



HAL
open science

Présentation d'un projet PEPS CNRS : GREENWOOD

Sandrine Bardet, Sabine Caré, Cédric Montero, Denis Courtier-Murias

► To cite this version:

Sandrine Bardet, Sabine Caré, Cédric Montero, Denis Courtier-Murias. Présentation d'un projet PEPS CNRS : GREENWOOD. 7èmes journées du GDR 3544 "Sciences du bois", Nov 2018, Cluny, France. hal-01939431

HAL Id: hal-01939431

<https://hal.science/hal-01939431v1>

Submitted on 29 Nov 2018

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

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

Présentation d'un projet PEPS CNRS : GREENWOOD

BARDET Sandrine¹, CARE Sabine²,
MONTERO Cédric¹ et COURTIER-MURIAS Denis²

¹ LMGC, Univ. Montpellier, CNRS, Montpellier, France

² Laboratoire Navier, UMR 8205, CNRS, IFSTTAR, ENPC, Champs sur Marne, France
sandrine.bardet@umontpellier.fr

Mots clefs : bois vert ; éco-construction ; économie d'énergie ; comportement hygro-mécanique ; fluage ; assemblage ; transfert ; couplages multiphysiques

Présentation du projet soumis

Le contexte du changement climatique et la nécessité de s'orienter vers une société plus sobre énergétiquement donnent un poids considérable au développement de l'industrie du bois, par le caractère écologique et renouvelable de cette ressource naturelle. Bien que déjà utilisé dans le secteur de la 1^{ère} transformation (déroulage, sciage), le bois vert ne l'est pratiquement pas dans les secteurs de la construction ou de l'aménagement urbain, où il est séché avant sa mise en œuvre, ce qui engendre des dépenses énergétiques importantes (par exemple, 400 kWh/m³ de bois de résineux), alors que les autres étapes de transformation du bois (récolte, transport, usinage) sont peu consommatrices en énergie (environ 30% de l'énergie totale dépensée).

Le bois est sensible aux variations climatiques (température, humidité relative) et il se déforme en conditions de service (variations dimensionnelles et déformation de fluage), ce qui a des conséquences sur la qualité des structures. Alors que la normalisation (Eurocode 5) recommande de travailler avec des bois secs, le bois vert a pourtant été utilisé longtemps dans la construction, pour les bâtiments ou les ouvrages de franchissement. Ainsi, des études en archéodendrométrie montrent que jusqu'au Moyen Âge, les arbres (en majorité des chênes) étaient coupés pendant la période de repos végétatif pour être mis en œuvre dans les mois suivants sans que le bois soit dans un état dit « sec » (Lavier 2005). Le patrimoine bâti montre que cette technologie a permis de concevoir des structures d'excellente longévité encore pérennes aujourd'hui.

Les études sur le bois vert (c'est à dire fraîchement coupé) font apparaître plusieurs spécificités : (i) le comportement hydrique lors la 1^{ère} désorption est différent des cycles suivants (Kollman et Côté 1968, Pernes 2013) ; (ii) les déformations de séchage du bois vert ont été étudiées souvent en relation avec les fissures des grumes ou de rondelles lors du séchage (Jullien 95, Moutou Pitti 2013). Mais de nombreuses questions sont toujours en suspens. Il s'agit par exemple de comprendre pourquoi le séchage du bois vert est différent de celui du bois qui a déjà subi une première désorption et ré-humidification. Par ailleurs, de nombreuses études des déformations à long terme sous un chargement mécanique (fluage), ainsi que du comportement mécanosorptif (couplage entre déformation et variation d'humidité) ont souvent comme état initial l'état sec. L'enjeu est de mieux appréhender le comportement différé du bois vert.

Cette étude exploratoire porte sur l'étude du comportement hydrique et mécanique du bois vert dans le but de promouvoir son utilisation dans la construction en fonction des chargements mécaniques, des procédés de construction actuels et de la réglementation. Ce projet est financé par le CNRS dans le cadre de l'appel à projet « Projets Exploratoires Premier Soutien » sur le thème de l'Ingénierie Verte (PEPS INSIS 2018) et

s'intitule « GREENWOOD : Innovation dans la construction en bois : opportunité de l'utilisation du bois vert ? ». Il est mené conjointement au LMGC, Montpellier et au laboratoire Navier, Champs-sur-Marne.

