations. Les coupes sont photographiées sous microscope et l'AMF est mesuré au moyen d'un analyseur d'images.

La mesure de la longueur des trachéides est réalisée au moyen d'un projecteur de profil de type Visopan de Reichert sur des macérations obtenues par un traitement à la triéthanolamine.

Résultats et discussion

A ce stade, seuls des résultats partiels sont présentés.

L'AMF décroît de la moelle vers l'écorce avec l'âge du cerne, alors que la longueur des trachéides augmente avec l'âge (Fig. 1). L'AMF est nettement plus important dans les premières années de croissance et décroit progressivement au-delà d'une dizaine d'années. Cette différence de l'AMF en fonction de l'âge pourrait expliquer la différence de comportement du bois dans ces deux zones. Par ailleurs, l'évolution de la longueur des trachéides montre un profil inversé, avec une stabilisation approximativement au même âge.

Les résultats obtenus jusqu'à présent suggèrent qu'il est possible de déterminer la transition entre le bois juvénile et le bois adulte sur base des mesures de l'AMF et de la longueur de trachéides. L'évolution de ces deux paramètres en fonction de l'âge du cerne concorde et semble fiable pour indiquer la transition entre ces deux types de bois. Néanmoins, l'âge auquel s'opère le passage entre le bois juvénile et le bois adulte doit encore être précisé sur un plus grand nombre d'observations et sur des arbres de statut social différent, ainsi qu'en fonction de la hauteur dans l'arbre considéré.

Au niveau intra-cerne, les profils d'évolution de l'AMF dans le bois initial et final en fonction de l'âge du cerne sont similaires. D'autre part, l'analyse statistique montre pour certains cernes des différences significatives entre le bois initial et final. Pour autant, il y a lieu de voir si ces différences ont des implications au niveau mécanique. Lorsqu'une différence est mise en évidence, l'AMF est plus élevé dans le bois initial.

Sur une rondelle présentant une forte excentricité, l'AMF a été mesuré sur le plus petit et le plus grand rayon et il a été montré que l'AMF est plus élevé au niveau du plus grand rayon et ne descend pas en dessous de 14°, probablement en raison de la présence de bois de compression. Par la suite, cette observation devra être confirmée sur d'autres rondelles montrant clairement la présence de bois de compression.

A ce stade de l'étude, trop peu de rondelles ont été analysées pour tirer des conclusions quant à l'impact de la sylviculture (vitesse de croissance des arbres et des peuplements) sur les paramètres anatomiques.

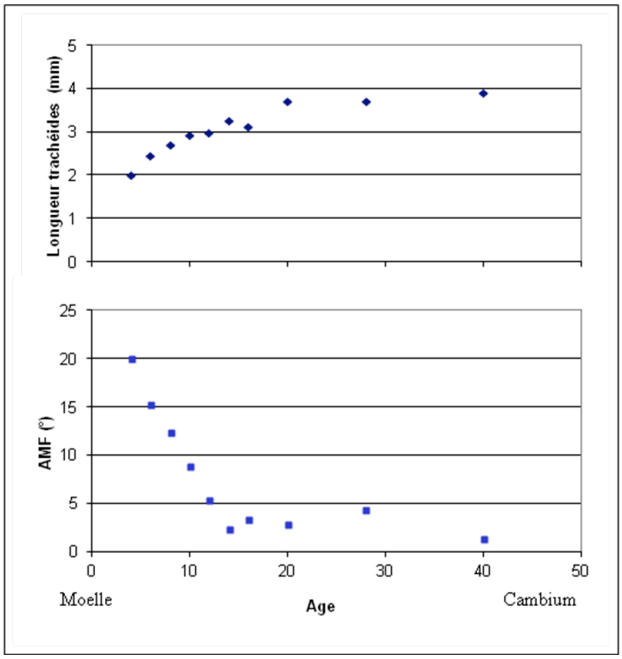


Fig. 1 : Exemple d'évolution de la longueur moyenne des trachéides (en mm) et de l'angle moyen des microfibrilles de cellulose (AMF, en degré) en fonction de l'âge du cerne pour une rondelle prélevée à 2 m sur l'arbre moyen d'un peuplement âgé de 44 ans compté depuis la plantation.

A04

Relation entre anatomie du bois et traits fonctionnels chez 584 espèces d'Afrique tropicale[†]

MORIN-RIVAT Julie[1,2], FAYOLLE Adeline[2], DOUCET Jean-Louis[2], BEECKMAN Hans[1]

[1] Laboratoire de Biologie du Bois et Xylarium, Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tervuren, Belgique
[2] Unité de Gestion des Ressources Forestières et des Milieux Naturels, Laboratoire de Foresterie des Régions Tropicales et Subtropicales, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Gembloux, Belgique
jmorin@doct.ulg.ac.be

Introduction

Les différences anatomiques observées dans le bois ont souvent été mises en relation avec des adaptations évolutives et environnementales (Baas et Miller 1985). Toutefois, les liens entre structure du bois et contraintes écologiques restent peu connus (Endress et al. 2000). En effet, peu d'études ont combiné des approches anatomiques et fonctionnelles. De plus, au regard des travaux antérieurs en écoanatomie du bois, nos connaissances sont très limitées pour les biomes à grande diversité spécifique, en particulier l'Afrique tropicale. Les récents développements relatifs à l'analyse des traits fonctionnels des espèces du Bassin du Congo poussent à tester de nouvelles hypothèses sur ces essences. L'objectif de cette synthèse est de montrer dans quelle mesure les caractères anatomiques d'espèces de la zone guinéo-congolaise sont associés à plusieurs traits fonctionnels majeurs.

Matériel et méthodes

Nous avons utilisé la base de traits fonctionnels CoForTraits laquelle compile les traits de 1236 espèces à partir de données tirées de la littérature et d'observations de terrain (Bénédet et al. 2013). Nous nous sommes concentrés sur cinq groupes de traits impliqués dans la croissance, la survie et la reproduction des plantes : a) la phénologie foliaire, b) le tempérament, c) la dispersion des graines, d) la forme de vie et e) la densité du bois.

Les caractères anatomiques du bois ont été repris de la base de données InsideWood (InsideWood à partir de 2004). Les descriptions anatomiques peuvent en effet être analysées de manière statistique (Wheeler et al. 2007). Les descriptions suivent la liste IAWA de 163 caractères anatomiques (Wheeler et al. 1989). Les présence/absence (p/a) des caractères anatomiques ont été codées de manière binaire (1/0).

Nous avons croisé les bases de données CoForTraits et InsideWood pour obtenir une liste commune de 584 espèces. Nous avons analysé le pourcentage d'occurrence des caractères anatomiques et des traits fonctionnels dans le jeu de données. Nous avons ensuite utilisé une analyse des correspondances multiples (ACM) pour évaluer les relations entre les caractères anatomiques et les traits fonctionnels. Enfin, les covariations ont été calculées entre toutes les variables.

Résultats et discussion

Sur 163 caractères anatomiques, 131 seulement étaient présents et 13 absents. Les caractères absents ou très peu présents représentent soient des variables quantitatives soit des caractères

[†] Ce résumé synthétise les résultats d'un article qui sera soumis prochainement. Les figures ne sont pas définitives et n'ont donc pas été présentées.

typiques des régions tempérées. Les caractères très fréquents sont tropicaux et/ou africains. Plusieurs caractères sont très variables, notamment les cernes de croissance.

Parmi les caractères fréquents (ex. ponctuations ornées) et peu fréquents (ex. perforations scalariformes, cellules en tuile), plusieurs représentent un signal taxonomique soit au niveau de la famille (ex. Malvaceae, Fabaceae), soit au niveau du genre (ex. Strombosia spp.)

Toutefois, de nombreux caractères dénotent un héritage écologique. En effet, il existe une divergence fonctionnelle et anatomique entre a) les grands arbres héliophiles décidus anémochores à bois léger à dense et b) les arbustes sempervirents tolérants à l'ombre zoochores à bois très dense (Gourlet-Fleury et al. 2011 ; Hérault et al. 2011). Les arbres héliophiles possèdent plutôt de grands vaisseaux à éléments courts et à perforation simples, assez souvent des ponctuations ornées, des formes de parenchyme élaborées et des rayons homogènes unisériés parfois étagés. Les arbustes sempervirents, des vaisseaux étroits et nombreux à éléments longs et parfois à perforations scalariformes, peu de parenchyme ou suivant des formes simples et des rayons hétérogènes multisériés.

Ces éléments peuvent être mis en relation avec les stratégies de croissance en hauteur, de compétition pour accéder à la lumière, de durée de vie, d'efficacité vs de sécurité de la conduction hydrique, de résistance à la sécheresse et de colonisation de l'espace (Givnish 2002; Müller-Landau 2004; Santiago et al. 2004; Choat et al. 2005; Holmgren et Poorter 2007; Wheeler et al. 2007; Poorter et Markesteijn 2008; Poorter et al. 2010; Kraft et al. 2010; Maharjan et al. 2011; Fichtler and Worbes 2012).

Conclusion

Ce travail montre que les caractères anatomiques du bois sont liés aux traits fonctionnels impliqués dans la croissance, la survie et la reproduction des plantes. Il démontre que notre approche, laquelle met en exergue l'anatomie du bois, peut être utilisée pour évaluer les stratégies des plantes dans des milieux tropicaux à forte diversité spécifique.

Références

Baas P., Miller. R.B. (1985) Functional and ecological wood anatomy. Some introductory comments, IAWA Bulletin n.s. 6(4), 281–282.

Bénédet F., Doucet J.-L., Fayolle A., Gourlet-Fleury S., Vincke D. (2013) CoForTraits, base de données d'information sur les traits des espèces d'arbres africaines. Version 1.0, http://coforchange.cirad.fr/african_plant_trait.

Choat B., Ball M.C., Luky J.G., Holtum J.A.M. (2005) Hydraulic architecture of deciduous and evergreen dry rainforest tree species from north-eastern Australia, Trees 19, 305–311.

Endress P.K., Baas P., Gregory M. (2000) Systematic plant morphology and anatomy – 50 years of progress, Taxon 49(3), 401–434.

Fichtler E., Worbes M. (2012) Wood anatomical variables in tropical trees and their relation to site conditions and individual morphology, IAWA J. 33(2), 119–140.

Givnish T.J. (2002) Adaptive significance of evergreen vs. deciduous leaves: solving the triple paradox, Silva Fennica 36(3), 703–743.

Gourlet-Fleury S., Rossi V., Réjou-Méchain M., Freycon V., Fayolle A., Saint-André L., Cornu G., Gérard J., Sarrailh J.M., Florès O., Baya F., Billand A., Fauvet N., Gally M., Henry M., Hubert D., Pasquier A., Picard N. (2011) Environmental filtering of dense-wooded species controls above-ground biomass stored in African moist forests, J. Ecol. 99, 981–990.

Hérault B., Bachelot B., Poorter L., Rossi V., Bongers F., Chave J., Paine C.E.T., Wagner F., Baroloto C. (2011) Functional traits shape ontogenetic growth trajectories of rain forest tree species, J. Ecol. 99, 1431–1440.

Holmgren M., Poorter L. (2007) Does a ruderal strategy dominate the endemic flora of the West African forests? J. Biogeogr. 34, 1100–1111.

InsideWood Working Group (à partir de 2004) InsideWood database, http://insidewood.lib.ncsu.edu/welcome.

Kraft N.J.B., Metz M.R., Condit R.S., Chave J. (2010) The relationship between wood density and mortality in global tropical forest data set, New Phytologist 188, 1124–1136.

Maharjan S.K., Poorter L., Holmgren M., Bongers F., Wieringa J.J., Hawthorne W.D. (2011) Plant functional traits and the distribution of West African rain forest trees along a rainfall gradient, Biotropica 43(5), 522–561.

Müller-Landau H.C. (2004) Inter-specific and inter-site variation in wood specific gravity of tropical trees, Biotropica 36, 20–32.

Poorter L., Markesteijn L. (2008) Seedling traits determine drought tolerance of tropical tree species, Biotropica 40, 321–331.

Poorter L., McDonald I., Alarcón A., Fichtjer E., Licona J.C., Peña-Claros M., Sterck F., Villegas Z., Saas-Klaassen U. (2010) The importance of wood traits and hydraulic conductance for the performance and life history strategies of 42 rainforest tree species, New. Phytol. 185, 481–492.

Santiago L.S., Goldstein G., Meinzer F.C., Fisher J.B., Machado K., Woodruff D., Jones T. (2004) Leaf photosynthetic traits scale with hydraulic conductivity and wood density in Panamanian forest canopy trees, Oecologia 140, 543–550.

Wheeler E.A., Baas P., Rodgers S. (2007) Variations in wood anatomy: a global analysis based on the InsideWood database, IAWA J. 28, 229–258.

Wheeler E.A., Baas P., Gasson P.E. (1989) IAWA list of microscopic features for hardwood identification, IAWA Bull. n.s. 10, 219–332.

A05

Structure des couronnes et variation de l'épaisseur et de la surface d'aubier chez l'Angelique de Guyane (Dicorynia guianensis Amsh., Caesalpiniodeae, Fabaceae)

LEHNEBACH Romain[1], BEAUCHENE Jacques[2], AMUSANT Nadine[2], NICOLINI Eric[1]

[1]UMR AMAP – botAnique et bioinforMatique de l'Architecture des Plantes
[2]UMR EcoFoG – Ecologie des Forets de Guyane, Laboratoire des Sciences du Bois
romain.lehnebach@cirad.fr

Mots-clés

Variabilité du profil Aubier-Duramen, Diagnostic des couronnes, Dicorynia guianensis

Introduction

L'Angélique (Dicorynia guianensis Amsh.) représente environ 35% de la production de bois d'œuvre en Guyane. Cependant, la stratégie de duraminisation dite 'tardive' chez cette essence entraîne une grande variabilité de l'épaisseur d'aubier (Fig. 1A) et par conséquent, influence la proportion exploitable de la grume. La relation entre quantité de bois de cœur et diamètre à 1m30 (DBH) (e.g. Carrodus (1972), Wilkes (1991), Pinto et al. (2004), Wang et al. (2010)), ne permet pas une estimation suffisamment précise de la quantité de duramen et/ou d'aubier. A ce jour, très peu d'études mettent en lien la structure de la couronne et/ou le statut social de l'individu avec la quantité de duramen (e.g. Pazdrowski et al. (2009), Nawrot et al. (2008)). Or, une grande diversité de structures des couronnes est observable au sein d'une même classe de diamètre (Fig. 1B).
Ici, nous proposons une méthode visuelle et rapide de diagnostic architectural des arbres permettant d'améliorer l'estimation de la quantité de duramen dans le tronc.

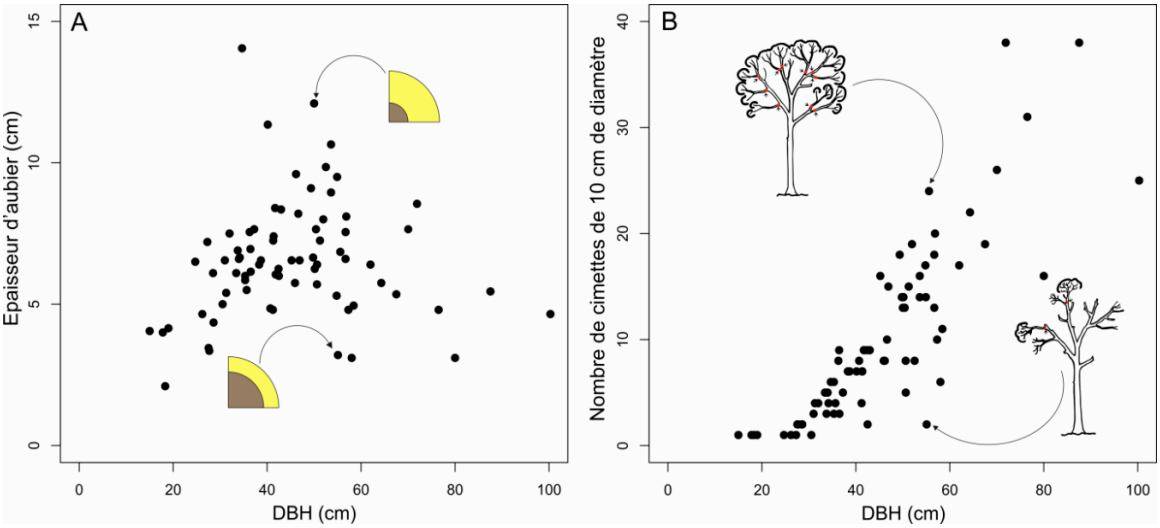


Figure 1 - Epaisseur d'aubier (A) et nombre de cimettes de 10 cm de diamètre (B) en fonction du diamètre à hauteur de poitrine (DBH) chez Dicorynia guianensis.

Matériels & Méthodes

Échantillonnage :
Les individus étudiés proviennent du dispositif expérimental de Paracou (5°18'N, 52°53'W) en Guyane Française.
Les épaisseurs moyennes d'écorce et d'aubier à hauteur de poitrine ont été obtenues par deux carottages diamétralement opposés. Ces mesures ainsi que celle du diamètre ont permis l'estimation

de la surface d'aubier. Un diagnostic architectural a été appliqué à chaque individu échantillonné (Fig. 2). Cette méthode d'évaluation visuelle de la structure de l'arbre repose sur 5 descripteurs à 5 modalités décrivant à la fois la place de l'individu au sein du peuplement (i.e., Position de la couronne et Enlianement) ainsi que sa structuration (Transparence de la couronne, mortalité des charpentières et du tronc (cf. légende Fig. 2 pour plus de détails).

Analyse :
Le lien entre chaque descripteur et l'épaisseur ou la surface d'aubier a été attesté par des modèles de régressions multiples. Chaque descripteur prédictif a été sélectionné par le biais d'une procédure bi-directionnelle pas à pas et par comparaison de l'AIC (Akaike Information Criterion). Afin de supprimer le poids de certaines modalités peu représentées dans l'échantillonnage (i.e CP1 et CP2) et l'effet des faibles diamètres sur l'épaisseur et la surface d'aubier, seuls les arbres présentant un DBH ≥ 40 cm ont été intégrés à l'analyse.

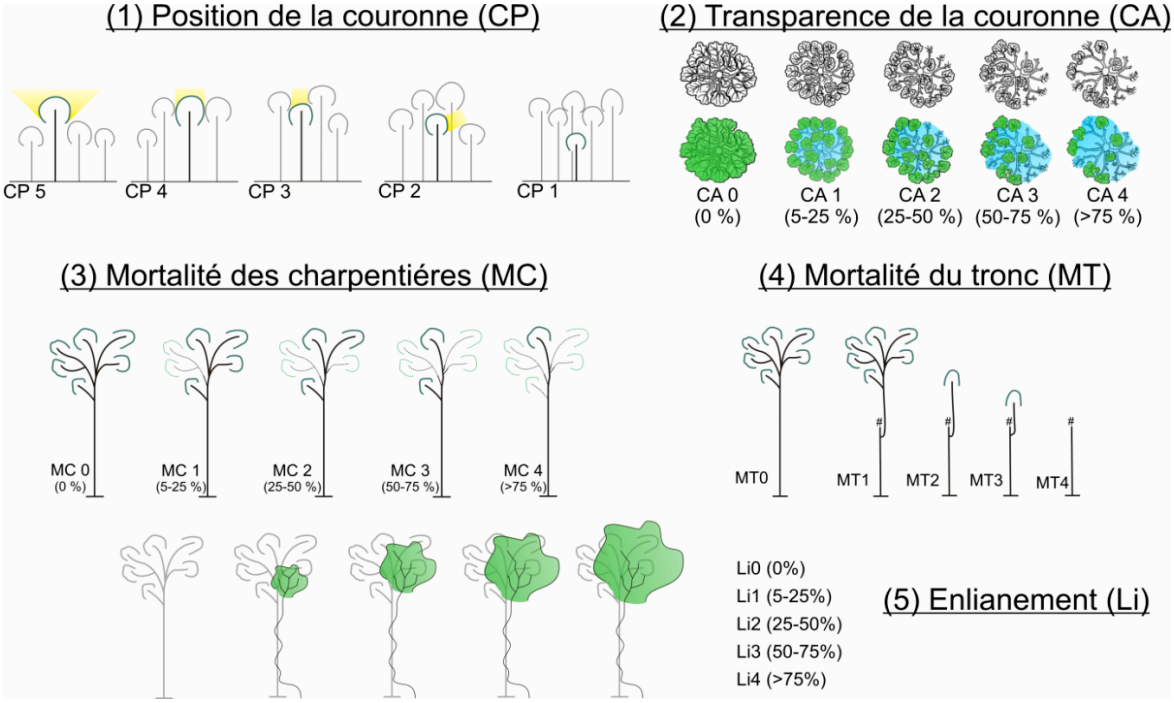


Figure 2 - Détail des descripteurs utilisés lors du diagnostic architectural. (1) La position de la couronne traduit différents degrés d'ensoleillement de cette dernière, cet indice est inspiré par la classification des couronnes de Dawkins (1958). (2) La transparence de la couronne traduit la proportion de la couronne inoccupée par le feuillage. (3) La mortalité des charpentières représente la proportion de charpentières perdues par rapport à la totalité de la couronne. (4) La mortalité du tronc traduit le degré de recouvrement de la structure après décapitation du tronc. (5) L'enlianement est caractérisé par le degré d'occupation des lianes sur la structure.

Résultats & Discussion

On observe une relation négative significative entre les hauts degrés de mortalité des charpentières et l'épaisseur ou la surface d'aubier à hauteur de poitrine (Table 1). Il en est de même pour les hauts degrés de mortalité du tronc (i.e. MT2 et 3 pour l'épaisseur d'aubier et MT3 pour la surface d'aubier). La position de la couronne (CP) ainsi que son ouverture (CA) ou l'enlianement (Li) n'ont pas d'effet sur l'épaisseur et la surface d'aubier. Ces résultats, suggérant que les arbres présentant les couronnes les plus fragmentées ou ayant subi de fort traumatismes présentent une quantité d'aubier plus faible, peuvent être rapproché de la Loi de Shinozaki (1964), affirmant une relation directe entre quantité de feuilles et surface conductrice dans la tige.

Table 1 - Modèles linéaires multiples reliant épaisseur (A) et surface (B) d'aubier aux modalités des descripteurs du diagnostic architectural et au DBH. Pour chaque modalités, l'intercept (Inter.), le coefficient estimé (Est.), l'erreur standard (SE), la valeur de la statistique (t), la p. value (P) ainsi que le niveau de significativité (Sig, * : 0.05 – 0.01 ; ** : 0.01 – 0.001 ; *** : ≤ 0.001) sont donnés. Les modalités non selectionnées par la procédure pas à pas sont notées "-".

A

	Est.	*SE*	*t*	*P*	*Sig.*
Inter.	74.002	3.38	21.892	0.0000	***
$CP_{3\grave{a}5}$	-	-	-	-	
MT_1	**14.974**	6.61	2.265	0.0274	*
MT_2	**-23.504**	11.708	-2.007	0.0495	*
MT_3	**-42.002**	16.481	-2.548	0.0136	*
MC_1	-4.997	4.873	-1.025	0.3096	
MC_2	**-18.346**	5.577	-3.29	0.0017	**
MC_3	**-21.877**	8.745	-2.502	0.0153	*
$CA_{1\grave{a}3}$	-	-	-	-	
$Li_{1\grave{a}3}$	-	-	-	-	
DBH	-	-	-	-	

	Est.	*SE*	*t*	*P*	*Sig.*
Inter.	10640.2	10129.9	1.05	0.2981	
$CP_{3\grave{a}5}$	-	-	-	-	
MT_1	11075	8486	1.305	0.1973	
MT_2	-24928	15178.3	-1.642	0.1062	
MT_3	**-50312.9**	21186	-2.375	0.0211	*
MC_1	-4784.9	6247.9	-0.766	0.4471	
MC_2	**-23995.7**	7334.9	-3.271	0.0019	**
MC_3	**-29406.9**	11215.1	-2.622	0.0113	*
$CA_{1\grave{a}3}$	-	-	-	-	
$Li_{1\grave{a}3}$	-	-	-	-	
DBH	**1610.7**	194.2	8.295	0.0000	***

B

Accorder une attention particulière à la caractérisation de la structure de l'arbre permet de sélectionner les arbres présentant le moins d'aubier et par conséquent le plus de duramen.

Cette étude souligne également l'intérêt d'étudier précisément les relations entre le diamètre de l'arbre et la structuration de la couronne afin de comprendre la variabilité de la quantité de duramen et/ou d'aubier dans le tronc.

Références

Carrodus, B.B. 1972. Variability in the proportion of heartwood formed in woody stems. New Phytologist 71: 713-718.

Dawkins, H.C. 1958. The Management of Natural Tropical High-Forest with Special Reference to Uganda. Imperial Forestry Institute, Oxford 155 p.

Nawrot, M., Pazdrowski, W.& Szymański, M. 2008. Dynamics of heartwood formation and axial and radial distribution of sapwood and heartwood in stems of European larch (Larix decidua Mill.). J. For. Sci. 54: 409-417.

Pazdrowski, W., Szymański, M., Kaźmierczak, K., Nawrot, M.& Mańka, K. 2009. Axial and radial variation of sapwwod and heartwood in stems of common Oak (Quercus robur L.) and selected biometric traits of trees an site fertility. Acta Sci. Pol. Silv. Colendar. Rat Lignar. 8: 31-45.

Pinto, I., Pereira, H.& Usenius, A. 2004. Heartwood and sapwood development within maritime pine (Pinus pinaster Ait.) stems. Trees 18: 284-294.

Rutishauser, E., Barthelemy, D., Blanc, L.& Nicolini, E.-A. 2011. Crown fragmentation assessment in tropical trees: Method, insights and perspectives. Forest Ecology and Management 261: 400-407.

Shinozaki, K., Yoda, K., Hozumi, K.& Kira, T. 1964a. A quantitative analysis of plant form;the pipe model theory,1. Japanese Journal of Ecology 14: 97-105.

Wang, X., Wang, C., Zhang, Q.& Quan, X. 2010. Heartwood and sapwood allometry of seven Chinese temperate tree species. Annals of Forest Science 67: 410-410.

Wilkes, J. 1991. Heartwood development and its relationship to growth in Pinus radiata. Wood Science and Technology 25: 85-90.

A06

Des grosses cellules à paroi fine aux petites cellules à parois épaisses : comment les processus de la xylogénèse forment la structure du cerne chez les conifères

CUNY Henri[1], RATHGEBER Cyrille[1], FOURNIER Meriem[2]

[1] INRA,UMR 1092 LERFOB, F-54280 Champenoux,France
[2] AgroParisTech, UMR 1092 LERFOB, F-54000 Nancy, France
henri.cuny@nancy.inra.fr

Introduction

L'anatomie du bois est porteuse de traits fonctionnels clés qui influencent la performance et la survie de l'arbre (Chave et al 2009). C'est l'activité de formation du bois, la xylogénèse, qui forme l'anatomie du bois. Les nouvelles cellules du bois sont produites par l'activité du cambium vasculaire, puis suivent deux processus successifs de différenciation (élargissement cellulaire, formation de la paroi secondaire) qui leur donnent leur forme finale et fonctionnelle. Ici, nous voulons comprendre comment la différenciation des cellules du xylème crée les changements dans la morphologie des cellules et la densité du bois typiquement observés le long des cernes de conifères (Fig. 1).

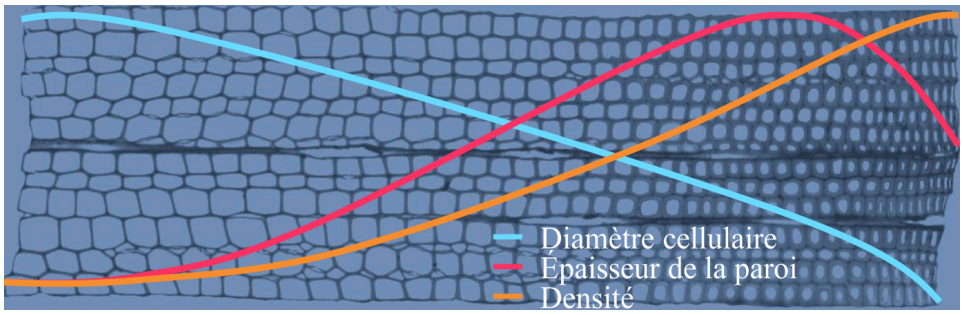


Fig. 1 : Evolution du diamètre des celllules, de l'épaisseur de la paroi et de la densité du bois typiquement observée le long du cerne des conifères.

Matériels et méthodes

La xylogénèse a été suivie à un pas de temps hebdomadaire pendant 3 ans (2007 – 2009) pour 45 arbres de 3 espèces de conifères (sapin pectiné, épicéa commun et pin sylvestre) dans les Vosges. Pour cela, des petits échantillons de bois (microcarottes) ont été prélevés chaque semaine, d'avril à novembre, sur le tronc des arbres sélectionnés. À partir des échantillons, des sections anatomiques ont été réalisées pour observer la formation du bois en microscopie optique. Nous avons ensuite calculé la durée et la vitesse de l'élargissement cellulaire et du dépôt de la paroi pour chaque cellule le long du cerne. La dimension finale des cellules et la densité du bois ont été mesurées à la fin de chaque saison de croissance. Nous avons alors pu estimer les contributions relatives de la durée et de la vitesse des processus sur les changements dans la morphologie des cellules et la densité du bois le long du cerne.

Résultats

Les changements dans le diamètre des cellules le long du cerne étaient majoritairement expliqués par les changements dans la durée de l'élargissement cellulaire (Fig. 2). En retour, les changements dans le diamètre des cellules étaient les principaux déterminants des changements dans l'épaisseur de la paroi : le long du cerne, l'épaisseur de la paroi augmentait avant tout parce que la surface à tapisser (c'est-à-dire la taille des cellules) diminuait. La variation de l'épaisseur de la paroi n'était

expliquée qu'en second lieu par les changements dans la quantité de paroi déposée, qui dépendaient eux-mêmes autant de variations dans la durée que dans la vitesse de dépôt du matériel pariétal.

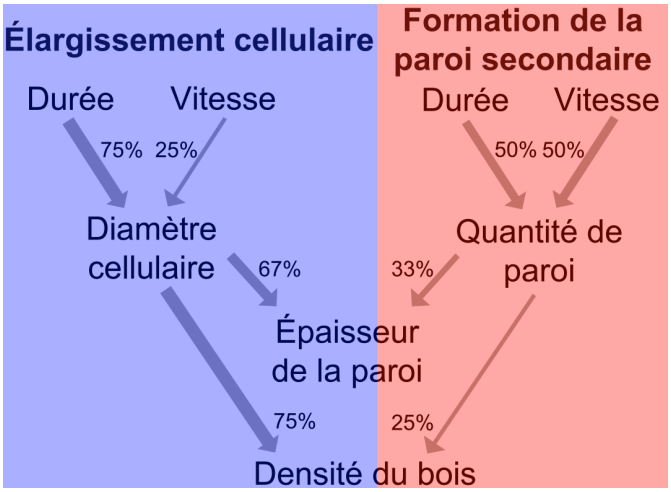


Fig. 2 : Contribution des différents paramètres de la xylogénèse aux changements dans la morphologie des cellules et la densité du bois le long du cerne.

Discussion et conclusion

Pour la première fois, cette étude dévoile une image compète des mécanismes par lesquels la dynamique de la xylogénèse donne forme à la structure du cerne. La durée de l'élargissement ressort notamment comme un aspect clé de la dynamique vis-à-vis de son influence cruciale sur la structure du cerne : elle influence la forme globale des cellules (diamètre et épaisseur de paroi), pilotant ainsi les changements dans la densité du bois et la transition du bois initial au bois final. La durée des processus est plutôt associée à un contrôle génétique, alors que la vitesse serait reliée au métabolisme, qui reflète le statut physiologique de la plante ainsi que l'influence de l'environnement (Sundberg et al 2000). Nos résultats suggèrent donc que chez les conifères, la structure du cerne est fixée génétiquement plutôt que pilotées par les changements saisonniers de l'environnement.

Références

Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S.L., Swenson, N.G., Zanne, A.E. (2009) Towards a worldwide wood economics spectrum. Ecology Letters 12, 351-366.

Sundberg, B., Uggla, C., Tuominen, H. (2000) Cambial growth and auxin gradients. In Cell and molecular biology of wood formation (Savidge, R., Barnett, J.R. and Napier, R. eds). Oxford, UK: BIOS Scientific Publishers Ltd., pp. 169-188.

A07

L'influence de quelques propriétés physiques et chimiques de bois de deux espèces de chêne algérien sur le rendement en fibres cellulosiques obtenues par procédés kraft et organosolv

HADDADOU Imane [1, 2], ALIOUCHE Djamel [2], BROSSE Nicolas [3], AMIROU Siham [1]

[1] Unité de Recherche : Matériaux-Procédés & Environnement (UR-MPE)
[2] Laboratoire de Traitement et Mise en Forme des Polymères (LTMFP)
Université M'hamed Bougara, 35000, Boumerdes Algérie
[3] Laboratoire d'Études et de Recherche sur le Matériau Bois (LERMAB)-Université de Lorraine, Boulevard des Aiguillettes BP 70239, 54506 Vandœuvre-lès-Nancy, France
haddadou.imane@umbb.dz; haddadou.imane@gmail.com

Introduction

La cellulose est la substance organique renouvelable la plus abondante sur terre et est devenue l'une des matières premières industrielles les plus importantes avec une production naturelle estimée à $1{,}5.10^{12}$ tonnes par an (Chuan-Fu Liu et al, 2010 ; Rob Nagel, 2001). Les principales sources de ce polymère naturel sont les fibres végétales (coton, chanvre, lin, jute etc.) et le bois (environ 42 % de cellulose). Étant le composant principal de la paroi cellulaire des végétaux, la cellulose est de plus en plus utilisée dans différents secteurs industriels tel que l'industrie papetière, pharmaceutique et agroalimentaire (Rob Nagel, 2001).

Au cours des dernières années, de nouvelles technologies ont été développées afin d'isoler une cellulose très pure et d'améliorer les processus de fabrication de pâtes cellulosiques traditionnelles. Le procédé alcalin ou Kraft, le plus répandu actuellement dans l'industrie papetière, est un procédé chimique utilisant un mélange de soude caustique (NaOH) et de sulfure de sodium (Na_2S). Cependant, pour des raisons environnementales, le développement de nouvelles méthodes à bases de solvant (en général éthanol ou méthanol), appelés Organosolv, serait souhaitable.

La valorisation des déchets de biomasse issus des forêts ou du secteur de l'industrie du bois afin d'extraire des produits énergétiques ou chimiques présente un atout environnemental indéniable. À cet effet, cette étude a pour objectif de déterminer le potentiel de deux espèces de chênes algériens d'être utilisés comme matière première pour la production de fibres cellulosiques par deux procédés chimiques (kraft et organosolv).

Serait-il possible que le rendement en pâte soit dépendant des facteurs de variation de qualité liés à la densité, l'anatomie et la composition chimique du bois ? *Question* à laquelle ce travail se propose de répondre.

Matériel et méthodes

Le matériel expérimental est constitué de deux espèce de chêne algérien : chêne zeen (*Quercus Canariensis*) et le chêne afares (*Quercus Afares*). Pour chaque espèce, des éprouvettes normalisées ont été extraites des arbres échantillonnés et soumises aux essais de qualification définis par les normes suivantes : humidité (NF B51-004), retrait et densité (NF B51-006), taux de lignine (ASTM D 1106-84) (ASTM 1998b), taux d'holocellulose (Wise et al., 1946), taux de α-cellulose (Orwell, 1984), taux d'extractibles (ASTM D 1107-96) (ASTM 1998a) et enfin taux de cendres (TAPPI T211 om-93).

Résultats et discussion

Le chêne zeen présente une valeur d'infra-densité légèrement plus importante que celle observée chez le chêne afares. Ce dernier est caractérisé par un bois moins nerveux à une croissance plus lente, et une teneur en lignine et hémicelluloses plus élevée (Tab. 1 et Fig. 1).

Le procédé Kraft produit une pâte dont le rendement à la cuisson est supérieur à celui obtenu par procédé organosolv. Ainsi, avec un tel procédé l'indice kappa obtenu est moins élevé et donc moins de lignine résiduelle. En comparant les deux espèces, le rendement le moins élevé et la teneur la plus faible en lignine résiduelle sont observés pour le chêne afares (Fig .2). Le résultat obtenu dans cette étude confirme les résultats obtenus par Miranda et al (2002) et appuie l'hypothèse portant sur la relation entre la densité et le rendement en pate cellulosique.

Tab. 1 : Quelques propriétés physiques et chimiques du bois de chéne zeen et afares.

	Infra-densité (g/cm^3)	**Composition chimique (%)**								
		Holocellulose	Cellulose	Hémicellulose	Lignine	Extractible	Cendre	Sucres		
								Glucose	Xylose	Mannose
Chêne zeen	0,725 (0,026)	69.07 (0.38)	39.40 (0.40)	29.67 (0.02)	19.37 (0.29)	8.63 (0.03)	2.93 (0.01)	41.81	6.23	15.76
Chêne afares	0,716 (0,028)	68.89 (0.23)	38.06 (0.33)	30.83 (0.07)	20.13 (0.42)	7.26 (0.01)	3.36 (0.01)	57.85	25.87	2.47

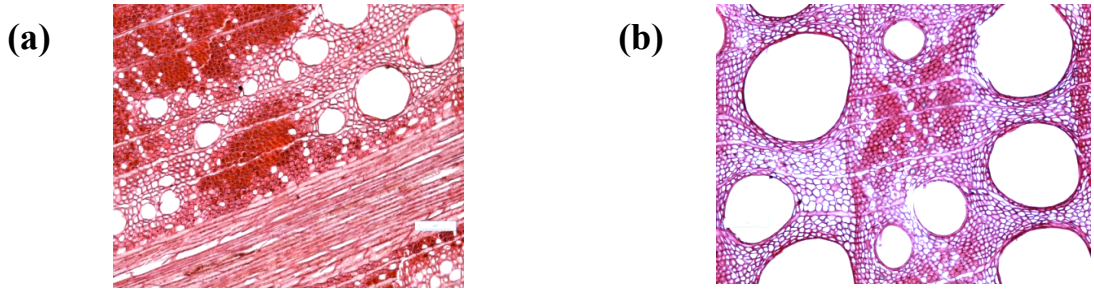


Fig. 1 : Coupe transversale du bois de chéne zeen (a) et afares (b) montre la présence d'une zone initiale poreuse (les vaisseaux du bois initial sont plus gros que ceux du bois final)

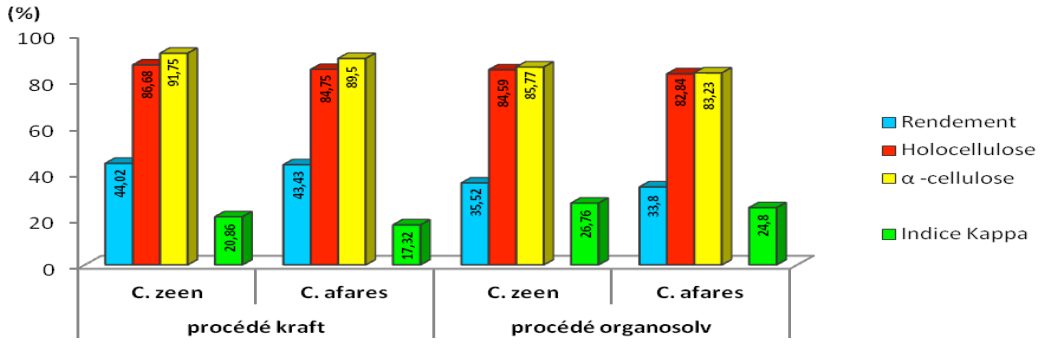


Fig. 2 : Rendement, composition chimique et indice kappa de la pate kraft et organosolv

Références

Chuan-Fu Liu et Run-cang Sun. (2010) Chap. Cellulose. Cereal straw as a resource for sustainable biomaterials and biofuels : Chemistry, extractives, lignins, hemicelluloses and cellulose.

I. Miranda et H. Pereira. (2002) Variation of pulpwood quality with provenances and site in *Eucalyptus globules*. Ann. For. Sci. 59, 283–291.

Rob Nagel. (2001) U-X-L encyclopedia of science. 2nd ed. Rob Nagel editor.

A08

Modélisation du comportement au feu des panneaux en bois contrecollés avec adhésifs de nouvelle génération

FRANZONI Lorenzo[1-2], FORET Gilles[1], LEBEE Arthur[1], LYON Florent[2]

[1]Laboratoire Navier – ENPC/IFSTTAR/CNRS
[2]Centre Scientifique et technologique du Bâtiment
lorenzo.franzoni@enpc.fr

Mots-Clés

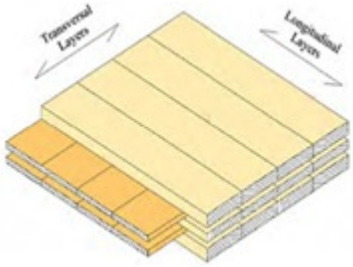
Bois contrecollé, résistance au feu, adhésifs de Polyuréthane

Introduction

Le bois contrecollé (CLT – Cross Laminated Timber) est un élément de structure très utilisé dans les dernières années. En tant que nouveau produit, il est nécessaire d'établir des principes de dimensionnement à froid et aussi à chaud (en situation d'incendie) dans le cadre réglementaire français. Jusqu'à présent peu d'études ont été conduites sur ce sujet, en particulier sur les panneaux CLT collés avec des adhésifs à base de Polyuréthane (PU).

Comportement à froid

Le bois contrecollé a de nombreuses applications: comme plancher, mur, toiture ou pour l'entière structure porteuse (Fig.1). Donc il peut être soumis à différents sollicitations, par exemple flexion (plaque), effort critique de flambement ou cisaillement. Les caractéristiques de l'élément influencent son comportement structurel, par exemple la présence d'un joint de connexion dans la zone soumise à traction d'un élément en flexion peut faciliter la fissuration et la rupture (Fragiacomo et al 2012, Willinder 2009).



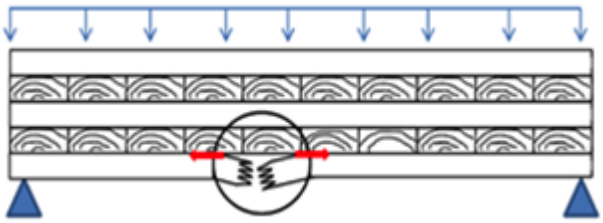


Fig. 1 Panneau en bois contrecollé et ses utilisations Fig.2 Rupture en traction du CLT

Ensuite, les dimensions de l'élément CLT – nombre de couches et longueur – influencent fortement la distribution des contraintes de cisaillement. Les études menées sur ce sujet ont démontré que des ruptures fragiles dues aux contraints de cisaillement sont à prévoir, même si les contraintes sont habituellement faibles (Fellmoser 2004).

Comportement en situation d'incendie

Les normes européennes en vigueur (Eurocode 5 2004) prescrivent le dimensionnement au feu des éléments CLT sur la base de leur vitesse de carbonisation pendant l'exposition au feu. Par conséquent on doit utiliser la section réduite par la carbonisation (Fig.3) pour le calcul de la résistance structurelle.

La méthode de la section réduite est basée sur des simplifications qui parfois ont été mises en doute (Konig et al 2010) et qui ne prennent pas en considération la typologie d'adhésif utilisée. En effet les produits CLT collés avec les adhésifs traditionnels à base de Formaldéhyde montrent un

comportement au feu indépendant de l'adhésif et semblable à celui du bois massif (Frangi et al 2009). Cependant, ces adhésifs traditionnels ont le coût, la difficulté de mise en œuvre et l'impact environnemental plus élevés par rapport aux adhésifs à base de Polyuréthane (PU). En revanche, pour les produits réalisés avec les adhésifs PU, on a démontré qu'à température élevée les couches de bois se détachent et la vitesse de carbonisation augmente (Frangi et al 2009). Effectivement les adhésifs PU se liquéfient et la couche carbonisée se détache en laissant les autres à l'exposition du feu (Fig.4). Toutefois, les mêmes études ont souligné que le phénomène de détachement à haute température ne semble pas exercer une influence significative sur la résistance structurelle, qui reste à vérifier.

Fig.3 Section réduit du CLT après l'essai au feu

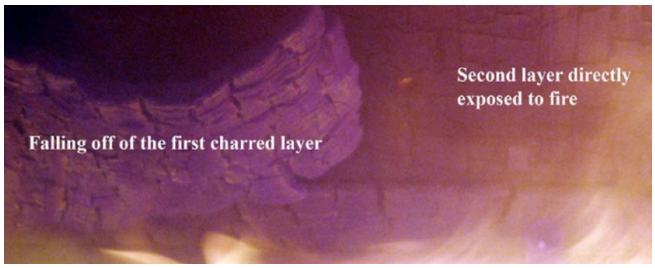


Fig.4 Détachement des couches dans le CLT – PU exposés au feu

Projet de recherche

Le projet de recherche ici présenté vise à proposer des modèles sûrs et fiables pour le dimensionnement des panneaux CLT à froid et à chaud à travers des essais expérimentaux et des modélisations numériques. Pour les raisons qu'on vient de mentionner, on accordera une attention particulière aux produits réalisés avec les adhésifs PU en analysant la résistance mécanique sous charge durant et après l'exposition au feu.

La thèse *Modélisations et expériences sur matériaux et structures hétérogènes multicouches* a été pensée pour développer ce projet de recherche. Cette thèse se déroule avec un partenariat entre le CSTB-Champs-sur-Marne et le Laboratoire Navier-ENPC/IFSTTAR/CNRS et son début est prévu le 4 Novembre 2013.

Références

Fragiacomo M., Menis A., Clemente I., Bocchicchio G., Tessadri B. (2012) "Experimental and numerical behavior of cross-laminated timber floors in fire conditions" 13th WCTE, July 2012 Auckland, New Zealand

Willinder P. (2009) "Fire resistance in cross-laminated timber" Bachelor Thesis, Tekniska Hogskolan, Sweden 2009

Fellmoser P., Blass, H.J. (2004) "Influence of rolling shear modulus on strength and stiffness of structural bonded timber elements" 37th International Council for Research and Innovation in Building and Construction, August 2004 Edinburgh, UK

EN1995-1-2 Eurocode5 (2004) :DesignofTimberStructures, Part1-2:General – Structural Fire Design, CEN, Brussel 2004

Schmid J., Konig J., Kohler J. (2010) "Fire-exposed cross laminated timber – Modelling and tests" 11th WCTE, June 2010 Riva del Garda, Italy

Frangi A., Fontana M., Hugi E., Jobstl R. (2009) "Experimental analysis of cross laminated timber panels in fire" Fire safety journal, 44(8): 1078-1087, 2009

A09

Modélisation des contraintes hydromécanique dans le bois de structure

NGUYEN Sung-Lam[1,2], MOUTOU PITTI Rostand[1,2], DESTREBECQ Jean-François[1,2]

[1]Blaise Pascal Université, Institut Pascal, BP 10448, F-63000 CLERMONT-FERRAND,
[2]CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, F-63171 AUBIERE, France
Sung-Lam.NGUYEN@ifma.fr

Mots clés

Bois Massifs Reconstitué, séchage, mécanosorption, modélisation

Résumé

Le bois est un matériau hygroscopique très sensible à la variation du taux d'humidité (Navi & Heger 2005). Les variations dimensionnelles induites lors de phases d'humidification et de séchage naturel ou artificiel peuvent induire des contraintes internes et des déformations importantes dans les éléments structuraux (Omarsson et al. 1998). Le contrôle et la connaissance du phénomène de séchage sont donc indispensables pour valorisation de ce matériau en structure. Seulement, pendant la phase de séchage du bois sous la contrainte, en plus des déformations élastiques et celles dues au retrait, on ajoute les déformations hygro-verrou (Gril 1988, Husson et al. 2011). La prise en compte de l'ensemble de ces effets apparaît indispensable pour la compréhension du comportement complexe du bois.

