

Profil de contraintes dans les interfaces collés bois-bois

QUINTERO Christian¹, SAUVAT Nicolas¹, MILLEN Anne¹, DUBOIS Frédéric¹

¹Université de Limoges GC2D
christian.quintero-reyes@etu.unilim.fr

Mots clefs : Délamination, Diffusion hydrique, Contraintes hygromécaniques, Orthotropie, Viscoélasticité hygro activée, Bois lamellé collé

Contexte et objectifs

Les Bois d'Ingénierie, reconstitués par collage, sont indispensables aujourd'hui pour la réalisation de structures en bois, qu'elles soient courantes ou exceptionnelles comme les ponts ou les Immeubles de Grande Hauteur. Cependant, les phénomènes de délamination dans les interfaces subsistent, et peuvent être provoqués à la fois par le chargement mécanique et par les variations dimensionnelles différentielles dues aux variations hydriques, le tout dans un milieu caractérisé par un comportement dépendant du temps tel que la viscoélasticité.

Ce travail étudie par une approche numérique les effets couplés des variations d'humidité dans le bois, à travers les problématiques de diffusion (Varnier 2019), le caractère orthotrope du matériau en étudiant différentes orientations du repère d'orthotropie dans le plan transverse et le comportement viscoélastique caractérisant son comportement à long terme (Dubois 1997). Ces effets sont étudiés en termes de redistributions des contraintes dans les différentes pièces de bois mais également au niveau des plans de colle.

Le caractère hygroscopique du bois génère des champs d'humidité hétérogènes dans le bois, dépendant des conditions de convection, déterminée de manière forfaitaire, et des caractéristiques de sorption de chaque essence (Merakeb 2006). Cependant, dans un bois lamellé-collé, la présence des plans de colle (Wimmer et al 2013) vont impacter le processus de diffusion en présentant des barrières hydriques. Les modèles existants de diffusion reposent sur des hypothèses fortes (Srpčič et al. 2009) en considérant de plans de collage soit parfaitement imperméables, soit parfaitement perméables.

Le bois est identifié comme un matériau orthotrope, les effets de retrait/gonflement sont très dépendent de l'orientation du repère d'orthotropie, et ce, principalement dans le plan transverse (Passarini 2015). Cette orthotropie se caractérise par des propriétés viscoélastiques dépendante de la direction de sollicitation mais également par une anisotropie des phénomènes de diffusion. Ceci va expliquer en partie une distribution hydrique particulière dans le lamellé-collé pour lesquels les directions d'orthotropie diffèrent d'une lamelle à l'autre (Gereke 2009).

Ces variations locales d'humidité entraînent des variations de propriétés d'élasticité, mais également des propriétés de viscoélasticité par un phénomène nommé « hygro-activation » (Guitard 1987). (Varnier 2019), (Dubois 1997).

Les phénomènes de diffusion sont caractérisés par des gradients hydriques temporels (Loi de Fick). Etant alimenté par l'environnement extérieur, les conditions d'exposition vont dépendre majoritairement des surfaces périmétriques exposées. Ces gradients, associés aux variations dimensionnelles orthotropes, vont générer une sollicitation mécanique hétérogène dans le bois et dans les plans de collage.

Ce travail propose ainsi d'étudier les effets, sur les contraintes à l'interface entre lamelles, de l'orientation relative de l'orthotropie des lamelles en considérant trois approches comportementales, à savoir, l'élasticité, la viscoélasticité et son hygro activation. Ce travail repose sur une approche modèle. Pour prendre en compte les effets de l'humidité sur des sections courantes, nous nous limiterons, dans ce travail, à une modélisation bidimensionnelle dans le plan Radial-Tangentiel.

Outil et méthode

La géométrie étudiée est composée de deux lamelles collées, considérées soit en quartier soit en dosse, en considérant une orthotropie orthogonale, Fig. 1.