Trois axes d'étude ont été proposés dans le cadre de cet appel à projet pour répondre aux questions en suspens : (i) comportement hydrique du bois vert, (ii) comportement différé du bois vert et (iii) assemblages en bois vert. Les résultats préliminaires des deux premiers axes sont présentés ici. Le troisième axe, plus prospectif, ne fait pas l'objet de ce résumé.

Matériaux et méthodes

Dans cette étude, plusieurs essences ont été choisies : des bois de résineux utilisés dans la construction (Epicéa et Douglas utilisés très fréquemment en construction ainsi que le Sapin Pectiné car c'est une essence que l'on se sait pas actuellement sécher et qui représente une ressource non négligeable en France pour les années à venir) ou des bois de feuillus car c'est une ressource pour laquelle l'offre forestière est prédominante par rapport aux bois de résineux (2/3 de la ressource forestière métropolitaine est constituée de feuillus) et par ailleurs utilisée fréquemment dans les siècles passés (comme le Chêne ou le Peuplier).

Lorsque la ressource le permettait, les échantillons ont été usinés à partir de billons prélevés sur des arbres qui ont fait préalablement l'objet de mesures de l'état de contraintes de croissance en périphérie (lieux de prélèvement : Montpellier, Biron). Ainsi le suivi des échantillons est assuré et les zones de type de bois (bois opposé/ bois de réaction) sont connues. Dans le cas du Peuplier, en plus des zones de bois tendu et opposé, 2 zones sont identifiées par leur couleur : zone claire vers l'écorce et zone marron correspondant au faux cœur de peuplier. Pour le Douglas, l'aubier et le duramen sont clairement identifiés.

Trois exemples de prélèvement réalisés par le LMGC sont indiqués dans les Fig. 1, Fig. 2 et Fig.3 (date d'abattage 07/06/2018, 34080 Montpellier et 07/09/2018, 64300 Biron). Les échantillons prélevés dans les billons sont conservés dans un linge humide et placés dans une chambre froide pour éviter toute dégradation biologique.

Le comportement hydrique du bois vert est étudié plus particulièrement au laboratoire Navier : cinétique de séchage en lien avec les déformations hydriques, états de l'eau par RMN du proton (relaxométrie RMN, T2). Les essais réalisés au LMGC concernent plus spécifiquement les propriétés mécaniques du bois vert : essais Bing, Vybris et de fluage.

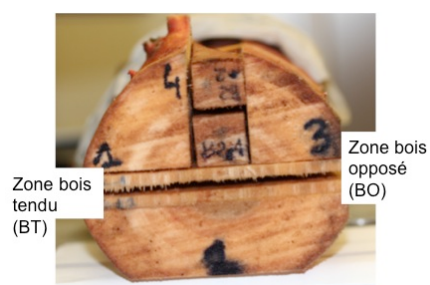


Fig. 1 : Peuplier, Montpellier, Billon 1 – Indication des zones de bois tendu et de bois opposé, des planchettes usinées entre ces 2 zones pour les essais mécaniques au LMGC.

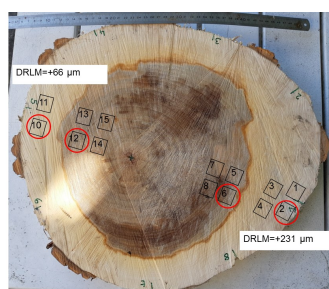


Fig. 2 : Peuplier, Biron, Billon 1 – Indication des mesures DRLM et des prélèvements des barreaux (en rouge ceux étudiés par le laboratoire Navier)



Fig. 3 : Douglas, Biron, Billon 1 - Indication et des prélèvements des barreaux (en rouge ceux étudiés par le laboratoire Navier)

Résultats préliminaires

Nous présentons ici des exemples de résultats préliminaires pour l'analyse du comportement hydrique du bois vert (Fig. 4 et Fig. 5) et du comportement mécanique du bois vert (Fig. 6 et Fig. 7).