Ainsi, une relation sous forme incrémentale en contrainte et en déformation est établie en se basant sur l'hypothèse de partition de la déformation. Même si l'expression de la déformation hygro-verrou dans la phase d'humidification et de séchage est différente, le comportement final est similaire à une loi de comportement de thermo-élastique résumée ci-dessous :

$$\{\Delta\sigma\} = [\eta]\{\Delta\varepsilon\} - \{\xi\} \qquad [1]$$

Dans le cas du séchage les paramètres de l'équation (1) s'écrivent :

$$[\eta] = [a(w)] \quad \text{et} \quad \{\xi\} = [a(w)]\{\Delta\varepsilon_w\} \qquad [2]$$

où $[a(w)]$ est la matrice de rigidité élastique orthotrope du matériau pour l'humidité w.

Dans le cas de l'humidification on obtient :

$$[\eta] = [a(w+\Delta w)] \quad \text{et} \quad \{\xi\} = [a(w+\Delta w)](\{\Delta\varepsilon_w\} + \{\psi\}) \qquad [3]$$

où :

$$\{\psi\} = \left([a(w+\Delta w)]^{-1} - [a(w)]^{-1}\right)\left(\{\sigma(w)\} - [a^*(w)]\{\varepsilon_{HL}(w)\}\right) \qquad [4]$$

$[a^*]$ est la matrice de rigidité fictive qui prend l'expression suivante :

$$[a^*] = \left[[a(\overline{w})]^{-1} - [a(w)]^{-1}\right]^{-1} \qquad [5]$$

Une application de ce modèle pour le cas 2D du bois massif reconstitué (BMR) qui subit des cycles de séchage-humification oscillant entre 6% et 18%, est présentée. Le BRM est composé des lamelles de dimensions de 80x200 mm, prélevées dans diverses parties d'une grume et contrecollées selon différentes configurations (Fig. 1 (b) et Fig. 2 (b)). Le modèle analytique, couplant les variations hydriques et les effets mécanosorptifs en milieu orthotrope est implémenté dans le code de calcul aux éléments finis CAST3M. Les contraintes sont présentées en fonction du degré d'orthotropie et de différentes configurations de collage.

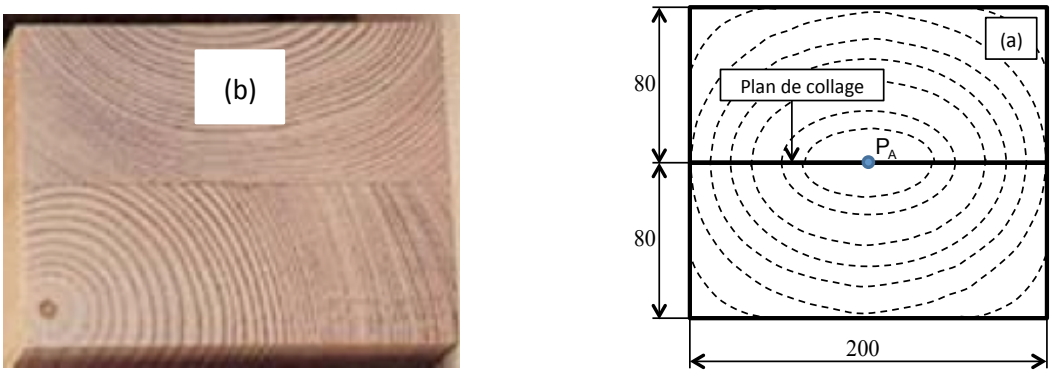


Fig. 1 : Eléments massifs DUO à modélisé (a) et réel (b).

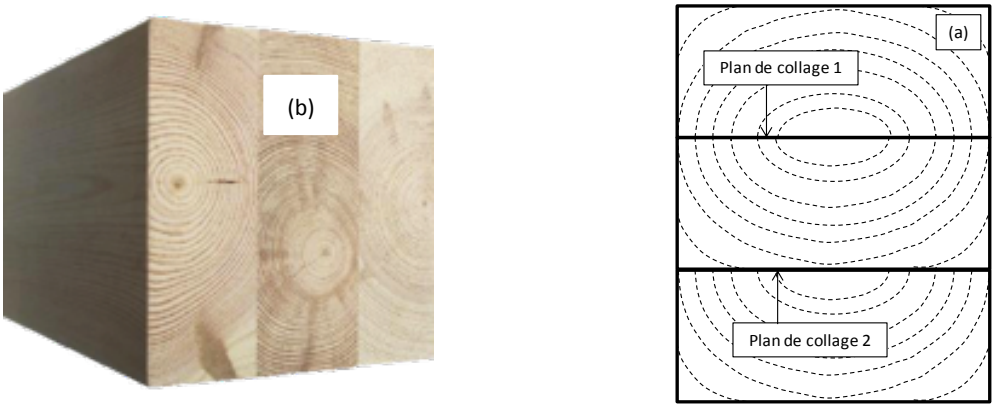


Fig. 2 : Eléments massifs TRIO à modélisé (a) et réel (b).

Les simulations permettent d'évaluer les contraintes internes dans les plans de collage selon différentes hypothèses d'assemblage (Fig. 1 (a) et Fig. 2 (a)). On justifie ainsi la capacité du modèle à prédire le comportement des BMR. En définitive, ces résultats permettent de comprendre et d'analyser l'évolution des contraintes et des déformations différées dans les BMR et de prévenir ainsi les désordres dans les structures en bois contrecollé et de favoriser leur durabilité en service.

Références

Navi P., Heger F. (2005) Comportement thermo-hydromécanique du bois, Edition Presses polytechniques et universitaires romandes CH-1015 Lausanne

Omarson, S., Dahlblom, Petersson, H., Numerical (1998), study of the shape of Sawn timber subjected to moisture variation, Part 1 : Theory , Wood Science and Technology, vol. 32, p. 325-334.

Gril J., (1988), une modélisation du comportement hygro-rhéologie du bois à partir de sa microstructure, Thèse de doctorat de l'université Paris 6.

Husson, J.M., Dubois, F. Sauvat, N., (2011), A finite element model for shape memory behaviour, Mechanics of Time-Dependent Materials, vol. 15, p. 213-237.

A10

Propagation de fissure en mode I dans une éprouvette en bois par mesures de champs sans contact et approche numérique

LACHHAB Abdelmonem[1], MOUTOU PITTI Rostand[2,3], TOUSSAINT Evelyne[2,3], GREDIAC Michel[2,3]

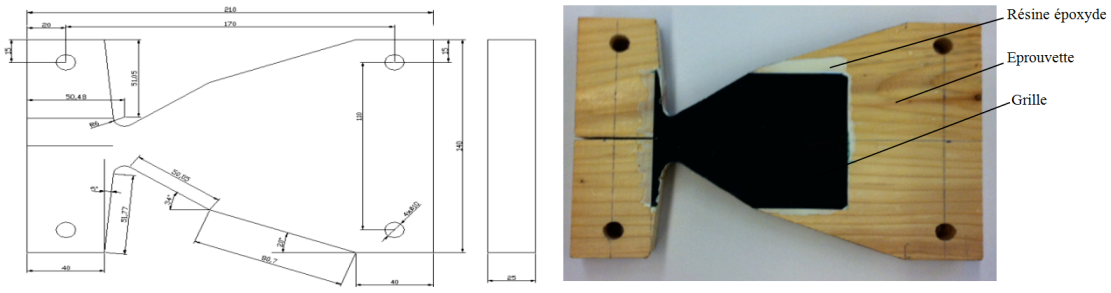
[1]Université Rennes 1, LARMAUR ERL CNRS 6274, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes
[2] Université Blaise Pascal, Institut Pascal, BP 10448, 63000 Clermont-Ferrand
[3]CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, 63171 Aubière
evelyne.toussaint@univ-bpclermont.fr

Introduction

Les effets des sollicitations climatiques variables, combinés à des chargements mécaniques complexes, entraînent dans certaines structures en bois des fissurations et parfois une rupture brutale. Afin de mieux comprendre les phénomènes commandant l'amorçage et la propagation de la fissure, un essai de fissuration en mode I à température et humidité ambiante sur une éprouvette en bois est mené. La technique de la grille (Badulescu et al 2009) est utilisée pour obtenir des cartographies de déplacement autour de la pointe de fissure. Ce travail est complété par une prédiction numérique de l'évolution du front de la fissure.

Montage expérimental

Le matériau testé est en bois de châtaignier. Le schéma de l'éprouvette est présenté sur la Fig.1-a. Cette géométrie est inspirée de l'éprouvette DCB (Double Cantilever Beam) et de l'éprouvette CTS (Compact Tension Shear) (Moutou Pitti et al., 2011). Une grille croisée de pas p = 200 µm est collée sur la surface de l'éprouvette contenant la zone de propagation de la fissure (Fig. 1-b). L'éprouvette est sollicitée en mode I au moyen d'une machine de traction Zwick/Roel de capacité 20 kN. La vitesse de déplacement du mors mobile est fixée à 0.005 mm/s. La fréquence d'acquisition de la caméra de capteur sCMOS de dynamique 2650 x 2160 pixels est de 100.92 images/s. Afin de minimiser le bruit, les images sont moyennées sur 32.



(a) (b)

Fig. 1 : Schéma de l'éprouvette testée en mode I.

Afin d'éliminer davantage le bruit numérique des images, elles sont filtrées au moyen d'un filtre numérique de type Sobel.

Résultats et analyses

Après application des différents filtres, la pointe de fissure est facilement détectable à partir des champs de déplacements. La Fig. 2 présente alors l'évolution de la longueur de fissure en fonction du temps. La zone 1 correspond à la mise en place de l'éprouvette chargée, où la fissure reste quasiment statique. La zone 2 présente une un fort gradient traduisant un avancement rapide de la

fissure. La zone 3 correspond à une propagation stable de la fissure. Enfin, la zone 4 traduit la ruine de l'éprouvette. Ces résultats permettent de déterminer l'évolution du taux de restitution d'énergie G en fonction de la longueur de fissure. Il est calculé en utilisant la méthode de la complaisance et la méthode énergétique.

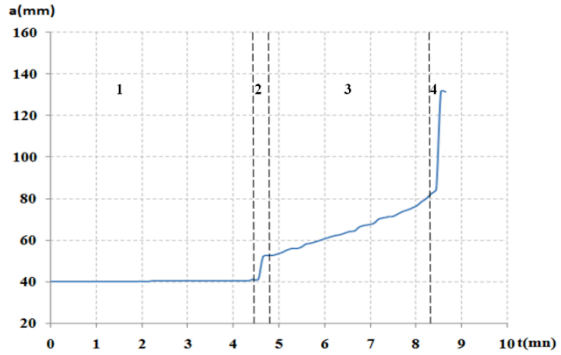


Fig. 2 : Évolution de la longueur de fissure en fonction du temps.

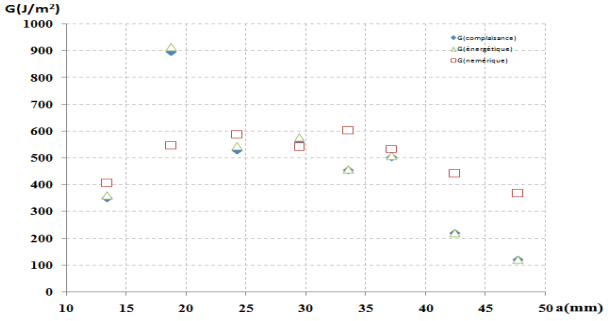


Fig. 3 : Taux de restitution d'énergie

Le taux de restitution d'énergie est également déterminé au moyen d'un modèle numérique développé sous Castem. Trois procédures ont été implémentées dans le code de calcul : la procédure du champ θ, la procédure des travaux virtuels et la procédure Mθ (Moutou Pitti et al. 2008).

La Fig. 3 présente le taux de restitution d'énergie obtenu expérimentalement et numériquement. Les résultats montrent la même tendance et le même ordre de grandeur pour G, sauf au début de l'essai où la présence d'un nœud nécessite de fournir une énergie plus importante pour assurer l'avancement de la fissure. A la fin de l'essai, le taux expérimental est plus faible que le taux numérique. Ceci est lié à l'avancement rapide de la fissure. D'autres paramètres comme la mauvaise prise en compte des conditions aux limites, de l'orientation des fibres ou des caractéristiques mécaniques du bois peuvent induire des biais dans le calcul numérique.

Conclusion

Ce travail original a permis de mettre en œuvre une méthode d'imagerie quantitative originale afin de caractériser la propagation de fissure dans une éprouvette en bois sollicitée en mode I. Les résultats ont été comparés avec succès à une modalisation numérique. Ces travaux ouvrent de nouvelles perspectives dans la caractérisation du comportement en fissuration du matériau bois, pour des sollicitations plus complexes telles que le mode mixte par exemple.

Références

Badulescu C., Grédiac M, Mathias J.-D. (2009) Investigation of the grid method for accurate in-plane strain measurement, Measurement Science and Technology, vol. 20, issue 9, article number 095102

Moutou Pitti R., Dubois F., Pop O. (2011) A proposed mixed-mode fracture specimen for wood under creep loadings, International journal of fracture, vol. 167, issue 2, pages 195-209.

Moutou Pitti R., Dubois F., Sauvat N., Pop O. (2008) A new integral parameter for Mixed modes crack growth in viscoelastic orthotropic media, Engineering Fracture Mechanics, vol. 75, issue 15, pages 4450-4465.

A11

Influence de l'humidité relative de l'air sur la fissuration du bois : essais et calcul numérique

PHAN Ngoc Anh[1], CHAPLAIN Myriam[1], MOREL Stéphane[1]
[1]Université Bordeaux 1, I2M/GCE, 351 cours de la libération-33405 Talence cedex France
na.phan@i2m.u-bordeaux1.fr

Introduction

Le bois est un matériau dont les propriétés mécaniques (élastiques, visqueuses, rupture...) sont liées aux conditions d'exposition (humidité relative HR de l'air, température) et à leurs variations. Aujourd'hui, de plus en plus d'études sur les structures bois se concentrent sur les effets des variations climatiques sur leurs durées de vie (Foschi et al 1982, Gustafsson et al 1998, Chaplain et al 2011). Notre étude porte sur l'étude de l'influence de l'humidité sur l'évolution et/ou la propagation de fissure ainsi que sur le champ des contraintes au voisinage du fond de fissure. Dans un premier temps, des essais de propagation de fissure en mode I sur le pin Maritime ont été réalisés sur des éprouvettes «mTDCB» (modified Tapered Double Cantilever Beam) sous des chargements monotones pour déterminer les paramètres du critère de la propagation de la fissure (courbe-R) à diverses teneurs en eau moyenne H. Dans un second temps, des éprouvettes mTDCB sont soumises à des chargements constants sous des variations de HR et à température constant en étuve.

Essais monotones et courbe de résistance (courbe-R)

Dans le cas des essais monotones, l'évolution de la courbe-R correspond à l'évolution du taux de restitution d'énergie $G(a)$, énergie stockée dans la structure: $G_R(a) = G(a)$. La vitesse des essais est de 1 mm/min pour les teneurs en eau H=12% ou 8% et 2 mm/min pour H=30%, teneur supposée de saturation H_{sat}, afin d'obtenir une durée des essais d'environ 3 minutes pour minimiser les effets viscoélastiques. Le dispositif d'acquisition enregistre le déplacement des points d'application de la charge à l'aide d'un capteur optique (Fig.1). Les résultats des essais (courbe force - déplacement) sont traités pour obtenir les courbe-R estimées sur la base de la MLER équivalente (Mécanique Linéaire Elastique de la Rupture équivalente).

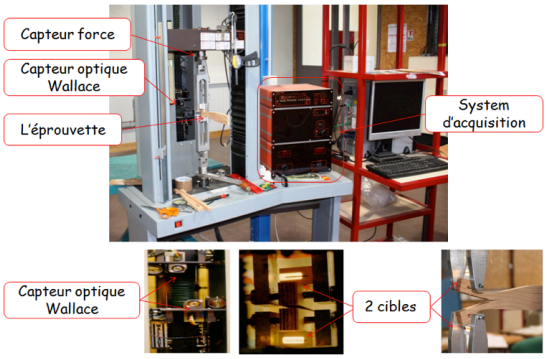


Fig. 1 : Le dispositif de l'essai monotone

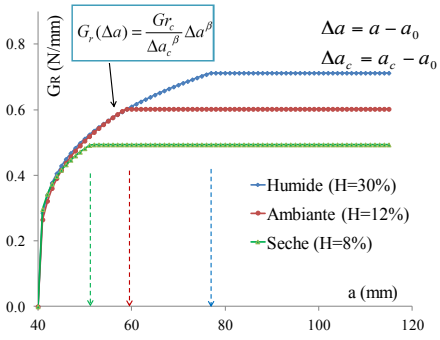


Fig. 2 : Courbes-R moyennes à 3 teneurs en eau H

Sur la Fig. 2, on constate que la résistance à la propagation de fissure $G_R(a)$ devient indépendante de la longueur de fissure a lorsque celle-ci atteint une valeur critique a_c correspond à la longueur pour laquelle apparaît la résistance plateau G_{Rc} (Morel et al 2005). On observe également sur la figure 2 que G_{Rc} est le plus élevé dans un environnement humide et que les parties croissantes des courbes-R se superposent quelque soit la teneur en eau H : seules G_{Rc} et a_c semblent dépendre de H. Par la suite, les courbes-R pour d'autres teneurs en eau H ($6\%<H<H_{sat}$) sont obtenues en déterminant G_{Rc} *et* a_c par régression linéaire grâce aux G_{Rc} et a_c connues à H=8%, 12% et 30%.

Essai de fluage : propagation de la fissure sous HR variables

Des essais de propagation de fissure en fonction de l'humidité sont réalisés dans une enceinte climatisée où la température est maintenue constante à 20°C et l'humidité relative est alternée chaque 3h entre 40 % et 90% (Fig. 3). La charge appliquée à l'éprouvette est constante et égale à 85% de la charge à rupture obtenue sur une éprouvette jumelle, taillée face à face, testée sous charge monotone. Cette jumelle est déposée sur une balance placée au sein de l'enceinte pour mesurer l'évolution de la masse d'eau durant l'essai. L'évolution de la fissure est enregistrée tous les 5 minutes par une caméra et sa longueur est obtenue par analyse d'images. La difficulté à distinguer le fond de fissure réelle entraine des perturbations sur la détermination des évolutions de la fissure.

Analyse élément finis : propagation fissure sous H variable

Les résultats expérimentaux de fluage sont ensuite comparés avec ceux issus de la simulation numérique par éléments finis (EF). Lors du calcul EF, à chaque instant, les caractéristiques élastiques et de ruptures dans l'éprouvette varient en fonction de l'humidité relative (Chaplain et al 2011). Le taux de restitution d'énergie $G(a,H)$ est calculé par la méthode J-intégral dans la zone singulière au fond de la fissure. On impose virtuellement à la fissure un incrément de δa et l'on calcule l'énergie $G(a+\delta a,H)$. En utilisant les valeurs de la courbe R, un critère de propagation est défini. L'évolution de la longueur de fissure expérimentale et celle numérique ont des allures similaires bien que non confondues (Figure 4). Les différences peuvent être dues : (i) à une fonction de transfert unidirectionnel simple qui ne prennent pas en compte l'effet du gradient d'humidité (succession d'états d'équilibres) ; (ii) aux propriétés de viscosité dans l'éprouvette ne sont pas non plus abordées; (iii) au critère de propagation de fissure qui s'appuie sur les propriétés des courbes-R (mode I) à diverses humidités : on n'a que des courbes-R pour 3 teneurs en eau (8%; 12% et 30%) et puis les courbes-R pour les teneurs en eau intermédiaires sont obtenues par interpolation linéaire de G_{Rc} et a_c.

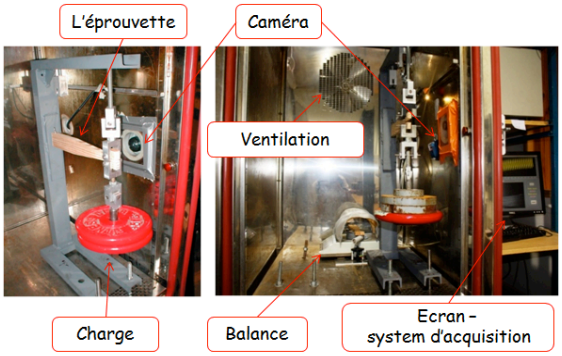


Fig. 3 : Dispositif de l'essai dans l'étuve

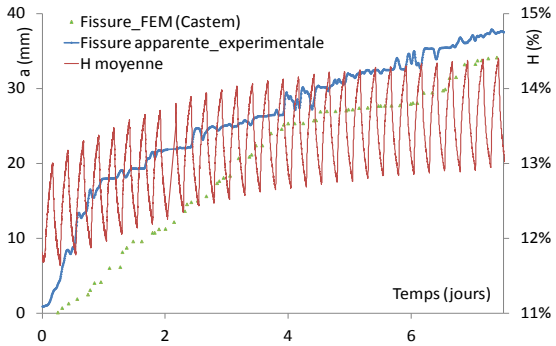


Fig. 4 : Comparaison de l'évolution de la fissure modélisée et expérimentale.

Conclusions

Les courbes-R du bois sont influencées par la teneur en eau, facteur important dans le calcul de la durée de service d'une construction en bois. La valeur du taux de restitution énergie critique G_{Rc} décroit lorsque la teneur en eau diminue. Les évolutions de fissures obtenues par la modélisation éléments finis et celles observées expérimentalement ont des allures similaires bien que non confondues de part les hypothèses simplificatrices que nous avons considérées. Des modélisations complémentaires (fonction de transfère, viscosité…) restent à étudier.

Références

Chaplain M., Breysse D., Marache A. (2011) Modelling time to failure of notched beams under random humidity variations of Atlantic environment, EJECE, 1045-1058.

Foschi R.O., Barrett J.D (1982) Load duration effects in Western Hemlock lumber, ASCE Journal 108 (ST7), pages 494-510.

Gustafsson P.J., Hoffmeyer P., Valentin.G. (1998), DOL behavior of end-notched beams, Holz als Roh - und Werkstoff, vol. 56, pp.307-317.

Morel S., Dourado N., Valentin G., Morais J. (2005), Wood : a quasi-brittle material R-curve behavior and peak load evaluation, Int J Fract 131 :385-400, Springer.

A12

Simulation du fraisage du bois vert à l'aide de la DEM

PFEIFFER Renaud[1], LORONG Philippe[2], COLLET Robert[1], DENAUD Louis[1]

[1]LaBoMaP, Arts et Métiers ParisTech Cluny
[2] PIMM, Arts et Métiers ParisTech Paris
renaud.pfeiffer@ensam.eu

Contexte

En scierie, les dosses sont généralement déchiquetées directement à l'aide de têtes de fraisage (slabber ou canter). Le copeau formé durant cette opération d'usinage se fragmente en particules nommées plaquettes, destinées à alimenter différentes filières (pâte à papier, panneaux et énergie). Leur valorisation en pâte à papier, qui représente le débouché le plus rémunérateur pour ces produits connexes, impose de respecter une granulométrie bien définie. Cette maîtrise dimensionnelle passe par une meilleure connaissance des mécanismes de fragmentation du copeau. La simulation numérique de la fragmentation du copeau de bois vert permet de prédire les dimensions des plaquettes formées. Pour cela, il est nécessaire de d'utiliser une méthode prenant en compte les spécificités de la coupe du bois. Ici la pertinence de la Méthode des Eléments Discrets (DEM) sera étudiée.

Origine et principe de la méthode

L'origine de la DEM provient des travaux de la dynamique moléculaire (Allen 2004). Elle est particulièrement adaptée pour simuler des problèmes de contact 3D et de fissuration. Ainsi elle est généralement utilisée en mécanique pour la simulation de problèmes d'écoulement granulaires ou de tribologie.

Avec cette méthode, les solides sont discrétisés à l'aide de sphères de faibles diamètres appelées Eléments Discrets (EDs). Les EDs possèdent 6 degrés de liberté (3 translations et 3 rotations) peuvent être liés entre eux par des liens cohésifs présentant des comportements variés comme par exemple des liens de type poutre, ressort ou amortisseur (Fig.1 et 2). La position des EDs est calculée à chaque pas de temps par application du Principe Fondamental de la Dynamique.

Pour éviter l'interpénétration, les EDs interagissent également entre eux aux travers de lois de contact. Ces lois de contact peuvent être élastiques ou rigides et un frottement de Coulomb ou de l'adhérence peuvent être introduit. La fissuration du solide résulte de la rupture des liens cohésifs dès lors qu'un seuil est atteint.

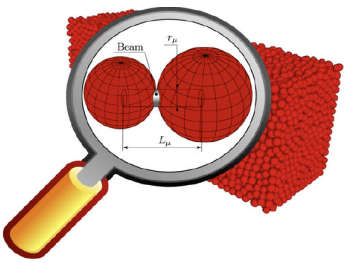


Fig. 1: Domaine discrétisé par la DEM (André 2012)

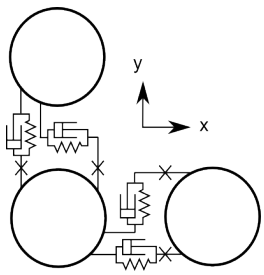


Fig. 2 : Exemple de liens cohésifs (d'après Ohta et Kawasaki B. 1995)

Application de la DEM à l'usinage du bois

Pour la simulation de la coupe du bois par la DEM, la plateforme GranOO de l'I2M à Bordeaux est utilisée.

Pour nos premières simulations, l'échantillon de bois de dimension 10x30x30 mm est discrétisé à l'aide de 13 500 EDs de 1 mm de diamètre répartis sur une grille. Les liens cohésifs sont de type poutre cylindrique, élastique, fragile. Le contact entre les EDs est de type frottement de Coulomb.

L'outil est modélisé par un prisme indéformable se déplaçant horizontalement à une vitesse de coupe fixée (Vc = 60m/s). Le contact entre l'outil et l'échantillon est lui aussi de type frottement de Coulomb.

Premiers résultats et discussion

Le phénomène de fragmentation (Fig. 3) est qualitativement bien reproduit par les simulations numériques 3D (Fig. 4). Bien que le diamètre des EDs soit élevé.

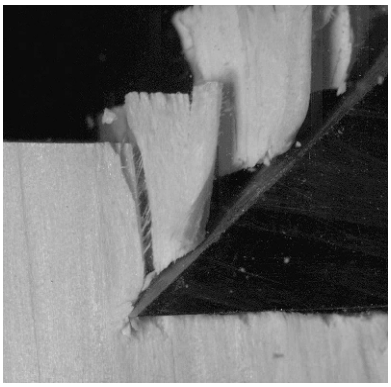


Fig. 3 : Phénomène à simuler (Douglas, Vc = 7m/s, f=10mm)

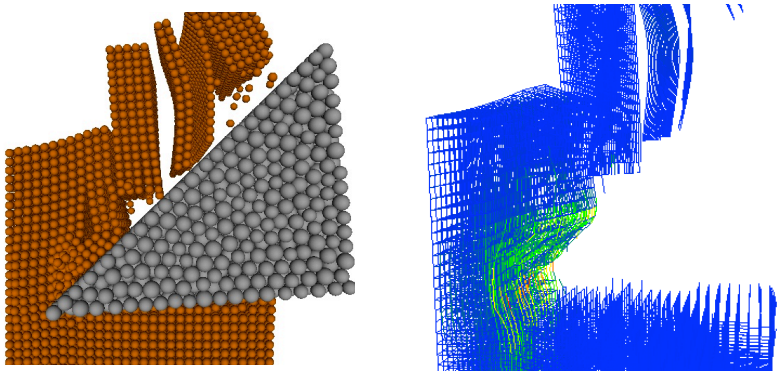


Fig. 4 : Résultats de la simulation. Gauche : Fragmentation du copeau. Droite : Rupture des liens cohésifs. (Matériau fictif orthotrope et fragile. Vc = 60m/s)

Cependant le temps de calcul reste élevé (≈10h). Les paramètres mécaniques d'entrée de simulation diffèrent des caractéristiques mécaniques du matériau à simuler. Une étape de calibration est nécessaire. L'identification du comportement du bois vert sous chargement dynamique est en cours actuellement.

Conclusion et perspectives

Au vu des résultats obtenus, la Méthode des Eléments Discrets semble adaptée pour la simulation du fraisage du bois. Une étape de calibration est cependant nécessaire à l'obtention de résultats quantitatifs. La prise en compte de l'eau libre dans le modèle dépendra de son influence expérimentale.

Références

Allen M. P. (2004) Introduction to molecular dynamic simulation. Computational Soft Matter: From Synthetic Polymers to Proteins, 23:1–28.

André D. (2012) Modélisation par éléments discrets des phases d'ébauche et de doucissage de la silice. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux

Ohta M., Kawasaki B. (1995) The effect of cutting speed on the surface quality in wood cutting. In Proceedings of the 12th International Wood Machining Seminar, pages 56 – 62.

A13

Exploration des relations entre la préférence visuelle des consommateurs et la qualité de surface des bois usinés

RAMANAKOTO Miora F.[1, 2], RAJEMISON Andraina H.[1, 2], EYMA Florent[1], RAMANANANTOANDRO Tahiana[1, 3]

[1] Institut Clément Ader, Université Paul Sabatier – IUT de Tarbes, Département Génie Mécanique et Productique, 1 rue Lautréamont, BP 1624, 65016 Tarbes, France.
miora.ramanakoto@iut-tarbes.fr
[2] Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Département des Eaux et Forêts, BP 175, Antananarivo 101, Madagascar.
[3] Groupe École Supérieure du Bois, Atlanpôle, BP 10605, Rue Christian Pauc, 44306 Nantes cedex 3, France.

Résumé

Lors d'une opération d'usinage, on peut chercher à obtenir un état de surface en vue de répondre à des critères techniques (collage, finition) ou esthétiques (bois brut, vernis). Dans cette étude, nous nous sommes particulièrement intéressés au lien entre les caractéristiques obtenues sur les surfaces usinées et la préférence des consommateurs. Bien que la littérature se réfère souvent à l'optimisation des conditions de coupe pour améliorer la qualité de surface, il n'existe actuellement aucun critère précis pour déterminer si la qualité de surface est bonne ou pas.

Cette étude a pour objectifs de rechercher des critères quantitatifs liés à la préférence des consommateurs permettant d'appréhender la qualité de surface, et de trouver des seuils d'acceptabilité pour chaque critère. Pour ce faire, 32 surfaces de palissandre (*Dalbergia sp.,* Fabaceae), dont 16 sur le plan LR et 16 sur le plan RT, ont été usinées en faisant varier les conditions de coupe. Ce plan d'expériences a permis d'obtenir des surfaces allant de l'ébauche grossière à la finition très soignée. Les paramètres de rugosité (Sra, Srk, Srpk, Srsk, Srku, Smr1) et les défauts de surface (fibres soulevées, fibres arrachées, surfaces pelucheuses, éclats, fibres soulevées sur arête) ont été mesurés sur chacune des 32 surfaces usinées. Des tests hédoniques ont ensuite été effectués avec un panel de 100 consommateurs.

Les résultats indiquent que les consommateurs préfèrent les surfaces lisses et sans défauts. Des corrélations significatives au seuil de 1% ont été obtenues entre les notes hédoniques et les paramètres de rugosité : Sra, Srk, et les paramètres de défaut de surface : éclat, traces d'usinage pour les surfaces dans le plan RT ; Srsk, Srku, fibres arrachées pour les surfaces dans le plan LR. Pour la préférence globale des consommateurs, les seuils d'acceptabilité à 7,5/10 de ces paramètres d'états de surface sont de 2,09 µm pour Sra; 2,63 µm pour Srk; 1 pour les éclats; 6,48 pour Srsk; 58,24 pour Srku et 1 pour les fibres arrachées. Ces résultats sont d'une importance capitale en usinage du bois. En effet, la connaissance de ces critères quantitatifs traduisant la préférence des consommateurs permettra de mieux optimiser la coupe du bois et de produire ainsi des produits répondant aux exigences des consommateurs.

A14

Identification de zones de bonne coupe en tenant compte des seuils de préférence des consommateurs : application au cas du palissandre (*Dalbergia baronii* Baker)

RAJEMISON Andraina Hajamanalina[1, 2], EYMA Florent[2], RAMANAKOTO Miora[1, 2], RAMANANANTOANDRO Tahiana[1,3], RAJOELISON Gabrielle Lalanirina[1], CASTANIE Bruno[4]

[1]Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Département des Eaux et Forêts, BP 175, Antananarivo 101, Madagascar
[2]Institut Clément Ader, Université Paul Sabatier – IUT de Tarbes, Département Génie Mécanique et Productique, 1 rue Lautréamont, BP 1624, 65016 Tarbes, France.
[3]Groupe ESB École supérieure du bois, Atlanpôle, BP 10605, Rue Christian Pauc, 44306 Nantes cedex 3, France
[4]Institut Clément Ader, Institut National des Sciences Appliquées, 135 Avenue de Rangueil, 31077 Toulouse, France
hajamanalina@gmail.com

Résumé

Les plages de conditions de coupe permettant d'avoir un usinage acceptable ne sont pas toujours bien connues, notamment pour les essences tropicales. Qui plus est, les critères quantitatifs utilisés actuellement pour qualifier un bon état de surface pour une pièce de bois usinée ne sont pas bien définis.

Des essais de défonçage sur le palissandre de Madagascar (*Dalbergia baronii* Baker, Fabaceae) et des tests hédoniques, pour apprécier la préférence des consommateurs vis-à-vis des états de surfaces générés, ont été alors réalisés. L'objectif est de déterminer une zone de coupe « acceptable » pour l'application « bois brut », ie commercialisé directement après usinage. Les essais d'usinage ont été effectués suivant un plan d'expérience à cinq facteurs (plan de coupe, mode de coupe, vitesse d'avance, vitesse de rotation et profondeur de passe) et deux niveaux. Les analyses hédoniques ont été effectuées sur un panel de consommateurs.

L'analyse de ce plan d'expérience a permis d'identifier l'influence des paramètres de coupe sur la qualité de surface obtenue et les efforts de coupe générés. Des corrélations entre les paramètres quantitatifs mesurés (rugosité) et les critères subjectifs liés à l'appréciation des consommateurs ont ainsi pu être établis. Ceux-ci ont permis de définir de façon précise le critère « acceptable » pour la qualité d'une surface usinée. Ces résultats ont été utilisés pour déterminer une zone dite « de bonne coupe » sur la base des préférences des consommateurs

A15

Caractérisations physico-mécaniques de sciages de 1er choix pour la conception mécanique ; application aux pins

BURGERS Agnès[1], LANGBOUR Patrick[2]
MONTERO Cédric [1], MARCHAL Rémy [2], VINCHES Marc [3], THIBAUT Bernard[1]

[1]Laboratoire de Mécanique et de Génie Civil (LMGC)
CNRS UMR 5508, Université Montpellier 2
[2]Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), BioWooEB UPR CIRAD 114
[3]Laboratoire de Génie de l'Environnement Industriel (LGEI)
École des Mines d'Alès
agnes.burgers@univ-montp2.fr

Mots-clés

Caractérisation mécanique, modèle rhéologique, pins, forêt méditerranéenne, variabilité

Introduction

Le matériau bois présente une grande variabilité de ses propriétés mécaniques. La caractérisation de la résistance à rupture d'une essence sur de multiples essais permet l'identification d'une distribution des mesures souvent proche d'une loi normale. Les normes européennes de construction (Eurocodes) fixent la valeur de résistance au fractile à 5 % inférieur comme valeur caractéristique de résistance. Cette résistance est suffisante pour des usages bas de gamme en charpente. Cependant les 5% au-dessus du fractile supérieur sont nettement sous valorisés. Il s'agit de pièces de bois sans défauts ou avec seulement de petits nœuds centrés, facilement détectables par les outils de vision actuels (imagerie X par exemple). Ces pièces ont des propriétés mécaniques très proches de celles du bois dit parfait (propriétés intrinsèques du bois).

Un des enjeux pour l'avenir est donc de trier, qualifier et tracer ces sciages de bois de haute qualité pour valoriser la ressource dans des usages à hautes performances structurelles. Plus particulièrement les essences de pins sont sous utilisées dans la conception d'éléments structurels malgré une ressource forestière abondante. La démarche de caractérisation mise en œuvre au cours de cette thèse s'appliquera sur six essences de pin présentes en Languedoc Roussillon (Pin d'Alep, Pins laricio, sylvestre, maritime, noir et à crochets) afin d'améliorer la valeur ajoutée produite, grâce à de nouveaux usages.

Méthodologie envisagée

Pour entrer dans le monde de la conception haut de gamme des composites (Jahan et al. 2010), il est indispensable d'identifier les propriétés mécaniques anisotropes : les 9 constantes élastiques (matériau orthotrope), les coefficients de variations dimensionnelles avec l'environnement (température et teneur en eau) ainsi que la cinétique à l'équilibre hygroscopique du matériau soumis à ce climat.

Les propriétés physiques des bois dépendent de deux grands facteurs d'influence : la génétique et le milieu (Mc Lean et al. 2011). La première définit un schéma général de fabrication du bois dans lequel l'adaptation au milieu se fait par la variation de la porosité, de l'anisotropie (orientation des fibres et microfibrilles) et de la composition chimique. Des mesures non destructives utilisables en industrie permettent d'obtenir sur les sciages des informations quantitatives qui sont des signatures de ces 3 mécanismes d'adaptation du bois à l'environnement de l'arbre : sa densité, un paramètre d'élasticité (module spécifique longitudinal ou vitesse du son dans la direction du fil) et une

signature chimique de la matrice polymère par spectroscopie en proche infrarouge (NIRS). Ces mesures doivent être accompagnées d'une donnée physique indispensable, la teneur en eau du bois, mesurable en industrie par la résistivité.

Avec la spectroscopie de résonance ultrasonore (RUS) (Longo et al. 2012), il est possible d'identifier les 9 constantes élastiques d'une provenance de bois, en utilisant un seul cube orienté, d'arête 10 à 20mm. En réalisant cette mesure sur le même élément de bois à différentes hygrométries, il sera possible d'obtenir les paramètres d'évolution des constantes avec les paramètres d'ambiance.

L'objectif de cette thèse est de :

- réaliser un échantillonnage des six espèces de pins présentes en Languedoc Roussillon (LR),
- réaliser en amont, sur les profilés d'où proviennent les échantillons, les mesures de type industriel des paramètres quantifiant l'humidité, la densité, l'élasticité longitudinale et la chimie du bois,
- déterminer par RUS, en collaboration avec l'IES (Université Montpellier 2), les 9 constantes élastiques sur une sélection d'échantillons représentatifs,
- étudier l'influence des paramètres de croissance de l'arbre (génétique et milieu) sur les propriétés et indicateurs mesurés,
- construire à partir des indicateurs « industriels » des modèles prédictifs des 9 constantes élastiques et examiner leurs éventuelles dépendances aux facteurs de croissance des arbres,
- proposer un outil de qualification physico-mécanique (fiche technique) applicable aux pièces de premier choix provenant de la ressource LR afin de mieux les positionner dans le domaine de la conception de pièces de structure.

Remerciements

Ce projet est réalisé avec le soutien du Labex NUMEV. (Solutions Numériques, Matérielles et Modélisation pour l'Environnement et le Vivant)

Références

Jahan A., Ismail M. Y., Sapuan S.M., Mustapha F. (2010) Material screening and choosing methods – A review, Materials and Design, vol. 31, 696–705.

Longo R., Delaunay T., Laux D., El Mouridi M., Arnould O., Le Clezio E. (2012) Wood elastic characterization from a single sample by resonant ultrasound spectroscopy, Ultrasonics, vol. 52, 710-715.

McLean J.P., Zhang T., Bardet S., Beauchêne J., Thibaut A., Clair B., Thibaut B. (2011) The decreasing radial wood stiffness pattern of some tropical trees growing in the primary forest is reversed and increases when they are grown in a plantation, Annals of Forest Science, vol. 68, 681-688.

A16

Effect of the natural variability of the oak wood density on the thermo-degradation reactions during heat treatment by mild pyrolysis

HAMADA Joël[1], PETRISSANS Anélie[1], MOTHE Frédéric[2], FOURNIER Mériem[2], PETRISSANS Mathieu[1], GERARDIN Philippe

[1]Laboratoire d'Études et de Recherche sur le Matériau Bois, Université de Lorraine, FST BP 70239, 54506 Vandœuvre-Lès- Nancy, France
[2]Laboratoire d'Étude des Recherches Forêt-Bois, Centre INRA de Nancy, 54280 Champenoux
joel.hamada2@etu.univ-lorraine.fr

Mots-clés

Density, heat treatment, oak, scanner tomography, variability

Abstract

Wood is promoted as building material. Unprotected wood exposed to outdoor conditions undergoes a variety of degradation induced essentially by fungi attacks. The increasing environmental pressures appeared since these last years in many European countries led to an important change in the field of wood preservation particularly in regard to the biocides toxicity leading to the development of non-biocide alternatives. Wood heat treatment by mild pyrolysis (200<T<240°C under inert atmosphere) is a preservation process with a weak environmental impact and is an interesting alternative to the chemical preservation methods. Previous studies have shown that conferred properties strongly depend on the heat treatment intensity. A quality control marker based on mass loss has been developed. Nowadays, the main difficulties of industrial processes are to obtain final products with a constant quality (durability, dimensional stability, and colour). These difficulties may be due to the treatment processes or the interspecific or intraspecific wood heterogeneity. The aim of this study is to investigate the effect of the initial intrinsic oak wood properties like its density, related to wood's natural variability, upon the thermo-degradation during heat treatment by mild pyrolysis.

The study was performed on European oak wood boards (*Quercus petraea Liebl*.) with different densities, selected from different positions in the same tree and/or from trees with different sivicultural history. Oak density was determined by X-ray tomography before and after treatment. The influence of the initial inter- and intra-tree heterogeneity in terms of density on the mass loss during the heat treatment process was studied. Even if the results showed an overall density and mass loss variation within boards, there was a tendency for higher densities to cause a strong thermo-degradation kinetic.

Références

Chaouch M. (2011) Développement de marqueurs pour prédire la durabilité aux attaques fongiques du bois traité thermiquement; Thèse; Sciences et ingénierie des ressources procédés produits et environnement ; Nancy ; Université Henri Poincaré.

Fengel D., Wegener G. (1989) Wood Chemistry Ultrastructure Reactions. Walter de Gruyter.

A17

Identification de paramètres structuraux du bois à partir de mesures de perméabilité apparente en phase gazeuse raréfiée

AI Wei, DUVAL Hervé, PIERRE Floran, PERRE Patrick

Ecole Centrale Paris
Laboratoire de Génie des Procédés et Matériaux (LGPM)
wei.ai@ecp.fr

Mots-clés

Perméabilité apparente, porosité multi-échelles, gaz raréfié, nombre de Knudsen, glissement moléculaire, modèle de Petty.

Résumé

La modélisation et la simulation numérique des transferts couplés de chaleur et de matière dans les organes de végétaux nécessitent de connaître leur morphologie. Elle est généralement multi-échelles et est obtenue typiquement par des méthodes d'imagerie telles que l'analyse de coupes sériées ou la micro-tomographie. Cependant, les plus petits pores de taille caractéristique inférieure au micromètre (qui peuvent avoir un rôle essentiel lorsqu'ils assurent la connectivité entre les grands pores) sont pour l'instant difficilement accessibles par ces méthodes, qui, par ailleurs, sont relativement lourdes et fournissent une information souvent trop riche par rapport aux seules données mésoscopiques (connectivité, distribution de taille de pores, …) demandées d'ordinaire par la simulation numérique.

Nous proposons ici de mettre en œuvre une approche astucieuse développée par Petty (1970) permettant d'identifier certains paramètres structuraux à partir de l'analyse des variations de perméabilité apparente (au gaz) du bois en fonction de la pression. L'idée est de tirer profit des changements de régime d'écoulement (pour des pressions décroissantes, le régime visqueux, le régime de glissement, le régime de transition et, enfin, le régime d'écoulement moléculaire libre) dans les petits pores et les grands pores lorsque la pression de travail est modifiée (sachant que ces changements de régime n'ont pas lieu aux mêmes pressions suivant la taille des pores).

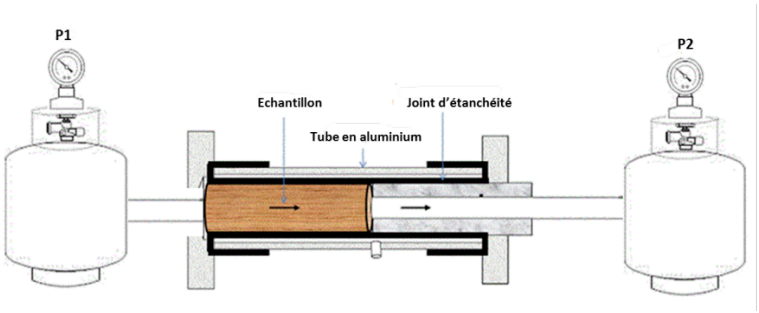


Fig. 1 : Schéma du dispositif de mesure de perméabilité.

Pour ce faire, nous avons conçu un dispositif expérimental (Fig. 1) constitué de deux réservoirs numérotés 1 et 2 en série avec un porte-échantillon qui peut être isolé à l'aide de vannes. Dans les conditions de mesure, l'écoulement de gaz d'un réservoir à l'autre se fait exclusivement à travers l'échantillon du matériau étudié. Pour une pression moyenne donnée P_{moy}, après avoir isolé les réservoirs du porte-échantillon, on porte le réservoir 1 (respectivement 2) à la pression P_1 (resp. P_2) telles que $P_{moy} = (P_1 + P_2)/2$ et $\frac{P_1 - P_2}{P_{moy}} \ll 1$. Puis, après avoir ouvert les vannes qui isolaient

l'échantillon des réservoirs, on suit la cinétique de relaxation des pressions P_1 et P_2 (dans un régime qui peut souvent être considérée comme isotherme).

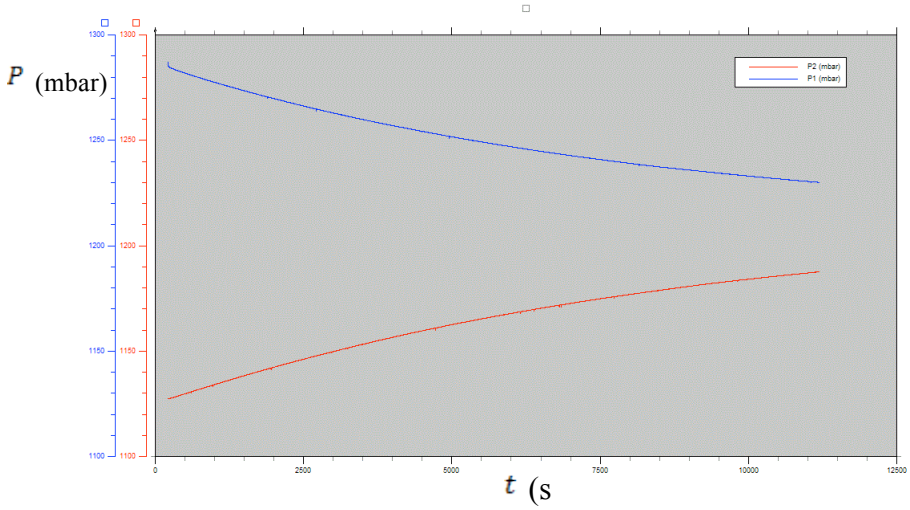


Fig. 2 : Exemple de données expérimentales brutes : variations des pressions P_1 et P_2 au cours du temps, associées aux réservoirs 1 et 2.

Un exemple de courbes expérimentales (pin maritime, direction tangentielle) obtenues à l'aide de notre dispositif est rapporté sur la Fig. 2. L'analyse de ces données (connaissant la température du gaz, le volume des réservoirs et les dimensions de l'échantillon) permet de déterminer le flux de gaz traversant le matériau puis sa perméabilité apparente à la pression P_{moy}. On peut ainsi obtenir les variations de la perméabilité apparente du matériau en fonction de la pression moyenne. A titre d'exemple, nous présentons sur la Fig. 3 les variations de la perméabilité apparente du pin sylvestre dans la direction longitudinale obtenues par Agoua (2001) sur un dispositif expérimental proche du nôtre (Agoua et Perré, 2010).