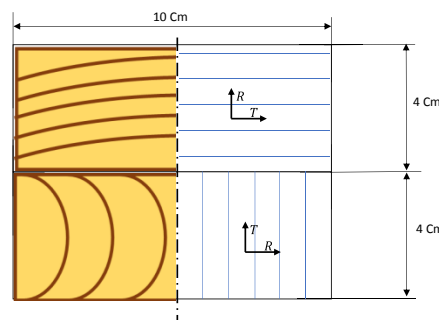


Fig. 1 : Géométrie à étudier

Le modèle de diffusion mis en œuvre est un modèle thermo-couplé proposé par Varnier et al. (2020) (Varnier 2019). Le modèle employé est un modèle de transfert isotrope, et ce, avec des valeurs identiques concernant la perméabilité à la vapeur pour les directions radiale et tangentielle ($\delta_R = \delta_T = 14.74 \cdot 10^{-5} \frac{kg}{smPa}$). Les plans de colles sont traités comme étant des barrières imperméables. Toutes les surfaces extérieures des lamelles sont des surfaces d'échange.

Les propriétés d'élasticité du Douglas sont empruntées des travaux de Guitard (1987), Tab.1, et ce, pour une humidité de référence de 12%.

Tab. 1 : Les comportement mécanique instantané des adhérents

Teneur en eau	E_R MPa	E_T MPa	G_{RT} MPa	ν_{RT}	Rho kg/m ³
12%	1000	636	84	0.31	450

L'hygro-sensibilisation des propriétés d'élasticité sont également empruntées à Guitard (1987). Elle prend la forme d'une correction affine présentée ci-dessous (Eq 1), avec les coefficients de correction selon les directions présentées au Tab. 2 :

Tab. 2 : Correction de la teneur en eau sur les propriétés d'élasticité (Guitard 1987)

Direction	$E_{ij}^w = E_{ij}^{12\%} [1 - a_{ij} * (w_i - w_{ref})] RT$		
ij	E_{RR}^w	E_{TT}^w	G_{RT}^w
a	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$

Les valeurs retenus pour les coefficients de retrait / gonflement sont présentés au Tab. 3. Les variations d'humidité induisent des effets de retrait gonflement. Ces effets sont proportionnels aux variations d'humidité.

Tab. 3 : Coefficients de retrait gonflement du Douglas

Essence de bois	α_T (%/%)	α_R (%/%)
Douglas	0,38	0,19

La loi de comportement hygromécanique est donnée par la relation suivante :

$$\varepsilon_{ij} = S_{ijkl}\sigma_{kl} + \alpha_{ij}\Delta w \quad (2)$$

La loi de comportement viscoélastique tridimensionnelle se traduit par le produit de convolution :

$$\varepsilon_{ij}(t) = \sum_{k,l} J_{ijkl} \otimes \frac{D\sigma_{kl}}{D\tau} \quad (3)$$

ε_{ij} et σ_{kl} représentent les composant du tenseur de déformations et de contrainte, J_{ijkl} les composantes du tenseur fluage. Chacune de ses composantes représente une fonction de fluage.

$$J_{ijkl}(t) = \left[\frac{1}{k_{ijkl}^0} + \sum_{m=1}^M \frac{1}{k_{ijkl}^{(m)}} \cdot \left(1 - e^{-\lambda_{ijkl}^{(m)} \cdot t} \right) \right] \quad (4)$$

L'outil propose une modification équivalente du temps d'ouverture des amortisseurs, capable de recréer une diminution de viscosité en cas d'humidification. Ainsi, les temps caractéristiques d'ouverture des amortisseurs se détermine de la façon suivante.

$$\tau = \frac{\Delta t_n}{a_w} = \frac{\Delta t_n}{e^{(A_0 + A_1 w + A w^2)}} \quad (4)$$

Premiers résultats

L'évolution de la teneur en eau est un processus avec une cinétique lente, illustrée dans la fig.2 (a). Les variations dimensionnelles hétérogènes associées vont créer un champ des contraintes.