Sur les Fig. 4 et Fig. 5 sont présentées, pour un peuplier (origine : Montpellier), d'une part les variations de volume en fonction de la variation de masse pour des échantillons prélevés dans la zone marron ou dans la zone claire et placés dans une ambiance HR=23% ou HR=65% et d'autre part les évolutions de la teneur en eau libre dans les vaisseaux et les fibres et en eau liée obtenues par RMN en fonction du temps. Ces résultats montrent que lors du séchage, les vaisseaux puis les fibres se vident de l'eau libre, alors que la teneur en eau liée reste constante (Fig. 5). Lorsqu'il n'y a plus d'eau libre dans les vaisseaux et les fibres, la teneur en eau liée diminue (non présenté ici). Ce processus est cohérent avec les résultats de la Fig. 4 qui montrent deux stades pendant le séchage, un premier stade sans déformation, puis un second stade avec des retraits. Ces résultats montrent un comportement différent pour le bois issu de la zone marron et celui issu de la zone claire.

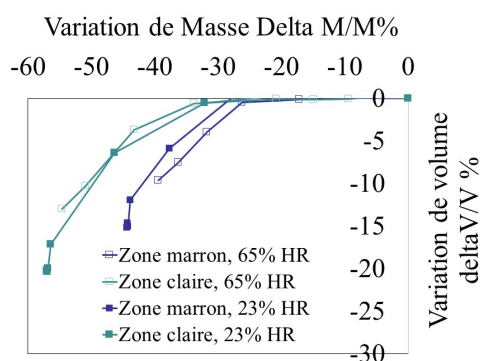


Fig. 4 : Variation de volume en fonction de la variation de masse pour 4 échantillons. Prélèvement dans les zones claire et marron. HR 23% ou 65%.

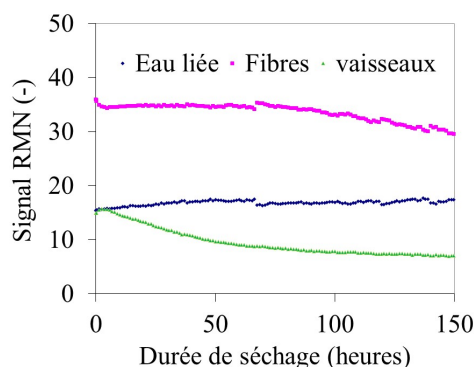


Fig. 5 : Evolutions des teneurs en eau (Signal RMN) dans les vaisseaux, fibres et dans les parois en fonction du temps. environ 50% HR et prélèvement dans la zone claire.

Les valeurs de densité d , de module longitudinal spécifique E_L/d (Fig. 6) et de coefficient d'amortissement $\tan \delta$ (Fig. 7) ont été mesurées sur des échantillons de bois tendu (BT) et de bois opposé (BO) soit maintenus à l'état vert dans un linge humide soit au cours du séchage à l'air libre. Les premiers résultats font apparaître une différence de propriétés mécaniques entre les échantillons maintenus à l'état vert et ceux séchés à l'air libre. Par exemple pour le peuplier, d évolue de 1,07 (Bois vert) à 0,5 (sec à l'air), E_L/d de 5,4 à 13,2 GPa et $\tan \delta$ de $2,45 \cdot 10^{-2}$ à $1,29 \cdot 10^{-2}$. Les dimensions des échantillons sont 150 mm (L) x 12 mm (T) x 3 mm (R). La méthode de conservation des échantillons à l'état vert est satisfaisante, les propriétés mécaniques n'évoluent pas au cours du temps. La cinétique observée permet de mettre en évidence l'évolution des propriétés mécaniques au cours du séchage.