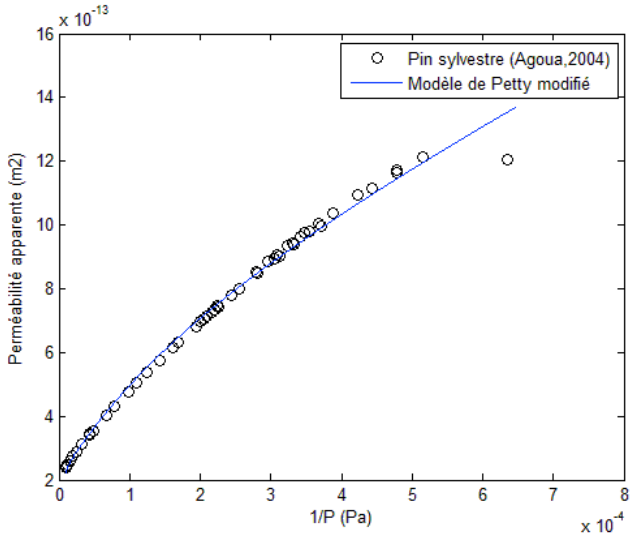


Fig. 3 : Variations de la perméabilité apparente en fonction de l'inverse de la pression moyenne dans le cas du pin sylvestre dans la direction longitudinale : données expérimentales d'Agoua (2001) (○) et simulation à l'aide du modèle analytique de Petty modifié après ajustement des paramètres (trait continu).

Pour obtenir les paramètres structuraux du matériau étudié, il est nécessaire de se donner *a priori* un réseau qui est la représentation sous forme de graphe du réseau poral du matériau. Le choix du réseau s'appuie sur la structure anatomique du bois. Il est formé de l'association en série et/ou en parallèle de différents types de pore (un pore est un lien du graphe). Les dimensions caractéristiques

de chaque type de pore constituent les inconnues du problème, qui sont identifiées. Pour cela, nous associons à chaque type de pore un modèle d'écoulement reliant le débit volumique qui le traverse à la perte de charge à ses bornes. Le choix du régime d'écoulement doit rester en cohérence avec le niveau de pression et de la taille du pore. En utilisant l'analogie électrique, on en déduit l'expression mathématique de la conductance hydraulique équivalente au réseau de pores puis l'expression de la perméabilité apparente du réseau. La minimisation de l'écart entre les variations expérimentales de la perméabilité apparente (en fonction de la pression moyenne) et les variations simulées à l'aide du modèle de réseau permet de déterminer les dimensions des pores.

A titre d'exemple, nous analysons les données (mentionnées ci-dessus) obtenues par Agoua (2001) dans le cas du pin sylvestre dans la direction longitudinale. L'anatomie typique d'un résineux et le réseau que nous avons choisi sont rapportés sur la Fig. 4.

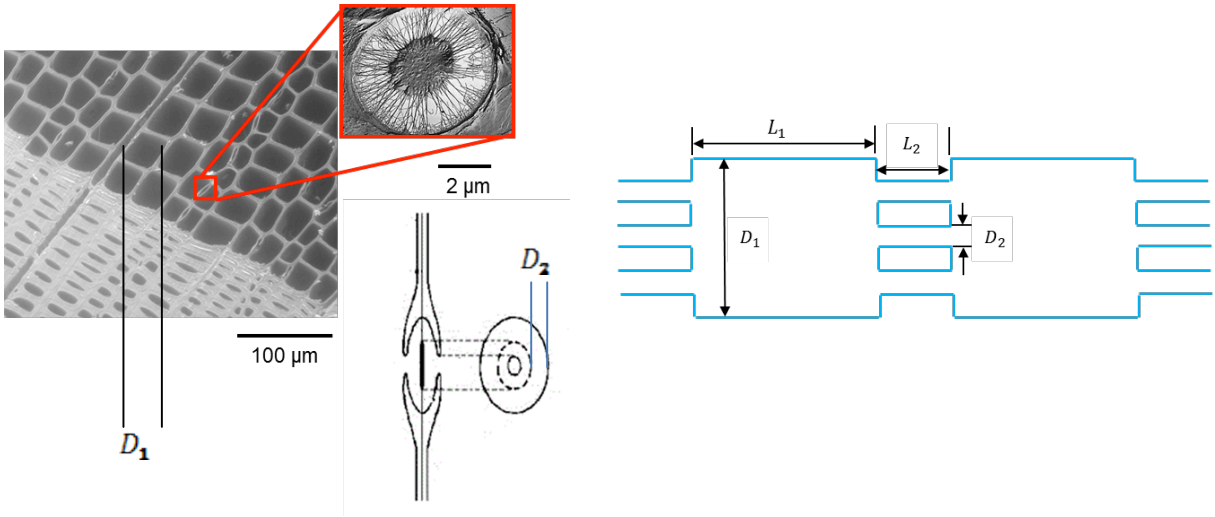


Fig. 4 : Coupe transverse de trachéides et détail d'une ponctuation aréolée d'un résineux (à gauche), modèle de réseau pour représenter le réseau poral du pin sylvestre dans la direction longitudinale (à droite).

On distingue deux types de pores : les trachéides et les ponctuations aréolées. L'écoulement dans les trachéides est décrit par le modèle de Beskok (1999) adapté au cas d'un écoulement établi de gaz dans un cylindre en régime visqueux et en régime de glissement. L'écoulement dans les ponctuations aréolées est décrit par le modèle de fente de Sharipov (1998) valable pour des nombres de Knudsen supérieurs à 0,1.

$$Q = -\frac{\pi D_1^4}{128\mu_0}\frac{dP}{dz(1+aK_n)\left[1+4\frac{2-\sigma}{\sigma}\frac{K_n}{1-bK_n}\right]} \quad (1)$$

$$Q = \frac{D_2 \Delta P}{P_{moy}}\sqrt{\frac{RT}{2\pi M}}\xi_p^{sl} \quad (2)$$

où Q est le débit volumique dans le pore, K_n est le nombre de Knudsen égal au rapport du libre parcours moyen au rayon du pore, μ_0 est la viscosité dynamique du gaz, M est la masse molaire du gaz, σ est le coefficient d'accommodation, a est un paramètre qui dépend de K_n, b est un paramètre constant, ξ_p^{sl} est une fonction du nombre de Knudsen, rapport du libre parcours moyen à la largeur de la fente. La minimisation de l'écart entre les variations expérimentales de la perméabilité apparente et les variations simulées à l'aide de ce modèle a permis d'identifier le diamètre équivalent des trachéides soit $D_1 = 70$ µm, la largeur de fente des ponctuations $D_2 = 1{,}2$

µm et la longueur de contour de la ponctuation égale à 45 µm (correspondant à un rayon de 14 µm). Ces valeurs sont en bonne accord avec les données anatomiques rapportées dans la littérature.

En perspective à ce travail qui a constitué la première année de thèse de Wei Ai, nous prévoyons de poursuivre la mise en œuvre du dispositif expérimental, de l'utiliser pour caractériser différentes essences de bois dans les trois directions. Les paramètres structuraux seront identifiés à partir des données expérimentales suivant l'approche présentée et appliquée ici dans le cas spécifique du pin sylvestre.

Références

Agoua E. (2001) Diffusivité et perméabilité du bois: Validation de méthodologies expérimentales et prise en compte de paramètres morphologiques simples pour la modélisation physique, PhD dissertation, ENGREF.

Agoua E. and Perré P. (2010) Mass transfer in wood: Identification of structural parameters from diffusivity and permeability measurements, Journal of porous media, 13: 1017-1024.

Beskok A. and Karniadakis G.E. (1999) A model for flows in channels, pipes and ducts at micro and nano scales, Microscale Therm. Eng., 3(1): 43–77.

Petty J.A. (1970) Permeability and structure of the wood of sitka spruce, Proc. Roy. Soc. Lond. B175: 149-166.

Sharipov F. and Seleznev V. (1998) Data on Internal Rarefied Gas Flows, J. Phys. Chem. Ref. Data, 27(3): 657-706.

A18

Prédiction de la diffusivité thermique et massique du bois par la méthode Lattice Boltzmann

AYOUZ Mehdi, PERRE Patrick

Ecole Centrale Paris
Laboratoire de Génie des Procédés et Matériaux (LGPM)
Grande Voie des Vignes, Châtenay-Malabry, France
mehdi.ayouz@ecp.fr

Mots-clés

Anatomie, structure, traitement d'image, propriété équivalente.

Résumé

Dans un contexte de réduction de l'empreinte carbone, les matériaux de construction issus de la biomasse présentent le double intérêt de capturer le carbone et de le stocker durablement dans les constructions. Des travaux de recherche sont réalisés depuis plusieurs années afin de caractériser les matériaux du point de vue thermo-hydrique et modéliser leur réponse sous différentes contraintes (température, humidité relative, etc.). La simulation numérique du phénomène de diffusion a été réalisée dans un milieu poreux hétérogène par la méthode de Lattice Boltzmann (LBM) (Succi 2001, Mohamad, 2007). La méthode développée a été validée sur un réseau rectangulaire divisé en deux sous-domaines de conductivités thermiques différentes (Ayouz, Perré 2013).

Le code de calcul a ensuite été utilisé pour prédire la conductivité thermique équivalente et la diffusivité massique de l'épicéa dans les deux directions transverses du bois (radiale and tangentielle). Afin de prendre en compte la structure anatomique réelle de l'agencement cellulaire, le calcul est effectué sur un réseau hétérogène généré à partir d'une image obtenue par microscopie électronique à balayage environnementale (Fig. 1).

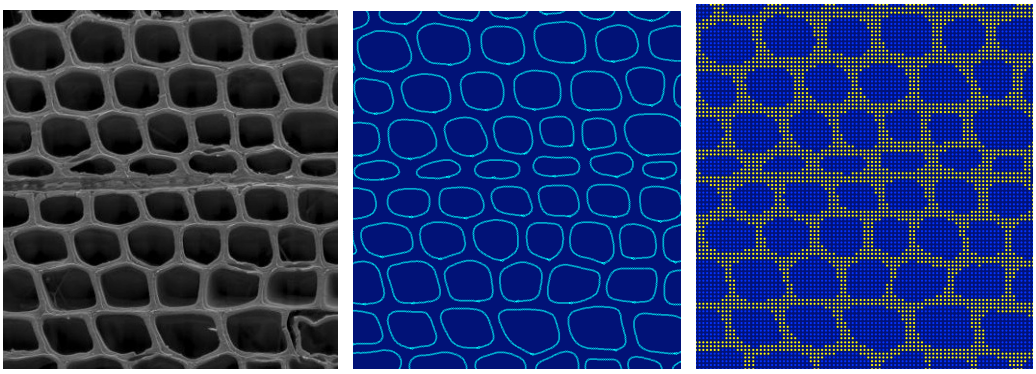


Fig. 1. Génération du réseau hétérogène à partir d'une image ESEM d'épicéa (extraction des contours des lumens et grille utilisée pour le calcul $(\varepsilon_s = 0.4)$.

La méthode LBM permet de calculer le champ de température dans le volume élémentaire représentatif (Fig. 2) et d'en déduire la propriété macroscopique équivalente. Les valeurs de conductivités thermiques obtenues, dans les deux directions tangentielle et radiale, sont assez proches des valeurs théoriques obtenues pour la même proportion des phases placées en parallèle. Ceci est conforme au résultat escompté pour une structure hétérogène dans laquelle c'est la phase connexe qui est la plus diffusive. En cohérence avec cette explication, des conclusions opposées sont obtenues dans le cas de la diffusivité massique.

Les résultats sont en bon accord avec des prédictions obtenues avec des méthodes numériques classiques (Perré et Turner, 2001). Ce travail est une première étape pour modéliser le couplage chaleur-masse dans les milieux poreux hétérogènes à trois dimensions avec description de la morphologie de pores par tomographie-X. Grâce à la flexibilité de la méthode LBM pour prendre en compte des géométries complexes, cette méthode peut facilement s'appliquer à n'importe quel plan ligneux.

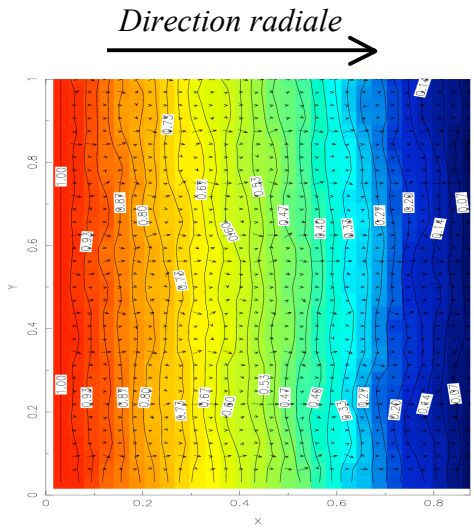


Fig.2. Champ de température 2-D en régime stationnaire et flux de chaleur associé.

Références

Ayouz M., Perré P., Numerical simulation of diffusion in porous media using the Lattice Boltzmann Method, Eurodrying'2013, paper P35, 8 pages, 2013.

Mohamad A.A., Applied Lattice Boltzmann Method for Transport Phenomena, Momentum, Heat and Mass Transfer, Sure Print, Calgary, 2007.

Perré P., *MeshPore* : a software able to apply image-based meshing techniques to anisotropic and heterogeneous porous media, Drying technology Journal, 2005, 23: 1993-2006.

Perré P., Turner I., Determination of the material property variations across the growth ring of softwood for use in a heterogeneous drying model. Part II : use of homogenisation to predict bound water diffusivity and thermal conductivity, Holzforschung, 2001, 55: 417–425.

Succi S., The Lattice Boltzmann Equation for Fluid Dynamics and Beyond. Clarendon Press, Oxford, 2001.

A19

Analyse in situ de bois et de papier par microscopie multiphotonique pour les sciences de la conservation

ECHARD Jean-Philippe[1], VAIEDELICH Stéphane[1], SCHANNE-KLEIN Marie-Claire[2], LATOUR Gaël[2,3]

[1] Laboratoire de recherche et de restauration, Musée de la musique, Cité de la musique, 221 avenue Jean Jaurès, 75019 Paris, France
[2] Laboratoire d'Optique et Biosciences, Ecole Polytechnique, CNRS, INSERM U696, 91128 Palaiseau, France
[3] Laboratoire Imagerie et Modélisation en Neurobiologie et Cancérologie, Université Paris Sud, CNRS, 91405, Orsay, France
jpechard@cite-musique.fr

Mots-clés

Microscopie non-linéaire, bois, cellulose, lignine, fluorescence, génération de seconde harmonique SHG.

Introduction

La caractérisation des matériaux constituant les objets du patrimoine culturel fournit des informations utiles aux historiens des techniques artisanales et artistiques, pour mieux comprendre les processus de disponibilité, de sélection et de transformation des matériaux. Elle permet également aux conservateurs et restaurateurs de mieux évaluer la sensibilité de l'œuvre à l'environnement, et donc d'optimiser ses conditions de conservation. L'objectif de cette étude est d'évaluer les potentiels d'application de la microscopie multiphotonique, par ailleurs largement utilisée pour la caractérisation des tissus biologiques, à la caractérisation des matériaux tels que le bois et le papier mis en œuvre dans des instruments de musique de notre patrimoine culturel.

La microscopie multiphotonique permet, comme la tomographie par cohérence optique (OCT, Latour *et al.* 2009), des analyses in situ et non destructives, tout en dépassant la simple information de morphologie 3D en présentant une spécificité chimique liée aux différents modes de contraste. Ici, la fluorescence excitée à deux photons (2PEF) et la génération de second harmonique (SHG), permettent simultanément de caractériser et localiser les fluorophores d'une part et de sonder les organisations denses non-centrosymétriques d'autre part. L'intérêt de cette nouvelle approche de microscopie a été évalué sur des échantillons modèles (bois, bois vernis, papier).

Microscopie multiphotonique du bois

La microscope multiphotonique est basée sur l'interaction non-linéaire entre un faisceau laser à impulsions courtes femtosecondes (à 860 nm pour notre étude) et l'échantillon étudié. Les signaux 2PEF sont détectés dans deux bandes spectrales distinctes, centrées respectivement sur 485 nm et 630 nm. Les signaux de SHG sont sélectionnés par un miroir dichroïque et détectés à la fréquence double (430 nm). Des signaux spécifiques provenant des cellules du d'érable (*Acer* spp.) ont ainsi été obtenus (Fig. 1). Les signaux de fluorescence sont attribués à la lignine, les signaux de SHG à la cellulose cristalline, qui présente une structure non-centrosymétrique. Il est ainsi possible de caractériser la répartition spatiale de ces deux composants essentiels du bois à l'échelle cellulaire.

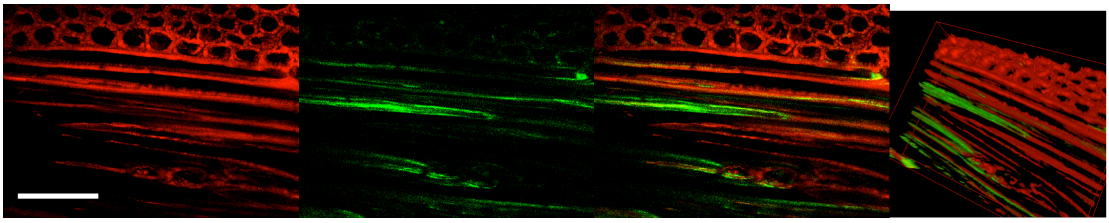


Fig. 1 : Imagerie multiphoton d'un copeau de bois d'érable. De g. à d. : 2PEF attribuée à la lignine (en rouge), SHG attribuée à la cellulose cristalline (en vert), vue multimodale, reconstruction 3D de la même zone. Barre d'échelle : 100 µm.

Ces acquisitions multimodales permettent d'imager la structure xylologique 3D du bois, avec une résolution spatiale de l'ordre du micromètre, sur des surfaces de plusieurs mm^2 grâce à des mosaïques d'acquisition. Ces signaux ont été également obtenus pour de l'érable recouvert de vernis pigmenté. Quelques acquisitions ont été effectuées pour d'autres espèces de bois (épicéa, balsa, peuplier), mais les signaux de SHG sont bien plus faibles que pour l'érable.

Microscopie multiphoton du papier

Cette technique a également été appliquée à des échantillons de papier. Elle semble présenter un fort potentiel pour l'imagerie de la morphologie des fibres de cellulose au sein de ce matériau (Fig. 2).

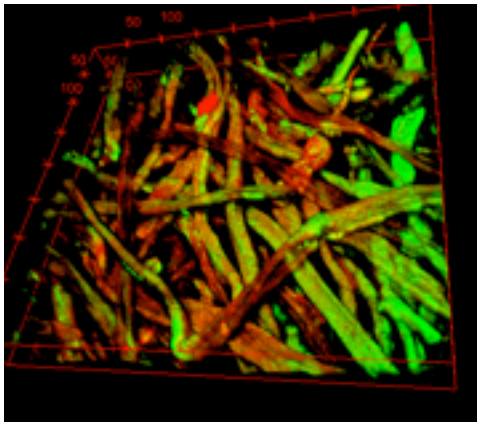


Fig. 2 : Reconstruction 3D (500 x 500 x 70 μm^3) d'un papier pure cellulose Whatman. 2PEF (rouge), SHG (vert).

Perspectives

Nous avons montré le potentiel de la microscopie multiphotonique pour la caractérisation des bois. Cette approche mérite désormais d'être approfondie, en particulier par corrélation avec les techniques éprouvées d'imagerie et de caractérisation de ce matériau.

Références

Latour G. , Echard J.-P., Soulier B. , Emond I. , Vaiedelich S. , Elias M. (2009) Structural and optical properties of wood and wood finishes studied using optical coherence tomography: application to an 18th century italian violin, Appl. Opt. 48, 6485–6491.

Latour G. , Echard J.-P., Didier M., Schanne-Klein M.-C. (2012) In situ 3D characterization of historical coatings and wood using multimodal nonlinear optical microscopy, Opt. Express **20**, 24623–24635. (en open access).

B01

La plate-forme Xylosciences

RUELLE Julien[1]

[1] INRA, UMR 1092 Laboratoire d'Etude des ressources Forêt Bois, Centre INRA de Nancy-Lorraine, 54280 Champenoux, France.
julien.ruelle@nancy.inra.fr

Mots-clés

Sciences du bois, Multi-échelles, Outil collectif, Expérimentation

Introduction

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

Contexte et Activités de la plate-forme

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

Le plateau est organisé sous la forme de diverses activités :

Activités	Echelle	Equipement / activités
Morphologie	Placette / Individu	LIDAR
Tomographie à Rayons X	Grume / Echantillon macroscopique	- Scanner médical à rayons X - Microtomographe
Micro-densitométrie	Echantillon mésoscopique / cerne	Tube à rayons X
Anatomie quantitative / Formation du bois	Microcarotte / Cerne / Tissus / Paroi cellulaire	- Chaîne de préparation et d'inclusion - Microtomie - Microscopie / Analyse d'image
Diffractométrie et mesures physiques sur micro-échantillons	Paroi cellulaire / macromolécules	- Diffractomètre à rayons X
Analyse de la composition chimique du bois	Molécules	- UHPLC/MS/MS - Thermodesorbeur-GC/MS - Chromatographie ionique - chromatographie d'exclusion stérique

B02

Analyse QTL de la qualité du bois du chêne pédonculé, observée par tomographie à rayon X. Premiers résultats concernant les traces raméales

SONG Jialin[1], COLIN Francis[1], BRENDEL Oliver, KREMER Antoine[2]

[1]Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt Bois (LERFoB)
UMR 1092 INRA / AgroParisTech Centre INRA de Nancy, 54280 Champenoux France
[2]Biodiversité, Gènes et Communautés UMR 1202 INRA / Université Bordeaux 1
jsong@nancy.inra.fr

Mot-clés

Quantitative Trait Loci, scanner, épicormiques, Quercus robur

Résumé

Grâce à la tomographie à rayon X, de nombreux traits liés à la qualité et notamment toutes les traces raméales à l'intérieur du tronc peuvent être observées (Colin et al., 2010). Ainsi 179 billons d'un mètre de chênes pédonculés (*Quercus robur* L.) ont été récupérés lors de l'éclaircie d'un test âgé de 12 ans comparant des clones issus d'un croisement intra-spécifique. Ils ont été scannés et des données quantitatives ont été récupérées lors de l'interprétation manuelle des images scannées (figure 1). Une analyse de *Quantitative Trait Loci* (QTL) a ensuite été menée sur la base d'une carte génétique comportant 686 marqueurs. Les résultats sont les suivants : 38 QTLs ont été détectés sur 16 de 24 chromosomes, expliquant selon les traits, 4% à 11.7% de la variabilité phénotypique. Ces QTLs correspondent : 1) au développement de bourgeons latents, de gourmands et de branches; 2) au volume de tronc et de nœud de branche ; 3) à la présence de fourches. Cette étude démontre un effet génétique fort pour les effectifs et le débourrement des bourgeons primaires et faible pour les bourgeons secondaires. Le déterminisme génétique des épicormiques est confirmé. Quand les 179 autres billons disponibles, correspondant aux mêmes descendants seront analysés, les QTL devraient être affinées, d'autres QTL correspondant à l'architecture devraient être détectés et une estimation de l'héritabilité proposée. D'autres traits liés à la qualité seront étudiés.

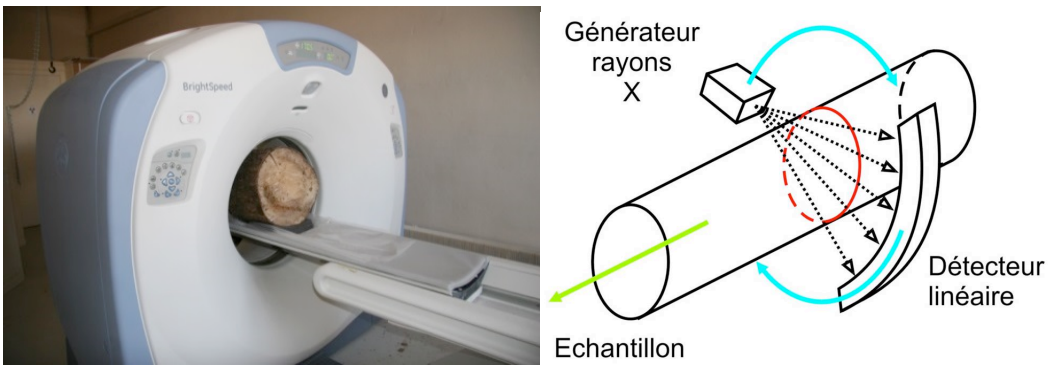


Fig.1 : Le principe de fonctionnement du scanner à rayons X

Référence

Colin F, Mothe F, Freyburger C, Morisset JB, Fontaine F, Leban JM. (2010) Tracking rameal traces in sessile oak trunks with X-ray computer tomography: biological bases, preliminary results and perspectives. Trees. 24:953-967.

B03

Cavitation et Embolie Induites par des cycles gel/dégel

CHARRA-VASKOU Katline[1,2], BADEL Eric[1,2], CHARRIER Guillaume[3], BONHOMME Marc[1,2], COCHARD Hervé[1,2], MAYR Stefan[3], AMEGLIO Thierry[1,2]

[1] INRA, UMR547 PIAF, 63100 Clermont-Fd
[2] Clermont Université, Université Blaise Pascal, UMR547 PIAF, 63100 Clermont-Fd
[3] Institut de Botanique et d'Ecologie, Université d'Innsbruck, 6020 Innsbruck, Autriche
Katline.Charra-Vaskou@clermont.inra.fr

Session "Méthodes avancées en expérimentation"

Le gel est un facteur limitant la survie et la distribution des espèces dans les écosystèmes boréaux et tempérés. Comme démontré dans plusieurs études, les cycles gel-dégel induisent l'embolie des vaisseaux, bloquant ainsi le transport d'eau dans l'arbre, pouvant conduire à la mort de l'arbre. Le mécanisme induisant cette perte de conductivité au cours d'un cycle gel-dégel est aujourd'hui encore inconnu. Le but de cette étude est de déterminer à quel moment et comment la cavitation et l'embolie apparaissent au cours d'un cycle gel dégel.

Le microtomographe (rayons X) a permis l'acquisition d'images de branches de Juglans regia au cours d'un cycle gel dégel (+5°C / -40°C / +8°C). A partir de ces images, le pourcentage d'embolie ainsi que la variation de l'épaisseur des tissus ont été calculés. La variation du diamètre de la branche a été mesurée par un dispositif micro-dendrométrique (PepiPIAF). Les émissions acoustiques émises par ces échantillons ont également été enregistrées.

Lors du gel, une forte diminution du diamètre de la branche a été observée, maximale à -40°C et majoritairement au niveau de l'écorce. Le xylème ne présente pas d'augmentation significative de l'embolie, tandis que des émissions acoustiques sont enregistrées jusqu'à la température de -40°C. Lors du dégel, une récupération incomplète de l'épaisseur initiale de l'écorce est mesurée, affectant ainsi le diamètre de l'échantillon. Une nette augmentation de l'embolie des vaisseaux est observée (augmentation significative de 21 à 66% de perte de conductivité) sans activité acoustique significative. La contraction de l'écorce lors du gel résulterait d'une déshydratation de ses cellules vivantes, dû au très faible potentiel hydrique de la glace. Bien que l'embolie dans les vaisseaux apparaisse clairement au dégel, les émissions acoustiques ne sont enregistrées que lors du gel. Ainsi, le phénomène de cavitation pourrait avoir lieu lors du gel, dû aux tensions induites par le faible potentiel hydrique de la glace, générant des émissions acoustiques ; tandis que l'embolisation des vaisseaux ne se produirait qu'au dégel sans nouvelle émission acoustique. Une étude dynamique de ces phénomènes avec une meilleure résolution pourrait nous permettre de visualiser le phénomène de cavitation et l'embolisation lors d'un cycle gel/dégel.

B04

Signaux hydrauliques induits par flexion dans des branches artificielles et naturelles : lien avec la mécano-perception et le transport longue distance chez les arbres

LOUF Jean-François[1], GUENA Geoffroy[1], FORTERRE Yoël[1]
BADEL Eric[2], MOULIA Bruno[2]

[1]Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industriels (IUSTI), UMR CNRS 7343, Université d'Aix-Marseille
[2]Laboratoire Physique et Physiologie Intégrative de l'Arbre Fruitier et Forestier, INRA UMR PIAF, Université Blaise-Pascal, Clermont-Ferrand
jean-francois.louf@etu.univ-amu.fr

Introduction

En conditions naturelles, les plantes sont capables de percevoir et de répondre à des stimulis mécaniques, comme le vent, la pluie, etc.- leur permettant ainsi d'acclimater leur croissance à l'environnement extérieur. Par exemple, à l'échelle de l'arbre, la flexion d'une tige engendre un changement de croissance au niveau local mais aussi à distance de la zone sollicitée; suggérant l'existence d'un signal d'information à longue distance à travers la plante. La nature et le mécanisme de propagation de ce signal d'information sont mal connus, cependant il a récemment été mis en évidence au PIAF (INRA, Clermont-Ferrand) que la flexion d'une tige de peuplier entraînait une surpression hydraulique capable de se propager dans le système vasculaire. L'objectif de ce travail est de mieux comprendre les mécanismes physiques responsables de ce signal hydraulique en utilisant une approche biomimétique et interdisciplinaire. Dans un premier temps, nous présentons des expériences sur des branches artificielles modèles. Ces résultats sont ensuite comparés à des expériences similaires menées au PIAF sur des branches d'arbre (*Populus tremula alba, Quercus ilex*). Cette étude suggère que la génération d'un pulse hydraulique lors de la flexion d'une branche est un phénomène physique générique qui pourrait jouer un rôle important dans la signalisation longue distance chez les plantes.

Expériences

D'un point de vue mécanique, la modélisation la plus simple que l'on puisse faire d'une branche d'arbre est celle d'une poutre élastique percée de canaux longitudinaux remplis de fluide. Pour réaliser cette branche artificielle, nous avons utilisé des techniques micro-fluidiques de moulage à base de PDMS (Polydimethylsiloxane), qui est un élastomère transparent mou (module d'Young E~2 MPa). La poutre est percée de micro-canaux de taille d~500 μm. Elle est remplie d'un fluide visqueux (huile silicone ou mélange Ucon oil/eau). Le système est fermé et muni d'un capteur de pression à une extrémité. On impose ensuite une courbure moyenne C à la poutre. La figure 1A montre la surpression ΔP fluide mesurée en fonction de la déformation de courbure moyenne ε_B=DC/2, où D est le diamètre de la poutre. Le résultat intéressant est que la réponse pression/courbure est non-linéaire : le saut de pression varie quadratiquement avec la déformation. Nous proposons un modèle simple basé sur l'idée qu'une poutre poreuse en flexion tend à comprimer sa section transverse afin de minimiser l'énergie élastique totale. Il en résulte une diminution du volume total, et donc une augmentation de la pression du fluide dans la poutre. Ce modèle prédit que la surpression est proportionnelle au module d'Young et au carré de la déformation de courbure, comme observé.

Pour comparer nos résultats obtenus sur des branches artificielles à ceux que l'on pourrait observer dans la nature, une campagne de mesure a été menée au printemps dernier au laboratoire PIAF sur

des branches d'arbres jeunes (*Populus tremula alba, Quercus ilex*). On observe le même type de surpression générée par une flexion dans un système fermé qui varie quadratiquement avec la déformation (Figure 1B). De plus, quand on normalise les surpressions obtenues par les modules d'Young des branches artificielles (MPa) et naturelle (GPa), on trouve deux préfacteurs du même ordre de grandeur, ce qui suggère un mécanisme physique identique.

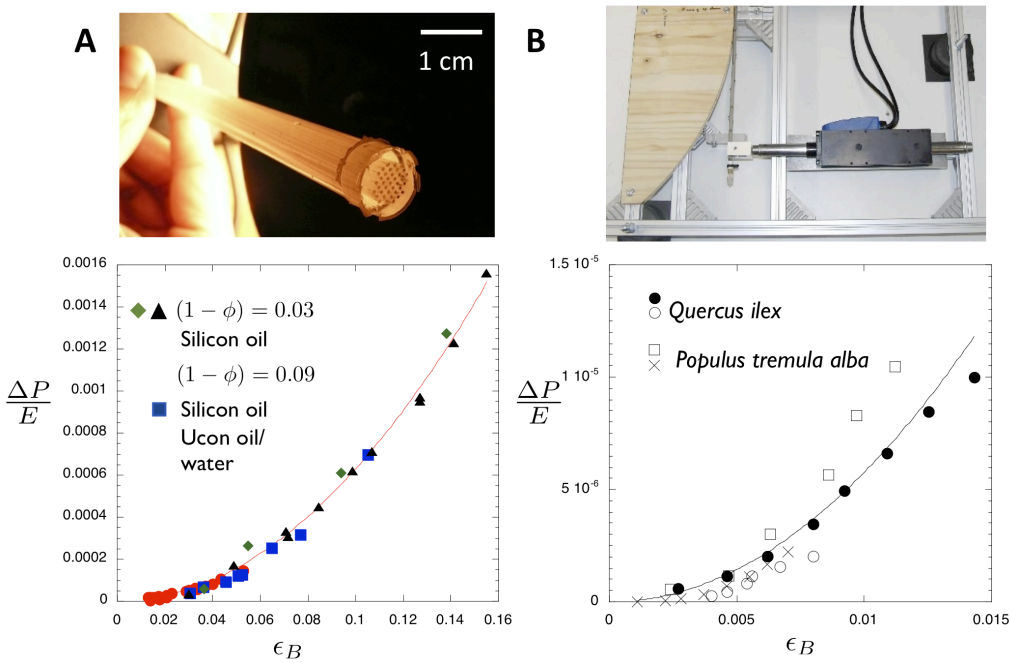


Fig. 1 : Saut de pression normalisé par le module d'Young en fonction de la déformation de courbure moyenne appliquée pour : A) des branches artificielles $\Delta P/E$=6.3.10^{-2} ε_B^2, et B) des branches naturelles $\Delta P/E$=5.7.10^{-2} ε_B^2.

Conclusion

Ces résultats très encourageant montre qu'un pulse hydraulique est nécessairement généré dans des branches en flexion. Il reste maintenant à comprendre le rôle physiologique éventuel de cette onde de pression notamment dans le transport longue distance de l'information chez les arbres.

Références

E. Wassim Chehab, Elizabeth Eich and Janet Braam (2009), Thigmomorphogenesis : a complex plant response to mechano-stimulation, Journal of Experimental Botany, Vol. 60, No 1, pp. 43-56.

C. Coutant and B. Moulia (2000), Biomechanical study of the effect of a controlled bending on tomato stem elongation : local strain sensing and spatial integration of the signal, Journal of Experimental Botany, Vol. 51, No. 352, pp. 1825-1842.

JF. Louf, G. Guéna, O. Pouliquen, Y. Forterre, E. Badel, H. Cochard, B. Moulia (2012), Poroelastic coupling in artificial branches, 7th international plant biomechanic conference.

B05

Mesoporosity characterization during tension wood cell wall maturation

CHANG Shan-Shan[1], QUIGNARD Françoise [2], CLAIR Bruno [1, 3]

[1] Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (LMGC), CNRS, Université Montpellier 2, cc 048, Place E. Bataillon, 34095 Montpellier, France
[2] Institut Charles Gerhardt Montpellier, UMR 5253 CNRS-UM2-ENSCM-UM1, 8 rue de l'Ecole Normale, 34296 Montpellier cedex 5, France
[3] CNRS, UMR Ecologie des Forêts de Guyane (EcoFoG), Campus Agronomique, BP 701, 97387 Kourou, French Guiana
shanshan.chang@univ-montp2.fr

Keywords

Mesoporosity; tension wood; cell wall maturation; gelatinous layer; maturation stress

Introduction

Trees are able to maintain their verticality or definite angles thanks to their ability to generate asymmetrical tensile tress in the newly formed wood layers. The mechanism of stress generation during maturation is still not fully understood but matrix is suspected to play a major role. To progress in the understanding of active stress generation in tension wood, the mesoporosity (pore size from 2 to 50 nm) of the cell wall and its evolution during maturation of poplar (with gelatinous layer) and simarouba (without gelatinous layer) tension wood were measured by nitrogen adsorption-desorption isotherm.

Materials and Methods

The sampling was made on both upper side (tension wood) and lower side (opposite wood) of the naturally tilted poplar (*Populus deltoides* × *P. nigra*) and simarouba (*Simarouba amara* Aubl.) trees. Four samples were obtained by peeling; other samples were obtained by sectioning. Samples were dehydrated in series of ethanol solutions and then supercritically dried before nitrogen adsorption measurements.

Results and discussion

Mesoporosity can always be detected near cambium zone, with the deposition of material with porous matrix with high surface area S_{BET} for two kinds of tension woods. With the cell differentiation, the high porosity near the cambium zone decreases abruptly and is nearly lost due to the lignification, with an exception in tension wood with G-layer. For tension wood with G-layer, pore size increase progressively from 11.7 nm (400µm from the cambium) to around 20 nm at 1600µm far from the cambium where G-layer can be consider as mature. This mesoporosity belong to the hemicellulosic hydrogel matrix which is between macrofibrils. These observations could be interpreted as the swelling of the matrix during cell wall maturation in tension wood. The swelling of G-layer matrix in-between the interconnected microfibrils in the cell wall may be the driving force of the stress generation. As proposed by Alméras (Alméras et al. 2012), the lateral swelling of the matrix in an interconnected cellulosic network could transfer the light lateral strain in high longitudinal stress, generating the tensile stress observed in vivo during the maturation process of G-layer (Clair et al. 2011).

The increase of median pore size is also observed in the non-G-layer tension wood and surprisingly the corresponding opposite wood, before to disappear during maturation. Non-G-layer species may

share the same mechanism of tensile stress generation as in tension wood with G-layer. This mesoporosity would be later hidden by lignifications process of the wall. However, further analysis need to be done to clearly conclude on these data.

References

Alméras T., Gril J., Clair B. (2012) The origin of maturation stress in tension wood: using a wide range of observations and mechanical considerations to discriminate between hypothetic mechanisms. 7th plant biomechanics international conference, Clermont-Ferrand, France.

Clair B., Alméras T., Pilate G., Jullien D., Sugiyama J., Riekel C. (2011) Maturation stress generation in poplar tension wood studied by synchrotron radiation micro-diffraction. Plant Physiol 155: 562-570.

B06

Sur la transparence du bois aux rayonnements infrarouges.

DUPLEIX Anna[1], DE SOUSA MENESES Domingos[2]

[1]ENSAM LaBoMaP, Cluny
[2]CEMHTI CNRS Orléans
anna.dupleix@ensam.eu

Mots-clés

Bois vert, chauffe infrarouge, déroulage, propriétés optiques, sphère intégrante.

Introduction

Ce résumé présente des travaux de recherche visant à quantifier la capacité du bois vert à absorber le rayonnement infrarouge (IR). Les résultats portent sur : (1) la quantité d'énergie IR que le bois vert est capable d'absorber, (2) la profondeur de pénétration des rayonnements IR dans le bois vert. Les essais ont été réalisés à l'aide d'une sphère intégrante sur des échantillons de bouleau et épicéa (provenant de Finlande) et de hêtre et Douglas (provenant de Bourgogne) au sein du laboratoire CEHMTI-CNRS d'Orléans (Dupleix et al. 2012b).

Matériel et méthodes

La sphère intégrante permet de calculer les spectres de réflexion (R), de transmission (Tr) et d'absorption (A) (Eqs. 1 à 3) grâce à la mesure des spectres ambiant Amb, référence (M), réfléchi ER et transmis ET (Fig. 1). Les nombre d'ondes des bandes spectrales IR utilisées s'étendent de 550 cm-1 à 5500 cm-1 (longueurs d'onde allant de 1.8 µm à 18 µm).

$$R = \frac{E_R - Amb}{M - Amb} \quad (1) \qquad Tr = \frac{E_T}{M} \quad (2) \qquad A = 1 - R - Tr \quad (3)$$

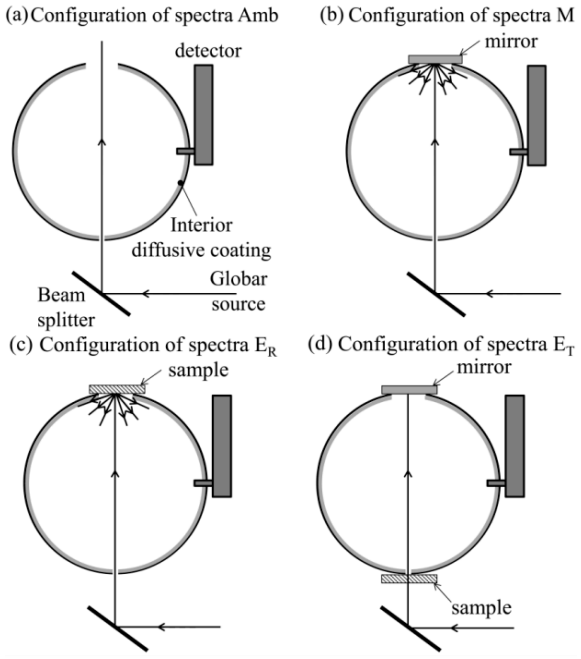


Fig. 1. Schéma des différentes configurations de mesure de la sphère intégrante.

Résultats

Les résultats obtenus prouvent que, sur la plage de longueur d'onde étudiée, le bois vert réfléchit entre 10 et 30 % des rayonnements incidents et la profondeur de pénétration des rayonnements est de l'ordre de 0.3 mm (Fig. 2). Cela signifie que le bois vert absorbe entre 70 et 90 % des rayonnements incidents dans les 3 premiers dixièmes de millimètres et qu'il n'est pas possible pour l'énergie de pénétrer plus en profondeur.

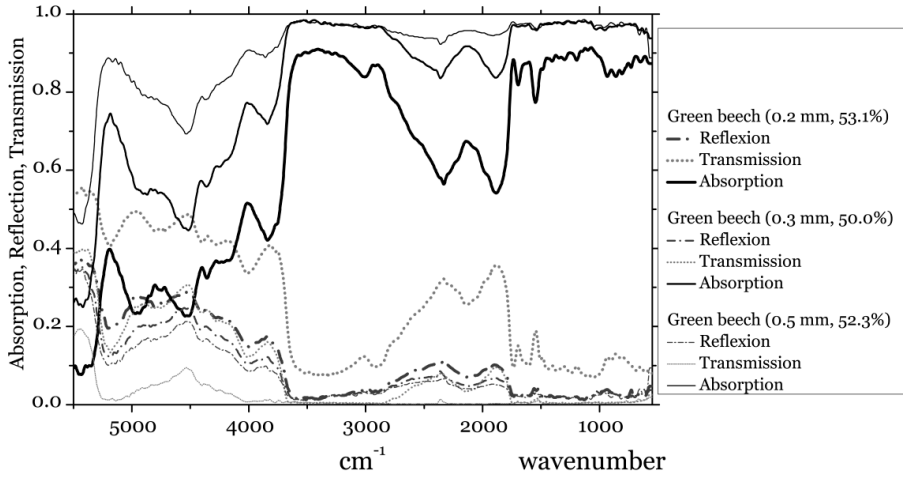


Fig. 2 Spectres de reflection, transmission et absorption pour des échantillons de hêtre (vert) de 0.2mm, 0.3mm and 0.5mm d'épaisseur (humidités respectives:53.1%, 50.0% et 52.3%).

Ces résultats sont corrélés par de précédents travaux réalisés sur du chêne humide (de 0 à 20% d'humidité) pour lesquels la profondeur de pénétration des IR est évaluée entre 0.13 à 2.15 µm selon la longueur d'onde (Zavarin et al. 1991) sans excéder 0.1 mm (Makoviny and Zemiar 2004).

Conclusions

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une recherche alternative à l'étuvage qui viserait à chauffer le billon de bois vert directement sur la dérouleuse à l'aide de panneaux rayonnants IR. Les résultats obtenus ici sur les propriétés optiques du bois vert permettent d'alimenter un modèle numérique de calcul des montées en températures d'un billon de bois vert en rotation autour de son axe longitudinal et soumis à un chauffage IR (Dupleix et al. 2012b). La faisabilité de cette technologie fait l'objet d'une thèse soutenue le 13 décembre 2013 à l'ENSAM de Cluny.

Références

Dupleix A., De Sousa Meneses D., Hughes M., Marchal R. (2012a) Mid infrared absorption properties of green wood. Wood Sci Technol, DOI 10.1007/s00226-013-0572-5.

Dupleix A., Ould Ahmedou S.-A., Bleron L., Rossi F., Hughes M. (2012b) Rational production of veneer by IR-heating of green wood during peeling: Modeling experiments. Holzforschung 67(1), 53-58, DOI 10.1515/hf-2012-0005.

Makoviny I, Zemiar J (2004) Heating of wood surface layers by infrared and microwave radiation. Wood Res 49(4):33–40.

Zavarin E, Cool LG, Jones SG (1991) Analysis of solid wood surfaces by internal-reflection fourier transform infrared-spectroscopy (FTIR-IRS). J Wood Chem Technol 11(1):41–56.

B07

Caractérisation des propriétés élastiques transverses d'une fibre par spectroscopie de résonance ultrasonore laser

KHELFA Haithem[1], MOUNIER Denis[2], PICART Pascal[1], POILÂNE Christophe[3]

[1]Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine, UMR 6613
CNRS, Université du Maine, F-72085 Le Mans
[2]Institut des Molécules et des Matériaux du Mans, UMR 6283
CNRS, Université du Maine, F-72085 Le Mans
[3]Centre de recherche sur les Ion, les Matériaux et la Photonique, UMR 6252
CNRS, CEA, ENSICAEN, Université de Caen Basse-Normandie, F-14070 Caen
christophe.poilane@unicaen.fr

Mots-clés

Coefficients d'élasticité, Amortissement, Fibre unitaire, Laser-RUS

Introduction

Les polymères renforcés par des fibres de lin ont des propriétés mécaniques notablement différentes des polymères renforcés par des fibres de carbone et des polymères renforcés par des fibres de verre. Ils possèdent par exemple des propriétés d'amortissement recherchées pour certaines applications. L'origine de cet amortissement n'est pas précisément identifiée, mais on peut penser qu'elle provient de la fibre unitaire. Les essais de traction sur fibre unitaire permettent de connaître la valeur du module d'Young longitudinal mais ne renseignent pas sur ses propriétés transversales. Étant donné la structure anisotrope de la fibre unitaire de lin, Baley (2002), il est raisonnable de penser que les propriétés mécaniques transverses et longitudinales sont notablement différentes. Les propriétés mécaniques transversales sont difficilement accessibles, les mesures par nano-indentation donnent par exemple des résultats aléatoires compte tenu de la structure très hétérogène de la fibre. Comme alternative, nous proposons une méthode de spectroscopie de résonance ultrasonore laser (Laser Resonant Ultrasound Spectroscopy) ou méthode LRUS pour déterminer les propriétés mécaniques d'une fibre élémentaire, Mounier (2014).

Méthodologie et résultats

Afin d'éviter tout contact mécanique avec la fibre, la LRUS met en œuvre des lasers pour exciter et mesurer les vibrations. À partir de la mesure des fréquences de résonance, de la densité et de la géométrie de la section de la fibre, il est possible d'évaluer les propriétés élastiques du matériau par la résolution d'un problème inverse. L'excitation des vibrations de la fibre est réalisée au moyen d'un laser impulsionnel à la longueur d'onde de 1064 nm (laser de pompe) délivrant, à une cadence de 7 kHz, des impulsions de durée 0,5 ns avec une énergie de quelques microjoules. Le faisceau laser de pompe est focalisé pour former un spot elliptique très allongé (6 µm x 100 µm) aligné avec l'axe de la fibre. Un film d'or semi transparent, jouant le rôle de transducteur opto-acoustique, est éventuellement déposé sur le côté de la fibre faisant face au faisceau de pompe. Il permet l'absorption de l'énergie de l'impulsion de pompe et par conséquent le chauffage rapide du film qui se traduit par une brève déformation. L'impulsion de déformation se transmet à la fibre qui est excitée sur ses modes propres (modes de section). La détection des vibrations est réalisée par le faisceau continu d'un interféromètre (le faisceau de sonde) focalisé sur une tache de 2 µm de diamètre et centré sur le spot de pompe. Le faisceau de sonde mesure les déplacements radiaux de la surface de la fibre.

Pour évaluer les propriétés élastiques transversales de la fibre, notamment son module d'Young transverse, il faut être capable d'identifier les modes de vibrations associés aux fréquences propres mesurées. Dans ce but, nous simulons les vibrations d'une section de fibre par éléments finis avec COMSOL Multiphysics. Le recalage des fréquences calculées sur les fréquences expérimentales permet d'évaluer les propriétés de la fibre. L'essai a été étalonné sur un filament d'aluminium (Fig. 1, Mounier et al. 2014) et conduit avec succès sur une fibre de verre E et une fibre de carbone T700. Le cas de la fibre de lin est plus difficile et ajoute quelques verrous technologiques. L'identification modale est délicate à cause de croisement de modes. De plus la section n'est pas régulière et une simulation réaliste impose une mesure tridimensionnelle du tronçon de fibre analysé. Une technique de tomographie *in situ* par holographie est en cours de mise au point actuellement (Fig 2.).