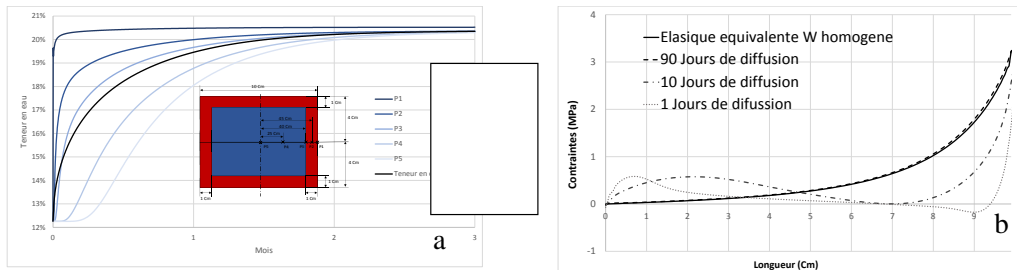


Fig. 2 : (a) Évolution de la diffusion (b) Contraintes de cisaillement dans l'interface

Dans la fig2 (b), nous pouvons remarquer les effets de l'adoucissement du matériau en fonction de la teneur en eau.

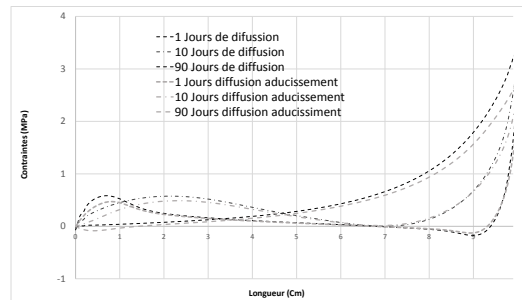


Fig. 3 : Contraintes de cisaillement dans l'interface élastique et avec adoucissement

Dans la fig 3, nous pouvons remarquer l'impact de l'adoucissement dans le matériau. Et la diminution des contraintes dans l'extrémité. Lorsque la diffusion est lente, la viscoélasticité peut influencer les redistributions de contraintes. Les phénomènes de viscoélasticité sont aussi fortement liés à la teneur en eau.

Conclusion et perspectives

Cette étude permet de comprendre la redistribution des contraintes lors d'une humidification. Les effets de l'adoucissement sont importants et permettent de décharger l'interface.

Les effets de l'hygroactivation vont impacter au comportement final de la structure.

L'objectif suivant est de compléter cette approche avec un modèle de délamination basé sur la mécanique de l'endommagement de l'interface (Gornet, et al 2000).

Remerciements

Le financement de ce doctorat est assuré par une bourse de la région Nouvelle Aquitaine.

Références

- Dubois, Frédéric. 1997. « Modélisation du comportement mécanique des milieux viscoélastiques fissurés : application au matériau bois ». Limoges.
- Gereke, Thomas. 2009. « Moisture-Induced Stresses in Cross-Laminated Wood Panels ».
- Guitard, D., et F. El Amri. 1987. « Modèles prévisionnels de comportement élastique tridimensionnel pour les bois feuillus et les bois résineux ». *Annales des Sciences Forestières* 44 (3): 335- 58.
- Merakeb, Seddik. 2006. « Modélisation des structures en bois en environnement variable », 162.
- Passarini, Leandro. 2015. « Étude Du Comportement Physique Des Bois Au-Dessus et Au-Dessous Du Point de Saturation Des Fibres ». h.
- Srpčič, S., J. Srpčič, M. Saje, et G. Turk. 2009. « Mechanical Analysis of Glulam Beams Exposed to Changing Humidity ». *Wood Science and Technology* 43 (1- 2): 9- 22.
- Varnier, Maximin. 2019. « Comportement thermo-hygro-mécanique différé des feuillus : des sciences du bois à l'ingénierie ». These de doctorat, Limoges..
- Varnier, Maximin, Nicolas Sauvat, Laurent Ulmet, Cédric Montero, Frédéric Dubois, et Joseph Gril. 2020. « Influence of Temperature in a Mass Transfer Simulation: Application to Wood ». *Wood Science and Technology* 54 (4): 943- 62..
- Wimmer, Rupert, Oliver Kläusler, et Peter Niemz. 2013. « Water sorption mechanisms of commercial wood adhesive films ». *Wood Science and Technology* 47 (avril).