Les essais de fluage ont été réalisés sur des échantillons de mêmes dimensions, en flexion 3 points. Deux jauges sont collées sur la face supérieure et sur la face inférieure. Un échantillon sèche à l'air libre, l'autre est enrobé de parafilm pour assurer qu'il reste à l'état vert. On observe une variation brutale des déformations en cours de séchage, une hypothèse est que le fluage augmente brutalement lorsque la teneur en eau de l'échantillon passe en dessous du PSF. Cette hypothèse reste à vérifier.

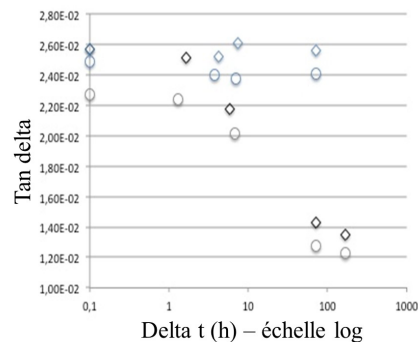
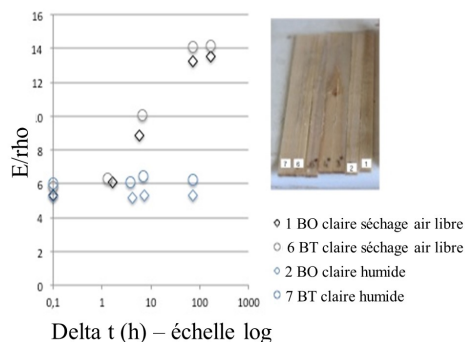


Fig. 6 : Evolution des valeurs de modules d'élasticité pour les échantillons de bois tendu ou opposé, humide ou au cours du séchage. Fig. 7 : Evolution des valeurs de coefficient d'amortissement pour les échantillons de bois tendu ou opposé, humide ou au cours du séchage.

Conclusions et perspectives

L'étude menée avait dans un premier temps pour objectif de mettre au point des protocoles de mesure pour l'étude du comportement hydrique et mécanique du bois vert. Un protocole commun entre les 2 laboratoires partenaires a été discuté pour l'échantillonnage, le stockage des échantillons et le suivi des conditions de température et d'humidité.

Les résultats obtenus, pour les propriétés hydriques et mécaniques concernent, à ce jour plus spécifiquement l'état vert. Les mesures réalisées doivent se poursuivre en effectuant des ré-humidifications, puis séchage pour préciser le comportement de la première désorption par rapport aux autres cycles.

Par ailleurs, des analyses structurales ont aussi été obtenues par tomographie aux rayons X au synchrotron soleil (proposé 20180522, « Water transfers in wood at the cell scale », Laboratoire Navier) sur du peuplier, douglas et sapin pectiné (non présentées ici). Ces analyses devraient permettre de préciser l'état hydrique dans les échantillons en fonction de leur prélèvement (aubier/duramen, bois normal/bois de tension ou compression).

Enfin, ce projet doit se prolonger avec des analyses du comportement d'assemblages avec du bois vert. Des collaborations doivent être mises en place avec notamment avec des historiens.

Remerciements

Le CNRS (INSIS) est remercié pour son soutien financier qui a permis d'initier cette étude et la collaboration entre le LMGC et le laboratoire Navier ainsi que le CIRAD Montpellier pour la découpe des barreaux dans les billons.

Références

- Jullien D., Gril J. (1996) Mesure des déformations bloquées dans un disque de bois vert. Méthode de la fermeture. *Annales des Sciences Forestières*, 53(5) : 955-966.
- Kollman F., Côté W. (1968) Principles of wood science and technology: solid wood.
- Lavier, C. (2005) Wood in the history of Medieval book techniques: aims and know-how. *First restorations. Care and Conservation of Manuscripts*, 8 19-33.
- Moutou Pitti R., et al. (2013) Strain analysis in dried green wood: Experimentation and modelling approaches. *Engineering Fracture Mechanics*, 105 182-199.
- Pernes M., Clair B. et Beaugrand J. (2013) Acquisition d'isothermes de sorption d'eau: méthodologie, représentation et application au bois, *Cahier des Techniques de l'INRA* (80)3.