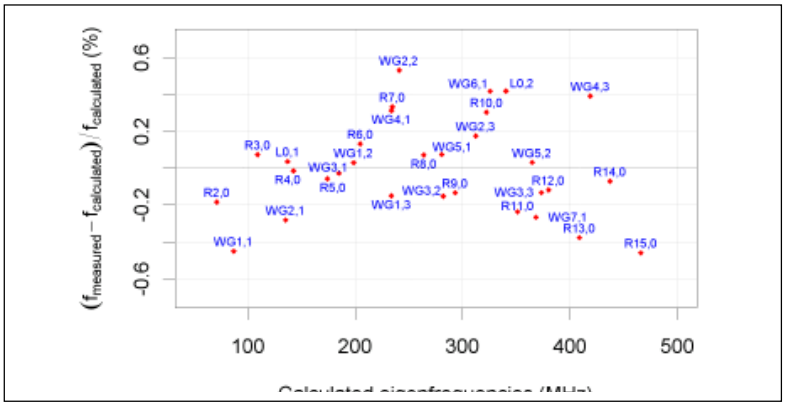


Fig. 1 : Résidus entre fréquences simulées et fréquences mesurées (filament d'aluminium).

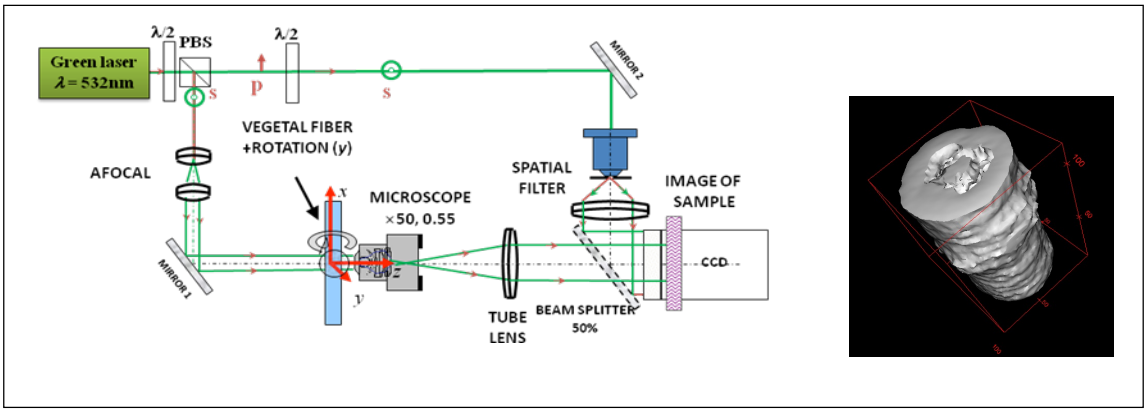


Fig. 2 : Banc de tomographie optique *in situ* et résultat préliminaire (fibre de lin).

Références

C. Baley (2002) Analysis of the flax fibres tensile behaviour and analysis of the tensile stiffness increase, Comp. Part A, 939-948/33/2002.

D. Mounier, C. Poilâne, H. Khelfa, P. Picart (2014) Sub-gigahertz laser resonant ultrasound spectroscopy for the evaluation of elastic properties of micrometric fibers. Ultrasonics. 259-267/54/2014.

B08

Une méthode original de détermination des coefficients de diffusion de matériaux hygroscopiques en régime transitoire

PIERRE Floran[1], AYOUZ Mehdi[1], PERRE Patrick[1]

[1]Ecole Centrale Paris, LGPM, Grande Voie des Vignes, Châtenay-Malabry, France
floran.pierre@ecp.fr

Mots-clés

Transfert massique, matériaux hygroscopiques, identification, bâtiments écologiques

Résumé

Le réchauffement climatique mondial nécessite de diminuer la consommation énergétique des bâtiments et de promouvoir les matériaux renouvelables. La simulation de la performance énergétique du bâtiment est de plus en plus intégrée dans leur processus de conception. Bon nombre de ces nouveaux matériaux, souvent hygroscopiques, donnent lieu à des transferts couplés de chaleur et de masse en régime transitoire et plusieurs caractéristiques de ces nouveaux matériaux, tels que les isothermes de sorption, la perméabilité à l'air et les coefficients de transfert de masse, doivent être connues avec un bon niveau de confiance pour alimenter les modèles. Les transferts de masse dans ce type de matériaux étant souvent lents, des méthodes fiables et rapides sont plus que bienvenues.

Ce travail présente une méthode originale de détermination des coefficients de diffusion en régime transitoire. Le principe de la mesure consiste à appliquer, sur une face d'un échantillon, une variation progressive d'humidité relative afin de créer une force motrice de transfert de masse et de collecter la valeur d'humidité relative sur l'autre face (figure 1). Un dispositif original, spécialement conçu à cet effet, permet de tester huit échantillons simultanément. L'évolution de l'humidité relative sur chaque face de l'échantillon est analysée par méthode inverse en utilisant un modèle de calcul global.

Le coefficient de diffusion réduit dimension (f) obtenu pour l'épicéa (*Picea abies*) et le panneau de fibres de moyenne densité (MDF) sont présentés dans ce travail. Les premiers résultats confirment que cette nouvelle méthode facilite considérablement la détermination du coefficient de diffusion grâce notamment à une forte réduction du temps requis pour une détermination rigoureuse de ces grandeurs. Les diffusivités réduites obtenues pour l'épicéa sont en bon accord avec celles trouvées par les méthodes classiques [1]. A l'inverse, les résultats obtenus pour le MDF (figure 2) donnent des valeurs complètement inattendues ($f > 1$). Ceci confirme la nature double échelle du transfert de masse dans certains matériaux en régime transitoire.

Fig. 1 : Echantillons dans le dispositif expérimental

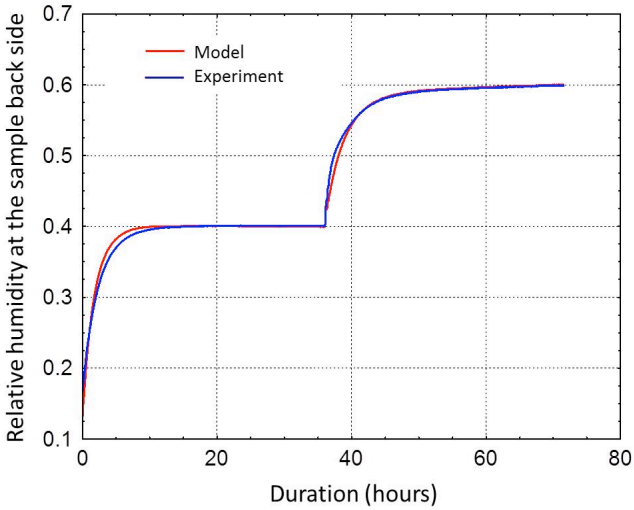


Fig. 2 : Données obtenues pour du MDF. L'écart entre les deux courbes montre la nature double échelle des transferts de masse dans ce matériau.

Références

Zohoun S., Agoua E., Degan G., Perré P. (2003) An experimental correction proposed for an accurate determination of mass diffusivity of wood in steady regime. Heat and Mass Transfer 39, 147–155.

B09

Sur des essais mécanosorptifs en relaxation appliqués au Sapin Blanc du massif Central

SAIFOUNI Omar [1,2], MOUTOU PITTI Rostand [1,2], DESTREBECQ Jean François [1,2], FROIDEVAUX Julien [3], NAVI Parvis [3], GARMY Joël [4]

[1] Clermont Université, UBP, Institut Pascal, BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand, France
[2] CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, F-63171 AUBIERE, France
[3] Bern University of Applied Sciences, Biel, Switzerland
[4] Auvergne Promobois, Site de Marmilhat, BP 104, 63370, Lempdes
omar.saifouni@ifma.fr

Contexte scientifique

Le phénomène mécanosorptif est connu depuis plusieurs décennies; cependant les essais les plus anciens ne concernaient que des échantillons de taille importante Ranta Maunus (1975). A partir de 1996, Pittet effectue de nombreux essais dans le sens des fibres sur des échantillons minces d'épaisseur environ 0,7 mm. Des essais de même type ont été repris par Randirambololona (2003) afin de caractériser le fluage mécanosorptif du pin maritime. La majeure partie de ces essais mécanosorptifs sont en fluage, seuls deux d'entre eux sont en relaxation et ont été effectués par Pittet (1996).

Le présent travail rapporte des résultats d'essais mécanosorptifs réalisés sous chargement et humidité relative variables à Bern University. Un appareil de traction-compression avec une cellule hygrothermique permettant le contrôle précis de l'humidité relative et de la température à l'intérieur est utilisé, Fig.1. Les échantillons testés sont de petites dimensions (50x3x1 mm^3) ce qui permet de limiter les effets du gradient d'humidité Fig. 2.

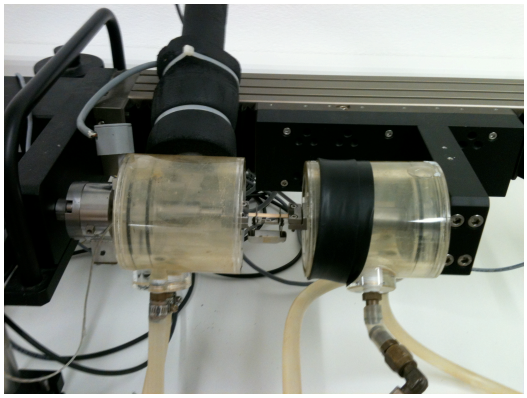


Fig. 1 : machine de traction avec cellule hygrothermique

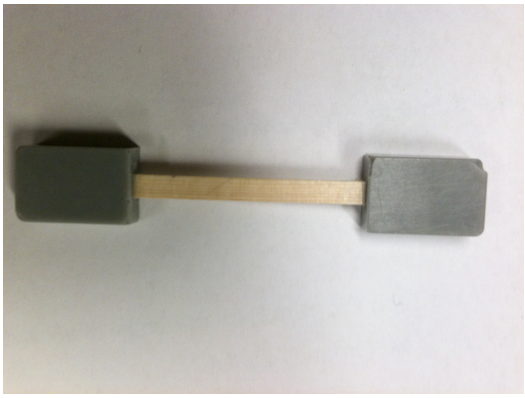


Fig. 2 : échantillon en bois avec ses extrémités encastrées dans la résine

Essais préliminaires de caractérisation

Les essais de caractérisation hydriques donnent la relation de la teneur en eau du bois et l'humidité relative de l'air à travers la courbe de sorption. Les essais de caractérisation mécanique instantanée permettent d'obtenir la contrainte moyenne de rupture et le module d'élasticité à différents niveaux d'humidité relative. Les essais différés effectués à différents taux d'humidité relative permettent d'établir les courbes de relaxation et de fluage. Ainsi, les résultats obtenus pour une même humidité relative et pour différents paliers de chargement nous donne une indication sur le domaine de linéarité de l'échantillon (Sapin Blanc). Enfin, les essais sur des différents paliers d'humidité relative montrent l'influence de l'humidité relative sur la relaxation du bois.

Essais mécanosorptifs

Premièrement, deux essais mécanosorptifs en relaxation-effacement sous sollicitation constante sont effectués. La variation d'humidité relative du premier essai est de 30%-50%-30%-70%-30% et de 70%-50%-70%-30%-70% dans le deuxième essai.

Ensuite, un essai mécanosorptif en fluage à humidité relative et à chargement cycliques est effectué, Fig 3.

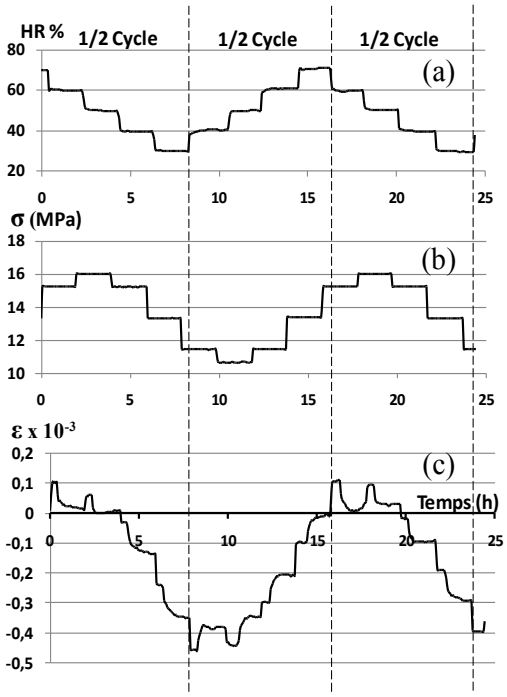


Fig. 3 – Essai mécanosorptif avec chargement et humidité variables.

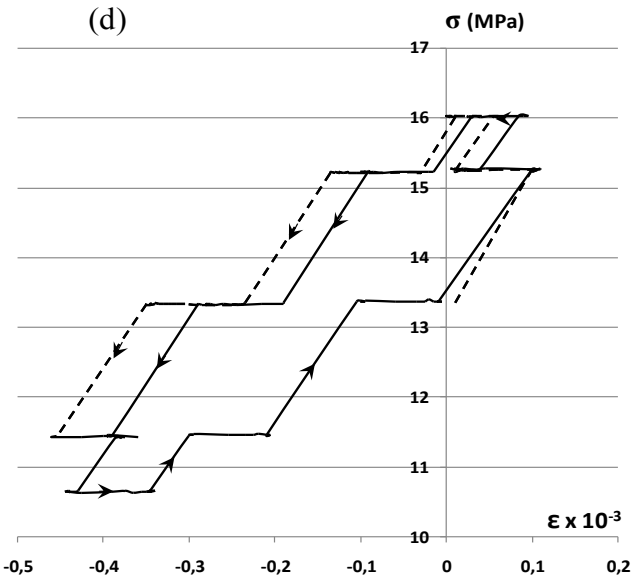


Fig. 4 – Courbe de contrainte déformation

Les effets mesurés du résultat en Fig 4 se décomposent en une part hydrique, mécanique et mécanosorptive (interaction entre effets hydrique et mécanique). La courbe contrainte-déformation montre l'effet couplé de la déformation de fluage avec celle hygroverrou sur la translation des cycles et la forme de l'hystérésis.

Références

Pittet V. (1996) Étude expérimentale des couplages mécanosorptifs dans le bois soumis à variations hygrométriques contrôlées sous chargement de longue durée, Thèse de Doctorat, École Polytechnique Fédérale de Lausanne.

Randriambololona H. (2003) Modélisation du comportement différé du bois en environnement variable, Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences et Techniques, Université de Limoges.

Ranta-Maunus A. (1975) The viscoelasticity of wood at varying moisture content, Wood Science and Technology, 9, p. 189-205.

B10

Etude locale et globale du comportement hydro-mécanique du béton de granulats de bois

AKKAOUI Abdessamad, CARE Sabine, VANDAMME Matthieu

Laboratoire Navier UMR 8205, Ecole des Ponts ParisTech, Université Paris Est
sabine.care@ifsttar.fr

Mots-clés

Béton, Granulat de bois, Retrait de séchage, analyse multi-échelle

Introduction

Les bétons à base de particules d'origine végétale, dits agro-bétons ou bétons bio-sourcés, présentent des atouts environnementaux très variés (légèreté, performance thermique, source renouvelable,…) (Pacheco-Torgal 2011). Ces qualités font de ces matériaux un moyen essentiel pour améliorer l'impact environnemental du bâtiment. Cependant l'utilisation de ces bétons reste limitée à cause de quelques difficultés scientifiques et techniques, en particulier on cite le problème des instabilités dimensionnelles induites par des variations de l'humidité de la structure en question. L'objectif de ce travail est d'étudier le phénomène de retrait de béton de bois par une analyse à l'échelle locale (constituants) et globale (matériau composite).

Matériaux étudiés

Le béton étudié est constitué de copeaux de bois (Agreslith-C 4/10 mm) liés par une matrice cimentaire. Ce matériau est ainsi composé de trois phases : les granulats de bois entourés par le liant et l'air occupant la porosité inter-granulaire (Fig. 1). Différentes formulations avec la même teneur en bois et des rapports Ciment/Bois (C/B) différents ont été étudiées. Le rapport Eau/Ciment (E/C) était égal à 0.5 pour tous les mélanges considérés.

Fig. 1 : Aspect général du béton de granulat de bois par une caméra optique et schéma de modélisation

Comportement global

Les variations dimensionnelles des échantillons fabriqués, dans leurs trois directions, principales ont été suivies au cours du processus de séchage de matériau. Les résultats montrent que les conditions de conservation influent sur le retrait de séchage de béton contenant des particules de bois. Par ailleurs ce retrait ne dépend quasiment pas de la direction de mesure et donc on peut le considérer isotrope.

Pour approfondir la compréhension de ce phénomène, un model pour estimer les variations dimensionnelles de béton de granulats de bois a été développé (Akkaoui 2013). Ce modèle se base sur le couplage de deux phénomènes : la désorption d'eau par les constituants et son transfert par ceux-ci. Fig. 2 illustre les résultats obtenus. Ces résultats sont en bon accord avec les mesures

expérimentales pour les temps longs (> 12 jours). Au jeune âge, un écart entre le modèle et l'éxpérience a été observé, et donc un travail supplémentaire est nécessaire pour mieux comprender l'origine de ces différence.

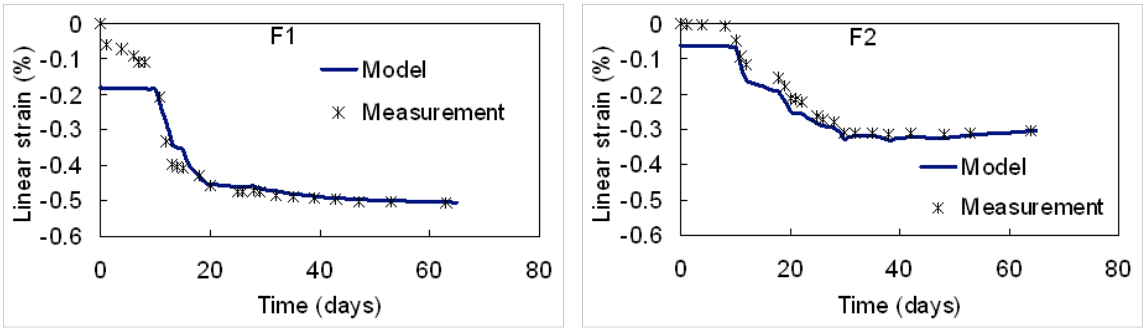
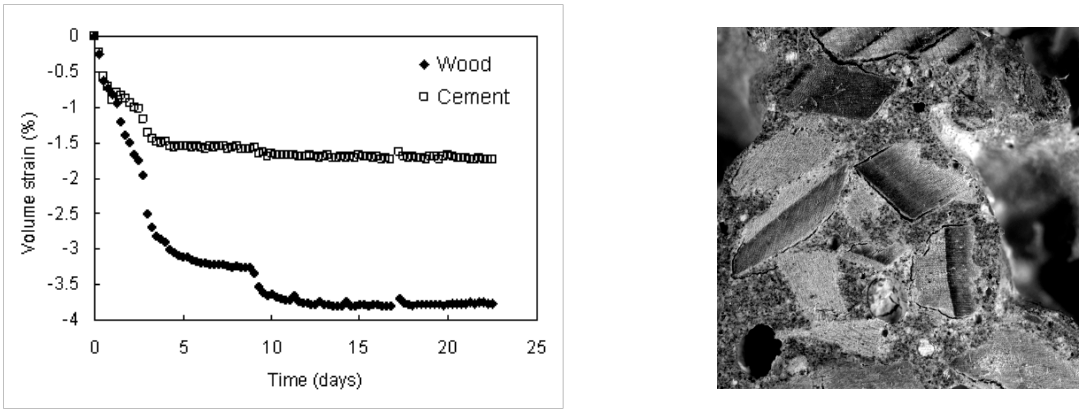


Fig. 2 : Déformation de retrait du béton de granulats de bois pour deux formulations F1 (C/B=1.25) et F2 (C/B=1.75)

Comportement local

Au cours du processus de séchage, des images 2D ont été acquises à l'aide d'une caméra haute résolution sur un échantillon dont la surface a été polie. Le traitement de ces images en utilisant un logiciel de corrélation d'image (CMV, voir (Bornert 2011) pour le principe) permet d'accéder aux variations dimensionnelles à l'échelle de la pâte de ciment et de la particule de bois. Un exemple de résultats obtenus est présenté dans Fig. 3(a). Par ailleurs, grâce à cette méthode d'analyse, des conséquences de ce phénomène de retrait à l'échelle locale (fissuration, endommagement de l'interface,…) ont été visualisées (Fig. 3(b)).



(a) (b)

Fig. 3 : Déformations volumiques moyennes des constituants au cours de séchage (C/B=2.25) (a), et fissurations induites par ces déformations (b).

Références

Akkaoui, A., Vandamme, M., Caré, S. (2013) Hygro-mechanical properties of wood-aggregate aoncrete: Experimental study and modeling. Poromechanics V: pp. 1786-1794.

Bornert, M., Orteu, J.J., Roux, S. (2011) Corrélation d'images, Mesures de champs et identification, Grédiac, M. and Hild, F. Eds., Hermes Science, Chap. 6, 175-208.

Pacheco-Torgal F., Jalali S. (2011). Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: a review, Construction and Building Materials, 25, p.575-581.

B11

Durabilité de l'assemblage mixte bois-béton collé sous chargement hydrique

LOULOU Louisa[1], CARE Sabine[1], LE ROY Robert[1], BORNERT Michel[1], CHATAIGNER Sylvain[2], NEDJAR Boumedienne[1], BERTRAND François[1]

[1]Université Paris Est, Laboratoire Navier (UMR 8205), CNRS, ENPC, IFSTTAR
[2]LUNAM Université - IFSTTAR de Nantes
sabine.care@ifsttar.fr

Objectifs

La mixité bois-béton est une solution intéressante dans le domaine des ouvrages d'art pour la réalisation de ponts, et dans le domaine du bâtiment dans la confection de planchers mixtes.

Le laboratoire Navier travaille depuis plusieurs années au développement du procédé par collage appliqué aux structures mixtes bois-béton (Fig. 1). Cette technique d'assemblage permet d'assurer une connexion quasi-parfaite entre le bois et le béton, contrairement aux techniques d'assemblage usuelles par connecteurs métalliques. Des travaux antérieurs ont montré la bonne performance de structures mixtes collées bois-béton du point de vue de leur tenue mécanique en fatigue (Le Roy et al 2009).

Cependant la connexion par collage nécessite une étude complémentaire pour évaluer sa durabilité, en particulier lorsque la structure mixte est soumise à des conditions hygrométriques variables. Il est en effet important de quantifier les effets des déformations différentielles entre le béton et le bois (sollicité dans le plan transverse) ainsi que les contraintes induites dans les matériaux et au niveau de l'interface (Fig. 2) afin d'évaluer les risques de dégradation de la connexion.

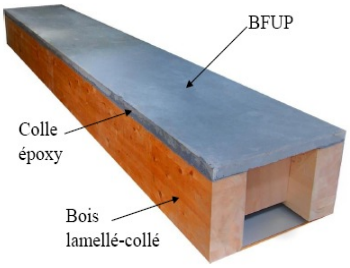


Fig. 1 Prototype Bois-béton collé, Brevet LCPC

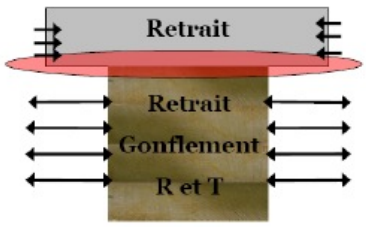


Fig.2 Mécanismes de dégradation au niveau de l'interface

Résultats

Les travaux menés pendant le travail de thèse (Loulou 2013) ont pour objectifs de déterminer les facteurs qui influent sur la tenue de ces assemblages collés sous chargement hydrique (pour deux essences de bois : épicéa et douglas) ; ils se divisent en 3 parties :

(i) Des tests de cisaillement « Push-Out », en collaboration avec le Laboratoire Départemental d'Autun, ont permis d'évaluer l'effet des propriétés élastiques de l'adhésif sur la tenue en cisaillement de l'assemblage (Chataigner *et al* 2011). L'objet de cette étude expérimentale est de valider un choix de colle (époxy) pour ce type d'assemblage, prenant en compte un vieillissement hydrique, en se basant sur la capacité maximale atteinte en cisaillement, et le mode de rupture de l'assemblage.

(ii) L'analyse du comportement de la structure soumis à des variations hydriques extérieures a été réalisée par la technique de corrélation d'images numériques (DIC) sur des assemblages bois-béton

collé de petite taille (Fig. 3). Ces mesures de déformations locales ont permis de localiser des zones d'endommagement (fissuration du béton ou décollement de l'interface) liées notamment aux déformations hydriques du bois empêchées par l'interface collée. Les effets des propriétés élastiques de l'adhésif, de la géométrie du bois (notamment sa structure et le sens des cernes par rapport au plan de collage) ainsi que du comportement mécanique du matériau cimentaire ont été étudiés. Les transferts d'eau dans le bois ont été en particulier analysés par des mesures par Imagerie à Résonance Magnétique et par gammadensimétrie et corrélés aux déformations induites mesurées par la technique DIC.

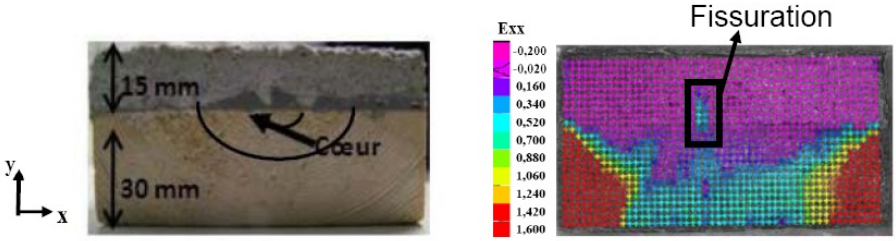


Fig. 3. Cas de l'assemblage epicé-BFUP, cœur près de l'interface. Observation par DIC d'une fissure dans le béton induite par un chargement hydrique dans le plan transverse du bois (après 15 jours de chargement hydrique, déformation Exx)

(iii) Un modèle numérique par éléments finis a été validé en comparant les résultats numériques aux cartes de déformation obtenues expérimentalement (Fig. 4). L'analyse numérique a ainsi permis de quantifier les contraintes induites au niveau de l'interface en relation avec les déformations hydriques empêchées par l'interface collée et de prévoir le comportement à l'échelle 1 de structures mixtes.

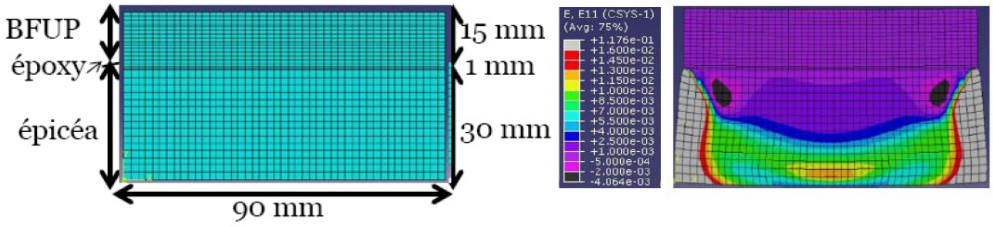


Fig. 4. Cas de l'assemblage epicé-BFUP, cœur près de l'interface. Modélisation numérique : maillage et carte de déformation dans le plan transverse du bois (après 15 jours de chargement hydrique, déformation Exx)

Ces différentes investigations ont permis de proposer des solutions optimisant ce type de connexion et de définir des conditions de mise en œuvre et d'utilisation de ces assemblages, tenant compte en particulier du caractère anisotrope du bois.

Références

Chataigner S., Flety A., Aubagnac C., Loulou L., Caré S., Leroy R. (2011), Transfert des efforts par collage structural entre bois et beton : Utilisation d'un essai push-out pour le choix de l'adhésif, GC2011, Cachan, France, 22-24 mars 2011.

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

Loulou L. (2013), Durabilité de l'assemblage mixte bois-béton collé sous chargement hydrique, Doctorat de l'Université Paris Est.

B12

Etude et mise au point d'élaboration des panneaux à base de palmier dattier

AMIROU Siham [1], HADDADOU Imane[1], ZERIZER Abdellatif [1]

[1]Unité de recherche matériaux, procédés et environnement (UR-MPE)-UMBB, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Cité Frantz Fanon, 35000,
Boumerdes, Algérie
amirou.siham@gmail.com

Mots clés

tanins, panneaux de particules, propriétés des panneaux, émissions de formaldéhyde

Résumé

En Algérie on observe une utilisation de plus en plus importante de bois dans les programmes de développement, de construction et de restructuration, alors que le pays est déjà importateur de bois d'où la nécessité de réduire les importations du pays en développant de nouvelles alternatives comme par exemple l'utilisation de fibres végétales locales pour la fabrication de panneaux de particules.

Les quantités énormes de déchets de palmier dattier disponibles pourraient avantageusement être mises à profit dans la réalisation des panneaux. Par ailleurs le palmier dattier qui est une espèce très répandue en Algérie trouve peu d'applications actuellement.

Les normes concernant les émissions de formaldéhyde des adhésifs pour bois étant très restrictives, des alternatives satisfaisant les mêmes exigences sont recherchées. Dans cette perspective nous avons étudié des solutions pour l'utilisation des colles de tanins dans l'élaboration des panneaux de particules à base du bois de palmier dattier.

Les résultats obtenus permettent de définir des conclusions assez nettes. La première, cette étude a montré que l'utilisation des colles de tannins pour la production de panneaux de particules du bois de palmier dattier est possible. La plupart des formulations étudiées satisfont les exigences qualitatives des normes. Cependant la résistance à l'eau de ces panneaux reste problématique.

La deuxième conclusion, concerne la supériorité du bois de palmier dattier par rapport à d'autres matières fibreuses dans la fabrication de tels composites. En effet, pour des conditions de collage équivalentes, nous avons toujours observé un meilleur comportement des panneaux à base du bois de palmier dattier lors des différents essais mécaniques et physique réalisés.

B13

Termite resistance of the tannin-treated Scots pine (*Pinus sylvestris L.*) wood after exposed under the artificial and natural weathering

HU Jinbo[1], TONDI Gianluca[2], THÉVENON Marie-France[1]

[1]Unité de Recherche BioWooEB, CIRAD, TA B 114/16, Montpellier 34398 Cedex 5, France
[2]University of Applied Sciences of Salzburg, Forest Product Technology & Construction Dept., 5431, Kuchl, Austria
jinbo.hu@cirad.fr

Introduction

Tannin-hexamine-boron formulations preservative have proved to be very efficient in laboratory tests conditions, even after leaching, allowing thus an interesting biological resistance. Nevertheless, it was not demonstrated whether tannin-hexamine-boron preservatives for outdoor end-uses could remain biologically efficient after weathering, and keep assuring the termite resistance of treated wood. The specimens were treated by different formulations, subsequently were weathered in a QUV and in natural conditions (in Kuchl, Austria), and tested for their resistance towards termites.

Material & Methods

Scots pine sapwood (*Pinus sylvestris L.*) pieces were treated with formulations containing: mimosa tannin (*Acacia Mearnsii*), sodium hydroxide, hexamine, boric acid(BA) (Tondi *et al*, 2012). The treated and untreated samples in a QUV/spray accelerated weathering tester for 955 hours, others in natural conditions for 158 days. Once the weathering done, and after conditioning at 20°C, 65%RH, the termite resistance was performed according to EN118.

Results & discussions

From table 1 and figure1, it is inferred that the tannin-preservative formulation can not prevent the termite to attack the wood after the treated samples undergo weathering (all wood samples are rated 4, meaning a strong termite attack). The protective factors of the tannin-impregnated wood specimens were leached. The rigidity of the tannin polymer is the key to understanding the process. The effect of weathering conditions stresses the polymer and some branches of the polymer network break, producing lower molecular weight fragments that can be easily leached out.

Table 1 Termite-infested results of weathering wood treated tannin-based preservatives

Treatment (w/w)	Aging method	Survival rate of the termites		Level of attack of the specimen
		Workers (%)	Soldiers(S) and/or nymphs(N)	
10% tannin+BA	QUV	59.2	S. N.	4
20% tannin+BA		63.6	S. N.	4
Untreated		56.4	S. N.	4
10% tannin+BA	Natural weathering	0	No	4
20% tannin+BA		0	No	4
Untreated		62.2	S. N.	4
10% tannin+BA	Without aging	0	No	4
20% tannin+BA		0	No	4
Untreated		66.2	S. N.	4

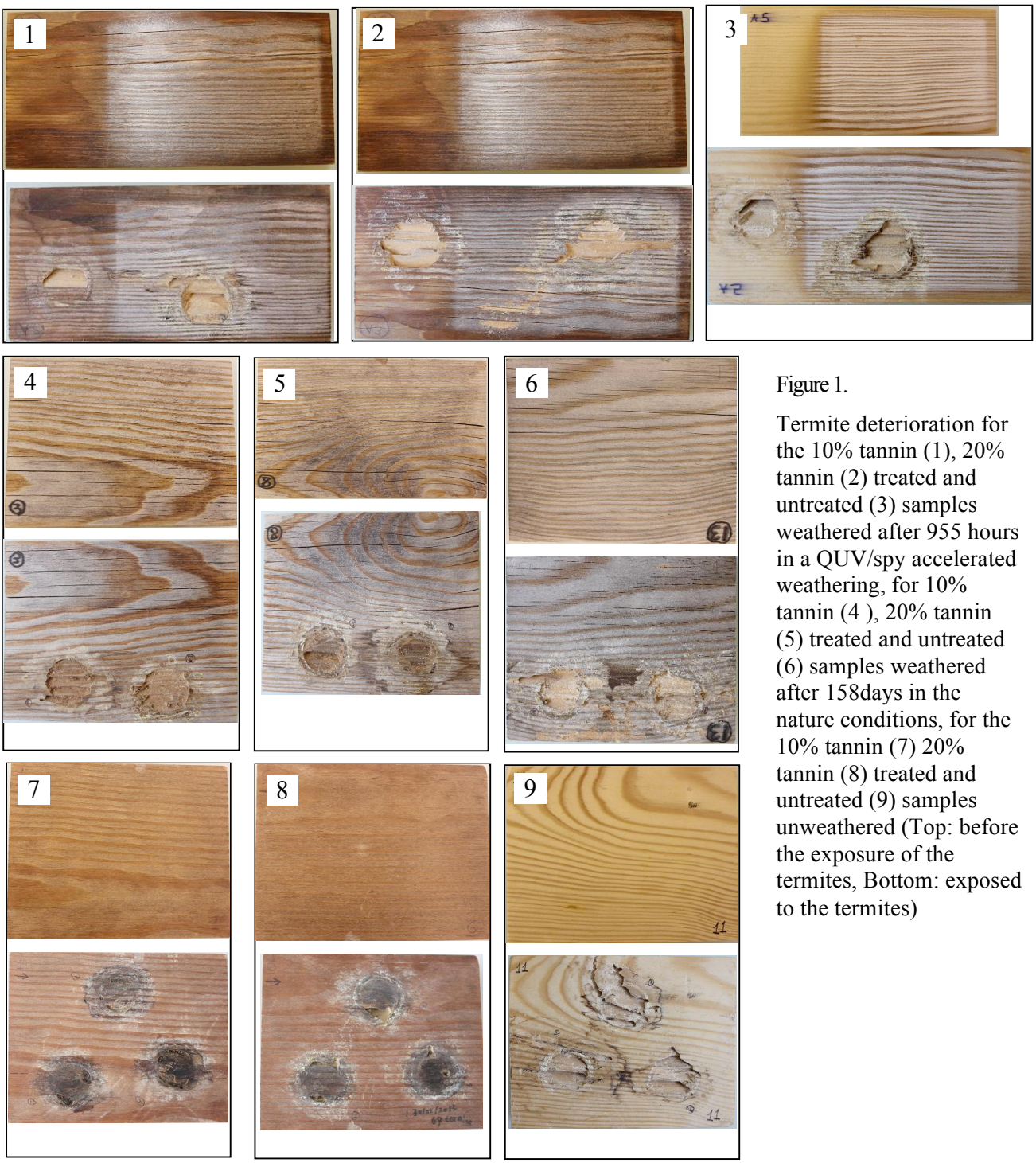


Figure 1.

Termite deterioration for the 10% tannin (1), 20% tannin (2) treated and untreated (3) samples weathered after 955 hours in a QUV/spy accelerated weathering, for 10% tannin (4), 20% tannin (5) treated and untreated (6) samples weathered after 158days in the nature conditions, for the 10% tannin (7) 20% tannin (8) treated and untreated (9) samples unweathered (Top: before the exposure of the termites, Bottom: exposed to the termites)

B14

Le CIRAD est heureux de vous annoncer…

Comité de Direction de l'UR BioWooEB [1]

[1]UR BioWooEB, CIRAD, 73 rue Jean-François Breton, 34398 Montpellier Cedex 5
dirbiowooeb@cirad.fr

Mots-clés

Bois, Biomasse ligno-cellulosique, énergie, bioproduits, zone intertropicale, zone méditerranéenne, recherche pour le développement

Introduction

…la naissance de sa nouvelle Unité de Recherche (UR) « Biomasse, Bois, Energie, Bioproduits » (UR BioWooEB, acronyme issu de son intitulé anglais « Biomass, Wood, Energy, Bioproducts »). Cette UR dédiée à la valorisation en cascade de la biomasse lignocellulosique (BLC) tropicale et méditerranéenne, résulte de la fusion au 1er février 2013 des UR « Production et valorisation des bois tropicaux et méditerranéens » et « Biomasse énergie » du CIRAD.

L'UR appartient au Département PERSYST (PERformances des SYSTèmes de production et de transformation tropicaux) du CIRAD. Elle partage avec d'autres UR les locaux de la Maison de la technologie située sur le campus de Lavalette, Montpellier

L'âge moyen de ce collectif de 38 personnes (7 femmes, 31 hommes / 21 chercheurs, 5 ingénieurs, 9 techniciens, 2 assistantes) est de 45 ans (28 à 67 ans). 6 Chercheurs sont titulaires d'une HDR et 8 chercheurs sont expatriés (Burkina Fasso, Brésil, Thaïlande, Malaisie, Australie).

Les recherches sont conduites autour de 4 grands thèmes scientifiques

- Thème 1 : Connaissance et caractérisation de la biomasse ligneuse et de son préconditionnement
- Thème 2 : Génie des procédés thermochimiques
- Thème 3 : Bioproduits fonctionnels et matériaux composites
- Thème 4 : Stratégies économiques et environnementales des systèmes biomasse

Champ scientifique de la nouvelle UR

Le système de production de biomasse terrestre au sens large répond à quatre besoins majeurs : l'alimentation humaine (12% de la biomasse terrestre récoltée), l'alimentation animale (58%), le matériau (20%), et l'énergie (10%) (Krausmann & al, 2008). Il y a de considérables variations régionales dans l'expression de ces besoins et les réponses qu'y apportent ces grands systèmes de production. Par exemple dans les 8 à 11 grandes zones biogéographiques mondiales considérées par ces auteurs, c'est parfois le matériau qui est le sous-produit de l'énergie, mais plus souvent l'énergie le sous-produit du matériau. Ces systèmes de production de matériaux, d'énergie mais aussi de façon croissante de molécules d'intérêt, subissent des mutations qui découlent des évolutions actuelles de la globalisation, de la recomposition des axes Nord-Sud et Sud-Sud, et du changement climatique. Ces mutations demandent la mise en place de nouvelles stratégies économiques et environnementales pour que les systèmes de production soient soutenables et décentralisés.

Les recherches menées au sein de l'UR se situent pleinement dans l'axe prioritaire n°2 du CIRAD « Innover pour des valorisations durables de la biomasse à des fins non alimentaires ». Elles concourent à optimiser différentes voies de valorisations technologiques de BLC locales (matériaux pour un habitat durable en zone chaude, énergie décentralisée, bioproduits issus d'extractions pour conférer une meilleure durabilité à des biomasses peu résistantes ou élaborer des colles

biosourcées), et ce prioritairement au profit des populations rurales et périurbaines des régions tropicales et méditerranéennes. Les recherches menées au sein de l'UR sont résolument intégratives.

Deux approches prévalent

- Approche de type « forêts naturelles ». Nous cherchons à comprendre les origines de la variabilité des diverses propriétés physiques, chimiques et structurales de BLC afin d'en tirer profit dans l'affectation des ressources puis la déconstruction de la matière en vue de l'élaboration de matériaux d'ingénierie et de biocomposites pour les régions chaudes, de conversions thermochimiques (torréfaction, carbonisation, gazéification, combustion en moteur), de séparation-extraction (molécules d'intérêt, pour la préservation des bois notamment). Nous nous préoccupons alors des incidences de la variabilité des ressources sur les performances des procédés de conversion/transformation/séparation ainsi que sur la qualité des produits obtenus (matériaux, produits torréfiés, charbon, gaz, huile de pyrolyse, bioproduits extraits) en vue d'opérer les meilleures mises en adéquation biomasse/procédés et biomasse/produits.
- Approche de type « plantations ». Du fait de la nécessité de réduire les pressions sur les « forêts naturelles », les plantations monospécifiques se multiplient rendant possible une démarche inverse : à partir des contraintes des procédés, des demandes des utilisateurs et de l'impact environnemental probable, nous nous proposons de définir les caractéristiques d'une(des) biomasse(s) type(s) par usage, i.e. nous recherchons cette fois à mieux comprendre les origines de la variabilité des diverses propriétés physiques, chimiques et structurales de la biomasse pour fixer le cahier des charges des agronomes, forestiers et améliorateurs afin qu'ils produisent pour nos applications des biomasses d'intérêt.

Ces deux approches s'appliquent également à d'autres BLC (palmiers, bambous, résidus de cultures alimentaires, etc…).

Après une étape de caractérisation faisant appel à des méthodes non destructives, ou pour le moins non invasives, il s'agit pour toutes les applications de déconstruire les BLC par fragmentation (avant extractions et/ou traitements thermochimiques), sciage, déroulage (avant lamellation de composites) en minimisant la consommation énergétique de cette étape par des traitements préalables (séchage, torréfaction) ou par la mise en place de nouvelles stratégies de coupe tirant profit des zones de faiblesse mécanique du bois ou des autres biomasses.

Les filières technologiques de traitements thermochimiques, d'extraction/séparation, d'élaboration de composites sont ensuite optimisées après avoir acquis une meilleure compréhension des phénomènes physico-chimiques et mécaniques mis en jeu dans les réacteurs de conversion ou à l'interface biomasse/matrice suivant les applications.

L'UR disposant d'une plateforme de première et seconde transformation du bois ainsi que d'une plateforme biomasse-énergie comprenant des pilotes semi-industriels de pyrolyse, torréfaction, gazéification, il nous est possible de conserver une parfaite traçabilité entre stations de récolte et produits élaborés.

Chaque recherche fait l'objet de mesures d'impacts économiques et/ou environnementaux en mettant en œuvre des méthodologies spécifiques. Elles font l'objet également d'une mise en contexte grâce à l'intervention d'une équipe œuvrant à l'étude des « stratégies économiques et environnementales des systèmes biomasse ».

L'UR BioWooEB dans le CIRAD

Des élargissements thématiques dans d'autre champs disciplinaires en « sciences du bois » sont favorisés au sein du CIRAD via des coopérations entre l'UR BioWooEB et d'autres Unités de Recherche comme

- L'UMR Agap [3] (Plateforme Imagerie ; sélection variétale) : Déterminisme de la variabilité, interactions croissance - environnement - génotype - caractéristiques de la matière première
- L'UMR Ecofog [4] : Chimie des substances naturelles, formation et fonction du bois dans l'arbre
- L'UPR BSEF [5] : Gestion des ressources renouvelables
- L'UMR Amap [6] : Analyse et modélisation de la structure et de la diversité des plantes
- L'UMR Qualisud : Fractionnement de la biomasse et morphologie des produits ; séchage
- L'UMR IATE [7] : Chimie et fonctionnalités de la lignocellulose ; fractionnement de la biomasse
- Les UMR Green, Moisa, ART-Dév, Innovation orientés Economique et Social.

Références

Fridolin Krausmann, Karl-Heinz Erb, Simone Gingrich, Christian Lauk, Helmut Haberl Global patterns of socioeconomic biomass flows in the year 2000: A comprehensive assessment of supply, consumption and constraints. Ecological Economics 65 (2008) 471-487.

[3] Amélioration génétique et adaptation des plantes méditerranéennes et tropicales
[4] Ecologie des forêts de Guyane
[5] Biens et services des écosystèmes forestiers tropicaux
[6] BotAnique et bioinforMatique de l'Architecture des Plantes
[7] Ingénierie des agropolymères et technologies émergentes

C01

WADE ou comment le bois s'acclimate aux perturbations du couvert

COLIN F. [1], COLLET C. [1], CONSTANT T[1]., CUNY H. [1], DLOUHA J. [1], HARTMANN F. [1], LONGUETAUD F. [1], MOTHE F. [1], NINGRE F. [1], NOYER E.[1], RATHGEBER C[1], RUELLE J[1], GERARDIN Ph.[2], GERARDIN C. [2], DUMARÇAY S.[2], TROUY-TRIBOULOT MC[2], BOUALI A. [2], BROSSE N[2]; BRENDEL O. [3], RICHARD B. [3], CABANE M. [3], AFIF D. [3], PONTON S. [3], SAINT-ANDRE L. [4]

[1] LERFoB, UMR 1092, AgroParisTech, INRA, Nancy, France
[2] LERMaB, EA 4370, Université de Lorraine, INRA, Nancy, France
[3] EEF, UMR 1137, Université de Lorraine, INRA, Nancy, France
[4] BEF, INRA, Nancy, France
meriem.fournier@agroparistech.fr

Mots-clés

Formation du bois, propriétés du bois, modélisation, biomécanique, écologie des perturbations, physiologie des réponses aux stress

Introduction

Le projet WADE Wood Acclimation to Disturbed Environments est un projet pluridisciplinaire soutenu par le Laboratoire d'Excellence ARBRE (ANR-12- LABXARBRE-01) et démarré 2013 pour 3 ans. WADE analyse la plasticité des propriétés du bois, tissu fonctionnel de l'arbre, en réponse à des perturbations de l'environnement.

Contexte

WADE aborde la biophysique des processus impliqués dans la réponse des peuplements forestiers aux perturbations du couvert, encore peu connue (Johnson and Miyanishi 2007). L'ouverture rapide du couvert stimule la croissance (Aussenac, 2000), avec une réponse immédiate de la croissance en diamètre (formation du bois) et une réponse délayée de la croissance apicale. Simultanément, de nombreux ajustements s'effectuent en termes de morphologie de l'arbre et de propriétés du bois, que l'on peut interpréter comme des adaptations au climat lumineux et mécanique variable (e.g. Mitchell, 2000).

Le bois est variable et les traits qui caractérisent sa fonctionnalité hydraulique et mécanique dans l'arbre diffèrent selon les espèces (e.g. Chave et al. 2009) et le stade de développement (Zobel 1989). L'écologie fonctionnelle a étudié les liens entre la composition chimique du bois et celle du sol (e.g. Bilodeau-Gauthier et al. 2011) ou bien la composition en isotopes stables de la cellulose en tant que marqueur du fonctionnement foliaire ou de la source d'eau du sol (McCaroll and Loader 2004). La dendroclimatologie utilise les variations du bois pour remonter empiriquement aux variations du climat. Parallèlement, les modèles de production forestière ont intensivement étudié (Zobel and Van Buijtenen1989) et représenté par des équations empiriques les variations des propriétés du bois le génotype et des variables internes de l'arbre (vitesse de croissance et position dans la tige). Les relations entre variables environnementales et propriétés du bois restent complexes et peu robustes, du fait de quantité de processus de régulation partiellement compris (e.g. Vaganov et al. 2006). La réponse du bois aux sollicitations mécaniques, incluant le bois de réaction (Scurfield 1973) and de flexion (Telewski 1989) a été très peu intégrée à ces approches.

Objectifs

WADE cherche à lier les approches empiriques de la qualité du bois avec un cadre de modélisation mécaniste, des processus de formation du bois (Cuny et al 2013) ou des performances

biomécaniques (Fournier et al. 2013), pour décrire et prédire comment les changements de micro-climat (lumineux et mécaniques) affectent les propriétés du bois formé pendant la saison de végétation. WADE s'appuie donc sur une modélisation intégrative des fonctions et fonctionnalités du bois dans l'arbre, de la paroi cellulaire avec sa composition chimique à l'organisme, en passant par les différents types cellulaires et tissus. WADE utilise aussi une intégration temporelle des processus élémentaires de formation du bois. WADE utilise une vaste gamme de techniques de caractérisation du bois (physique, mécanique, anatomique, chimique) notamment sur les plateformes Xylosciences et PTEF.

Démarche

La tâche 1 (The general structural and multi-scale framework: selection of relevant wood properties) construit le cadre général d'analyse, aussi bien le cadre théorique de modélisation que les outils de caractérisation. Les trois tâches suivantes sont centrées sur des trois questions scientifiques : la tâche 2 (Wood acclimation to mechanical stress in thinning experiments) étudie comment le bois s'adapte aux perturbations mécaniques, la tâche 3 (Wood from branches) est centrée sur le bois de branches qui présente des fonctionnalités particulières comparé au bois de tronc, la tâche 4 (Wood as a marker of canopy disturbance during recruitment stage) vise à construire une dendro-écologie des perturbations du couvert sur les tiges juvéniles des espèces tolérantes à l'ombre. La valorisation de WADE (tâche 5) vise à développer des modèles d'aide à la décision en gestion des forêts (modules qualité des bois ou régénération) et à diffuser les connaissances vers les formations M et D.

Références

Aussenac G., 2000. Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. Ann. Sci. For. 57: 287-301

Bilodeau-Gauthier, S.; Houle, D.; Gagnon, C.; et al. 2011. Assessment of sugar maple tree growth in relation to the partitioning of elements in xylem along a soil acidity gradient. For. Ecol. Manag. 261: 95-104

Chave J, Coomes D, Jansen S, Lewis SL, Swenson NG, Zanne AE. 2009. Towards a worldwide wood economics spectrum. Ecology Letters 12: 351-366

Cuny, H. E., Rathgeber, C.B.K., Kiessé, T.S., Hartmann, F.P., Barbeito, I., & Fournier, M. 2013. Generalized additive models reveal the intrinsic complexity of wood formation dynamics. J. Exp Bot 64: 1983-1994.

Fournier M, Dlouhá J, Jaouen G, Almeras T. 2013. Integrative biomechanics for tree ecology: beyond wood density and strength. J. Exp Bot. 2013 Sep 7.

Johnson EA, Miyanishi K 2007 Plant disturbance ecology: the process and the response. Academic Press.

McCarroll, D; Loader, NJ. 2004. Stable isotopes in tree rings. Quaternary Science Reviews 23(7-8): 771-801

Mitchell, SJ. 2000. Stem growth responses in Douglas-fir and Sitka spruce following thinning: implications for assessing wind-firmness. For. Ecol. Manag. 135 (1-3) : 105-114

Scurfield, G. 1973. Reaction Wood: Its Structure and Function: Lignification may generate the force active in restoring the trunks of leaning trees to the vertical. Science. Volume: 179 Issue: 4074 Pages: 647-55

Telewski, FW. 1989. Structure and function of flexure wood in Abies-fraseri. Tree Physiol. 5 (1): 113-121.

Vaganov E.A., Hughes M.K., Shashkin A.V. 2006. Growth dynamics of conifer tree rings. Images of past and future environments. ECOLOGICAL STUDIES 183. 354p. Pub. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg

Zobel, B. J.; Buijtenen, J. P. van; 1989. Wood variation: its causes and control. Pages: xv + 363 pp. Publisher: Springer-Verlag; Berlin; Germany.

C02

La réponse des arbres à l'ouverture de la canopée : caractérisation de la croissance et marquage par les propriétés du bois

NOYER Estelle[1,2]

[1] INRA, UMR 1092 Laboratoire d'Etude des ressources Forêt Bois (LERFoB), Centre INRA de Nancy-Lorraine, 54270 Champenoux, France
[2] AgroParisTech, UMR 1092, Laboratoire d'Etude des ressources Forêt Bois (LERFoB), ENGREF, 14 rue Giradet, 54000 Nancy, France
estelle.noyer@nancy.inra.fr

Mots-clés

Ouverture canopée, hêtre, chêne, croissance, bois

Résumé

Au sein des forêts, nous pouvons observer la formation de microclimats. En effet, sous la canopée, il est remarqué une différence au niveau de la quantité et la qualité de la lumière, la disponibilité en ressources souterraines, des mouvements d'air et de la température. Suite à une perturbation climatique ou à l'action de l'Homme, une ouverture de la canopée modifie l'environnement des essences se développant à l'ombre de celle-ci. Dans un premier temps, il est rapporté des changements morphologiques tels qu'une croissance radiale améliorée. Puis, une acclimatation des arbres à leur nouvel environnement est observée. Cette acclimatation est notable au niveau hydraulique, foliaire et des propriétés mécaniques de la tige.

L'étude de ces processus d'acclimatation de ces arbres est le sujet de cette thèse. Nous suivrons trois principaux objectifs : (i) la caractérisation de la réponse des arbres (ii) l'identification des principales contraintes environnementales qui restreignent la croissance des arbres suite à une ouverture de la canopée et (iii) l'identification des caractéristiques du bois qui peuvent être utilisées comme marqueurs de l'ouverture de la canopée.

Pour répondre à ces problématiques, les arbres ont été distribués sur deux sites expérimentaux en systèmes irréguliers. Le premier, situé en France, contient des perches de hêtres et de chênes sessiles dont une éclaircie a eu lieu 6 ans auparavant. Le deuxième site, situé en Belgique, est composé de jeunes hêtres et chênes qui ont subit un traitement de 3 ans d'ombrage suivi de 3 ans de lumière. Deux types de variables seront observées. Tout d'abord, nous caractériserons la croissance des arbres (croissance axiale, développement des branches…). Ensuite, nous analyserons les ajustements des arbres à des facteurs spécifiques environnementaux (caractéristiques anatomiques, mécaniques et hydrauliques du bois, isotopes stables…).

C03

Biosynthèse des composés pariétaux du bois et contraintes environnementales

CABANE Mireille, AFIF Dany

UMR 1137 INRA –Université de Lorraine Ecologie Ecophysiologie Forestières, BP70239, 54506 Vandoeuvre les Nancy
mireille.cabane@univ-lorraine.fr

Mots-clés

Cellulose, lignine, peuplier, bois de tension, ozone, fort CO2

Introduction

Les arbres doivent faire face à un environnement changeant notamment en ce qui concerne composition atmosphérique. L'ozone et le CO2 font partie des gaz dont la concentration ne cesse d'augmenter depuis l'ère industrielle. L'objet de ce travail est d'évaluer quels sont les mécanismes qui peuvent amener à la modification de la composition du bois face à ces changements atmosphériques. La réponse de deux types de bois est analysée : le bois de tension et le bois opposé formés lors d'une contrainte mécanique.

Réponse à l'ozone

Des jeunes plants de peupliers cultivés en présence de concentrations élevées d'ozone présentent une baisse de l'activité cambiale associée à une diminution de l'épaisseur des parois dans le bois opposé et le bois de tension. La biosynthèse de la cellulose et de la lignine sont réduites. Cette réduction affecte plus fortement la cellulose conduisant à une modification de la balance cellulose / lignine en faveur de la lignine. La synthèse de cellulose et de lignine pourraient être coordonnées, au niveau transcriptionnel, de façon à favoriser le composé conférant une meilleure résistance mécanique pour un coût en squelettes carbonés réduit. Le bois de tension semble être plus affecté que le bois opposé (Richet et al, 2011)

Réponse au fort CO2

L'augmentation de la concentration en CO2 atmosphérique stimule la croissance radiale de jeunes peupliers sans modification de l'épaisseur des parois. Cependant, la paroi est enrichie en lignines. Un excès de squelettes carbonés semble conduire, dans ce cas, à une synthèse accrue de lignines. Le bois de tension est plus sensible à ces modifications que le bois opposé (Richet et al, 2012).

Références

Richet N, Afif D, Huber F, Pollet B, Banvoy J, El Zein R, Lapierre C, Dizengremel P, Perré P, Cabané M (2011) Cellulose and lignin biosynthesis is altered by ozone in wood of hybrid poplar (*Populus tremula* x *alba*). J Exp Bot 62:3575-3586

Richet N, Afif D, Tozo K, Pollet B, Maillard P, Huber F, Priault P, Banvoy J, Gross P, Dizengremel P, Lapierre C, Perre P, Cabané M (2012) Elevated CO2 and/or ozone modify lignification in the wood of poplars (*Populus tremula x alba*). J Exp Bot 63:4291-4301

C04

ANR DENDRAC « Développements d'outils DENDrométriques appliqués à l'anthrACologie : étude des relations hommes-ressources-environnements ». Nouvelles avancées.

COLLECTIF
BALY Isabelle[1,4], COUBRAY Sylvie[1], DUFRAISSE Alexa[1], DUPIN Aurore[2], DUPOUEY Jean-Luc[3], GIRARDCLOS Olivier[2], HAMDIDI Belaid[3], LAURENS Flavie[1], LEMOINE Michel, MAIRE Aurélien[4], NOCUS Noémie[1], RATHGEBER Cyrille[3], RUELLE Julien[3].

[1] UMR 7209 « Archéozoologie, archéobotanique : Sociétés, pratiques et environnements », MnHn/CNRS, Paris
[2] UMR 6249 Chrono-environnement, CNRS/Université de Franche-Comté, Besançon
[3] UMR1092 Laboratoire d'Etude des ressources Forêt Bois, INRA, Nancy
[4]UMS 3468 BBEES "Bases de données sur la Biodiversité, Ecologie, Environnement et Sociétés", MnHn/CNRS, Paris
Contact : dufraisse@mnhn.fr

Mots-clés

Anthracologie, dendrométrie, référentiels, chêne, base de données,

Introduction

L'ANR DENDRAC « Développements d'outils DENDrométriques appliqués à l'anthrACologie : étude des relations hommes-ressources-environnements » (Appel d'offre ANR JCJC 2010, resp. A. Dufraisse, site web : http://dendrac.mnhn.fr) a pour principal objectif de remonter aux caractéristiques dendrométriques de l'arbre et/ou des peuplements exploités à partir de l'étude d'assemblages de charbons de bois archéologiques. Pour cela, nous mettons en place des protocoles d'analyse des surfaces qui combinent les outils de l'anatomie quantitative, de la morphométrie géométrique, de la dendroécologie et de l'isotopie pour identifier l'organe de l'arbre, son âge et sa physionomie. Construits à partir de peuplements forestiers actuels, il s'agit ensuite d'appliquer ces protocoles sur des assemblages anthracologiques reproduits expérimentalement à partir de ces mêmes peuplements. Dans ce poster, nous exposerons l'état d'avancement de trois ateliers de travail.

Encart 1- Comparaison de l'anatomie des brins de semis et des brins de cépées chez le chêne sessile

Ce travail a pour objectif d'analyser et de définir les critères anatomiques qui peuvent discriminer le bois de cépées de celui de semis. Vingt échantillons de chênes sessiles (*Quercus petraea* Liebl.) provenant d'un peuplement mixte cépées/semis dans les Ardennes ont fait l'objet de mesures anatomiques. L'analyse d'image avec image J a permis de caractériser la taille et la proportion des différents tissus (vaisseaux, fibres, parenchyme) ainsi que les largeurs de cerne et la position de la transition entre le bois initial et le bois final. Des différences ont été mises en évidence entre les deux traitements pour le nombre et la proportion de vaisseaux dans le cerne, ainsi que la largeur de bois initial. Par contre la proportion de fibres et de parenchyme ne diffère pas (Hamdidi 2013).

Encart 2- Proportion aubier/duramen chez le chêne sessile

En anthracologie, nous cherchons des variables anatomiques qui permettent d'identifier la provenance des faibles calibres : houppier ou taillis. La première étude engagée sur des arbres

vivants vise à caractériser le bois de cœur et le bois d'aubier le long du profil en hauteur, de façon à distinguer le fût du houppier. Elle se base sur l'analyse de tige de 3 chênes d'une cinquantaine d'années échantillonnés sur la zone de travail de Chantrans, où un taillis exploité pour le combustible domestique est abandonné pour le fioul depuis 1950. Le travail a d'abord consisté à retenir des hypothèses à partir de la bibliographie : la surface totale de bois diminue avec la hauteur, alors que la surface d'aubier est davantage constante au-dessus de l'empâtement. En conséquence, la surface relative d'aubier augmente jusqu'à atteindre 100% dans le houppier. Les 3 arbres analysés correspondent bien aux hypothèses faites et montrent que l'augmentation de la proportion d'aubier est plus rapide dans le houppier que dans le fût.

De façon à être transposée à des échantillons anciens, l'étude doit être complétée par la prise en compte du volume de branche et répétée à des âges différents sur des arbres de sylvicultures variées (Dupin 2013).

Encart 3- *Circulus* : le Système d'Information créé pour le programme DENDRAC

Parce que l'un des enjeux du programme est de développer des référentiels globaux, c'est-à-dire utilisables par tous et non pas réalisés dans le cadre d'une thématique de recherche propre à un laboratoire, ce programme veut développer un système centralisé et accessible depuis internet pour assurer en outre le stockage, la pérennité et l'accessibilité des données.

Un système d'information (base de données et interface web) contenant les informations relatives aux stations d'échantillonnage, aux protocoles expérimentaux et aux mesures anatomiques a donc été réalisé (Laurens, 2013). La base de données *Circulus* créée sous le système de gestion de base de données MySQL s'articule ainsi autour de 4 thématiques principales : les utilisateurs, les sites d'échantillonnage, les échantillons et les mesures réalisées. Le modèle de base se veut le plus évolutif possible afin d'intégrer de nouveaux protocoles susceptibles de voir le jour dans les années à venir. Une interface web a été développée pour que les utilisateurs de la base puissent la consulter et y saisir de nouvelles données. Un système de sécurité a été ajouté afin de contrôler l'accès à l'ensemble de l'interface et aux données.

Références

Dupin A. (2013). Etude anthracologique des bûchers funéraires d'Urville-Nacqueville : apport méthodologique de la surface relative d'aubier. Mémoire de Master II Archéo-GEo-Sciences, Université de Bourgogne, Besançon, 70p.

Hamdidi (2013).*Comparaison de l'anatomie de brins de taillis et de futaie de chêne sessile.* Mémoire de Master II « Biologie et Ecologie pour la forêt, l'Agronomie et l'Environnement » spécialité BIPE « Biologie des interactions plantes environnement », INRA/Université de Lorraine, Nancy, 25p.

Laurens F. (2013). *Développements d'outils dendrométriques appliqués à l'étude des charbons de bois archéologiques : élaboration du Système d'Information*. Mémoire de Master II Sciences de l'Univers, Environnement, Evolution, Patrimoine Naturel et Sociétés, spécialité « Systématique, Evolution et Paléobiodiversité », MnHn/ UMPC, Paris, 31p.

C05

Origine et temps de dérive des bois flottés en Alaska : un outil pour dater les bois archéologiques du littoral arctique

ALIX Claire[1,2], JUDAY Glenn P.[2], GRANT Thomas III[2]

[1] UMR8096, Université Paris 1-Panthéon Sorbonne
[2] University of Alaska Fairbanks School of Natural Resources and Agricultural Sciences
claire.alix@univ-paris1.fr

Résumé

Les sites archéologiques du littoral alaskien renferment de nombreux vestiges immobiliers en bois dont l'excellente préservation permet l'analyse de leurs séquences de cernes d'accroissement (Fig. 1). La recherche dendrochronologique en Alaska s'est développée dès les années 1940 surtout sur l'épicéa (Picea glauca (Moench) Voss) sous l'impulsion de l'archéologue Giddings (1941) qui très tôt vit le potentiel de ces bois pour la construction du cadre chronoculturel et environnemental de la région (Giddings 1941). Cette impulsion pionnière surtout motivée par la datation absolue des sites archéologiques a été stoppée peu après par l'arrivée des méthodes plus rapides de datation radiocarbone (Nash 2001). Aujourd'hui ces dates ^{14}C des sites arctique posent de nombreux problèmes (McGhee & Tuck 1976) en particulier à des moments clefs comme celui de l'émergence de la culture de Thulé, ancêtre direct des Inuit. Aussi le développement d'une méthode indépendante et complémentaire du ^{14}C pour la datation des sites est un défi pour la préhistoire de la région.

Fig. 1 : Exemple de bois d'architecture d'un site archéologique du littoral, 12e s. apr. J.-C.

La dendrochronologie des bois arctiques n'est pas sans problème. La multitude des origines possibles des bois flotté et l'incertitude sur le temps écoulée entre la mort de l'arbre le moment où le bois s'échoue et est utilisé par l'homme, compliquent les datations croisées et leur interprétation. Ces bois contiennent néanmoins les séquences qui vont permettre de construire les chronologies longues qui font défaut en particulier dans l'intérieur de l'Alaska (Juday & Alix 2012). Le potentiel dendroclimatique de telles chronologies de son côté passe par la connaissance précise de l'origine du bois. On sait en effet que la sensibilité climatique de Picea glauca varie jusqu'à être opposée entre un bois qui a poussé dans le centre-est de l'Alaska et un autre qui viendra du sud-ouest ou du nord-ouest (Wilmking & Juday 2005).

Ce poster présente les travaux que nous menons sur le littoral alaskien et le long du Yukon, Tanana et Kuskokwim, principaux fleuves « producteurs » des bois flotté afin de réinitialiser la recherche dendrochronologique sur épicéa des plaines inondables et sur bois flottés.

Les 36 séquences de référence construites avec un total de 536 arbres individuels couvrant la période de 1607 à 2012 (Fig. 2) montrent l'existence de signatures dendrochronologiques uniques d'est en ouest. Ainsi, les datations croisées des disques de bois flotté collectés le long des fleuves et du littoral non seulement datent les bois flottés mais permet d'en déterminer la provenance. Dans certaines conditions, il est également possible de calculer les temps de dérive et d'établir un temps maximum et minimum pour un lieu de dépôt donné. La constitution des séquences de référence, les datations croisées et la récurrence des résultats constituent un véritable outil de datation dendrochronologique que nous appliquons maintenant aux bois archéologiques des sites du littoral alaskien datés entre le 11^{e} et le 19^{e} s.

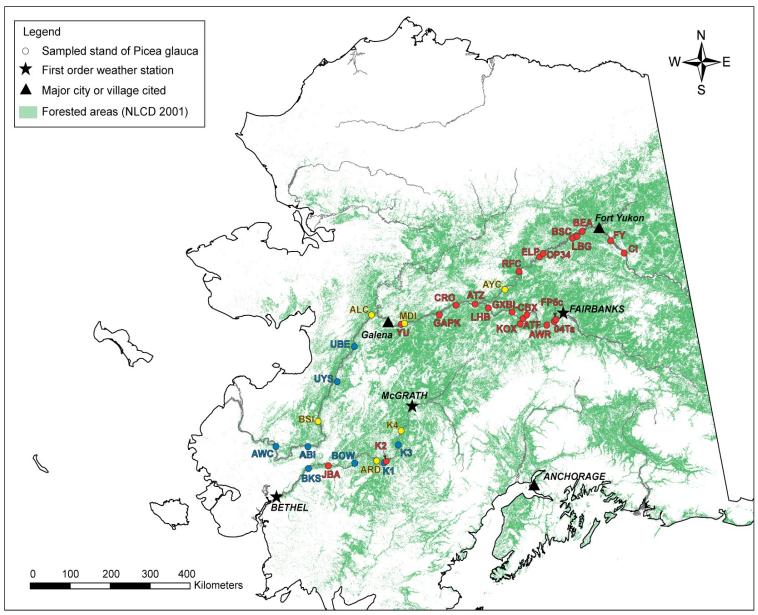


Fig. 2 : Carte de distribution des séquences dendrochronologiques de référence le long des principaux fleuves alaskiens (Fond de carte Th. Grant III).

Références

Giddings J.L., (1941) Dendrochronology of northern Alaska, University of Alaska Bulletin IV, 107pp.

Juday G. P., Alix C. (2012). Consistent negative température sensitivity and positive influence of précipitation on growth of floodplain Picea glauca in Interior Alaska. Canadian Journal ofForestry 42, 561-573

McGhee R.J., Tuck J., (1976) Un-dating the Canadian Arctic. In: Maxwell, M.S., ed. Eastern Arctic prehistory: Paleoeskimo problems. Memoirs of the Society for American Archaeology 31, 6–14.

Nash, S.N., 2000. James Louis Giddings' archaeological tree-ring dating in the American arctic: a forgotten legacy. Arctic Anthropology 37 (1), 60– 78.

Wilmking M., Juday G. J., (2005) Longitudinal variation of radial growth at Alaska's northern treeline—recent changes and possible scenarios for the 21st century, Global and Planetary Change 47, 282-300.

C06

Feux funéraires vs feux domestiques
Etude anthracologique comparée d'un site maya au Classique terminal

DUSSOL Lydie[1], ELLIOTT Michelle[2], PEREIRA Grégory[1], MICHELET Dominique[1]

[1]Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne. UMR 8096 Archéologie des Amériques.
[2] Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne. UMR 7041 Archéologie des Sciences de l'Antiquité, Equipe « Archéologies Environnementales ».
lydie.dussol@mae.u-paris10.fr

Problématique et méthode

Dans l'aire maya, les études sur le bois et les charbons de bois provenant de contextes archéologiques sont encore peu nombreuses, mais ont déjà procuré d'importants résultats sur la gestion des espaces forestiers et l'utilisation des ressources par les sociétés mayas anciennes (Robinson et McKillop 2013 ; Lentz et Hockaday 2009). Cependant, aucune étude n'a été menée sur les bois de combustion en contexte funéraire, malgré la richesse de ces contextes en matériaux organiques (bois et graines carbonisés). Or la complexité des rites funéraires mayas (culte des ancêtres, diversité dans le traitement des morts, lien entre sépulture et habitat, variabilité régionale…) implique de s'intéresser à l'ensemble des données existantes, pour tenter de reconstituer les comportements humains.

Sur le site de Río Bec, où les recherches ont été menées de 2002 à 2010 par le laboratoire Archéologie des Amériques - UMR 8096, plusieurs sépultures datées du Classique terminal (850-950 après J.-C.) ont présenté un mode de traitement particulier : les corps des défunts, enterrés sous les sols des habitations, étaient recouverts d'une couche de cendres et de charbons, sans trace de crémation (Pereira sous presse). Pour déterminer l'origine de ces restes ligneux, l'étude a consisté à comparer les charbons de cinq sépultures (contexte funéraire) avec ceux des couches d'occupation de deux cuisines (contexte domestique) et de deux encensoirs (contexte rituel), l'ensemble appartenant à trois groupes résidentiels contemporains. L'analyse comparative s'est faite à deux niveaux : d'une part, l'identification taxonomique des essences de bois utilisées ; d'autre part, lorsque cela était possible, l'analyse qualitative des échantillons (détermination de l'état de conservation, de l'état de maturité et de la partie du bois - racine/branche/tronc).

Résultats et interprétation

Les résultats ont montré une très grande diversité d'essences dans les sépultures, par rapport aux bois utilisés pour les feux domestiques et rituels (Fig. 1). Certains bois sont dominants dans tous les contextes (*Cordia* sp. et les sapotaceae) ou très représentés comme les fabaceae, suggérant une sélection des combustibles, pour leurs propriétés physiques et/ou leur accessibilité dans l'environnement local. D'autres essences, comme le *tzalam* (*Lysiloma* sp.), le *habín* (*Piscidia* sp.) ou le copal (*Protium* sp. et *Bursera* sp.), sont présentes uniquement en contexte funéraire et ont pu être sélectionnées pour leur valeur symbolique.

La présence de certaines essences qui ne poussent pas actuellement dans la région de Río Bec comme le pin et le bambou, pourrait se traduire en termes de variations écologiques ponctuelles, ou bien manifester l'existence de réseaux d'échanges de matières premières. On sait en effet que le pin possède des propriétés physiques ainsi qu'une valeur symbolique qui le rendent indispensable à la pratique des rituels mayas, au cours desquels il est brûlé comme offrande aux dieux et aux ancêtres (Morehart 2011). La dominance du pin dans les encensoirs du site confirme l'importance de cette essence pour la réalisation des feux rituels mayas, au moins au Classique terminal.

Par ailleurs, la présence de bois de racine et de petites branches, uniquement dans les échantillons des sépultures, suggère que des matériaux différents ont été utilisés pour les feux funéraires par rapport aux feux domestiques et rituels.

Trois modèles d'utilisation des bois de combustion, correspondant aux trois types de contexte étudiés, peuvent donc être dégagés. Bien que leur interprétation soit limitée par la nature de l'échantillonnage (faible nombre de structures étudiées, faible représentativité des foyers), ces résultats révèlent que les sépultures de Río Bec ont fait l'objet d'un traitement plus complexe que ce qui avait été envisagé initialement.

Au regard d'une société dont les préoccupations semblent fondée sur l'ancestralité et la territorialité, le fait d'utiliser un maximum d'essences disponibles pour le rite funéraire pourrait exprimer la volonté, de la part des habitants de la maison, d'affirmer le lien qui les unit à leur territoire, par la recréation symbolique de la forêt environnante.

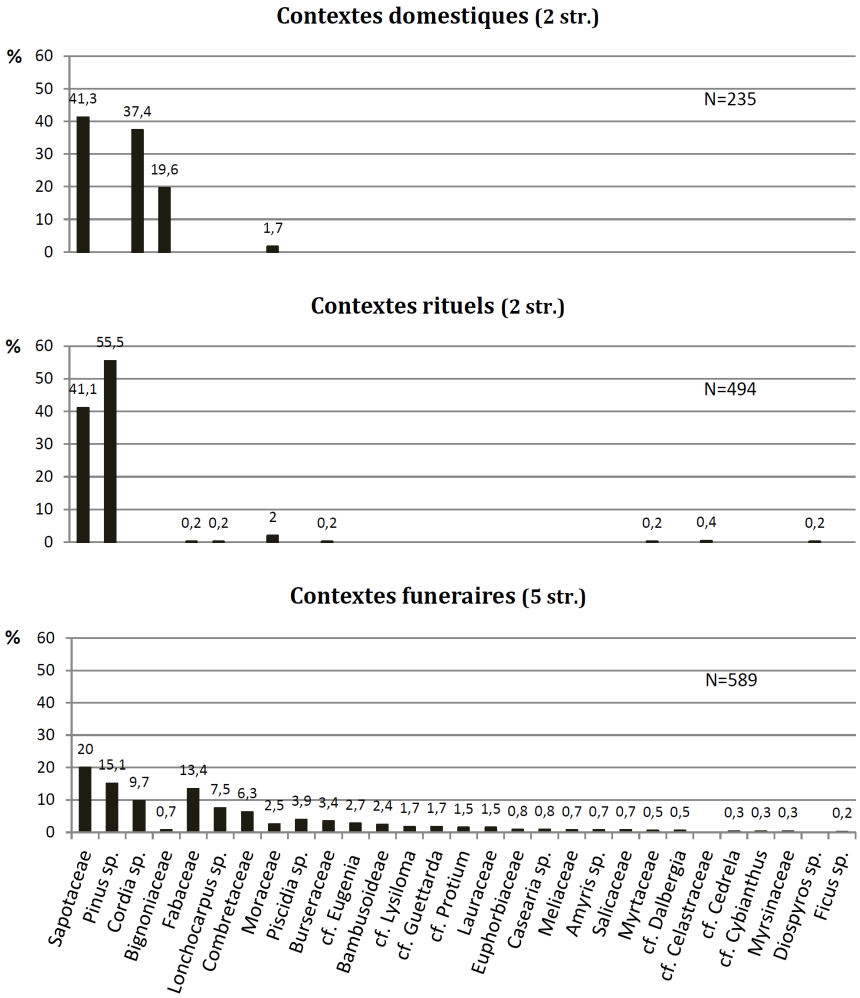


Fig. 1 : Proportions des taxons dans les trois types de contexte

Références

Lentz D.L., Hockaday B. (2009) Tikal timbers and temples: ancient Maya agroforestry and the end of time. Journal of archaeological science 36(7): 1342-1353.

Morehart C.T. (2011) Food, fire and fragrance. Paleoethnobotanical perspectives on Classic Maya cave rituals. BAR International series, 177 pp.

Pereira G. (sous presse) Ashes, dirt and rock: burial practices at Río Bec. Ancient Mesoamerica.

Robinson M. E., McKillop H.I. (2013) Ancient Maya wood selection and forest exploitation: a view from the Paynes Creek salt works, Belize. Journal of archaeological science 40(10): 3584-3595.

C07

Relevés photogrammétriques et modélisation 3D à partir des vestiges archéologiques du cap Espenberg, nord-ouest Alaska

MÉREUZE Rémi, ALIX Claire

Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, UMR 8096, Archéologie des Amériques
remi.mereuze@gmail.com, claire.alix@univ-paris1.fr

Mots-clés

Archéologie, Alaska, culture de Thulé, travail du bois, technologie, photogrammétrie, réalité virtuelle.

Introduction

L'étude présentée ici s'intègre dans une recherche plus large portant sur les techniques de construction des maisons de la culture de Thulé (ancêtres directs des Inuit) dans l'Arctique occidental (Alaska, delta du Mackenzie), du XVe au XXe siècle. Cette étude a nécessité la mise en place d'une méthode d'enregistrement et d'analyse du mobilier en bois issu de la fouille d'un site d'Alaska, le cap Espenberg.

Le relevé photogrammétrique

L'analyse des bois archéologiques de l'Arctique pose un certain nombre de problèmes d'ordre pratique. L'accès aux sites et aux données est coûteux et les vestiges archéologiques sont souvent fragiles. Elle demande également de réaliser des enregistrements de données précis et systématiques, notamment en ce qui concerne la dimension des pièces et les stigmates de fabrication. Afin de palier à ces difficultés et minimiser la manipulation des vestiges, une méthode simple et peu coûteuse a été mise en place pour enregistrer des données en les rendant les plus manipulables possibles. En effet, la numérisation des surfaces du mobilier archéologique permet aussi de calculer systématiquement et plus précisément les stigmates, leur superficie, l'angle qu'ils marquent par rapport au plan de travail,

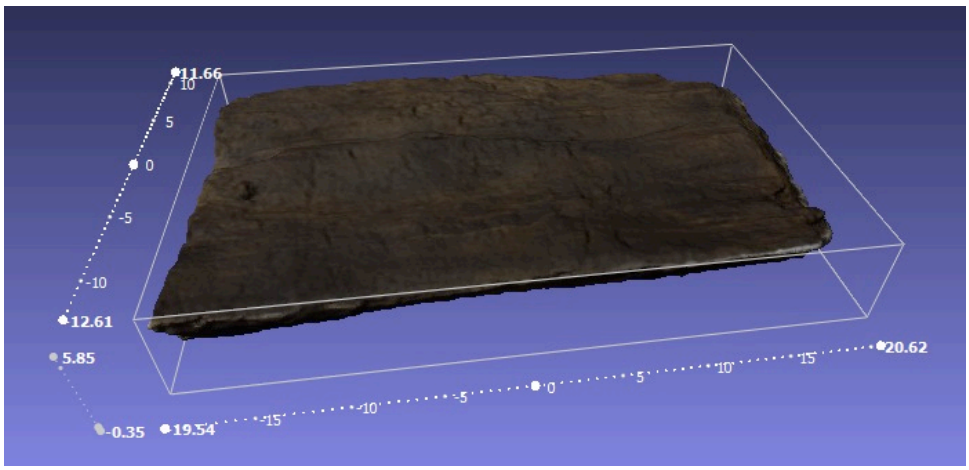


Fig. 1 : Visualisation d'une planche en bois dans Meshlab

La photogrammétrie permet d'obtenir un modèle numérique 3D avec une résolution qui permet l'étude précise des stigmates. Ce type de relevé ne nécessite qu'un appareil photographique numérique et un ordinateur (suffisamment puissant pour traiter de la 3D). Le traitement informatique peut être réalisé uniquement avec des logiciels libres: Python Photogrammetry Toolbox (développé par Arc-Team) et Meshlab (développé par le laboratoire de vision par

ordinateur de l'ISTI du CNR). Python Photogrammetry Toolbox permet de créer un nuage de points à partir des photographies. Meshlab est utile pour le nettoyage du nuage de point, la réalisation d'une surface à partir de ce dernier et la création d'une texture (Fig. 1).

Cette technique est aussi applicable directement sur le terrain de manière à pouvoir modéliser les objets mis au jour et les structures du site.

La modélisation des vestiges en 3D

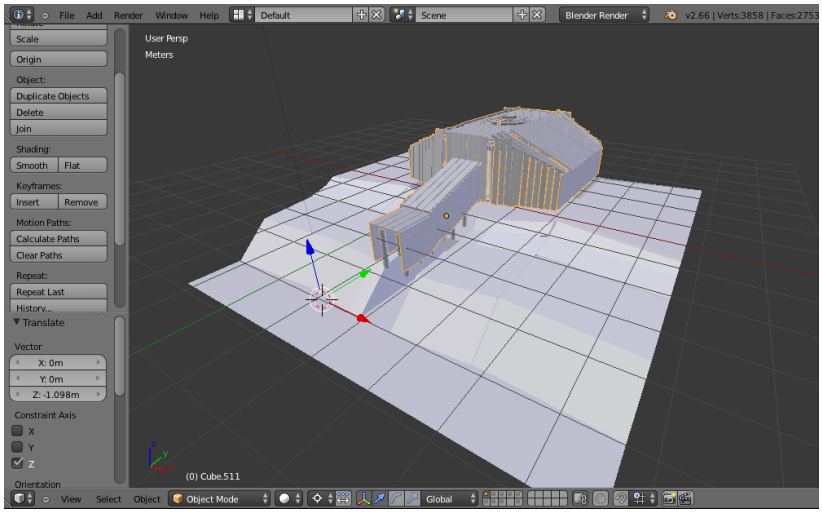


Fig. 2 : Maison modélisée à partir de relevés de terrain dans Blender

Replacer l'ensemble des éléments architecturaux et des pièces travaillées dans une même réalité virtuelle aide l'analyse de l'architecture et notamment la compréhension des techniques d'assemblage. L'utilisation d'un logiciel libre de modélisation 3D (Blender) permet de remonter les maisons, créer des volumes et associer différents modèles ente eux (Fig. 2).

Dans cette étape d'analyse, les éléments relevés en photogrammétrie sont restitués sur le modèle virtuel. Les techniques de travail et d'assemblage sont alors testées et observées sous différents angles, ce qui permet de proposer des hypothèses de restitution des bâtiments. Il est alors possible d'aborder la question des toitures sur lesquelles nous manquons de données ou d'autres questions annexes à l'architecture des maisons thuléennes comme l'approvisionnement en bois (nombre de pièces taillées et quantité de grumes).

Conclusion

Les techniques de 3D que sont la photogrammétrie et la modélisation offrent des perspectives nouvelles et innovantes pour l'enregistrement des vestiges en bois et l'analyse critique des informations archéologiques. Grâce à une lecture précise des empreintes d'outils, ce mode d'analyse permet de mieux comprendre et reconstituer les techniques de travail du bois et l'assemblage des maisons jusqu'à émettre des hypothèses sur l'élévation des maisons thuléennes.

Références

Harritt, R.K., 1994, *Eskimo Prehistory on the Seward Peninsula*, Resources Report NPS/ARO/RCR/CRR-93/21 U.S. National Park Service, Alaska Region, Anchorage.

Hoffecker J.F., Mason O. 2011: Human response to climate change at Cape Espenberg AD 800-1400: Field investigations at Cape Espenberg, 2011. Annual report to the National Park Service, U.S. Department of the Interior.

C08

La gestion des vestiges archéologiques en France : des fiches méthodologiques pour leur évaluation, leur sélection et leur conservation sélective. L'exemple du bois

LAVIER Catherine, CHAILLOU Anne[2]

[1]LAMS, Laboratoire d'archéologie moléculaire et structurale
UMR 8220, CNRS et UPMC Université Paris 06, Paris, France
[2] Coordination des chantiers méthodologiques pour la gestion des mobiliers et de la documentation archéologiques, Sous-direction de l'archéologie,
Ministère de la Culture et de la Communication, Paris, France
catherine.lavier@upmc.fr

Résumé

La sous-direction de l'archéologie, direction générale des patrimoines, ministère français de la Culture et de la Communication, a lancé en septembre 2011 une réflexion à l'échelon national sur l'évaluation, la sélection et la conservation sélective des archives du sol. Outre un gros volet juridique, cette réflexion doit permettre d'organiser des protocoles d'évaluation et de conservation sélective du matériel archéologique en élaborant des fiches méthodologiques qui seront mises à la disposition des prescripteurs des services régionaux de l'archéologie, des responsables d'opération et des gestionnaires de mobilier. Pour permettre de travailler plus facilement, dix sous-groupes par matière ont été créés : revêtements muraux ou de sol, céramique, restes humains, bois, lithique, mobilier monumental et fragments d'immobilier, faune, métal, verre et terre cuite architecturale. Ce poster présente les résultats de la réflexion du groupe «bois» en détaillant les prescriptions et recommandations de terrain, de cheminement des artefacts, d'étude scientifique, de restauration, de conservation (dépôt et milieu muséal) et d'éventuels renfouissements voire de destruction.

Références

Lavier C. (2013) Archéodendrométrie sur objets et oeuvres d'art à support-bois : savoir-faire technique, capacités, obstacles et alternatives, Spectra ANALYSE n° 292, Juin - Juillet - Août 2013, 67-73

Lavier C., Locatelli C., Pousset D. (2013) Dendrochronologie et archéodendrométrie, évolution et développements, Actes du colloque international Indices et Traces, la mémoire des Gestes, 2011, Université de Lorraine, Presses Universitaires de Nancy, 2013, 257-295.

C09

Les boites d'archives en bois: datation, origine et interactions avec les documents

LAVIER Catherine[1], DUBUS Michel[2], ASENSI AMOROS Victoria[3], BRAGEU Rémi[1]

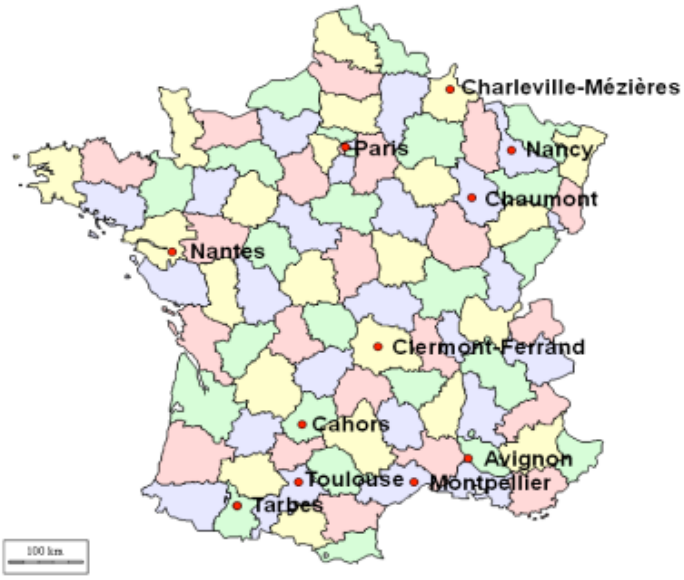
[1] LAMS, Laboratoire d'archéologie moléculaire et structurale
UMR 8220, CNRS et UPMC Université Paris 06, Paris, France
[2] C2RMF-Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France,
Ministère de la Culture et de la Communication, Paris, France
[3] XYLODATA, Paris, France
catherine.lavier@upmc.fr

Résumé

Depuis plusieurs siècles, les trésors des chartes sont conservés dans des salles fortes construites et aménagées de meubles, de fichiers et de « boëttes », layettes ou cassettes en bois, offrant une bonne protection contre la poussière et l'eau et appréciés pour leurs qualités esthétiques. Mais ces boîtes sont lourdes, leurs dimensions ne sont pas normalisées, et surtout supposées émettre des composés organiques acides pouvant dégrader les documents qu'elles sont censées conserver.

Ces inconvénients semblent l'emporter puisque aujourd'hui les boîtes sont en danger et, avec elles, le témoignage négligé ou perdu d'une tradition historique et d'une attention à l'esthétique mais aussi à la préservation : certains services d'archives les ont jetées, d'autres les dissocient de leurs contenus et en exposent un échantillon pour garder la mémoire d'un savoir-faire ou servir de décor.

Les archives et les centres de recherche se sont donc concertés pour vérifier la valeur historique des boîtes d'archives en bois anciennes, mesurer leurs émissions de composés organiques volatils (COV), vérifier qu'elles ne dépassent pas les niveaux recommandés pour les magasins d'archives, étudier les interactions entre les boîtes, leurs environnements et leurs contenus et analyser en particulier leur éventuelle nocivité sur les documents patrimoniaux cellulosiques.



Ces boîtes, datées dans le cadre du projet (XIVe-XXe), proviennent de services d'archives municipales (Montpellier, Toulouse), de services d'archives départementales (Ardennes, Haute-Marne, Hautes-Pyrénées, Loire-Atlantique, Lot, Vaucluse, Meurthe-et-Moselle, Puy de Dôme) et de celles des musées nationaux :

Les datations absolues, effectuées par dendrochronologie, montrent que les boîtes sont beaucoup plus anciennes que supposé puisqu'elles couvrent les cinq derniers siècles. Les essences sont peu variées impliquant une intentionnalité essentiellement portée, suivant les régions, sur le chêne (XV-XVIe), le sapin (XVI-XIXe) puis le peuplier (XVII-XXe). Dépendant de la menuiserie, cet artisanat méticuleux et précis, était adapté, spécifique et évolutif aux documents d'archives en France. Ce savoir-faire est toutefois méconnu, oublié voire ignoré alors qu'il semble à ce jour sans équivalent en Europe. Quel que soit leur âge, les boîtes ne semblent pas pour la plupart constituer un danger pour les collections constituées de papier ou de métaux car, étant très peu étanches à l'air, elles ne favorisent pas le confinement des COV. En revanche, des sources de pollutions ont été mises en évidence, soit à l'intérieur soit à l'extérieur des bâtiments. En conclusion, aucun composé organique volatil potentiellement nocif pour les archives n'a été identifié par SPME. Les concentrations de BTEX sont négligeables, les concentrations d'aldéhydes sont globalement faibles, du même ordre de grandeur à l'intérieur des boîtes et dans l'air ambiant des salles.

Références

Dubus Michel, N'Guyen Thi-Phuong, Colson Isabelle, Dupont Anne-Laurence, Lattuati-Derieux Agnès, Lavier Catherine, Masson Éric, Prévos Agnès, Rogaume Caroline (2013) Faut-il jeter les boîtes d'archives anciennes en bois ? Sciences des Matériaux et du Patrimoine Culturel. Colloque 20-21 novembre 2012, INHA, Paris, sous presse

Collectif (2013) Faut-il jeter les boîtes d'archives anciennes en bois ? Bilan des travaux 2011-2012, rapport, 46 pages.

C10

Le bois dans les embarcations indigènes de la Patagonie du Nord

LIRA Nicolas[1] , LAVIER Catherine[2]

[1] ARCHAM- Archéologie des Amériques, UMR 8096,
Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Paris, France
[2] LAMS, Laboratoire d'archéologie moléculaire et structurale UMR 8220,
CNRS et UPMC Université Paris 06, Paris, France
email_auteurprincipal@xxx.fr

Résumé

Dans cette recherche, nous essayons d'appliquer, pour la première fois, les différentes techniques et méthodologies de l'archéo-dendrométrie (Lavier *et al.* 2004) pour l'étude des bateaux en bois indigènes de la Patagonie du nord. L'identification des essences (anatomie du bois), la typologie et la morphologie, la tracéologie (traces de fabrication et d''utilisation), ainsi que la dendrochronologie, nous permettent d'étudier les vestiges archéologiques en bois non seulement comme marqueurs chronologique et écologique, mais aussi de nous restituer des informations d'ordre économique, culturel et technologique.

Ainsi, par ce biais, l'étude des bateaux en bois apporte une contribution majeure à la compréhension des pratiques et des technologies de la navigation de tradition indigène en Patagonie du nord, en aidant à comprendre l'histoire de la mobilité, l'utilisation de l'espace et de ses transformations par les communautés depuis les périodes préhispanique jusqu'au XXe siècle

Références

Lira, N., 2013, Routes de navigation de tradition Indigène en Patagonie Septentrionale », séminaire de recherche « Art et Performance », musée du Quai Branly

Lira, N., 2013, Approche ethno-archéologique des techniques de navigation en Patagonie du Nord (Chili). Séminaires Archéologie nautique médiévale et moderne ; Moyens de transport par eau, aménagements de l'espace littoral et du milieu fluvial, université de Paris 1

Carabias, D., Lira N., Adán. L. 2010. Reflexiones en torno al uso de embarcaciones monóxilas en ambientes boscosos lacustres precordilleranos andinos, zona centro sur de Chile. Revista Magallania, Vol 38 (1): 87-108.

Lira, N. 2010. Canoas Monóxilas en el centro-sur de Chile: Navegando sobre los árboles. Actas del XVII Congreso Nacional de Arqueología Chilena, Tomo 2: 1473-1485, Valdivia, Ediciones Kultrún

Lira, N. 2009. Embarcations de tradition indigène dans la Patagonie du nord : connexions, contacts et routes entre le versant oriental et occidental des Andes. Mémoire de Master 2 Préhistoire - Ethnologie - Anthropologie, Université de Paris 1 Panthéon- Sorbonne, Paris.

C11

Archéodendrométrie de tonneaux mérovingiens (VII-VIIIe siècle)

LOCATELLI Christine[1], POUSSET Didier[1]

[1] Chercheurs indépendants - Laboratoire d'Expertise du Bois et de Datation par Dendrochronologie (LEB2d) – Besançon
Chercheurs associés à l'UMR 8220 LAMS – UPMC Sorbonne
contact@dendro.fr

Résumé

L'existence du *portus* mérovingien et carolingien de Quentovic, connu par le monnayage et les textes anciens qui en révèlent l'importance, suscite l'intérêt des chercheurs depuis le XIXe siècle. D'épisodiques investigations menées au cours de ces dernières décennies ont conduit à considérer de manière hypothétique le hameau de Visemarest sur la commune de la Calotterie dans le Pas-de-Calais, comme l'emplacement présumé de Quentovic.

Un projet de lotissement de parcelles s'étendant sur plus d'un hectare et demi dans la partie septentrionale du finage de la Calotterie a donné lieu, en 2009, à une fouille archéologique ; réalisée par Archéopole en collaboration avec les universités de Lille 3 (UMR 8164 HALMA-IPEL) et de Louvain (CRAN-UCL) ; l'opération a permis de mettre au jour un millier de structures attribuables, pour la plupart, au Haut Moyen-Âge. Un important volume de vestiges ligneux se présentant sous la forme de piquets, de pieux, de clayonnages et de cuvelage en a été extrait ; l'étude archéodendrométrique des bois découverts a permis d'inventorier et de dater plus d'une vingtaine de cuves et tonneaux, et de restituer, *in fine*, les techniques et les savoir-faire ayant présidé à leur fabrication il y a près de 1300 ans.

Références

Cense-Bacquet D. (2012) La Calotterie (62) Chemin de Visemarais, Les Près de l'Eau, Le Visemarais Est, Rapport final d'opération d'archéologie préventive, Archéopole, Linselles, 4 vol.

Locatelli C., Pousset D. (2012) Inventaire, études xylo-dendrochronologiques et examens tracéologiques des vestiges ligneux découverts sur le site de la Calotterie, chemin de Visemarais (62), LEB2d, Besançon, 2 vol.

C12

Aspects morpho-technologiques de trois cuvelages en bois découverts dans la cour agricole d'une *villa* du Haut-Empire située à proximité de *Divodurum* (Metz).

BRKOJEWITSCH Gaël, SEDLBAUER Simon

Pôle Archéologie Préventive de Metz Métropole
gbrkojewitsch@metzmetropole.fr, ssedlbauer@metzmetropole.fr

Mots-clés

Gallo-romain, artisanat du bois, cuvelage, « blockbau », queue d'aronde, feuillure, tracéologie,

Résumé

Dans le cadre du projet d'aménagement de la « Z.A.C. du Parc du Technopôle » située en périphérie de la ville de Metz, une opération archéologique a été menée en 2011 par le Pôle Archéologie Préventive de Metz Métropole (dir. Gaël Brkojewitsch) sur une surface de 6 hectares.

Le site est situé en bordure ouest du plateau lorrain. Il s'étend dans un petit vallon traversé par le ruisseau de Linières, un affluent de la Chenau qui se jette elle-même dans le cours de la Seille. Le substrat se compose de marnes et de calcaires datés du Lias recouverts par des formations superficielles constituées de limon argileux. Une zone humide occupe le fond du vallon, de part et d'autre de l'ancien tracé du ruisseau. Ces conditions pédologiques spécifiques ont permis la conservation de nombreux vestiges ligneux.

L'étude d'une *villa* antique, dont la construction remonte au Haut-Empire, a abouti à la reconnaissance de son plan. La résidence (*pars urbana*) est bordée de part et d'autre par des cours délimitées par des murs. La cour située à l'ouest est de plan trapézoïdal (enclos 1) tandis que la cour d'honneur est de plan rectangulaire (enclos 2). Vient ensuite à l'est de cet espace un secteur d'exploitation (*pars rustica*). Cette partie de l'espace agricole est entourée d'une troisième enceinte (enclos 3) qui présente des aménagements liés à l'exploitation (puits, bassin, cuves en bois, fours, fosses, foyers). Un bâtiment tripartite sur fondation en pierre et trois annexes sur poteaux porteurs occupent l'extrémité sud et est de la cour agricole à l'extérieur de l'enclos 3.

Parmi les aménagements présents dans cette cour, trois cuvelages en bois ont été découverts dans un excellent état de conservation en raison de leurs enfouissements dans un milieu gorgé d'eau. Les cuvelages, de formes quadrangulaires, sont constitués d'une à deux assises de planches de chênes superposées horizontalement selon la technique du « blockbau ». L'assemblage des planches se fait selon deux types : à mis-bois (feuillure) ou en queue d'aronde. Le fond d'un seul cuvelage est aménagé sous la forme d'un plancher constitué de cinq planches de sapin, les deux autres reposant directement sur le substrat calcaire. L'étude des cernes de croissance a permis de situer les dates d'abattage et d'ancrer chronologiquement ces aménagements dans la deuxième moitié du II^{e} siècle, entre 158 et 201 apr. J.-C. L'analyse techno-morphologique réalisée sur ces bois apporte de nombreux renseignements concernant la manière dont ils ont été produits et assemblés. L'examen des traces de travail laissées sur les planches met en évidence les outils employés par cet artisanat à l'époque gallo-romaine. Ces ouvrages sont particulièrement fréquents et ils témoignent d'une grande maîtrise technique des assemblages mais leur fonction n'est pas toujours identifiée. La mise en parallèle de ces découvertes avec des aménagements similaires, découverts sur plusieurs sites du Nord et du Nord-Est de la Gaule, permet d'émettre de nouvelles hypothèses.

Références

Audin P. (1986), « Pre-inventaire des objets en bois de la Gaule romaine », *in* : *Le bois dans la Gaule romaine et les provinces voisines.* Actes du colloque de Paris, 20-21 avril 1985 (Bulletin du Centre de Recherche A. Piganiol, Université de Tours), Paris, éd. Errance, p. 39-71 (*Caesarodunum*, XXI).

Bernard V. (1998), *L'Homme, le Bois et la Forêt dans la France du Nord entre le Mésolithique et le Haut Moyen-Âge*, Oxford, *British Archaeological Reports*, 190 p. (*BAR International Series*, 733).

Georges-Leroy M. avec la collaboration de Neyses M. (1991), « Un cuvelage en bois du début du IIe siècle après JC découvert à Metz, rue Taison (Moselle) », *Trierer Zeitschrift für Geschichte und Kunst des Trierer Landes und seiner Nachbargebiete*, 54, p. 107-116.

Noël M., Bocquet A. (1987), Les Hommes et le Bois. Histoire et technologie du bois de la préhistoire à nos jours, Paris, Hachette, 347 p. (*La Mémoire du Temps*).

C13

Savoirs locaux sur les usages et propriétés technologiques des bois de construction du bas-Oyapock (Guyane française)

OGÉRON Clémence[1, 2], DAVY Damien[1], BEAUCHENE Jacques[2], ODONNE Guillaume[3], CLAIR Bruno[2]

[1] Observatoire Hommes/milieux « Oyapock », USR 3456 CNRS-Guyane, Cayenne

[2] UMR Ecologie des Forêts de Guyane (EcoFoG), Kourou

[3] Laboratoire des substances naturelles amazoniennes, UMR Ecofog/USR 3456 CNRS Guyane, Cayenne

clemence.ogeron@ecofog.gf

Mots-clés

Savoirs locaux, ethno-technologie, bois de construction, bas-Oyapock

Résumé

Cette étude pluridisciplinaire vise à mieux connaître, conserver et valoriser les savoirs ethno-écologiques liés à la forêt des populations ripicoles du bas-Oyapock. Cela répond au manque de données tant quantitatives que qualitatives concernant les végétaux que l'on qualifie de techniques. Les travaux connus à ce jour portent essentiellement sur la vannerie (Davy, D., 2007, 2010a), sur les pirogues (Jabin, D.H., 2003), l'archerie (Grenand, P., 1995, Martin, E., 2005) ou sur le bois utilisé dans l'artisanat marron (Cousseau 1999). En effet, les savoirs « ethno-technologiques », en lien avec les constructions en bois dans cette région géographique, n'ont pas encore été répertoriés en dépit du fait que les modes de vie de cette région connaissent de profondes mutations (Bianchi, J., 2002). Ces modifications que l'on retrouve sur toute la frange littorale guyanaise se traduisent par une perte de la transmission des savoirs, les changements liés à la frontière avec le Brésil n'en étant pas étranger (Boudoux d'Hautefeuille, M., 2010).

Ce projet s'inscrit dans une démarche de recherche interdisciplinaire, alliant une approche ethnobotanique des savoirs naturalistes associés aux bois de construction des communautés rurales du bas-Oyapock, Amérindiens (Palikur, Karipun), Créoles, Marrons (Saramaka) ou migrants brésiliens, (Davy D., 2011) ainsi que de l'expertise scientifique collective dans le domaine du bois (exemple du GDR Sciences du bois). Ces communautés ont été choisies car elles conservent de nombreuses personnes détenant encore un savoir lié aux ligneux, fruit d'une longue expérimentation empirique (Sévelin-Radiguet P., 2011) servants à la construction d'habitats traditionnels en bois, que ce soient des carbets amérindiens communautaires, des maisons en gaulettes créoles ou des habitats palafittes amazoniens (Pérez P. & Archambeau O., 2012, Brasselet, F., 1996). Ainsi, l'étude portera sur trois communes rurales : Ouanary, Saint-Georges de l'Oyapock et Régina.

L'objectif est de rendre compte des différentes manières par lesquelles ces populations ont appréhendé et exploité la ressource ligneuse, et de mettre en évidence les qualités technologiques remarquables des espèces de bois utilisées. Cette étude s'intègre dans une optique patrimoniale de conservation et de valorisation de ces savoirs naturalistes, notamment dans le but de mieux comprendre les conséquences des modifications socioenvironnementales sur les modes d'habiter traditionnels. Elle permettra aussi d'avoir une meilleure interprétation des connaissances traditionnelles sur l'utilisation du bois dans la construction. Notamment en termes de choix des espèces, de sélection des arbres et des débits mais aussi des techniques de transformation, de construction et d'entretien du bâti. Une attention toute particulière sera portée sur les méthodes de transmission inter-générationnelles des savoirs, savoir-faire et représentations qui les caractérisent, fondamentales pour la pérennisation de ces savoirs.

Fig.1. Carte de localisation du lieu de l'étude

Fig.2. Photographie du carbet associatif sur l'aire commune du village d'Espérance à proximité de Saint-Georges de l'Oyapock

Références

Bianchi, J., 2002. Modes de vie traditionnels et modernisme dans l'habitat en Guyane. Paris: France, DGHUC, 27 p.

Boudoux d'Hautefeuille, M., 2010. « La frontière et ses échelles : les enjeux d'un pont transfrontalier entre la Guyane française et le Brésil », Cybergeo : European Journal of Geography, DOI : 10.4000/cybergeo.23405.

Brasselet, F., Chevalier, Y., Joseph, J.P., Aubert, C., 1996. Etude pour un habitat adapté aux sites isolés de Guyane. CAUE Guyane et DDE Guyane, 335 p.

Cousseau J. M., 1999. Valoriser l'artisanat du bois chez les Noirs-Marrons de Guyane: un défi technico-économique ou juridico-politique? Montpellier, Mémoire de fin d'étude du DITARC, 94 p.

Davy D., 2007. Vannerie et Vanniers : approche ethnologique d'une activité artisanale, Thèse de Doctorat, Université d'Orléans, 526 p.

Davy D., 2010a. "Vannerie et usage de la nature : des pratiques interdépendantes. Cas des Palikur et de Arawak-Lokono de Guyane française", in E. Barone-Visigali & A. Roosevelt (éds), Sciences de l'Homme, Sciences de la Nature : vers une éco-anthropologie ? Réflexions sur l'Amazonie, Ibis Rouge éditions, Cayenne, pp. 383-402.

Davy D., Grenand F., Boudoux d'Hautefeuille M. & Nicolle S., 2011. « Du manioc aux Rafales : un Observatoire Hommes/Milieux sur la frontière franco-brésilienne », in J. L. Rebelo Porto 4& E. Doff Sotta (eds), Reformatações fronteiriças no platô das Guianas : (re)territorialidades de cooperações em construção,), Editora, Macapa.

Grenand P., 1995. De l'arc au fusil: Un changement technologique chez les Wayãpi de Guyane. Transitions plurielles: exemples dans quelques sociétés des Amériques. F. Grenand et V. Randa, Paris, Peeters: 23-53.

Jabin, D. H., 2003. Les pirogues en Guyane: prémices à une étude ethnobotanique et socio-économique de la construction et du commerce des pirogues en Guyane française. Orléans, Université d'Orléans, DEA, 116 p.

Martin E., 2005. Technologie et ethnoécologie des activités de prédations des Wayãpi méridionaux. Projet d'étude doctorale, Université de Nanterre Paris X, 51 p.

Pérez P. & Archambeau O., 2012. Architecture et paysages de Saint-Georges de l'Oyapock. Rapport pour le compte de l'OHM Oyapock, Cayenne, 238 p.

Sévelin-Radiguet P., 2011. Usage et gestion du domaine forestier Régina/Saint-Georges, Guyane française, rapport de Master 2, UAG/OHM, 79 p.

C14

Evaluation mécanique acoustique et perception de la ressource en bois de lutherie du quatuor

CARLIER Capucine, BREMAUD Iris

Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (LMGC), CNRS, Université Montpellier 2
capucine.carlier@univ-montp2.fr

Introduction

La lutherie du quatuor étant un domaine d'une forte importance économique et culturelle, les bois de résonance ont attiré l'attention d'un nombre conséquent d'études qui sont restées plutôt disciplinaires, sans prendre en compte les interactions entre différents domaines.

Les objectifs de cette étude sont d'améliorer la compréhension du lien entre les propriétés objectives des bois de résonance (physique, mécanique, acoustique) et l'expérience réelle des luthiers dans leur sélection du bois et de caractériser leur variabilité en lien avec leurs qualités à l'usage

Matériaux et méthodes

Les échantillons de bois étudiés proviennent de planches de résonance d'épicéa (*Picea abies* [L.] Karst) de différentes forêts du Canton des Grisons en Suisse. Chaque planche a été débitée sur quartier afin d'obtenir des tables d'harmonie, dont 5 était destinées à la fabrication de violon et 6 à la fabrication d'alto. Ces dernières ont toutes été estimées par le fournisseur pour être vendues sous les grades AAA (« Excellent ») et MA (« Master grade ») soit les grades de qualité les plus élevés. Dans chaque table ont été découpées trois éprouvettes radiales (120×2,5×12mm, R×T×L) et sept (huit pour les altos) longitudinales (12×2,5×150mm, R×T×L). Ainsi les propriétés physiques-mécaniques et des indices de performance des matériaux ont pu être mesurées et calculées à partir d'un dispositif de vibration forcée développé au LMGC. Ces propriétés ont été étudiés en lien avec des caractéristiques structurelles visibles (largeur de cernes, bois final).

Afin de confronter ces propriétés avec les habitudes des luthiers, une enquête de recensement des pratiques a été construite puis testée à l'échelle de Montpellier. Le questionnaire a été élaboré pour mener les entretiens en face à face. Un nombre important de question y est détaillé afin de retranscrire les habitudes de travail des artisans d'une manière représentative de celle effectuée dans les ateliers, et de permettre un traitement statistique des données recueillies.

Résultats et discussion

Cette étude montre que les relations sur l'épicéa de résonance entre accroissement, bois final et propriétés sont non habituelles pour un résineux et relèvent d'une explication microstructurale qui met en avant les particularités des bois de résonance par rapport au bois d'épicéa classique. En effet, la très forte corrélation entre bois final et densité (99%) suggèrent que c'est la modification de l'angle des microfibrilles qui entrainerait une modification de la rigidité du matériau expliquant ainsi la relation non prévu entre densité et module spécifique. Ces propriétés et indicateurs ont également montré les particularités des bois de résonance par rapport au bois d'épicéas classiques. Ainsi pour un épicéa non sélectionné pour la lutherie, plus les largeurs de cernes sont fines, plus la densité sera forte tandis que pour les bois de résonance les deux propriétés ne sont pas corrélées.

Parallèlement, il est apparu que la densité, le débit, l'homogénéité de l'accroissement et le pourcentage de bois final sont, pour l'épicéa, les critères les plus importants pour les artisans. Les

préférences et les choix des luthiers basés sur ces critères s'avèrent pertinents avec les propriétés mécaniques et acoustiques des bois de résonance.

Un second objectif de ce travail était de mieux évaluer la variabilité des propriétés physiques/acoustiques des bois de lutherie en lien avec leurs qualités à l'usage. Par l'analyse de la variabilité au sein d'une même table d'harmonie, il a été exposé qu'un seul échantillon d'une table ne semblait pas représentatif des propriétés de l'ensemble de la planche. De plus, s'il semble que les propriétés soient différentes entre les tables d'alto et de violon (principalement sur la densité), il n'a été montré aucune différence significative entre les moyennes des propriétés des tables de deux grades de qualités lutherie différents (AAA et MA).

Quoique l'enquête n'en soit qu'a une première phase de réalisation, elle a déjà permis de mettre en évidence des réponses intéressantes en terme de définition par les luthiers de la qualité du bois et des instruments, de perception de la ressource et de leur rapport à la recherche.

Conclusion

Cette étude a montré les particularités des bois de résonance par rapport au bois d'épicéa classique. Les choix empiriques des luthiers basés sur des critères perceptifs visuels, physicomécaniques, auditifs, s'avèrent pertinents vis-à-vis des propriétés acoustiques mesurées. Toutefois, afin d'obtenir des résultats plus significatifs et représentatifs de l'ensemble des pratiques, il est prévu de mener cette enquête en l'élargissant au niveau national voire international. Nos futurs travaux s'organiseront également autour d'une expérience d'évaluation psychosensorielle de planches de bois de lutherie, en plusieurs étapes, permettant de séparer différents domaines de perception (vue, touché / pesé et audition) par un panel d'artisans afin de mettre en relation le ressenti des luthiers et les propriétés physiques et acoustiques des bois de résonance.

C15

WoodMusiCK FP1302 – A new COST Action

LE CONTE Sandie[1], BREMAUD Iris[2], LAVIER Catherine[3]

[1]Laboratoire du Musée de la musique – Cité de la musique. Paris
[2]Laboratoire de Mécanique et Génie Civil, CNRS, Université Montpellier 2
[3]LAMS, Université Pierre et Marie Curie, Paris
sleconte@cite-musique.fr

Mots-clés

COST Action, conservation et connaissance de l'instrument de musique en bois

Introduction

Ce poster présente une nouvelle Action COST, du domaine FPS (Forests, their Products and Services) qui a été acceptée en mai dernier et qui a débuté le 6 novembre 2013 pour une durée de 4 ans.

WOODMUSiCK

L'Action a pour objectif de fédérer la recherche Européenne portant sur la connaissance et la conservation de l'instrument de Musique en bois. Pour cela, elle s'appuie sur 3 groupes de travail. Le premier porte sur la connaissance du matériau bois utilisé en facture instrumentale du point de vue de son histoire, de ses échanges, l'économie associé, ou encore de sa symbolique en fonction des différentes cultures musicales. Pourront être également abordés les notions de conservation-restauration de l'instrument de musique et l'évolution de ce concept depuis les premiers musées jusqu'à aujourd'hui.

Le second porte sur la caractérisation du matériau pour la facture instrumentale, depuis l'identification in situ de l'essence utilisée jusqu'à son vieillissement, en passant par la compréhension des interactions du bois avec les différentes couches picturales.

Enfin, le dernier groupe de travail portera sur le comportement vibratoire, l'acoustique des instruments anciens.

L'idée est de pouvoir rassembler les différentes communautés étudiants l'instrument de musique, depuis l'organologie, les sciences du bois, l'acoustique afin d'améliorer la conservation de ce patrimoine et d'en assurer la diffusion.

Références

http://www.cost.eu/domains_actions/fps/Actions/FP1302

D01

ANR JCJC2013 – Projet CLIMBOIS : Impact des variations climatiques et mécaniques sur la durabilité des constructions bois

MOUTOU PITTI Rostand[1,2], DIAKHATE Malick[3], BASTIDAS ARTEAGA Emilio[4], AOUNES Younes[5], ANGELLIER Nicolas[6]

[1]Université Blaise Pascal, Institut Pascal, BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand
[2]CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, F-63171 Aubière
[3]Université de Bretagne Occidentale, LBMS, F-29600 Morlaix
[4]Université de Nantes, GeM, BP 92208, F-44322 Nantes
[5]INSA de Rouen, LOFMS, F76801 Saint-Etienne-du-Rouvray
[6]Université de Limoges, GEMH, F-19300 Egletons
rostand.moutou_pitti@univ-bpclermont.fr

Coordinateur du projet : Rostand MOUTOU PITTI

Résumé du projet

Les préoccupations environnementales et l'utilisation des matériaux naturels à faible impact énergétique incitent à une utilisation de plus en plus large du matériau bois dans la construction. Ce développement est influencé par une bonne maîtrise du comportement mécanique et de la durabilité des structures. Ces structures sont généralement sujettes à des sollicitations environnementales et à des chargements complexes dus principalement aux différents modes de sollicitation et au caractère hétérogène propre au matériau. Afin de favoriser l'utilisation du bois et ses dérivés comme matériau de construction, il est nécessaire de mieux appréhender le comportement en service des structures bois soumises à des sollicitations mécaniques et à des variations climatiques complexes (humidité et température), y compris les effets du changement climatique.

Ce projet a l'ambition d'aborder le problème de la durabilité des constructions bois soumises aux variations climatiques et mécaniques complexes (Moutou Pitti et al. 2011). Depuis de nombreuses années, des travaux sont menés à l'Institut Pascal de l'Université Blaise Pascal et au Groupe d'Etude des Matériaux Hétérogènes de l'Université de Limoges sur la durabilité du matériau bois soumis à divers chargements incluant la mécanosorption. Cependant, la conjugaison du comportement anisotrope, du caractère viscoélastique et la nature orthotrope du bois, rend sa compréhension très complexe. Cette complexité est décuplée par l'apparition, lors de diverses sollicitations, des fissures de cinétiques mixtes exigeant une analyse fine des modes de rupture, Au regard de ces différents verrous scientifiques, il est nécessaire de comprendre le comportement différé et la rupture du matériau bois.

Objectifs du projet

Le projet CLIMBOIS vise à proposer une méthodologie robuste pour la conception de composants de structures bois sous sollicitations climatiques et mécaniques complexes. Le premier objectif vise à proposer des méthodes de formulations viscoélastiques incrémentales et de découplage des modes mixtes de rupture dans des matériaux viscoélastiques. Les modélisations de ces méthodes seront par la suite effectuées. Le second objectif se focalise sur des essais de fluage qui visent à valider ces modèles et à caractériser la variabilité spatiale des propriétés/défauts (sur éprouvette de fissuration, poutres saines et poutres munies de défauts), Fig. 1. Ces essais seront menés en extérieur et en chambre climatique. Le troisième objectif consiste à effectuer des essais mécaniques non destructifs ou CND (analyse d'images, ultrasons et émission acoustique) sur ces échantillons. La finalité étant de caractériser les champs pendant les phases de fissuration, de mesurer les gradients hydriques ou

thermiques et de caractériser les incertitudes et la variabilité spatiale de ces gradients et de la distribution de défauts. Enfin, on prendra en compte le caractère aléatoire et la variabilité spatiale des propriétés du bois, des mécanismes de dégradation, des actions environnementales et des erreurs de mesure/modèle à travers des couplages mécano-fiabilistes. Ces couplages ont pour buts ultimes de déterminer les paramètres les plus influents sur la durée de vie des composants des constructions en bois et d'optimiser leur conception en tenant compte des incertitudes des données d'entrée.

Résultats attendus

Les formulations viscoélastiques incrémentales non linéaires seront proposées pour permettre un gain de temps dans le calcul numérique. Les essais CND permettront de caractériser la variabilité spatiale et les incertitudes liées aux propriétés des défauts, aux paramètres de fissuration et des gradients d'humidité. Des procédures numériques intégrant des couplages mécano-fiabilistes permettront d'intégrer la variabilité spatiale dans la chaîne de calcul, étudier la performance des composants bois sous plusieurs scénarii climatiques, d'identifier l'importance des paramètres mis en jeu et de proposer des outils pour l'optimisation de ces composants. Ces résultats seront livrés selon le planning défini dans le tableau 1. Les partenaires impliqués dans la réalisation de l'ensemble des tâches relatives au projet sont listés dans les affiliations.

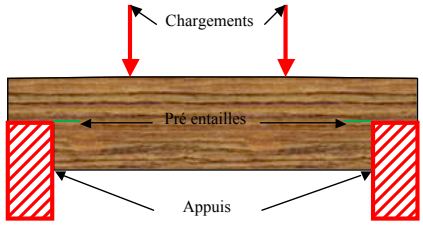


Fig. 1 : Poutre entaillée munie de défauts

Tab. 1 : Livrables et jalons

• *TABLEAU des LIVRABLES et des JALONS*

Tâches	Intitulé et nature des livrables et des jalons	Date de fourniture ***nombre de mois à compter de T0***	Partenaire responsable du livrable/jalon
1. Rupture et comportement viscoélastique			
T1.1	Formulations analytiques	12	UBP
T1.2	Modélisations numériques	30	UBP
T1.3	Validation expérimentale	42	UBP / UNILIM
T1.4	Essais de structure bois avec défauts	42	UNILIM
2. Optimisation, incertitudes et Fiabilité			
T2.1	Modélisation probabiliste / inspection	24	Université de Nantes
T2.2	Modèle simplifié du climat	10	Université de Nantes / INSA de Rouen
T2.3	Variabilité spatiale	24	Université de Nantes / INSA de Rouen
T2.4	Formulation de l'optimisation	36	INSA de Rouen
3. CND			
T3.1	Emission acoustique, fissuration, rupture	30	Université de Brest / UBP
T3.2	Courbes RoC	36	Université de Nantes
T3.3	Formulation optimale /mesures /positions	36	Université de Nantes
4. Management du projet CLIMBOIS			
T0	espace numérique d'échange	3	UBP / Université Brest
T4.1	rapports d'activités et bilan financier	6, 12, 18, 24, 30, 36	UBP / Université Brest
T4.2	rapport d'avancement de mi parcours	24	UBP / Université Brest
T4.3	Rapport final	42	UBP

Références

Moutou Pitti R., Dubois F., Petit C. (2010) Generalization of T and A integrals to time dependent materials: analytical formulations. Int J Fract. 161(2), 187-198.

D02

Effet de la semi-rigidité des joints sur des structures bois

FOURNELY Eric[1,2], MOUTOU PITTI Rostand[1,2,3], ABDHELAMIDE Bouchair[1,2], RACHER Patrick[1,2]
[1] Clermont Université, Université Blaise Pascal, Institut Pascal, BP 20206, F-63000 Clermont-Ferrand, France
[2] CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, F-63171 Aubière, France
[3] CENAREST, IRT, BP 14070, Libreville, Gabon
eric.fournely@univ-bpclermont.fr

Introduction

Le système de conception Dorean, utilisé dans les maisons individuelles ou collectives (Fournely et al. 2012), repose sur une structure en bois composée de poutres treillis. Le présent travail quantifie la contribution des panneaux OSB de plancher à la capacité résistante des poutres de cette structure. Cette évaluation passe par des essais effectués sur les échantillons en double cisaillement, mais aussi par la modélisation d'une poutre en T via la rigidité de l'assemblage entre le panneau et la poutre. La liaison entre le panneau OSB et la membrure supérieure de la poutre en treillis est réalisée par des agrafes. Les essais de cisaillement sont effectués en fonction du nombre d'attaches, des épaisseurs du panneau et des orientations des agrafes. La résistance et la rigidité du joint agrafé sont obtenues à partir des essais et l'interaction entre les fixations est analysée. La poutre en T obtenue par la liaison entre les panneaux OSB et la poutre en treillis est modélisée à l'aide d'éléments de poutre. Le comportement semi-rigide est pris en compte pour toutes les connexions entre les éléments de la poutre treillis et les panneaux OSB. Les conditions en service et la résistance ultime sont analysées en incluant l'influence de la variabilité des paramètres de la poutre en T.

Matériaux et méthodes

Les échantillons sont testés en double cisaillement avec une presse universelle afin d'obtenir la charge de cisaillement sur la connexion. La Fig. 1 montre un essai de cisaillement dans la direction parallèle aux fibres et la courbe charge-déplacement qui en découle. L'histoire de chargement (Fig. 2) comprend une phase de pré charge, de décharge partielle et enfin une phase de recharge jusqu'à la rupture. Les échantillons sont sollicités dans les directions parallèle ou perpendiculaire aux fibres du bois. Les charges pour le premier plateau après pré-chargement sont respectivement de 1200 N et 600 N pour les échantillons chargés dans les directions parallèle et perpendiculaire aux fibres. La charge au second plateau est de 200 N dans les deux cas. Les déplacements relatifs entre les panneaux OSB et l'élément de bois sont mesurés sur quatre points autour de l'élément en bois par des capteurs LVDT. Ainsi, pour chaque essai, la courbe moyenne des déplacements mesurés par les deux capteurs de chaque interface entre le panneau OSB et l'élément en bois permet de représenter fidèlement le comportement de la liaison avec les effets d'interaction entre agrafes.

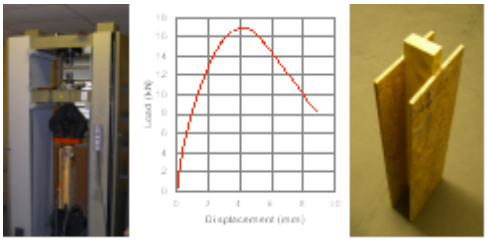


Fig. 1 : Presse et courbe force-déplacement

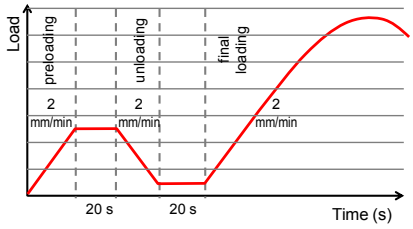


Fig. 2 : Eprouvette et histoire de chargement

Le nombre d'agrafe et leurs orientations sont rappelés dans le tableau 1. L'orientation de l'alignement de base est définie comme étant l'angle entre l'axe longitudinal de l'agrafe et celui de l'élément en bois. Trois échantillons sont testés dans chaque configuration. Pour tous les échantillons les agrafes sont disposées sur une ligne parallèle aux fibres de bois. L'espacement entre les agrafes est égale à 150 mm pour tous les échantillons, sauf pour les configurations "2" et "6-3" avec respectivement 7 et 3 agrafes et un demi-espacement.

Tab. 1 : Configurations de connexion testées

	specimen orientation	staples	number of staples	glue	staple orientation	OSB thickness
1-1	//	yes	4	no	45	18
1-2	//	yes	4	no	90	18
1-3	//	yes	4	no	0	18
2	//	yes	7	no	0	18
3	//	no	0	yes	0	18
4-1	//	yes	4	no	0	15
4-2	//	yes	4	no	0	10
5	//	yes	4	yes	0	18
6-1	⊥	yes	2	no	0	18
6-2	⊥	yes	2	yes	0	18
6-3	⊥	yes	3	no	0	18

Les éléments bois sont en épicéa de classe de résistance C18 (CTBA 2006). Les valeurs moyennes de la masse volumique et de la teneur en eau sont respectivement de 435 kg/m^3 et 7,2%. Les panneaux sont en OSB3 (AFNOR 2006) avec une densité moyenne de 640 kg/m^3. Les agrafes utilisées sont en acier de contrainte limite 540 MPa. Selon les exigences de l'Eurocode 5, la résistance au cisaillement est d'environ 0,5 kN pour les 3 épaisseurs de panneaux testés. Cette force est donnée pour un alignement de base et un plan de cisaillement entre l'élément en bois et le panneau OSB bois identifié. Le polyuréthanne est utilisé comme colle avec une résistance caractéristique au cisaillement de 1,2 MPa (Eurocode 5).

Résultats

La comparaison des résultats des connexions utilisant uniquement des agrafes, de la colle a montré une augmentation de la résistance et de la rigidité de la connexion et une diminution de la ductilité. Les essais ont fourni les courbes charge-glissement utilisées dans le modèle éléments finis simplifié. Les résultats des simulations illustrent les effets de cisaillement en semi-rigidité sur le comportement global de la combinaison poutre treillis, poutre-T et panneaux OSB. Cette étude est utilisée pour calibrer les paramètres d'une simulation numérique du système mixte panneau de plancher – poutres treillis. La variabilité de la rigidité de connexion est analysée et la prise en compte du comportement non linéaire de cette connexion est abordée et constitue l'essentiel de la suite de cette étude.

Références

AFNOR, NF EN 300 (2006), Panneaux de lamelles minces, longues et orientées – OSB définitions, classification et exigences.

CTBA (2006), Panneaux dérivés du bois, Panneau OSB 21.01, juillet.

Eurocode 5 (2005). Conception et calcul des structures en bois – généralités, règles communes et règles pour les bâtiments, NF EN 1995-1.1.

Fournely E., Moutou Pitti R., Bouchair H., Dubois F (2012). Experimental analysis of the semi-rigidity joint in the standardized timber beam. Springer 2012; 34:357-366. DOI : 10.1007/978-1-4614-4226-4_42.

D03

Utilisation des acousto-US pour le contrôle non destructif d'éléments en bois lamellé collé

CHATAIGNER Sylvain[1], GAILLET Laurent[1], PERIER Virginie[1], LANATA Francesca[2], COLOMBE Teddy[1]

[1] LUNAM Université , IFSTTAR, Département MAST, Laboratoire SMC, Route de Bouaye, 44 344 BOUGUENAIS Cedex
[2] LUNAM Université, Ecole Supérieure du bois, 7 rue Christian Pauc, 44 000 NANTES
sylvain.chataigner@ifsttar.fr

Introduction

Dans le cadre du grenelle de l'environnement, on assiste aujourd'hui à un regain d'intérêt pour l'utilisation du matériau bois pour la construction. Le matériau bois est dans ce cadre plutôt utilisé sous forme d'éléments en lamellé-collé.

Comme pour les structures métalliques et en béton, il convient de mettre à disposition des maîtres d'ouvrage des techniques d'auscultation pour ce type d'éléments de structures qui permettent d'évaluer leur état de dégradation. On s'intéresse dans le cadre de cette étude à l'utilisation de la technique des acousto-US pour évaluer l'état de fissuration du lamellé collé et son humidité. Il s'agit d'une nouvelle méthode non abordée dans le guide LCPC (2008). Cette méthode a été appliquée au bois pour la première fois par Beall (1987) et il a été montré notamment dans Kawamoto & Williams (2002) qu'elle pourrait permettre de détecter des endommagements du bois. Nous souhaitons dans cette étude vérifier l'applicabilité de cette méthode au lamellé-collé, en estimer sa dispersion, et l'influence d'une fissure modèle, et de l'humidité sur les mesures effectuées.

Dispositif expérimental utilisé

Les échantillons étudiés sont des éléments lamellés collés en pin sylvestre de dimensions initiales : 207*19.7*45.6 cm. Ils ont une classe de résistance GL28h. Le dispositif acousto-US utilisé est celui de la société EPA, et consiste en la génération de signaux US allant jusqu'à 150V via un transducteur piézoélectrique ayant une fréquence de résonance de 150 kHz, et à leur réception avec le même type de transducteur en effectuant une analyse acoustique des signaux reçus (à savoir dans le cadre de cette étude, une analyse des paramètres suivants : amplitude, énergie, énergie absolue, temps de montée, durée du signal et nombre de coups).

Les mesures sont effectuées selon plusieurs configurations : directes ou indirectes (en transmission ou en réflexion), sens transverse aux fibres ou parallèle aux fibres. L'influence du couplage entre l'échantillon, ainsi que l'influence de la distance entre les capteurs ont également été étudiés avant l'étude de l'influence d'une fissuration et de l'humidité tout comme dans Biernacki & Beall (1992).

Influence d'une fissuration

Dans le cadre de ces premières investigations, nous avons étudié l'influence d'une fissure modèle simulée par sciage progressif de l'élément sur les mesures acousto-US dans deux configurations (Fig.1) : une configuration directe parallèle au sens des fibres, et une configuration indirecte parallèle au sens des fibres. Bien que cette situation ne soit pas représentative d'une situation réelle, les résultats montrent que les deux méthodes sont sensibles à la fissuration de l'élément. Des études additionnelles seront nécessaires pour le vérifier dans le cas de chargements mécaniques réalistes endommageant pour l'élément en bois lamellé-collé.

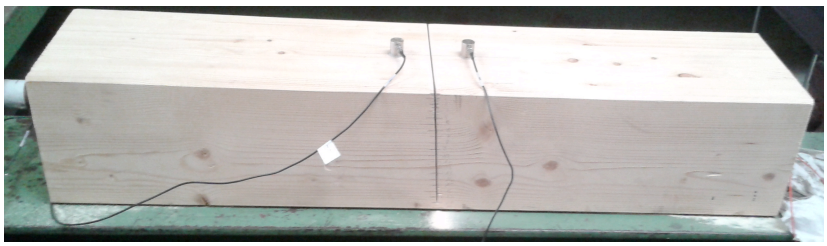


Fig. 1 : Photo du dispositif expérimental utilisé pour l'éude de l'influence de la fissuration

Influence de l'humidité

Il a également été décidé de s'intéresser à l'influence de l'humidité sur les mesures acousto-US réalisées. Pour ce faire, deux échantillons dont la teneur en eau initale était de 12% ont été étudiés. Le premier a été immergés dans l'eau et conservé jusqu'à stabilisation de sa masse. Sa teneur en eau finale a été estimée à 58 %. Le second a été stocké en environnement très humide. Bien que la stabilisation de sa masse n'ait pas vraiment été atteinte, on peut estimer sa teneur en eau finale à 17%.

Pour les deux échantillons, les mesures effectuées en plusieurs points ont été comparées aux mesures initiales effectuées avant stockage en milieu humide. L'évolution des différents paramètres acoustiques a pu être étudiée. Il a été montré que le cas extrême de saturation en eau avait un effet significatif sur l'énergie et ce quelle que soit la configuration utilisée. Pour le second échantillon, les résultats se sont avérés plus dispersés et il est difficile dans ce cas de conclure.

Conclusion

Cette première étude a démontré la faisabilité de la mise en œuvre de la technique des acousto-US sur des éléments en bois lamellé-collé. Il semble que la configuration directe dans le sens des fibres pourrait être une méthode très intéressante dans le cadre du contrôle non destructif des structures bois pour détecter un endommagement de type fissuration. Ceci a été montré avec une fissure modèle, il convient de le vérifier avec une fissuration mécanique plus réaliste. En ce qui concerne, la détection de l'humidité, des études additionnelles sont nécessaires.

Références

Beall. (1987) Fundamentals of acoustic emission and acousto-ultrasonics. Pullman: Proceedings, Sixth Symposium on Nondestructive Testing of Wood.

Biernacki, J., & Beall, F. (1992) Development of an acousto-ultrasonic scanning system for non destructive evaluation of wood and wood laminates. University of California: Wood and Fiber Science, 25(3), 289-297.

Kawamoto, S., & Williams, R. (2002) Acoustic Emission and Acouso-Ultrasonic Techniques for Wood and Wood-Based Composites. Madison: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

LCPC (2008) Recommandations pour l'inspection détaillée des ouvrages en bois, Guide Technique, 75p.

D04

Etudes des performances hygrothermiques des parois en bois en conditions réelles extérieures

RAFIDIARISON Helisoa[1], MOUGEL Eric[1], REMOND Romain[1]

[1]Université de Lorraine, LERMAB, ENSTIB
27 rue Philippe Séguin, CS60036, 88026 Epinal Cedex, France
helisoa.rafidiarison@univ-lorraine.fr

Résumé

De précédents travaux de recherche (Raji 2006) ont montré que la conception de bâtiments en bois à haute performance énergétique nécessite la prise en compte des transferts de chaleur couplés aux transferts de masse dans les enveloppes des bâtiments. En effet, les transferts d'humidité influent de manière non négligeable sur les transferts de chaleur dans le bois et les autres matériaux à base de fibres naturelles mis en œuvre dans la construction. La modélisation numérique des transferts couplés chaleur-masse dans ces matériaux dits hygroscopiques reste néanmoins difficile du fait de la complexité des phénomènes et propriétés mis en jeu. Ceci induit une difficulté à prédire correctement les performances thermiques et hydriques des constructions en bois.

Cette étude vise à aboutir à une meilleure compréhension de la physique des transferts couplés de chaleur et de masse dans le bois et les autres matériaux à base de fibres naturelles. La démarche adoptée consiste à caractériser expérimentalement puis numériquement le comportement d'enveloppes de bâtiments en bois soumises d'un côté à des conditions intérieures maîtrisées et de l'autre côté à des conditions climatiques extérieures réelles. Pour cela, cinq cellules-test appelées « modules », de mêmes dimensions, orientations et géométrie ont été construites sur le site de l'ENSTIB à Epinal. Les modules possèdent les mêmes compositions de portes, planchers bas et hauts. Ils diffèrent seulement par les compositions des murs, choisies pour avoir une représentativité des principaux systèmes constructifs bois parmi les modules testés. Les modules ont été conçus pour minimiser les transferts de chaleur, d'humidité et d'air à travers les planchers et permettre ainsi un suivi précis du comportement hygrothermique des murs. L'évolution temporelle des profils de température et d'humidité dans les parois étudiées est réalisée grâce à la mise en place de thermohygromètres (capteurs de température et d'humidité) dans les différentes couches de matériaux. Des mesures de l'ambiance intérieure, des conditions météorologiques ainsi que des consommations énergétiques des modules sont également réalisées pendant la durée de l'étude. Parallèlement aux travaux expérimentaux réalisés sur les modules, nous avons effectué une modélisation numérique visant à reproduire le comportement hygrothermique des compositions de parois étudiées sur les modules en les exposant aux mêmes sollicitations climatiques mesurées. Une comparaison des résultats numériques avec les résultats expérimentaux nous permettra d'une part de tester la capacité du code numérique à prédire les transferts couplés chaleur-masse dans les matériaux comme le bois, et d'autre part à conforter ou non les observations faites expérimentalement.

Les caractéristiques identiques des modules ainsi que leur exposition aux mêmes conditions climatiques intérieures et extérieures ont permis d'obtenir des résultats comparables concernant le comportement hygrothermique ainsi que les performances énergétiques des systèmes constructifs étudiés. L'analyse des résultats obtenus a permis de mettre en évidence l'influence de paramètres (orientation, ventilation de la lame d'air extérieure) ou de propriétés des matériaux (hygroscopicité, perméabilité à la vapeur des membranes d'étanchéité) sur le comportement et la performance hygrothermiques des parois. Par ailleurs, les résultats ont également confirmé le rôle du parement intérieur dans la régulation de l'humidité intérieure, déjà observé dans de précédentes études

(Hameury 2005, James *et al* 2010, Kunzel et al 2004, Osanyintola *et al* 2006, Osanyintola & Simonson 2006, Simonson *et al* 2004). Enfin, le suivi des parois étudiées nous a permis de montrer que la dynamique des transferts de chaleur a une influence sur les transferts d'humidité à travers la paroi.

Références

Hameury S. (2005) Moisture buffering capacity of heavy timber structures directly exposed to an indoor climate: a numerical study, Building and Environment, 40**:** 1400-1412.

James C., Simonson C. J., Talukdar P. & Roels S. (2010) Numerical and experimental data set for benchmarking hygroscopic buffering models, International Journal of Heat and Mass Transfer, 53: 3638-3654.

Kunzel H. M., Holm A., Sedlbauer K., Antretter F. & Ellinger M. (2004) Moisture buffering effect of interior linings made from wood or wood based products, IBP Report HTB-04/2004/e. Fraunhofer-Institute for Building Physics.

Osanyintola O. F. & Simonson C. J. (2006) Moisture buffering capacity of hygroscopic building materials: Experimental facilities and energy impact, Energy and Buildings, 38: 1270-1282.

Osanyintola O. F., Talukdar P. & Simonson C. J. (2006) Effect of initial conditions, boundary conditions and thickness on the moisture buffering capacity of spruce plywood, Energy and Buildings, 38: 1283-1292.

Raji S. (2006) Caractérisation hygrothermique, par une approche multi échelle, de constructions en bois massif en vue d'amélioration énergétique et de valorisation environnementale, Thèse, Université Bordeaux I.

Simonson C. J., Salonvaara M. & Ojanen T. (2004) Moderating Indoor Conditions with Hygroscopic Building Materials and Outdoor Ventilation, ASHRAE.

D05

Soudage du bois par friction – Liaisons sans adhésifs pour la préfabrication des éléments constructifs

HAHN Benjamin

Laboratoire de construction en bois IBOIS de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne EPFL (CH)
Benjamin.Hahn@epfl.ch

Mots-clés

Soudage du bois, Effets d'échelle, Estimation numérique de la résistance

Introduction

Le soudage du bois par friction est une technologie innovante qui permet d'obtenir des connexions rigides et fermes sans utiliser d'additifs supplémentaires, soit mécaniques ou chimiques. Le travail de recherche effectué à l'IBOIS vise à évaluer le potentiel de cette technologie pour la fabrication d'éléments de construction à grande échelle, notamment des panneaux de bois lamellé-croisé (CLT). Les effets de taille qui influencent le processus de fabrication, ainsi que la résistance nominale de la liaison soudée, sont étudiés expérimentalement et numériquement.

Motivation

Le bois en tant que matériau de construction dispose en plus de ses performances structurelles reconnues, de propriétés physiques remarquables en rapport avec les enjeux énergétiques actuels. Ceci avec un impact écologique faible comparé à d'autres produits. Néanmoins, les dimensions de bois massif sont relativement limitées en raison de la forme et du diamètre de l'arbre. Afin d'être en mesure de construire des structures plus complexes, des liaisons efficaces entre les pièces de bois sont indispensables. Au cours des dernières décennies, les matériaux dérivés du bois à grande échelle, en particulier des panneaux CLT, sont apparus sur le marché offrant aux architectes et aux ingénieurs de nouvelles possibilités pour réaliser et concevoir des structures complexes et innovantes. Actuellement la liaison entre les différentes couches est réalisée en utilisant des adhésifs chimiques à base de polyuréthane (PUR). L'utilisation de ces adhésifs n'est pas sans effet sur la santé et l'environnement lors de la mise en œuvre ou du recyclage en fin de vie. Afin de dépasser les limites géométriques de bois en conservant ses propriétés écologiques et physiques, les connexions obtenues par le soudage par friction sans additifs sont une alternative prometteuse aux liaisons collées. La recherche présentée porte sur le comportement de la structure du joint soudé, sa longévité et l'analyse numérique de sa capacité portante.

Soudage du bois par friction

La technologie de soudage par friction est déjà couramment utilisée pour les matériaux thermoplastiques et métalliques. Les chercheurs du laboratoire de construction en bois IBOIS ont commencé à appliquer le même principe sur de petits échantillons en bois en 2000 [1]. Afin de réaliser une connexion bois-bois laminaire, l'interface entre deux planches de bois est chauffée sous pression au moyen d'un mouvement oscillatoire à haute fréquence. L'introduction d'énergie thermique mène à une décomposition thermique des composants polymères dans le matériau cellulaire du bois [2]. Les éléments chimiques résultants de ce processus forment une couche visqueuse de matériau dégradé et décomposé, qui durcit quand le mouvement de frottement et arrêté et l'interface rentre en phase de refroidissement, tandis qu'une certaine pression de refroidissement est appliquée. En principe, n'importe quel type de bois peut être soudé. Les paramètres du processus suivants doivent être calibrés en conséquence: la fréquence, l'amplitude, la pression et le temps de

soudage ou le déplacement de soudage en tant que valeurs de contrôle. La recherche à l'IBOIS se concentre sur deux types de bois principaux qui sont utilisés couramment pour la construction. L'épicéa comme bois résineux et le hêtre pour les bois feuillus. Les résistances au cisaillement qui peuvent être obtenus avec ces deux types de bois sont de 3,5 MPa pour l'épicéa [3] et 13,4 MPa pour le hêtre .[4]

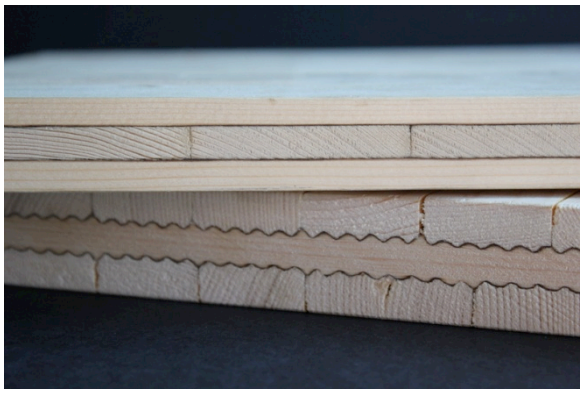


Fig. 1: Prototypes de panneaux lamellé-croisé à petite échelle

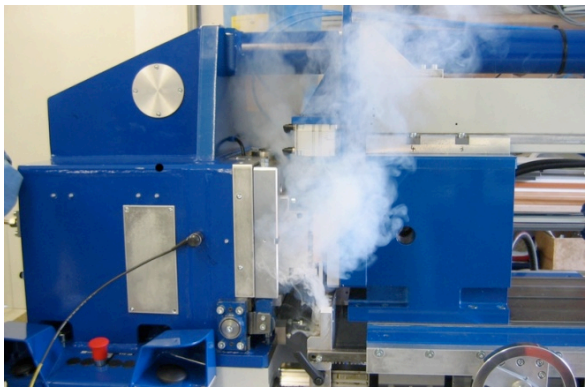


Fig. 2 : Prototype d'une machine conçu pour le soudage du bois à l'EPFL

Approche générale des travaux de recherche

Dans une première étape, le défi technique était l'amélioration de cette technologie pour passer de petits échantillons à des pièces d'échelle structurelles proches de la pratique. Des inhomogénéités importantes de la qualité de la liaison et de la résistance conjointe sont apparues, surtout avec la soudure des planches d'épicéa. Ces inhomogénéités, dénommées les scale effects, pourraient être considérablement réduits en facilitant l'évacuation de la vapeur, généré à la zone de contact pendant le soudage (voir Fig. 2), de l'interface.

Les premières estimations ont montré que les contraintes de cisaillement qui apparaissent dans les panneaux CLT peuvent être transférées par des liaisons soudées. Néanmoins, la résistance à long terme de la connexion doit être assurée. En fait, le plus grand défi est la sensibilité de la soudure à l'égard de différentes teneurs en humidité. La liaison relativement fragile est très sensible aux mouvements de gonflement et de retrait du bois. Les changements des conditions climatiques peuvent conduire à des fissures au sein de l'interface. Avec un profilage des surfaces reliées, par exemple par des profils ondulées, la résistance à long terme pourrait être considérablement améliorée. D'autres méthodes, par exemple le traitement des surfaces avec des résines dissoutes, ont également eu un effet positif sur la résistance à l'humidité.

Pour le dimensionnement des connexions de bois soudées, un outil permettant de calculer la capacité structurelle doit être développé. Pour les systèmes ayant un mécanisme de rupture fragile, comme il a été observé pour le bois soudé, des modèles probabilistes ont prouvé leurs avantages par rapport à des méthodes déterministes de prédiction de la capacité structurelle. L'approche est basée sur la théorie de l'élément le plus faible (weakest link theory), ce qui veut dire que la rupture d'un seul élément fini de la surface de contact conduit à un échec de l'ensemble de la connexion [5]. Avec l'augmentation de la superficie, la probabilité qu'un tel élément faible soit présent augmente également, et la résistance moyenne de la surface diminue. Les premières analyses dans le cadre de cette recherche ont appliqué des méthodes probabilistes pour déterminer la capacité portante des joints soudés, avec des directions de fibres parallèle ou perpendiculaire. Une bonne correspondance entre valeurs calculées et efforts déterminés expérimentalement a été constaté. D'autres recherches sont en train d'être poursuivie sur des systèmes plus complexes, composées de plusieurs points d'intersection, afin de simuler des scénarios plus réalistes à grande échelle.

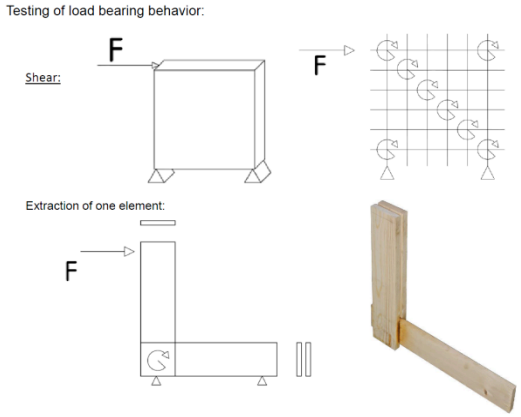


Fig. 3: Investigations numériques et expérimentales sur des points d'intersection croisés transmettant des moments

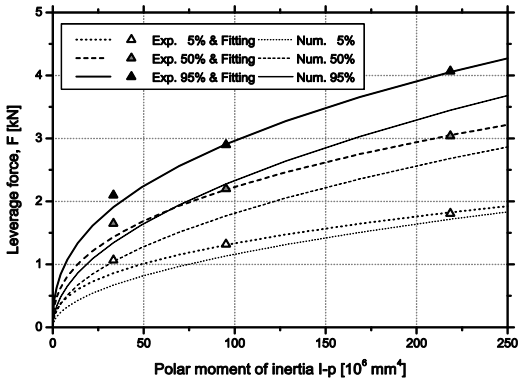


Figure 4: Comparaison des résultats expérimentaux avec la prédiction numérique pour différentes quantités statistiques

Références

[1] Gliniorz KU, Natterer J. Holzschweißen – Innovative Verbindungstechnologien im Holzbau. Tagungsunterlagen, Symposium der Lignaplus / Weltmesse für die Forst- und Holzwirtschaft. Hannover/D. 2000:79-83

[2] Stamm B, Natterer J, Navi P. Joining of wood layers by friction welding. J. Adhesion Sci. Technol. 2005;19:1129-1139

[3] M. I. Placencia, A. Pizzi, F. Pichelin. Linear friction welding for wood, a parameters study for upscaled assemblies. CIMAD 11 – 1° Congresso Ibero-Latino Americano de Madeira naConstrução. Coimbra (Portugal). 2011

[4] H. R. Mansouri, P. Omrani, A. Pizzi. Improving the Water Resistance of Linear Vibration-Welded Wood Joints. Journal of Adhesion Science and Technology, Vol. 23, 63-70. 2009

[5] Weibull W, A statistical theory of strength of materials. Proceedings of the Royal Swedish Institute, Research No.151, Stockholm, Sweden. 1939.

D06

Elaboration et caractérisation de LVL et contreplaqué à différent épaisseurs à base de pin d'Alep

BENBRAHIM Zouheyr[1], KENNOUCHE Salim[1], ZERIZER Abdalatif[1]

[1]Unité de Recherche Matériaux, Procédés et environnement
Université de Boumerdes – Algérie
zouheyrb@yahoo.fr

Résumé

Les LVL (Laminated Veneer Lumber) sont des matériaux de construction en fort développement dans le monde entier. La technologie de fabrication permet de valoriser des bois de petits diamètres en matériaux d'ingénierie de toutes dimensions et de toutes portées. Les performances recherchées (faible variabilité mécanique, grande stabilité dimensionnelle) sont apportées par la lamellation et la possibilité d'un tri qualitatif des placages constitutifs. Ces matériaux sont pour l'essentiel employés dans la construction des structures mécaniques des maisons et immeubles à ossature bois.

Les contreplaqués sont des matériaux plus anciens mais, bien que fortement en compétition avec les panneaux OSB, restent très performants et pertinents pour une utilisation en construction bois notamment grâce à leur grande stabilité dimensionnelle et leur isotropie mécanique plane. Cela en fait le matériau de prédilection pour les contreventements des maisons à ossature bois, les supports de plancher, les sous toitures et éventuellement les enveloppes de type bardage, parois acoustiques…

Un des freins probable dans le développement de tels produits vient de la proportion importante de colle qui peut avoisiner 20% de l'ensemble du matériau. Cela génère un surcoût de production important, de l'ordre de 10% du prix de revient du matériau, mais aussi complique la fin de vie du produit qui se trouve alors « contaminé » par la présence de colles faisant encore pour la plupart appel à des formaldéhydes. Cette forte consommation de colle s'explique par la relativement faible épaisseur des placages qui constituent les contreplaqués où les LVL et avoisinant généralement 3 mm. Au-delà de cette épaisseur, il devient difficile d'éviter l'apparition de fissurations sur la face inférieure des placages lors du déroulage, même avec une bonne préparation hygrothermique du bois et avec un réglage optimisé d'une barre de pression. Ces fissures résultent majoritairement d'une rupture intercellulaire au niveau de la lamelle mitoyenne mais également de ruptures totales ou partielles des parois cellulaires.

Or, il est généralement admis que ces fissurations cycliques altèrent fortement les caractéristiques mécaniques des produits finaux, contreplaqués ou LVL. Pourtant, il serait particulièrement intéressant de pouvoir dérouler en plus forte épaisseur pour minimiser la part de la colle dans le multiplis. Qu'en est-il donc de l'influence réelle des fissurations sur la mécanique globale des matériaux d'ingénierie issus du déroulage ? Quelle sera la loi de dégradation pour une essence donnée et quelle sera l'épaisseur maximale permettant de conserver des propriétés mécaniques suffisantes ?

On observe que les fissures tendent à devenir plus profondes mais plus espacées lorsque l'épaisseur du placage augmente. Il conviendrait donc de modéliser sur le plan mécanique les influences croisées de la profondeur et de la fréquence de fissuration sur le comportement mécanique des matériaux lamellés.

Références

Descamps C, Marchal R., Bleron L., Collet R. 2009. Influences of lathe checks on LVL mechanical properties. Fourth International Symposium on Veneer Processing and Products, 24-27 May 2009, Espoo, Finland

Devallance D. B., J. W. Funck J. E. Reeb. 2007. Douglas-fir plywood glue-bond quality as influenced by veneer roughness, lathe checks and annual ring characteristics. *Forest Products Journal 57 (1/2):21-28.*

Devallance D. B. , Funck J. W. , Reeb J. E. 2006. Influence of several preparation conditions on Douglas-fir plywood gluebond quality test results. Forest Products Journal, 56 (2), 47-50

El haouzali h., Marchal R., Bleron L., Butaud J.-C., Cottin F., Diochon J.-R. 2009. Peeling of Poplar: Cultivar and Forest Station Effects on Plywood and LVL Mechanical Properties. Fourth International Symposium on Veneer Processing and Products, 24-27 May 2009, Espoo, Finland.

D07

Caractérisation physico-mécanique de trois espèces de bois algériens en vue de la fabrication de carrelets 3-plis pour des menuiseries intérieures

DERBAL Wassila[1], ZERIZER Abellatif[1], GERARD Jean[2]

[1]Unité de Recherche Matériaux, Procédés, Environnement, Université de Boumerdès, Algérie
[2]Unité de Recherche Biomasse, Bois, Energie, Bioproduits (BioWooEB), Cirad, Montpellier
derbalwassila@hotmail.fr

Mots clés

Pin d'Alep, Chêne Zéen, Chêne Afarès, caractérisation physico-mécanique

Introduction

L'objectif principal de cette étude porte sur la qualification physico-mécanique de trois espèces de bois algériens (*Quercus afares* = Chêne Afarès ; *Quercus canariensis* = Chêne Zéen ; *Pinus halepensis* = Pin d'Alep). Ces espèces sont très disponibles en Algérie (Pin d'Alep : 880 000 ha - Chênes Afares et Chêne Zéen : 48 000 ha) et présentent de bonnes potentialités technologiques.

Les caractéristiques physiques et mécaniques étudiées sont les suivantes : retrait radial et retrait tangentiel de séchage, résistance en flexion statique et module d'élasticité longitudinal (flexion 4 points), résistance en compression axiale, résistance au cisaillement.

La détermination de ces propriétés est de première importance pour toutes les applications en structure, pour les calculs de dimensionnement par les bureaux d'étude des constructeurs et dans les calculs de surcote des éléments de structure.

Matériaux et méthodes

Pour chaque espèce, 4 arbres de 8 à 12 m de hauteur et de 40 à 55 cm de diamètre ont été échantillonnés (arbres considérés comme mature et constitués majoritairement de bois adulte).

Les essais ont été réalisés selon les normes françaises : NF B51-008 pour l'essai de flexion 4 points, NF B 51-005 pour la mesure de la masse volumique, NF B 51-006 pour la mesure des retraits radial et tangentiel, EN 314-1 pour l'essai de cisaillement.

Résultats et discussions

Les valeurs moyennes de masse volumique et de retraits de séchage obtenues pour les trois espèces sont les suivantes :

Espèce	**Pin d'Alep**	**Chêne Afarès**	**Chêne Zéen**
Masse volumique (kg/m^3)	625 (bois léger)	946 (bois lourd)	1015 (bois très lourd)
Retrait radial (%)	4,6	6,9 (aubier) 5,3 (duramen)	5,2
Retrait tangentiel (%)	4,9	12,9 (aubier) 11,7 (duramen)	7,8

Les figures ci-après présentent les résultats graphiques des essais de flexion 4 point pour le Pin d'Alep et de compression pour le Chêne Zéen.

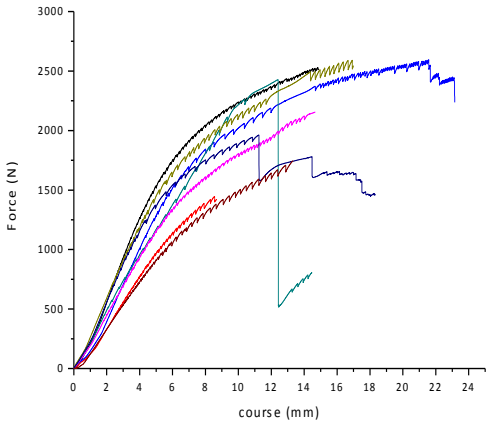


Fig.1 : Essai de flexion 4 point (Pin d'Alep)

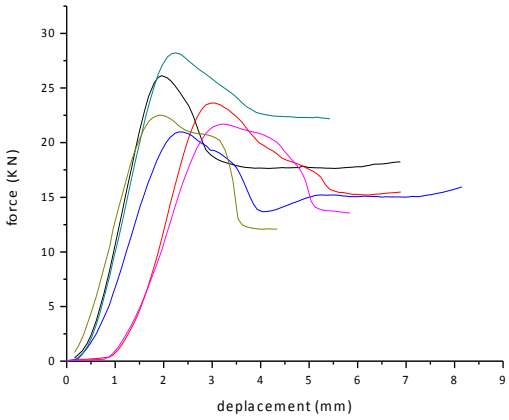


Fig.2 : Essai de compression (Chêne Zéen)

Les premiers résultats obtenus montrent que les 3 essences présentent des comportements physico-mécaniques très différents les unes des autres : le Pin d'Alep est un bois léger associé à des propriétés mécaniques moyennes, tandis que le Chêne Afarès est un bois lourd aux propriétés mécaniques élevées et le Chêne Zéen un bois très lourd associé à des propriétés mécaniques très élevées.

Ces résultats sont pris en compte pour le paramétrage des phases successives de la fabrication des carrelets 3-plis qui associeront ces 3 espèces en mélange : choix des colles, paramètres d'encollage, pression de serrage, modalités d'usinage des lamelles.

Des essais préliminaires effectués au sein de l'entreprise Transbois (Bejaia, Algérie) ont donnés des résultats encourageants qui devraient être confirmés par une seconde série d'expérimentations en cours.

Références

Direction Générale des Forêts (DGF), 2000. Etude prospective du secteur forestier en Algérie. Alger, 86 pages.

Daya A., 2006. Etude des contraintes de croissance des arbres sur pied d'eucalyptus grandis et du chêne vert : caractérisation et valorisation sous forme de bois collé. Thèse de Doctorat de l'Université Paul Verlaine de Metz - Spécialité : Sciences de l'Ingénieur - Option : Génie Mécanique, 157 pages.

Mette Loyche Wilkie M., 2010. Evaluation des ressources forestières mondiales - rapport national - Algérie. FAO, Rome, 57 pages.

D08

Influence de différents modes de vieillissement sur le comportement mécanique du bois

OUADOU Yasmina1, ALIOUCHE Djamel2, THEVENON-BRILLARD Marie-France3

1Unité de Recherche Matériaux, Procédés et Environnement,
2Laboratoire de Traitement et Mise en Forme des Polymères Fibreux,
Université M'Hamed Bougara, Boumerdes, Algérie
3Unité de Recherche 114 – BIOWooEB, Montpellier Cedex 5- France
ouadouyasmina@yahoo.fr

Mots clés

Déformabilité, vieillissement naturel, vieillissement accéléré, xénotest, traction mécanique.

Résumé

Le grisaillement du bois en extérieur est la conséquence d'une alternance des UV solaires et des eaux de pluie. L'accent est surtout porté sur la mise en évidence des propriétés de résistance et de déformabilité du bois en fonction de sa teneur en eau et la nature des espèces.

Parmi les facteurs influençant la résistance mécanique, on cite :

- l'essence du bois
- la texture (proportion de bois d'été et de printemps)
- sa teneur en eau
- sa densité
- l'orientation des fibres par rapport à la direction de l'effort

L'augmentation de la teneur en eau provoque en général une saturation des fibres, ce qui implique une diminution importante de la résistance, « A partir de 30% de teneur en eau, la résistance et le module E restent pratiquement constants. Le bois vert et les pièces de bois mouillé (cintres, échafaudages) présentent donc une résistance plus faible que le bois sec à l'air » (Irmouli et Merlin 2007)
C'est Inutile d'attendre le vieillissement du bois pour bénéficier de son charme. Un nouveau procédé qu'on va le développer dans ce travail qui est axé sur l'étude de vieillissement de différentes essences du bois par différents moyens, « vieillissement accéléré par un xénotest , vieillissement du bois dans l'eau (eau de mer et eau du robinet) » .

Dans un premier volet, nous avons étudié la résistance du à la traction à blanc en fonction du séchage en étuve puis comparé ces résultats avec des éprouvettes modifiées par un vieillissement.

Références

Irmouli Y, Merlin A, (2007) Etude de systèmes de finitions pour bois : application de nouvelles formulations, vieillissement et amélioration des performances', 21 Décembre 2007, Nancy- France.

D09

Classement mécanique du frêne traité thermiquement en vue de sa mise en œuvre

HANNOUZ Simon[1], COLLET Robert[1], BUTAUD Jean-Claude[1], CANDELIER Kevin[1], BLERON Laurent[2]

[1] LaBoMaP, rue porte de Paris, 71250 Cluny
[2] LERMAB, 27 rue Philippe Séguin – CS 60036, 88036 Epinal Cedex
simon.hannouz@ensam.eu

Contexte et objectif

Le traitement thermique consiste à chauffer le bois à des températures supérieures à 160 °C dans une atmosphère inerte. Les propriétés conférées au matériau traité par un tel procédé sont une meilleure durabilité (Candelier et al. 2012), une meilleure stabilité dimensionnelle (Korcut et al. 2008) et une teinte foncée (Ahajji et al. 2009). Ces améliorations ont tendance à se faire au détriment de certaines performances mécaniques (Kocaefe et al. 2008).

Le classement mécanique du bois est aujourd'hui réalisé d'après la norme EN 338. Les propriétés de résistance en flexion, de module élastique et de masse volumique permettent de déduire des valeurs minimales des autres propriétés de résistance (traction, compression, cisaillement). L'objectif de cette étude est de vérifier si les relations définies entre ces différentes propriétés pour le bois non traité peuvent être appliquées sur le bois traité thermiquement.

Matériel et méthodes

Du frêne européen a été chauffé à 212 °C, sous procédé Thermowood®, au sein de l'entreprise « Bois Durables de Bourgogne » (71). 40 éprouvettes ont été testées suivant le norme EN 338 pour chacune des caractéristiques de résistance mécanique suivantes : flexion, traction, compression parallèles et perpendiculaires au fil et cisaillement. Les résultats de ces essais ont permis de calculer les valeurs caractéristiques d'après la norme EN 14358.

Influence du traitement thermique

D'une manière générale la figure 1 montre que les propriétés de résistances diminuent tandis que les propriétés de rigidité ne varient pas, voire augmentent avec le traitement thermique.

Comparaison des valeurs d'essais avec les estimations de la EN 338

Les valeurs déduites de la norme EN 338 apparaissent sécuritaires pour l'ensemble des propriétés calculées du bois non traité. Il en va de même pour le bois traité, à l'exception de la résistance au cisaillement ($f_{v,k}$) : la figure 2 montre que la résistance au cisaillement mesurée est plus faible que la résistance estimée par les relations de la norme EN 338.

Perspectives

Les essais présentés ne portent que sur l'essence de frêne, traitée à une seule température. Il sera intéressant d'étudier l'évolution des propriétés mécaniques et plus particulièrement celle concernant la résistance au cisaillement en fonction de l'intensité de traitement (couple durée température) et de voir dans quelle mesure cette propriété influence les autres.

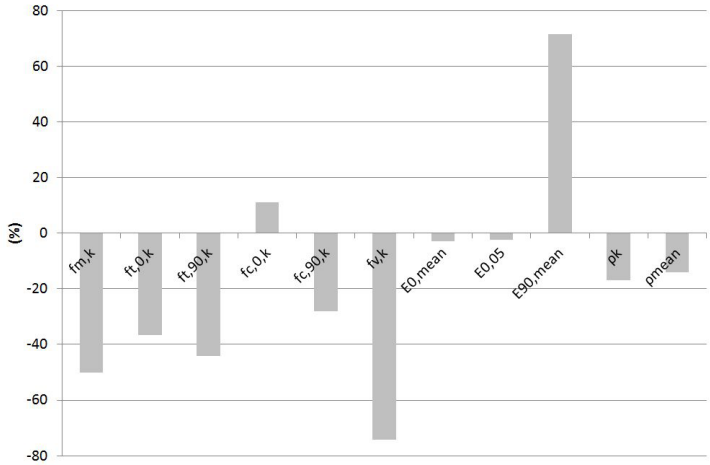


Fig. 1 : Évolution des performances mécaniques entre du bois traité et du bois non traité, avec les résistances en flexion ($f_{m,k}$), traction axiale ($f_{t,0,k}$), traction perpendiculaire ($f_{t,90,k}$), compression axiale ($f_{c,0,k}$), compression perpendiculaire ($f_{c,90,k}$), cisaillement ($f_{v,k}$), les rigidités ($E_{0,mean}$, $E_{0,05}$, $E_{90,mean}$) et les masses volumiques (ρ_k, ρ_{mean}).

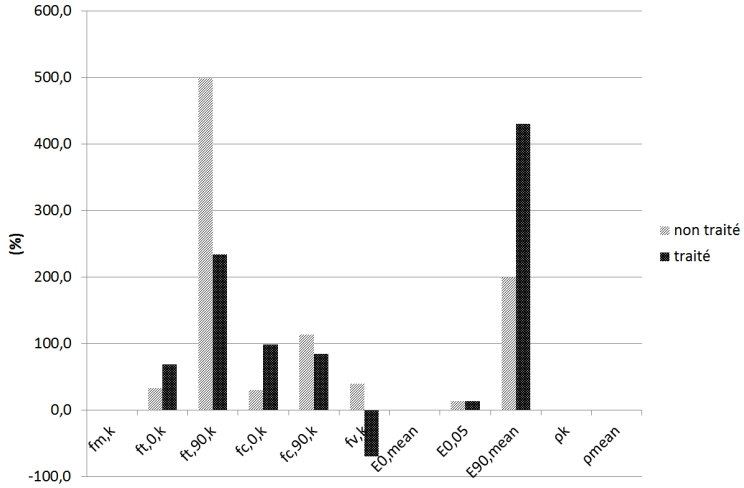


Fig. 2 : Variations calculées entre les valeurs d'essais et les valeurs estimées

Références

Ahajji, A., Diouf, P., Aloui, F., Elbakali, I., Perrin, D., Merlin, A., and George, B. (2009). Influence of heat treatment on antioxidant properties and colour stability of beech and spruce wood and their extractives. Wood Sci Technol, (43):69.–83.

Candelier, K., Dumarçay, S., Pétrissans, A., Desharnais, L., Gérardin, P., and Pétrissans, M. (2012). Comparison of chemical composition and decay durability of heat treated wood cured under different inert atmospheres: Nitrogen or vacuum. Polymer degradation and Stability.

Kocaefe, D., Poncsak, S., and Boluk, Y. Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen. bioresources.

Korkut, D. S., Korkut, S., Bekar, I., Budakci, M., Dilik, T., and Cakicier, N. (2008). The effect of heat treatment on the physical properties and surface roughness of turkish hazel (corylus colurna l.) wood. Int. J. Mol. Sci., (9):1772–1783.

D10

Evaluation de la durabilité de pieux de fondation en bois

KLEINDIENST Quentin[1], LALLEMAND Julien[2], FREYBURGER Charline[3], BLERON Laurent[1], TROUY Marie-Christine[1], BESSERER Arnaud[1], BOCQUET Jean-François[1]

[1]Laboratoire d'étude et de Recherche sur le Matériau Bois (LERMAB), Université de Lorraine
[2]Plate-forme Tracilogis, ENSTIB-CRAN, Université de Lorraine
[3] Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt-Bois, AgroParisTech, INRA Nancy
quentin.kleindienst@hotmail.fr

Introduction

Les ouvrages dont les fondations sont constituées par des pieux en bois sont nombreux et ce procédé a été largement utilisé dans le passé. Dans le contexte d'une réduction des émissions de CO_2, le remplacement de pieux béton par des pieux bois constitue une bonne alternative. Cependant le bois est un matériau sujet aux attaques biologiques. Le projet présenté ici se propose i) d'apporter des solutions de diagnostic de dégradation sur les pieux bois en service et ii) de pouvoir évaluer la durabilité en service des pieux bois. Les résultats présentés ici sont à considérer avec précaution car ils sont issus d'expériences préliminaires.

Cinétique de l'imprégnation des pieux : influence de l'essence

En service, les pieux de fondation sont fréquemment au contact de nappes phréatiques. Dans un premier temps, l'influence de l'essence sur la cinétique et le niveau d'imprégnation en eau du bois ont donc été évalués. Les essences testées étaient le Hêtre (*Fagus sylvatica*), le Chêne (*Quercus robur*) et le Pin sylvestre (*Pinus sylvestris*). Comme attendu, le niveau et la rapidité d'imprégnation de l'eau ont été plus importants dans le hêtre que dans le pin (présence de duramen) et le chêne (duramen uniquement).

Altération biologique et perte de résistance mécanique

Afin de développer des outils de diagnostic sur site permettant d'évaluer le niveau et le type de dégradation présents dans les pieux, des expériences de dégradation accélérée en macrocosme ont été effectuées. Des éprouvettes de hêtre de pin et de chêne ont été placées en contact avec la litière forestière et leur niveau de dégradation suivi pendant 12 semaines par double pesée et tomographie rayons X. La capacité à détecter une perte de résistance mécanique a été évaluée à l'aide d'un résistographe. Les données obtenues ont été confrontées à des essais de compression. Une forte densité fongique associée à une perte de masse croissante a pu être mesurée sur les éprouvettes de hêtre. Cette perte de masse a pu être corrélée à une diminution des efforts de perçage et une diminution du module d'élasticité dans les essais de compression. Les mesures de résistance mécanique effectuées sur les éprouvettes de pin et de chêne ont permis de mettre en évidence la variabilité intrinsèque du matériau mais n'ont fait apparaitre aucune altération. Ces données, en accord avec les mesures de perte de masses permettent de valider le dispositif expérimental.

Vers un système d'étude des pieux en service

Afin de pouvoir évaluer le développement fongique sur des pieux au contact de la nappe phréatique et du sol, des pieux des trois essences ont été partiellement immergés et inoculés avec du sol forestier. Après six mois d'exposition à l'inoculum fongique, les pieux ont été débités en éprouvettes et des mesures d'activités enzymatiques ont été effectuées et corrélées au niveau d'humidité du bois. Des poches de dégradation ont ainsi pu être identifiées et la présence d'agents de pourriture blanche et brune détecté à l'intérieur de celles-ci. Le développement d'un plugin du

logiciel imageJ permet de réaliser une découpe virtuelle des pieux et ainsi de corréler en trois dimensions le niveau de dégradation et la teneur en eau déterminée par double pesée.

Conclusion

Les résultats préliminaires obtenus dans le cadre de cette étude ont permis de valider les méthodologies employées et devraient permettre d'établir une corrélation entre le type d'attaque fongique, le taux d'humidité du bois et la perte de résistance mécanique.

D11

Comportement de poutres en LVL sous chargement de torsion cyclique: expérience et modélisation

CHAPLAIN Myriam[1], NAFA Zahreddine [2], BOURAS Faouzi[2]

[1] Université Bordeaux1, I2M/GCE, 351 cours de la libération-33405 Talence cedex France
[2] Université 08 mai 45, LGCH, BP 401, 24000 Guelma, Algérie
m.chaplain@I2m.u-bordeaux1.fr

Introduction

Le travail présenté concerne l'étude du comportement d'éléments structuraux en LVL soumis à des chargements cycliques entraînant une rupture par torsion. Cette étude s'intègre dans une démarche permettant de mieux dimensionner les structures bois en zone sismique. Des essais de torsions cycliques sont réalisés sur des éprouvettes de section rectangulaire à divers niveaux et amplitudes de chargement (couple) à la fréquence de 1 Hz. Un paramètre d'endommagement est calculé en analysant l'évolution de l'écoulement de la déformation angulaire avec le temps. Ces essais permettent d'étudier l'influence du niveau et de l'amplitude du chargement sur l'endommage et la durée de vie. Une modélisation basée sur la théorie de l'endommagement est proposée et comparée aux résultats expérimentaux.

Campagne expérimentale

La figure 1a présente le dispositif d'essai : les éprouvettes de section rectangulaire sont encastrées en tête et en pied avec une possibilité de glissement en tête enfin d'éviter le gauchissement, la longueur libre est de 600 mm (teneur en eau H=9%). La rotation mesurée est une rotation globale (rotation tête de vérin). La presse de torsion utilisée à une course limitée à 75°.

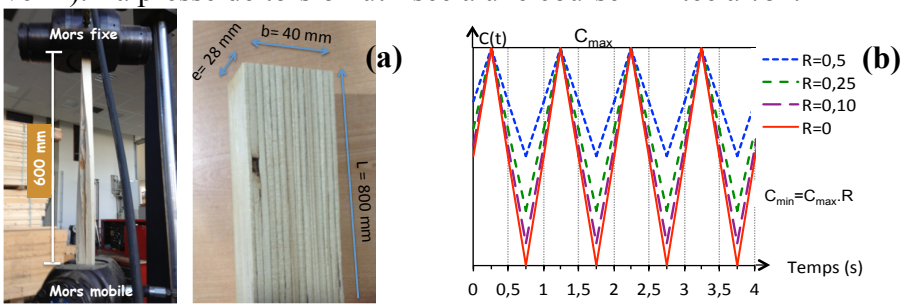


Fig. 1 (a): Dispositif d'essai, éprouvette de LVL testée, (b) : consignes cycliques (f=1Hz)

Avant chaque essai cyclique, chaque éprouvette est soumise à un chargement de torsion monotone sous une vitesse de 0,5 degrés par second en restant dans le domaine élastique : angle de torsion limité à 15°. Cet essai préliminaire va servir à différentier chaque poutre à partir du couple maximum mesuré à 15° ($C_{15°}$). En effet, nous définissons un niveau de référence de charge SL_r comme le rapport entre le couple maximum appliqué (C_{max}) et le couple $C_{15°}$. Afin d'avoir une estimation des résistantes (C_s) de certaines éprouvettes, des essais monotones jusqu'à la limite de rotation de la presse, ont aussi été réalisés sur huit éprouvettes « jumelles » (coupées côte à côte) à celle testées en cyclique à R=0.

Ensuite, les essais cycliques pilotés en couple sont réalisés : la consigne est triangulaire, la fréquence a été fixée à 1 Hz. Le couple maximum a été fixé 45 N.m au regard d'essais monotones sur les éprouvettes jumelles. Quatre moments minimum ont été choisis soit quatre rapports R (R = couple minimum/couple maximum) (Fig. 1b).

De part la limite de la presse, les éprouvettes ne subissent pas un endommagement (rupture) total. Aussi, après le chargement cyclique, un chargement monotone de charge et décharge est appliqué à la poutre (de 0° à 75°).

Evolution du dommage

Dans cette étude, le dommage est caractérisé par un paramètre D qui varie entre la valeur 0, matériau sain, et la valeur D_{crit} à la rupture. L'analyse de la perte de raideur entre les essais monotones avant et après les cycles donne un endommage final D_{crit} de l'ordre de 0,8. L'endommagement lors des cycles est analysé à partir de l'évolution de la déformation angulaire (Fig. 2a). Après une première phase dite primaire, l'évolution de la déformation angulaire extrême (maximale) en fonction du nombre de cycles devient quasi linéaire (phase secondaire). Après un nombre de cycles plus ou moins élevé, une troisième phase exponentielle (phase tertiaire) est observée dès la fissuration de l'éprouvette précurseur de la rupture. L'évolution du dommage est ainsi définie comme la différence entre la phase tertiaire et la phase secondaire, différence normé par D_{crit} pour obtenir le paramètre D (Fig. 2b).

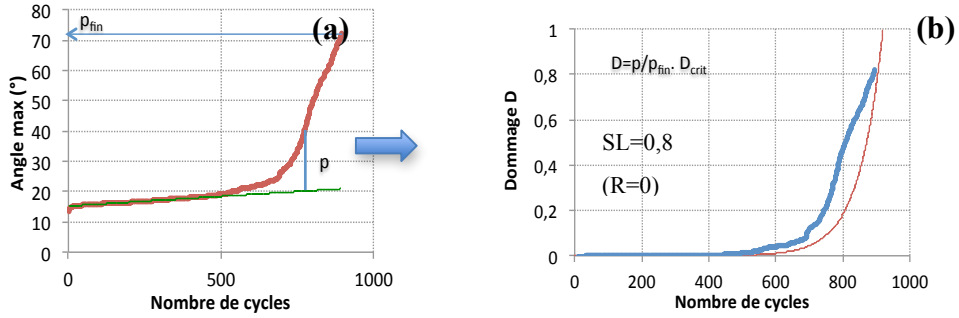


Fig. 2 : (a) Evolution déformation angulaire maximum - cycle durant les essais cycliques, (b) détermination du dommage D à partir de « p » et prévision du modèle de dommage (trait fin)

Conclusion : durée de vie expérimentale et modélisation

La Fig. 3 présente le nombre de cycles maximum, obtenu à la limite de rotation de la presse, en fonction du niveau de charge de référence de référence (SL_r) (Fig 3a) et en fonction du niveau de charge $SL=C_{max}/C_s$ pour les éprouvettes testées à R=0 dont la résistance C_s a été estimé grâce à leurs éprouvettes jumelles. On constate que le nombre de cycles à rupture augmente bien lorsque SL_r diminue, par contre, l'influence de R sur les durées de vie semble négligeable. Ceci peut sans doute s'expliquer par le fait que le temps à rupture sera plus conditionné par la cadence de retour du couple que par la vitesse du chargement triangulaire.

Le nombre de cycle à la fin des cycles correspondant à un dommage D_{crit} est prédit en utilisant un modèle de dommage développé par Nafa et al (Nafa et Chaplain 2008). Ce modèle permet la prise en compte non seulement du niveau de charge SL mais aussi de la variation du couple moyen ainsi que du comportement visqueux du bois. Les prévisions du modèle sont assez proches de celles observées tant en évolution du dommage quand nombre de cycles (Fig 2b et Fig 3b).

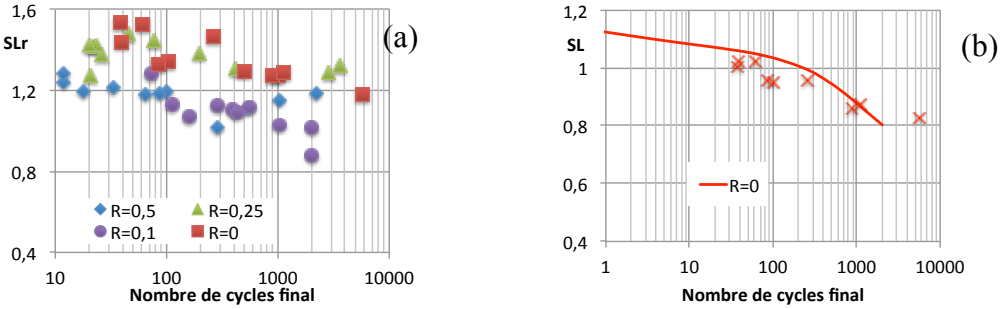


Fig. 3 : Nombre de cycle à rupture en fonction : (a) du niveau de charge de référence SL_r en fonction de R, (b) du niveau de charge $SL=C_{max}/C_s$ (R=0) et prévision du modèle (trait)

Références

Nafa Z, Chaplain M, (2008) Endommagement du bois lamellé-collé soumis à un chargement de torsion cyclique, EJECE; Vol. 12/9-10 :1123-1135.

D12

Etude de la mouillabilité du bois par un adhésif polyuréthane: application au collage du pin Maritime à l'état vert

LAVALETTE Anne[1], ELBEZ Gérard[1], POMMIER Régis[1], DANIS Michel[1], DELISEE Christine[1]

[1] Université Bordeaux, I2M, UMR 5295, F-33400 Talence, France
anne.lavalette@u-bordeaux1.fr

Introduction

Lors de l'assemblage des plis d'un contreplaqué, la formation du joint de colle est une étape essentielle garantissant la qualité du collage. Il s'agit d'un mécanisme complexe faisant intervenir de nombreux phénomènes. On notera l'importance des liens formés entre l'adhésif et les constituants du bois, qui peuvent être de différentes natures et complémentaires : mécaniques (ancrage), chimiques (liaisons covalentes) et physiques (liaisons hydrogène, Van der Waals, etc.) (Pizzi *et al* 2003).
Nous étudierons ici l'affinité entre le bois et l'adhésif à travers la théorie du mouillage. Ce modèle est basé sur le principe qu'un contact intime entre le substrat et l'adhésif doit être obtenu pour permettre la création et la densification des liaisons intermoléculaires.

Etude expérimentale de la mouillabilité appliquée au bois

La mouillabilité correspond à l'aptitude du liquide à créer des liaisons intermoléculaires à l'interface avec le bois (exprimée en énergie de mouillage, E_w). Elle dépend des propriétés de surface des 3 phases en présence (Fig. 1) et se base sur la mesure de l'angle de contact formé entre le solide, le liquide et l'air lorsqu'une goutte de liquide est déposée à la surface du substrat.

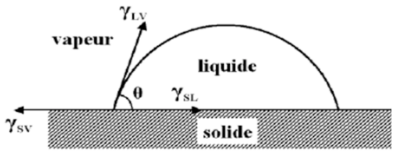


Fig. 1 : Représentation de la goutte de liquide sur le substrat bois, avec γ_{SV} l'énergie de surface du solide, γ_{LV} la tension de surface du liquide, γ_{SL} l'énergie d'intéraction solide/liquide

Une évolution très rapide de cet angle sur le bois est constatée, avec 3 phases répertoriées (Liptakova *et al*, 1994):

1. Formation d'un angle de contact initial θ_i,

2. Etalement du liquide à la surface ,

3. Pénétration du liquide dans le bois jusqu'à atteindre un angle d'équilibre θ_e.

La mesure de l'angle de contact est influencée par les propriétés de surface du bois (rugosité, énergies de surface, etc.), qui évoluent par exemple en fonction de la teneur en eau, de la température et du vieillissement du bois. Afin de limiter l'influence de ces paramètres, nous utiliserons du bois stocké sous eau provenant d'un même lot de bois (même provenance). Des plis de déroulage de pin Maritime et un adhésif polyuréthane référencé RP 2554 sont utilisés dans cette étude. Cet adhésif a la particularité d'utiliser l'eau du bois pour polymériser. L'objet des recherches a été centré sur l'effet de la teneur en eau des plis sur la mouillabilité du substrat par l'adhésif. Différentes teneurs en eau ont été étudiées: 12%, 20%, 30%, 60%, 100%. Les énergies de mouillage (Ew) sont calculées pour les différentes configurations, à partir des paramètres présentés à la Fig. 1, selon la relation suivante: $E_w = \gamma_{LV}.\cos\theta - 1$. Plus cette énergie est faible, plus le liquide a d'affinité avec le substrat.

On observe que l'eau présente en surface du substrat réduit l'affinité entre le bois et la colle. Ce phénomène est confirmé par les observations microscopiques du joint, qui permettent de visualiser la structure interne du contreplaqué collé vert.

Observation de l'imprégnation de la résine dans le bois

Des observations microscopiques ont été réalisées sur les joints des panneaux à l'Université d'Aalto, Departement de Forest Products Technology, Finlande. La pénétration de colle dans le bois est d'autant plus forte que les bois présentent une faible teneur en eau (< 30%, Fig. 2 a)) : la colle a été absorbée dans les cellules, les fentes de déroulage et les rayons ligneux de telle manière que très peu d'adhésif reste au niveau du joint, et ce indépendamment de la quantité de colle appliquée (250 g/m^2 ou 500 g/m^2). Dans le cas de fortes teneurs en eau, 60% et 100%, l'imprégnation est a priori plus régulière et concerne 2 à 3 couches de cellules du bois (Fig. 2 b)).

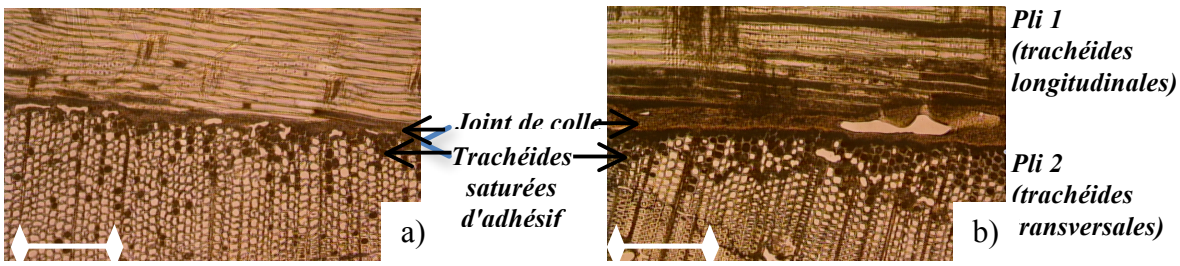


Figure 2: Photos du joint observé par microscopie optique. a) morphologie du joint pour la configurations 500 g/m^2 de colle-MC=12%, b) morphologie du joint pour la configuration 500 g/m^2 de colle-MC=60%. (Barre d'échelle = 0,5 mm).

Conclusion

Les essais réalisés traduisent que pour la colle polyuréthane appliquée, la mouillabilité et la pénétration sont favorisées lorsque la teneur en eau est faible. La présence d'eau en surface, dans des proportions adéquates, est nécessaire pour obtenir un joint régulier et d'une épaisseur de 100 microns environ entre les deux plis de bois. La réaction de l'adhésif polyuréthane avec l'eau libre, l'eau liée, et les constituants du bois est une hypothèse proposée pour expliquer les phénomènes observés:

- il y a peu d'affinités intermoléculaires entre l'eau, polaire, et la colle, de majorité dispersive,
- en présence d'eau, la réaction du polyuréthane est plus violente, voire immédiate; donc la viscosité de l'adhésif augmente rapidement avec la teneur en eau, ce qui limite sa pénétration dans le bois.
- pour une teneur en eau de 12%, le joint est de faible épaisseur car il n'y a pas assez d'eau en surface pour provoquer la polymérisation de la colle à l'interface. La colle pénètre donc dans la structure poreuse du bois pour réagir plus en profondeur avec les terminaisons -OH des composants pariétaux du bois.

Références

Pizzi A. et Mittal K.L. (2003) Handbook of Adhesive Technology. Marcel Dekker, Inc, USA, second edition, revised and expansed edition.

Liptáková E. et Kúdela J. (1994) Analysis of the wood-wetting process, Holzforschung 48, 139-144.

D13

Extraction de tanins d'écorce de pin maritime (*Pinus pinaster*) pour la conception de colles bio-sourcées

CHUPIN Lucie[1], CHARRIER-EL BOUHTOURY Fatima[1], CHARRIER Bertrand[1]
[1]EPCP-IPREM, IUT des Pays de l'Adour, 371 rue du ruisseau, BP201, 40004 Mont de Marsan
lucie.chupin@univ-pau.fr

Résumé

La plus grande forêt de pin maritime (*Pinus pinaster*) d'Europe se trouve dans la région Aquitaine. Majoritairement cultivé pour son bois qui rentre dans la fabrication entre autre de panneaux de bois, son écorce reste peu valorisée bien qu'elle soit riche en tanins condensés. Les colles pour panneaux de particules sont à base de formaldéhyde. Or, les réglementations concernant les émissions de formaldéhyde sont de plus en plus strictes. De plus, le formaldéhyde est produit à partir de ressources fossiles pour lesquelles de nouvelles alternatives sont nécessaires. Cette étude a pour objectif d'optimiser l'extraction de tanins condensés d'écorces de pin maritime en utilisant le moins de solvant possible afin de les inclure dans la formulation de colles pour fabriquer des panneaux de particules.

Pour ce faire, l'étude a été menée en deux temps. Dans un premier temps, des tanins d'écorce de pin maritime ont été extrait suivant trois méthodes de macération. Ils ont ensuite été caractérisés par des méthodes spectrométriques, par le test de Stiasny, par RP-HPLC et IRTF. Les méthodes spectrométriques ont permis de doser les quantités de polyphénols totaux et de tanins condensés extraits. La réactivité des tanins au formaldéhyde a été mesurée par le test de Stiasny, cette information nous a indiqué sur la possibilité d'utiliser les tanins pour faire des colles. La RP-HPLC nous a permis d'identifier précisément trois tanins condensés dans nos extraits, la catéchine, l'épicatéchine et l'épicatéchine gallate. Enfin, l'IRTF nous a permis de comparer nos trois méthodes d'extraction. Nous avons mis en évidence la présence de plus de lignine dans une des méthodes d'extraction.

Dans un second temps, des colles naturelles à base de dérivés de lignines et de tanins de mimosa ont été réalisées. Des colles avec cinq lignines différentes et quatre ratios tanins-lignine ont été caractérisées par TMA, ATG et DSC. Ces informations nous ont permis de déterminer les ratios et les lignines qui donnent les meilleures performances. Cette étude est un point de départ pour la réalisation de colles à base de dérivés de lignines et de tanins extraits d'écorce de pin maritime.

D14

Développement de formulations originales à base de gels pour la préservation du bois ou le traitement des bois anciens.

IMBERT Aurélia, GERARDIN Philippe, GERARDIN Christine

LERMaB , Université de Lorraine - FST BP 70239 – 54506 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex
Aurélia.Imbert@gmail.com, Christine.Gerardin@univ-lorraine.fr

Mots-clés

Préservation du bois, formulations vertes, lessivage, hydrogels stimuli sensibles, traitement des bois anciens

Résumé

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une étude relative à l'utilisation de gels supramoléculaires en tant que formulation d'actifs aussi bien dans le domaine de la préservation du matériau bois que dans celui du traitement de bois anciens. En effet, en ce qui concerne la protection du bois et compte tenu des directives de ces dernières années dans ce domaine, de nombreux produits de préservation ont été interdits en raison de leur toxicité, et la formulation en phase aqueuse des composés autorisés, devient incontournable. De la même façon, les différentes formulations d'insecticides proposés actuellement sur le marché pour traiter les bois anciens et qui permettent d'éviter les tâches dues aux remontées de tannins, sont essentiellement des formulations à base de solvants organiques d'origine pétrochimique. Il est donc indispensable de trouver maintenant une alternative à base d'eau ou de solvant vert qui réponde à ces exigences. Les gels supramoléculaires sont dans les 2 cas des solutions particulièrement efficaces.

Dans le cadre de la préservation du bois, certains sels hydrosolubles tels que les sels de bore sont bien connus pour leurs propriétés antifongiques et insecticides. Or ces composés présentent l'inconvénient d'être rapidement lessivés lorsque le bois est utilisé en conditions extérieures. Pour pallier cet inconvénient, nous avons mis au point des hydrogels thermosensibles et testé leur efficacité en tant que formulation pour piéger les sels de bore au sein du bois après une imprégnation à chaud sous forme de solution. Les premiers essais d'imprégnation par des mélanges « borax-hydrogel » réalisés sur des éprouvettes de Pin Sylvestre et des tests de résistance vis-à-vis d'un champignon (*Poria Placenta*) se sont révélés concluants. Cette étude préliminaire a montré qu'un bois traité par l'association « borax-hydrogel » reste protégé même après lessivage alors que le bois, traité par le borax seul, puis lessivé, est attaqué. Afin d'élargir cette étude, ces essais ont été poursuivis et étendus à d'autres types de champignons. La structure du gélifiant et la concentration de ce composé dans la formulation ont également été modifiés afin de déterminer leur influence sur l'efficacité du traitement. Des tests ont également été réalisés au niveau du traitement de différentes espèces de bois par des formulations d'insecticide à base d'hydrogel ou de glycérogel afin de déterminer leur efficacité à éviter le relargage de tannins et l'apparition de tâches sur le bois.

Références

F. Obounou Akong, A. Pasc, M. Mutlu, S. Cosgun, P. Gerardin, C. Gerardin-Charbonnier.(2012) Hydrogels obtained from an original catanionic system for efficient formulation of boron wood-preservatives. Journal of International biodegradation and Bioterioration 77, 2013, 123-126.

D15

Livre de connaissances : Valorisation des produits récupérés à base de bois

MICHAUD Franck[1], AYMEN JMAL[1], NDIAYE Amadou[2], IRLE Mark[1]

[1]LMCB, Groupe ESB, Nantes
[2]Departement CEPIA, INRA Bordeaux
franck.michaud@ecoledubois.fr

Mots-clés

Produits bois, Fin de vie, Valorisation, Transfert de connaissances

Introduction

Ce travail de thèse (Jmal 2013) s'intéresse au transfert de connaissances scientifiques sur la valorisation du bois en fin de vie vers les acteurs de la filière bois. Le double constat de départ est : la grande quantité de produits bois en fin de vie existante (estimation : 16 millions de tonnes) ; la non valorisation d'au moins 30% de ces produits (COST Action E31). La question de recherche est: *Comment transférer les connaissances scientifiques sur la valorisation des produits récupérés à base de bois pour qu'elles puissent être assimilées et utilisées par les acteurs de la filière bois ?*

Le choix d'une valorisation des produits bois en fin de vie dépend de plusieurs facteurs tels que les facteurs techniques liés aux Produits Récupérés à Base de Bois (ex : type de contamination, caractéristiques physiques) et les facteurs environnementaux liés au processus de valorisation (ex : l'émission du CO_2 et des métaux toxiques dans l'air). Les connaissances recueillies ont été reformulées afin de faciliter leur transfert vers les acteurs de la filière bois : les concepts pertinents, relations d'influence entre les concepts et résultats scientifiques ont été respectivement représentés via des cartes conceptuelles, graphes d'influence, et fiches de connaissances.

Démarche

La transmission, l'assimilation et l'utilisation potentielle des connaissances à transférer ont été traitées comme suit :

- *La transmission* a été proposée via un livre électronique (hypermédia) de connaissances construit de façon spécifique. (Illustration Fig. 1)
- *L'assimilation* (absorption) a été prise en compte via la reformulation des connaissances et une représentation graphique des connaissances suivant une carte conceptuelle canonique et un format prédéfini de fiches.
- *L'utilisation potentielle* des connaissances transférées a été renforcée par la représentation des leviers d'action sur les concepts du domaine sous forme de graphes d'influence (Fig. 2).

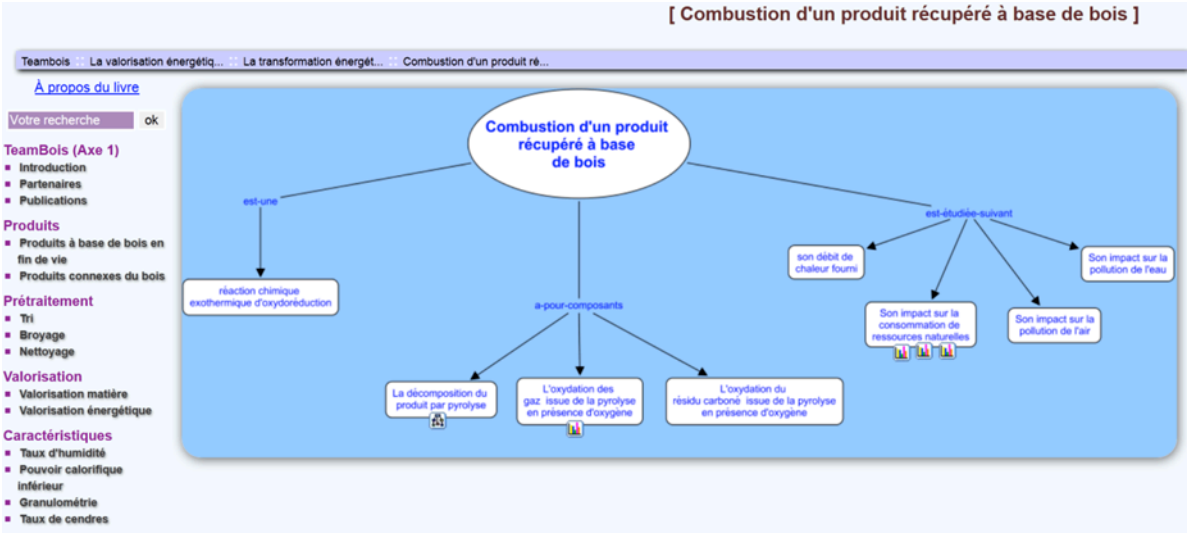


Fig. 1 : Illustration du livre de connaissance – exemple de carte conceptuelle

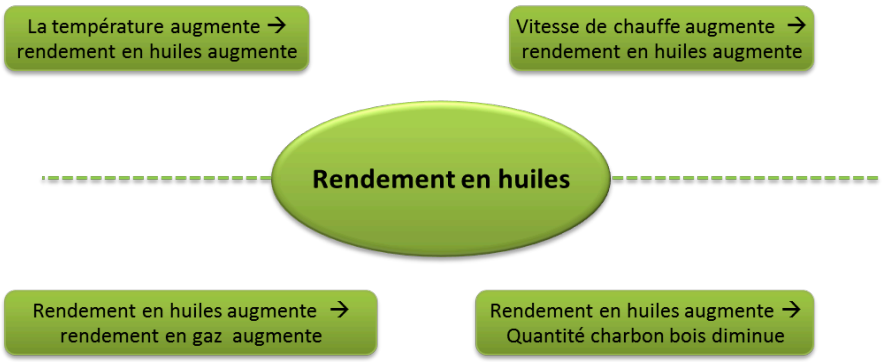


Fig. 2 : Graphe d'influence de la variable *Rendement en huiles*

Conclusion & Perspectives

Il existe désormais un livre de connaissances regroupant un ensemble de connaissances sur la valorisation des produits bois en fin de vie qui est un media de transmission offrant une disponibilité des ressources, une réutilisabilité et assimilation des connaissances toutes les trois élevées.

La pertinence de l'outil a fait l'objet d'une première validation expérimentale qui doit être poursuivie par une mise à l'épreuve au sein des entreprises du secteur. L'étude d'un raisonnement automatique sur les connaissances contenues dans le livre constitue une suite logique qui aura pour objectif finalisé le développement d'un outil d'aide à la décision en valorisation des produits à base de bois en fin de vie. Plusieurs voies sont à considérer : Simuler le raisonnement humain, Définir l'ensemble des critères à prendre en compte pour choisir une solution optimale de valorisation (décision multicritères), Définir l'ensemble des fonctions (quantitatives et/ou qualitatives) objectif à optimiser simultanément.

Références

JMAL A. (2013) Représentation des connaissances scientifiques en vue de leur transfert vers l'industrie : application à la valorisation des produits à base de bois en fin de vie, thèse de doctorat, Ecole doctorale SPIGA, Ecole des Mines de Nantes. N° 2012EMNA0075.

D16

Faisabilité d'un composite biosourcé applicable à l'aéronautique

MICHAUD Franck[1], MASSETEAU Benjamin[2], ALISE Gaelle[2], ROY Annette[2], IRLE Mark[1]

[1]LMCB, Groupe ESB, Nantes
[2]CRITT MPC Rochefort
franck.michaud@ecoledubois.fr

Mots-clés

Fibres naturelles, Composites à matrice thermodurcissable, Variabilité, modélisation mécanique, réglementation aéronautique

Introduction

Le but de ces travaux (Masseteau 2012) est de faire progresser la connaissance sur les composites bio-sources afin de les qualifier comme une alternative crédible et d'avenir aux composites synthétiques, démarche appuyée sur l'exemple d'un avion de voltige présentant un cahier des charges sévère. L'utilisation de matériaux sandwich (fibres de lin / liège / époxy) ne peut être validée vis-à-vis des normes aéronautiques que si certains verrous scientifiques et technologiques sont levés. C'est pourquoi ce travail a un double objectif : technologique, par l'évaluation des possibilités d'utilisation offerte par un bio-composite dans l'avion CRICRI, et scientifique, par l'étude des paramètres prédominants dans l'établissement d'une part, de leurs propriétés mécaniques, et d'autre part dans l'origine de leurs variabilités.

Démarche

La démarche suivie est représentée par la Fig. 1.

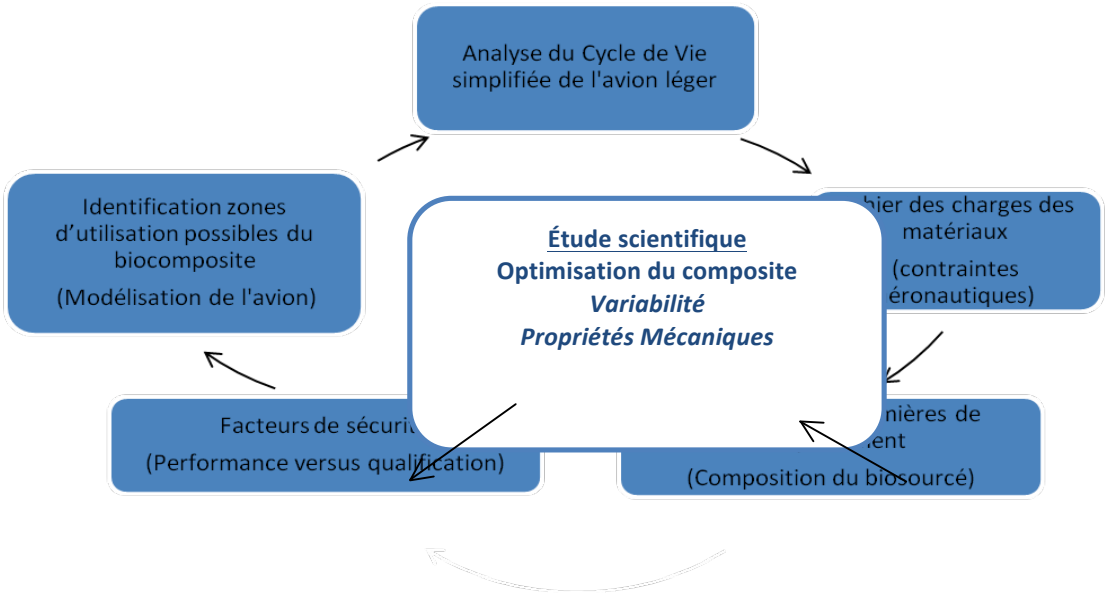


Fig. 1 : Démarche de qualification d'un matériau pour une application aéronautique

Aspects scientifiques

L'humidité des fibres et la porosité des bio-composites se sont avérées être les principaux paramètres à maitriser pour optimiser les propriétés mécaniques des bio-composites et pour limiter

leurs variabilités. Un effort particulier a été fait pour quantifier l'influence de l'humidité des fibres sur le module d'élasticité du composite ce qui a permis de mettre en avant l'effet de l'humidité des fibres sur la composition volumique (variation de la densité) et la cohésion fibre/matrice (stabilité dimensionnelle). La Fig. 2 illustre de quelle façon la variabilité de la ressource naturelle impacte sur celle du composite final.

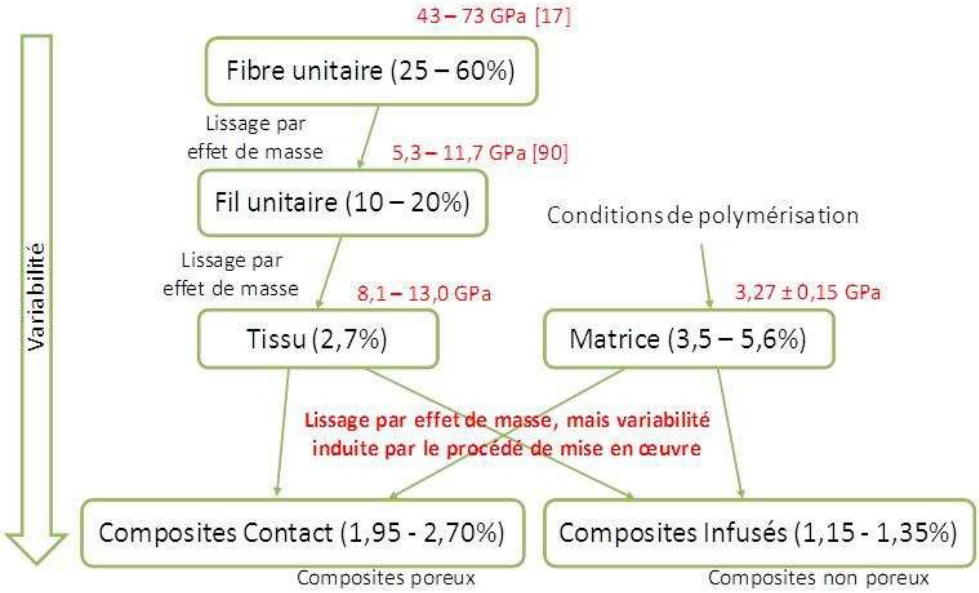


Fig. 2 : Provenance de la variabilité du module d'élasticité des composites lin/epoxy UD à partir de celles de ses constituants (source Masseteau 2012)

Aspects technologiques

D'un point de vue technologique, il est apparu via des essais sur éprouvettes que, l'utilisation de bio-composites dans l'aviation légère semble être principalement limitée par leur faible tenue en fatigue. La biodégradabilité et la variabilité des biocomposites n'ont pas été pénalisantes car, d'une part l'utilisation d'une barrière physique, et d'autre part le choix d'une méthode de mise en œuvre appropriée, permettent de limiter fortement ces deux aspects. L'analyse environnementale comparative montre que l'utilisation du biocomposite ne pourra induire un gain environnemental conséquent qu'en agissant en particulier sur les phases de fabrication et de production des fibres de lin qui sont gourmandes en énergie.

Conclusion

Il a été montré qu'un composite à base de fibres lignocellulosiques peut-être une alternative crédible à la substitution de matériaux utilisés dans un secteur aussi exigeant en termes de performance que l'aéronautique légère.

Références

Masseteau B. (2012) Etude de solutions composites biosourcées respectueuses de l'environnement pour des applications dans le domaine de l'aviation légère, thèse de doctorat, Ecole doctorale SPIGA, Ecole Centrale de Nantes. N° E.D 498-256.

D17

Mise en forme par extrusion de briques de mortier formulées à base de coproduits issus du bois -influence du taux de substitution

NDONG Engone J.G, XING Zhi, DJELAL Chafika, VANHOVE Yannick, KADA Hassina

Laboratoire Génie Civil et géo-environnement, EA 4515, IUT de Béthune 62400 Béthune
Ndong_engone@yahoo.fr

Contexte

La diminution des ressources en sable de rivière au niveau mondial ainsi que la dégradation de la couche d'ozone, pousse à rechercher des matériaux de substitution dans la fabrication des bétons et des mortiers servant à la construction des bâtiments. La consommation énergétique des bâtiments représente plus de 1/3 des consommations énergétiques industrielle en France [ADEME 2008]. Ce caractère énergivore des bâtiments nocif pour l'écosystème, pousse à la recherche des matériaux innovants constitués de sous-produit de l'industrie agricole (fibre végétale), pneumatique (poudrette de caoutchouc) pouvant à la fois réduire l'impact sur l'écosystème, diminuer la consommation énergétique des bâtiments et améliorer le confort au sein des bâtiments vis-à-vis de la pollution sonore.

Les travaux de recherche menés au sein du laboratoire dans le cadre du projet régional ARCIR Cluster-Bois initié par le conseil régional du Nord-Pas-de-Calais s'orientent vers la conception de matériau à faible impact environnemental en combinant matrice cimentaire et fibre végétale. Cette combinaison se fait par la substitution du sable contenu dans les mortiers par des sous-produits bois (sciure) issus des scieries de l'industrie bois. L'essence de bois utilisée est le peuplier de par sa grand part (29%) du volume de production de bois dans la région [IGN 2010]. La région Nord-Pas-de-Calais à l'ambition de valoriser ces sous-produits bois par la fabrication en masse de bloc de mortier de sciure via une mise en forme en chaine qu'est l'extrusion. L'extrusion des matériaux à matrice cimentaire s'est développé au cours des 20 dernières années, des études sont réalisées pour comprendre les paramètres influençant l'extrusion des matériaux cimentaires. Il a été démontré que le caractère frottant de ces matériaux rend leur extrusion difficile [Toutou 2005] [Fàbio 2009], l'extrusion est donc influencé par la quantité de fraction volumique solide (sable, gravier). La substitution du sable par la sciure de bois devrait donc diminuer les frottements intra-granulaires et réduire les forces d'extrusion. Cette étude permettra de quantifier l'influence de cette sciure de bois.

Objectif et méthodes

L'objectif principal de cette étude est la recherche d'une formulation optimale à partir d'un mortier de référence (mortier normalisé) et de vérifier l'extrudabilité des mortiers à base de bois (sciure de peuplier non traitée) sous forme de blocs de dimensions standard 220 mm x 105 mm x 60 mm vérifiant la norme **EN NF 771-1/CN**. La résistance des blocs obtenus doit être de 8 MPa en compression pour répondre aux exigences de la norme **EN NF 771-3/CN**. Une extrudeuse à piston combiné à un ordinateur est utilisée pour cette étude. La capacité maximale de cette extrudeuse est de 75 KN. L'extrusion des mortiers sans agrégats bois est effectué en variant progressivement le volume de pâte de 41.7% à 30% jusqu'à l'obtention d'un produit qui garde sa forme après l'extrusion. Une substitution volumique du sable par le bois est faite sur la formulation optimisée à des taux de 10%, 20%, 30 %. Afin de caractériser le comportement rhéologique des mélanges, l'affaissement au cône d'Abrams est effectué sur les mortiers à l'état frais.

Fig. 1 : Extrudeuse à piston

Fig. 2 : Blocs extrudés

Discussion :

Pour les mortiers sans sciure, la diminution du volume de pâte entraîne une augmentation de la fraction volumique solide, ce qui a pour conséquence d'augmenter les forces de frottement inter granulaires [Toutou 2005]. Le volume de pâte critique des mortiers sans sciure en dessous duquel l'extrusion devient impossible correspond à 40%. La formulation correspondant au volume de pâte de 40% est prise comme référence. L'incorporation de la sciure dans le mortier modifie la rhéologie de celui-ci en le rendant plus fluide. Tran Le [Tran 2011] attribue l'augmentation de la fluidité aux interactions électrostatiques entre les particules végétales et le ciment qui favoriseraient la défloculation des grains de ciment. Cette fluidification du mélange réduit considérablement la contrainte de cisaillement par diminution des forces de frottement inter-granulaires du sable. Cette diminution des forces de frottement réduit considérable les forces nécessaires à l'extrusion. La diminution des forces d'extrusion peut être considérée comme avantage, cependant l'augmentation de la fluidité affecte la qualité (maintien de la forme) des blocs extrudés. Un taux limite de substitution a été déterminé afin de limiter la fluidité des mortiers. Dans la suite des travaux l'incorporation d'addition calcaires ou cendres volantes en vue d'améliorer les caractéristiques rhéologiques sera effectué.

Référence :

ADEME, Ministère du logement et de la ville (2008). Les économies d'énergie dans le bâtiment – L'ensemble des dispositifs pour améliorer la performance énergétique des bâtiments, page 2.

Fàbio A. Cardoso, Vanderley M. Jhon, Rafael G. P. (2009) ; Rhéological behavior of mortars under different squeezing rates . *Cement and concrete research, vol.39, pages 748–753.*

Institut géographique nationale (2010) ; La forêt française - les résultats pour la région Nord-Pas-de-Calais, Inventaire Forestier National. ISBN 978-2-11-128073-1.

Tran Le N. Huyen, M. Queneudec T., C. Remond, et al. (2011) ; Saccharification of Miscanthus x giganteus, incorporation of lignocellulosic by-product in cementitious matrix. *Compte rendus de biologie, vol.334.*

Zahia Toutou, N. Roussel (2005);The squeezing test a tool to identify firm cement based material's rheological behaviour and evaluate their extrusion ability. *Cement and concrete research, vol.35, pages 1891–1899.*

D18

Effet d'un coproduit issu du peuplier sur les évolutions des propriétés rhéologiques, mécaniques et thermo-physiques d'un mortier extrudable

XING Zhi, NDONG ENGONE Jean-Gérard, KADA Hassina,
DJELAL Chafika, VANHOVE Yannick

Université d'Artois, LGCgE, EA 4515, 1230 Rue de l'Université, F-62400 Béthune
xzmaple@hotmail.com

Contexte

Le secteur du bâtiment est responsable de 43% des consommations énergétiques totales et de 25% des émissions de gaz à effet de serre totales en France [ADEME et al. 2008]. Le besoin de développer des matériaux respectueux de l'environnement a conduit le secteur de la construction à rechercher des matériaux de construction capables d'allier confort de l'habitat et économie d'énergie. Ce besoin s'est très vite dirigé vers l'utilisation de matériaux issus des agro-ressources grâce à leur caractère renouvelable.

Dans le cadre de projet de recherche ARCIR, la région de Nord-Pas de calais souhaite valoriser les sous-produits de bois dans la production innovante et massive des matériaux de construction. L'essence de bois valorisée est le peuplier, ce choix est justifié par la production massive de cette essence dans la région (53% du bois d'œuvre). L'équipe de recherche du laboratoire LGCGE à été sollicité afin d'élaborer un composite cimentaire fait a base de coproduit du bois de peuplier issu des déchets de l'industrie (sciure, rebut). Deux types de sous-produit du peuplier sont utilisés dans cette étude : la sciure du bois de peuplier et la fibre du bois de peuplier à 2 mm (Fig.1). L'utilisation de deux granulats de bois permettra l'analyse de l'influence de la forme de particules sur les caractéristiques rhéologiques et mécaniques des composites formulés.

Objectifs

Cette étude à pour but l'étude des composites à matrice cimentaire/bois. Nous avons caractérisé leur comportement rhéologique (affaissement et maniabilité), thermo-physique (prise de Vicat et mesure calorimétrique) et mécanique. L'influence des particules de bois sur ces différents comportements est étudiée. L'étude est réalisée sur un mortier dont la formulation est calquée sur celle d'un mortier normalisé. L'incorporation des particules de bois dans le mortier est faite par substitution volumique du sable soit par de la sciure (mortier MS) ou de la fibre (mortier MF). Cette substitution est faite à des taux variant de 10% à 100%.

Résultats et Discussion

L'incorporation des particules de bois de peuplier dans le mortier influence considérablement les propriétés du composite. Une diminution de la densité du mortier a été observée à l'état frais et durci, cette diminution peut être considérée comme un avantage. En effet l'utilisation du composite dans une bâtisse peut largement diminuer le poids de celle-ci. Outre l'influence sur la densité, l'incorporation des particules de bois dans les mortiers influence leurs comportements rhéologiques. On observe une augmentation de la fluidité jusqu'à un taux optimum au delà duquel la fluidité diminue. L'influence principale des particules de bois dans une matrice cimentaire connue [Frybort et al. 2008] est l'inhibition partielle ou totale de la prise. Cette influence peut être caractérisée par les essais de maturométrie réalisés (la prise de Vicat et la calorimétrie isotherme). Le début de prise est retardé progressivement en fonction du taux de substitution. Il est d'environ 8 heures pour 50% de substitution et de 21 heures pour 100% de substitution par rapport au mortier témoin dont le début de prise est observé a environ 4 heures. Le mélange composé essentiellement de particules de

bois et de ciment (MS100%) n'a pas atteint la fin de prise après 48h. L'essai de calorimétrie isotherme confirme l'influence des particules de bois sur l'hydratation du ciment. Une baisse du flux maximal de chaleur des différents mortiers à différents taux de substitutions et un ralentissement de la cinétique de réaction d'hydratation sont observés (Fig.2). Les hydrates formés sont affectés par la présence de particule de bois dans le composite. Cette modification d'hydratation impact sur les résistances mécaniques des composites. La résistance mécanique du mortier MS et MF baisse fortement au fur et à mesure que l'on augmente le volume des particules de bois dans le composite. Pour un même taux de substitution, la diminution des résistances mécaniques (en compression et en traction) est plus marquée pour les mortiers MF à un âge donné. La fibre du bois de peuplier contribue plus à la baisse de résistance du mortier par rapport à la sciure du bois de peuplier. Cependant l'incorporation des particules de bois garantie des résistances mécaniques acceptables pour l'utilisation du composite comme matériau de second œuvre dans le bâtiment (mur cloison, mur de refend non porteur).

Figure 1. Fibre de peuplier broyé à 2 mm (à gauche) et Sciure de peuplier (à droit)

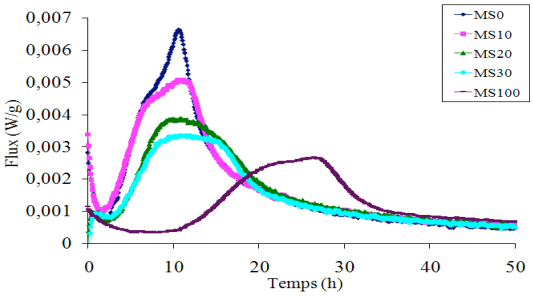


Figure 2. Evolution du flux de chaleur en fonction du temps (mortier MS).

Conclusion et perspectives

En dépit de l'inhibition partielle de la prise des mélanges, la valorisation des coproduits bois est possible dans le matériau cimentaire. L'utilisation du composite bois/matrice cimentaire peut être envisageable pour la formulation des bétons et mortiers destinés à la fabrication de blocs de maçonnerie. Afin de réduire l'inhibition de la prise, le traitement des particules de bois est envisageable. Dans la suite de l'étude, un traitement physique (immersion sous l'eau [Nazerian et al. 2011]; gonflement préalable [Govin 2004]) sera effectué afin d'améliorer la prise.

Références

ADEME, Ministère du logement et de la ville (2008) Les économies d'énergie dans le bâtiment – L'ensemble des dispositifs pour améliorer la performance énergétique des bâtiments, Page 2.

Frybort S., Mauritz R., Teischinger A., Muller U. (2008) Cement bonded composites – a mechanical review, BioResources, Vol 3, Pages 602-626.

Govin A. (2004) Aspects physico-chimiques de l'interaction bois-ciment : Modification de l'hydratation du ciment par le bois, Thèse de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

Nazerian M., Gozali E., Ghalehno M.D. (2011) The influence of wood extractives and additives on the hydration kinetics of cement paste and cement-bonded particleboard, Journal of applied sciences, Vol 11, Pages 2186-2192.

D19

Extractibles présents dans les nœuds de douze essences forestières françaises

KEBBI-BENKEDER Zineb[1, 2], COLIN Francis[1], DUMARCAY Stéphane[2], GERARDIN Philippe[2]

[1]LERFOB UMR 1092 AgroParisTech, INRA Nancy
[2]LERMAB, Université de Lorraine, INRA Nancy
zineb.kebbi_benkeder@yahoo.fr

Mots-clés

Extractibles, Nœuds, Résineux, Feuillus, Chromatographies

Introduction

Les nœuds constituent le principal défaut du matériau bois. Ils déprécient fortement la qualité du bois d'œuvre et sont aussi particulièrement indésirables dans les industries papetières. Cependant, il s'est avéré que les nœuds de certaines essences de bois d'industrie telles que le sapin ou l'épicéa contiennent des quantités importantes de substances extractibles ayant des propriétés intéressantes pour des utilisations dans le domaine de la santé ou de l'agro-alimentaire.

Détermination des taux d'extractibles

Plusieurs études révèlent la richesse des nœuds en extractibles comparativement au bois de tronc (aubier et duramen) : Willför et al., (2003a, 2003b, 2004), Pohjamo et al., (2003), Pietarinen et al., (2005, 2006). Cette richesse exceptionnelle est souvent liée au fait que les nœuds sont une zone de jonction entre le tronc et la branche subissant des contraintes élevées : Willför et al., (2003a, 2003b). Les principaux extractibles des nœuds étudiés jusqu'à maintenant sont les lignanes dans les résineux : Willför et al., (2003a, 2003b, 2004).

Le but de cette étude est de comprendre le rôle des ces extractibles dans l'élagage naturel des branches. Elle permettra aussi de généraliser ou non la présence de fortes concentrations de lignanes dans les nœuds d'autres essences non étudiées. Pour cela, douze essences forestières françaises ont été sélectionnées (sapin, épicéa, pin, mélèze, douglas, chêne, hêtre, frêne, charme, robinier, merisier, aulne) ; avec l'hypothèse que le mauvais élagage des branches de certaines espèces est dû à la présence de fortes concentrations d'extractibles dans les branches et les nœuds correspondant. Quatre solvants ont été utilisés pour l'extraction avec soxhlets.

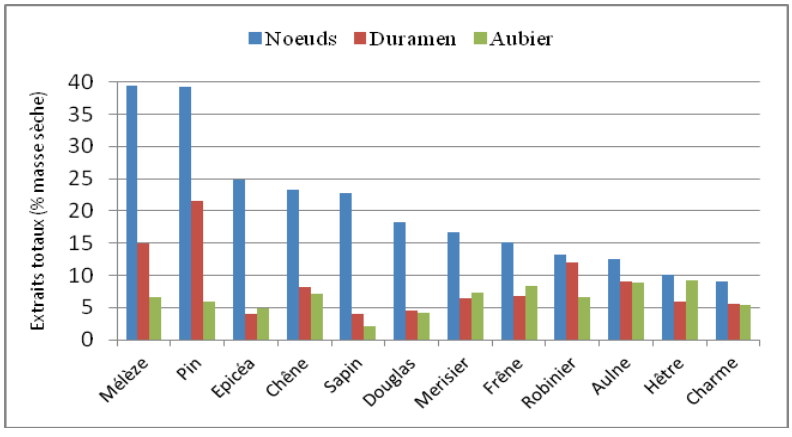


Figure 1 : Taux d'extractibles dans les nœuds, le duramen et l'aubier des douze essences.

Les résultats (Fig. 1) illustrent la richesse des nœuds en extractibles comparativement au duramen et à l'aubier. Les nœuds des résineux contiennent davantage d'extractibles que ceux des feuillus excepté dans le cas du chêne. Il existe des variations inter-espèces avec des taux s'étalant de 9% (nœuds de charme) à 40% (nœuds de pin sylvestre). La contribution de chacun des quatre solvants choisis varie aussi d'une espèce à l'autre ; le dichlorométhane extrait davantage de composés des nœuds de résineux alors que dans le cas des feuillus, l'eau en extrait plus de la moitié des extractibles totaux. Les résultats d'une autre extraction réalisée uniquement à l'acétone confirme la richesse des nœuds des résineux par rapport aux nœuds des feuillus.

Identification des extractibles

L'identification des molécules présentes dans les extractibles a été menée à l'aide de chromatographies GC-MS et LC-MS/MS. Les molécules principales détectées dans les nœuds sont les lignanes, les stilbènes et les flavonoïdes. Les lignanes sont présents uniquement dans les nœuds des essences résineuses avec les nœuds de l'épicéa commun qui en contiennent le plus (92% de lignanes). Les stilbènes ont été identifiés uniquement dans les nœuds de pin sylvestre et représentent 76% du total d'extractibles. Quant aux flavonoïdes, ils sont présents dans les nœuds de toutes les essences hormis l'épicéa commun et le pin sylvestre. La part des flavonoïdes dans les extractibles des nœuds des douze essences varie de 6,4% à 99% pour le douglas et le robinier respectivement. Les autres composés détectés dans les nœuds sont les acides résiniques (acide palmitique, acide abiétique, …) et des sucres. Toutefois, de nombreux produits présents dans les extractibles des nœuds ne sont toujours pas identifiés. Ces composés nécessitent des analyses supplémentaires en chromatographie liquide pour les identifier.

Conclusion

La richesse des nœuds en extractibles est confirmée pour des essences non étudiées jusqu'à présent (merisier, robinier, frêne, chêne, charme, aulne). Il existe des variabilités inter-espèces évidentes tant en quantités qu'en natures des extractibles présents dans les nœuds. L'influence de ces extractibles l'élagage des branches est partiellement mis en évidence pour les essences feuillues. Les principaux composés identifiés sont de nature phénolique et ont des propriétés antioxydantes remarquables pour lutter contre la dégradation oxydative des tissus.

Références

Willför S., Hemming J., Reunanen M., Eckerman C., Holmbom B. (2003a) Lignans and lipophilic extractives in Norway spruce knots and stemwood, Holzforschung, 57:27–36.

Willför S., Hemming J., Reunanen M., Holmbom B. (2003b) Phenolic and lipophilic extractives in scots pine knots and stemwood, Holzforschung, 57:359–372.

Willför S., Nisula L., Hemming J., Reunanen M., Holmbom B. (2004) Bioactive phenolic substances in industrially important tree species. Part 2 : Knots and stemwood of fir species, Holzforschung, 58:650–659.

D20

Le bois en milieu scolaire

BRUNJAIL Jacky, JULLIARD Jacques

Association de La PASSION DU BOIS
jacques.julliard@gmail.com, jacky.brunjail@wanadoo.fr

Mots-clés

Réunir – Montrer - Echanger

Introduction

L'association de **LA PASSION DU BOIS** d'origine Grenobloise à plus de **20 ans d'expérience,** elle est à l'origine du salon européen du bois de Grenoble. Œuvre dans trois domaines d'activités, Technico-économique, Environnemental, Artistique et culturel.

En promouvant la matière bois auprès du plus grand nombre, amateurs et professionnels. Elle est une passerelle entre les institutionnels et le grand public.

C'est aussi une force de proposition et d'interpellation dans une vision pluridisciplinaire avec les **sciences du bois.**

LA PASSION DU BOIS est un réseau d'échanges et de diffusion des savoir-faire, par des stages de formation dans le domaine du tournage, la sculpture, la marqueterie, la lutherie, l'ébénisterie. Elle perpétue le patrimoine artisanal au travers d'antennes locales en constituant un creuset de créativité et d'initiative pour le développement de la culture artistique du bois. Elle est aussi en relation avec les 9 ateliers bois de l'agglomération Grenobloise.

LA PASSION DU BOIS développe une grosse activité dans le secteur de l'enfance en milieu scolaire, dans l'agglomération grenobloise, le parc de Chartreuse, le plateau Matheysin.

Focus sur l'activité enfance de LA PASSION DU BOIS : Nous intervenons en milieu scolaire auprès de 1200 enfants par an, pour sensibiliser et faire découvrir la matière bois , en développant leur esprit créatif et la perception sensorielle , tout en s'inscrivant dans le cursus des programmes scolaires, avec la mise en pratique des mathématiques, de la géométrie, de la physique, de l'histoire etc. En élaborant des fiches techniques dans le cadre de projets en collaboration avec les enseignants.

N° de Poster	titre
1	Présentation de l'association
2	Activité enfance
3	Modalité de fonctionnement de l'activité enfance

Site Internet de LA PASSION DU BOIS : www.lapassiondubois.com

PARTICIPANTS

Nom	Adresse électronique	Laboratoire, Ville (pays)
Afif Dany	dany.afif@univ-lorraine.fr	EEF, Nancy
Ai Wei	wei.ai@ecp.fr	LGPM, Chatenay
Akkaoui Abdessamad	abdessamad.akkaoui@gmail.com	Navier, Champs/Marne
Alix Claire	claire.alix@mae.u-paris10.fr	ArchAm, Nanterre
Améglio Thierry	Thierry.Ameglio@clermont.inra.fr	PIAF, Clermont
Amirou Siham	amirou.siham@gmail.com	MPE Boumerdès (Algérie)
Atmani Rachida	rachida.atmani@cermes.enpc.fr	Navier, Champs/Marne
Beaugrand Johnny	johnny.beaugrand@reims.inra.fr	FARE, Reims
Belloncle Christophe	christophe.belloncle@ecoledubois.fr	ESB, Nantes
Benbrahim Zouheyr	zouheyrb@yahoo.fr	MPE Boumerdès (Algérie)
Bertrand François	francois.bertrand@ifsttar.fr	Navier, Champs/Marne
Blon David	david.blon.etu@univ-lemans.fr	CriBois, Epinal
Bornert Michel	michel.bornert@enpc.fr	Navier, Champs/Marne
Boura Anais	anais.boura@upmc.fr	CRPP, Paris
Bourreau Damien	damien.bourreau@gmx.com	LERFoB, Nancy
Brémaud Iris	iris.bremaud@univ-montp2.fr	LMGC, Montpellier
Brochard Laurent	laurent.brochard@enpc.fr	Navier, Champs/Marne
Brunjail Jacky	jacky.brunjail@wanadoo.fr	Passion du Bois, Grenoble
Burgers Agnès	agnes.burgers@univ-montp2.fr	LMGC, Montpellier
Cabané Mireille	mireille.cabane@univ-lorraine.fr	EEF, Nancy
Candelier Kévin	kevin.candelier@ensam.eu	LERMaB, Nancy
Cantarel Arthur	arthur.cantarel@iut-tarbes.fr	ICA, Toulouse
Caré Sabine	sabine.care@ifsttar.fr	Navier, Champs/Marne
Carlier Capucine	capucinecarlier@hotmail.com	LMGC, Montpellier
Caron Jean Francois	caron@enpc.fr	Navier, Champs/Marne
Celzard Alain	alain.celzard@univ-lorraine.fr	IJL, Epinal
Chabbert Brigitte	chabbert@reims.inra.fr	FARE, Reims
Chang Shanshan	shanshan.chang@univ-montp2.fr	LMGC, Montpellier
Chaplain Myriam	m.chaplain@I2m.u-bordeaux1.fr	I2M, Bordeaux
Chapuis Hubert	hubert.chapuis@univ-lorraine.fr	U.Lorraine, Nancy
Charrier Bertrand	bertrand.charrier@univ-pau.fr	IPREM, Pau
Chataigner Sylvain	sylvain.chataigner@ifsttar.fr	MAST-SMC, Nantes
Chevoir François	francois.chevoir@ifsttar.fr	Navier, Champs/Marne

Chupin Lucie	lucie.chupin@univ-pau.fr	IPREM, Pau
Clair Bruno	bruno.clair@ecofog.gf	Ecofog, Guyane
Colin Francis	colin@nancy.inra.fr	LERFoB, Nancy
Colmars Julien	julien.colmars@imelavi.fr	LRRMM, Paris
Contamine Raphaêl	raphael.contamine@gmail.com	I.Pascal, Clermont
Contestinescu Andrei	andrei.constantinescu@lms.polytechnique.fr	CNRS/Insis-LMS, Palaiseau
Coqueret Sandrine	sandrine.coqueret@ifsttar.fr	Navier, Champs/Marne
Costa Guy	guy.costa@unilim.fr	LCSN, Limoges
Coureau Jean-Luc	jean-luc.coureau@u-bordeaux1.fr	I2M, Bordeaux
Cuny Henri	henri.cuny@yahoo.fr	LERFoB, Nancy
De Franceschi Dario	dariodf@mnhn.fr	CRPP, Paris
Denaud Louis	louis.denaud@ensam.eu	LABOMAP, Cluny
Derbal wasila	derbalwassila@hotmail.fr	MPE Boumerdès (Algérie)
Destaing Olivier	olivier.destaing@ujf-grenoble.fr	IAB, Grenoble
Destrebecq Jean-Francois	J-Francois.DESTREBECQ@univ-bpclermont.fr	I.Pascal, Clermont
Djela-Dantec chafika	chafika.dantec@univ-artois.fr	LGCgE, Béthune
Dubois Frédéric	frederic.dubois@unilim.fr	GEMH, Egletons
Dufraisse Alexa	dufraisse@mnhn.fr	AASPE, Paris
Dumarçay Stéphane	stephane.dumarcay@univ-lorraine.fr	LERMaB, Nancy
Dupleix Anna	annadupleix@gmail.com	LABOMAP, Cluny
Dussol Lydie	lydie_dussol@hotmail.com	ArchAm, Nanterre
Echard Jean-Philippe	jpechard@cite-musique.fr	LRRMM, Paris
Ehrlacher Alain	ehrlacher@enpc.fr	Navier, Champs/Marne
Elliot Michelle	michelle.elliott@mae.u-paris10.fr	ArchAm, Nanterre
Eyma Florent	florent.eyma@iut-tarbes.fr	ICA, Toulouse
Foret Gilles	gilles.foret@enpc.fr	Navier, Champs/Marne
Fourmentin Marine	marine.fourmentin@ifsttar.fr	Navier, Champs/Marne
Fournely Eric	eric.fournely@univ-bpclermont.fr	I.Pascal, Clermont
Fournier Meriem	meriem.fournier@agroparistech.fr	LERFoB, Nancy
Franzoni lorenzo	lorenzo.franzoni@enpc.fr	Navier, Champs/Marne
Gagnon Sylvain	sylvain.gagnon@fpinnovations.ca	FPInnovation Québec (Canada)
Gassmann Patrick	patrick.gassmann@ne.ch	L.dendro Hauterive (Suisse)
Gérard Jean	jean.gerard@cirad.fr	BioWooEB, Montpellier
Gérardin Christine	philippe.gerardin@univ-lorraine.fr	LERMaB, Nancy
Gérardin Philippe	christine.gerardin@lermab.uhp-nancy.fr	LERMaB, Nancy
Gril Joseph	joseph.gril@univ-montp2.fr	LMGC, Montpellier
Guilminot Elodie	elodie.guilminot@arcantique.org	Arc'Antique, Nantes

Haddadou Imane	haddadou.imane@gmail.com	MPE Boumerdès (Algérie)
Hahn Benjamin	Benjamin.Hahn@epfl.ch	EPFL Lausanne (Suisse)
Hamada Joël	johamfr@yahoo.fr	LERMaB, Nancy
Hannouz Simon	simon.hannouz@libertysurf.fr	LABOMAP, Cluny
Henin Jean Marc	jeanmarc.henin@gmail.com	SPW Saint-Vaast (Belgique)
Houssay Anne	houssay.a@gmail.com	LRRMM, Paris
Hu Jinbo	jinbo.hu@cirad.fr	BioWooEB, Montpellier
Ikogou Samuel	ikogousamuel@yahoo.fr	M. Sci.Bois Libreville (Gabon)
Imbert Aurelia	aureliaimbert@gmail.com	LERMaB, Nancy
Julien Jean-Louis	Jean-Louis.JULIEN@univ-bpclermont.fr	PIAF, Clermont
Julliard Jacques	jacques.julliard@gmail.com	Passion du Bois, Grenoble
Jullien Delphine	delphine.jullien-pierre@univ-montp2.fr	LMGC, Montpellier
Kada Hassina	hassina.benameur@univ-artois.fr	LGCgE, Béthune
Kaspi Marie Françoise	marie-francoise.kaspi@enpc.fr	Navier, Champs/Marne
Kebbi Benkeder Zineb	zineb.kebbi_benkeder@yahoo.fr	LERFoB, Nancy
Kleindienst Quentin	quentin.kleindienst@hotmail.fr	LERMaB, Epinal
Krebs Michael	michael.krebs@ensam.eu	LABOMAP, Cluny
Kurek Bernard	Bernard.Kurek@reims.inra.fr	FARE, Reims
lahouar mohamed amine	lahouaramin@hotmail.com	ESB, Nantes
Larricq Pierre	pierre.larricq@iut-tarbes.fr	ICA, Toulouse
Lavalette Anne	anne.lavalette@live.fr	I2M, Bordeaux
Lavier Catherine	catherine.lavier@upmc.fr	LAMS, Paris
Le Roy Robert	robert.leroy@enpc.fr	Navier, Champs/Marne
Lebée Arthur	arthur.lebee@enpc.fr	Navier, Champs/Marne
Leconte Sandie	sleconte@cite-musique.fr	LRRMM, Paris
Lehnebach Romain	romain.lehnebach@cirad.fr	AMAP, Montpellier
Lemoine Gwenaël	arcantique.organique@orange.fr	Arc'Antique, Nantes
Lenoir Nicolas	nicolas.lenoir@enpc.fr	Navier, Champs/Marne
Lira-San-Martín Nicolas	nicoliras@yahoo.com	LAMS, Paris
Lombardi Bernard	bflombar@club-internet.fr	Orgagec, Paris
Louërat Mathilde	mathilde.louerat@gmail.com	LGPM, Chatenay
Louf Jean-François	jean-francois.louf@etu.univ-amu.fr	IUSTI, Marseille
Loulou Louisa	loulou.louisa@hotmail.fr	Navier, Champs/Marne
Lu Pin	pin.lu@ecp.fr	LGPM, Chatenay
Ludosky Daliéna	daliena.ludosky@live.fr	ESB, Nantes
Lyon Florent	florent.lyon@cstb.fr	CSTB, Marne-la-Vallée
Maigre Hubert	hubert.maigre@insa-lyon.fr	LAMCOS, Lyon

Marchal Rémy	remy.marchal@cirad.fr	BioWooEB, Montpellier
Martin Corinne	corinne.martin@agroparistech.fr	LERFoB, Nancy
Maurin Emmanuel	emmanuel.maurin@culture.gouv.fr	LRMH, Champs/Marne
Méreuze Rémi	remi.mereuze@gmail.com	ArchAm, Nanterre
Montéro Cédric	cedric.montero@um2.fr	LMGC, Montpellier
Morel Stéphane	s.morel@i2m.u-bordeaux1.fr	I2M, Bordeaux
Morin-Rivat Julie	jmorin@doct.ulg.ac.be	Tervuren Tervuren (Belgique)
Mothe Frédéric	mothe@nancy.inra.fr	LERFoB, Nancy
Moutou-Pitti Rostand	rostand.moutou.pitti@gmail.com	I.Pascal, Clermont
Ndong-Engone Jean-Gerard	ndong_engone@yahoo.fr	LGCgE, Béthune
Nedjar Boumedienne	boumediene.nedjar@enpc.fr	Navier, Champs/Marne
Nguyen Sung-Lam	sung-lam.nguyen@ifma.fr	I.Pascal, Clermont
Nocus Noémie	noemienocus@gmail.com	AASPE, Paris
Noyer Estelle	estelle.noyer@nancy.inra.fr	LERFoB, Nancy
Ogeron Clémence	clemence.ogeron@gmail.com	Ecofog, Guyane
Ouadou yasmina	ouadouyasmina@yahoo.fr	MPE Boumerdès (Algérie)
Oudjene Marc	marc.oudjene@univ-lorraine.fr	LERMaB, Epinal
Pelé Charlène	arcantique.recherche@wanadoo.fr	Arc'Antique, Nantes
Perré Patrick	patrick.perre@ecp.fr	LGPM, Chatenay
Perrin Marianne	marianne.perrin@iut-tarbes.fr	ICA, Toulouse
Pfeiffer Renaud	renaud.pfeiffer@ensam.eu	LABOMAP, Cluny
Phan Ngoc Anh	na.phan@i2m.u-bordeaux1.fr	I2M, Bordeaux
Pierre Floran	floran.pierre@ecp.fr	LGPM, Chatenay
Pilate Gilles	pilate@orleans.inra.fr	AGPF, Orléans
Pioch Daniel	daniel.pioch@cirad.fr	BioWooEB, Montpellier
Piperno Serge	serge.piperno@enpc.fr	ENPC, Champs/Marne
Poilâne Christophe	christophe.poilane@unicaen.fr	CIMAP, Alençon
Pot Guillaume	pot.guillaume@gmail.com	LABOMAP, Cluny
Rafidiarison Helisoa	helisoa.rafidiarison@univ-lorraine.fr	LERMaB, Epinal
Ramanakoto Miora	miora.ramanakoto@iut-tarbes.fr	ICA, Toulouse
Ramananantoandro Tahiana	ramananantoandro@gmail.com	ESSA Tananarive (Madagascar)
Rémond Romain	romain.remond@univ-lorraine.fr	LERMaB, Epinal
Rouger Frédéric	frederic.rouger@fcba.fr	FCBA, Bordeaux
Ruelle Julien	julien.ruelle@nancy.inra.fr	LERFoB, Nancy
Sab karam	karam.sab@enpc.fr	Navier, Champs/Marne
Sadkaoui Abir	masteraapv2007@yahoo.fr	Ifapa centro venta del llano

		(Espagne)
Saedlou Nima	xylotree@gmail.com	XyloTree, Saintes
Saifouni Omar	omar.saifouni@ifma.fr	I.Pascal, Clermont
Salem Thouraya	thouraya.salem@yahoo.fr	LERMaB, Epinal
Sanchez Carmen	carmen.sanchez@ifsttar.fr	Navier, Champs/Marne
Sedlbauer Simon	simonsedlbauer@gmail.com	PAP-MM, Metz
Song Jialin	jsong@nancy.inra.fr	LERFoB, Nancy
Terral Jean-Frederic	terral@univ-montp2.fr	CBAE, Montpellier
Théry-Parisot Isabelle	isabelle.thery@cepam.cnrs.fr	CEPAM, Nice
Thibaut Bernard	bthibaut@univ-montp2.fr	LMGC, Montpellier
Thiébault Stéphanie	Stephanie.THIEBAULT@cnrs-dir.fr	AASPE, Paris
Torrenti jean michel	jean-michel.torrenti@ifsttar.fr	Navier, Champs/Marne
Toussaint Evelyne	evelyne.toussaint@univ-bpclermont.fr	I.Pascal, Clermont
Toutlemonde François	francois.toutlemonde@ifsttar.fr	IFSTTAR, Champs/Marne
Van Acker Joris	Joris.VanAcker@UGent.be	U.Gent Gent (Belgique)
Van Damme Henri	henri.vandamme@ifsttar.fr	IFSTTAR, Champs/Marne
Vandamme Matthieu	matthieu.vandamme@enpc.fr	Navier, Champs/Marne
Vanhove Yannick	yannick.vanhove@univ-artois.fr	LGCgE, Béthune
Xing Zhi	xzmaple@hotmail.com	LGCgE, Béthune
Yahyaoui Imen	imenyahyaoui212@gmail.com	ESB, Nantes
Zaremski Alba	alba.zaremski@cirad.fr	AGAP, Montpellier