
Evaluation du comportement d'un assemblage bois collé par méthodes de caractérisation optiques

Régis Pommier* — Lech Muszynski**

*Unité de Sciences du Bois et des Bio polymères –UMR 5103, CNRS / INRA /
Université Bordeaux 1,
Domaine de l'Hermitage, 69, route d'Arcachon, 33612 Cestas Cedex.
pommier@us2b.pierroton.inra.fr

**Wood Science and Engineering, Oregon State University
119 Richardson Hall, Corvallis, OR 9733, USA
lech.muszynski@oregonstate.edu

RÉSUMÉ. Le bois est un matériau naturel qui est fortement sensible à son environnement. Il est hygroscopique et la mesure de ses propriétés physiques ne doivent pas interagir avec le matériau lui même. Parmi les méthodes optiques de mesure, la thermographie Infra Rouge permet de mesurer les échauffements préalables à une rupture et ainsi localiser les endommagements. La stéréovision quant à elle permet de mesurer les champs de déformation de la surface d'un échantillon sollicité. Le document, après une bibliographie des ces deux méthodes, présente des mesures effectués sur un bois massif et sur un assemblage original. L'aboutage du bois, lorsqu'il est fabriqué à l'état vert, a montré un comportement similaire à une soudure avec des ruptures hors de la zone de collage. Ceci a été confirmé par la thermographie infrarouge.

ABSTRACT. Wood material performance is largely depending on climatic variations because of hygroscopic properties. A measurement without interaction with material is actually adapted and becomes an assurance of efficient results. Among these methods, Infrared camera can give us the localisation of strain concentration before failure and digital images correlations can represent a 3D displacement of wood surface during test. Green gluing of wood is considered as a weld with failure only located outside of the bonding zone. Strain measurement associated to an Infrared camera will confirm the capability of green finger jointing to be a real and permanent welding.

MOTS-CLÉS : Aboutage du bois vert, Imagerie Infrarouge, stéréovision, durabilité.

KEYWORDS: green finger jointing, infrared camera, digital image correlation, durability.

1. Introduction

Les travaux de recherche effectués dans le cadre d'un projet du réseau national des matériaux et procédé « Collage du Bois Vert » ont démontré que l'aboutage du bois à l'état vert représente une avancée technologique importante par rapport à un aboutage classique (Pommier, 2005).

Les propriétés mécaniques d'un assemblage collé et notamment sa durabilité, peuvent être justifiées par la compréhension des phénomènes micromécaniques qui se produisent au niveau du joint de colle : lors de l'adhésion sur un matériau humide, lors du séchage de cet assemblage et lors de la sollicitation en durée de vie du produit, le joint de colle peut subir des transformations.

La présente publication se penche sur des méthodes de caractérisation optique avec des techniques d'imagerie Infra Rouge et de stéréovision. Elle présente les premiers résultats obtenus qui placent ces techniques parmi les plus fiables et les plus simples de mise en œuvre. Les deux techniques présentées n'interagissent pas avec la pièce à mesurer, ce qui est crucial pour le matériau bois ; il est hygroscopique, et donc particulièrement sensible à son environnement.

2. Bibliographie

L'aboutage est une technique qui consiste à assembler en bout deux éléments de bois sur lesquels on a usiné des entures pour développer la surface de contact et permettre le collage. L'aboutage du bois à l'état vert suscite un intérêt grandissant partout dans le monde (Bustos, 2004) (Sterley, 2004). Il a été démontré que l'aboutage du bois à l'état vert se comportait, en essais instantanés, comme une véritable soudure avec des ruptures survenant hors de la zone d'aboutage (Pommier, 2007). L'adhésif Polyuréthane est connu pour être très sensible au fluage sous sollicitation permanente. Le module élastique de l'adhésif (obtenu par stéréovision, Fig. 1) est par exemple, pour un aboutage traditionnel, 15 fois inférieur à celui de polymères classiques du type Résorcine (Konneth et al, 2006). Les travaux de Newman (2005) et de Pommier (2006) ont montré que le bois abouté avec une colle polyuréthane et un substrat vert ne fluait pas davantage que le bois lui même. Ainsi, il est important d'observer les phénomènes qui se produisent dans un aboutage collé à l'état vert, de mesurer précisément les déplacements du joint de colle et les éventuels endommagements suite aux sollicitations en fluage.

La thermographie infrarouge est connue pour avoir de très nombreuses applications pratiques. Luong (2002, 2005) a montré qu'elle permet d'améliorer notre connaissance des modes de rupture des matériaux et des structures en détectant les endommagement. La thermographie infrarouge permet de préciser quand et où le matériau se dégrade et perd sa résistance mécanique, en supposant que l'endommagement se manifeste par un phénomène irréversible appelé dissipation intrinsèque.

La caractérisation mécanique d'un assemblage collé par la méthode de corrélation d'images (stéréovision), permet de déterminer les comportements locaux des assemblages de façon précise. Son principe repose sur la prise de plusieurs images,

en distinguant les images références et les images dites déformées, obtenues lorsque la pièce est sollicitée. La technique consiste à repérer les imperfections de la surface du matériau ; par sa rugosité ou par des mouchetis appliqués à l'aide d'une bombe de peinture. A l'aide d'un logiciel (VIC 3D) nous pouvons calculer, à partir des déplacements de ces imperfections de surface (ou points homologues), la déformée de la pièce. Nous obtenons alors la déformation en trois dimensions de la surface ciblée, on peut ainsi mesurer la déformation du bois avec le temps (Pommier, 2006) et mesurer les déformations préférentielles d'un assemblage (Konnerth, 2006), (Muller, 2005), (Gindl, 2005).

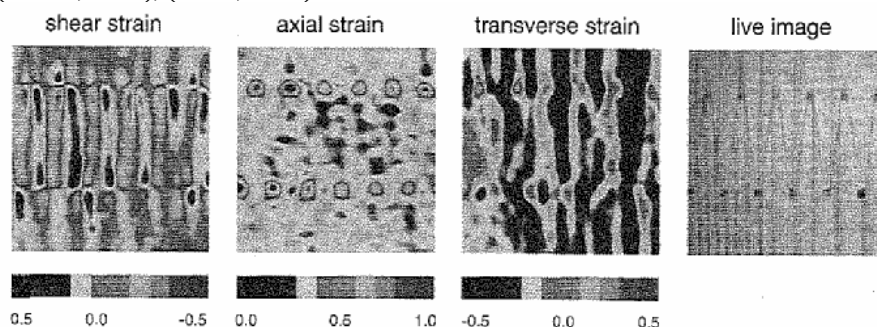


Figure 1. Distribution des contraintes dans un aboutage traditionnel mesurées par stéréovision (Konnerth, 2006)

Après avoir démontré les performances de la stéréovision à l'aide de mesures sur du bois brut, l'étude se concentrera sur des essais de traction associés à une caméra infra rouge focalisée sur un aboutage collé à l'état vert.

3. Matériel et méthode

Deux manipulations distinctes ont été effectuées et seront comparées. L'une utilise la stéréovision et la seconde une caméra infra rouge.

3.1. Stéréovision

Les travaux ont été effectués au laboratoire de Wood Science and Engineering de l'Oregon State University. Les échantillons utilisés sont en Epicéa rouge, de dimension $L = 300$ mm, $l = 25$ mm, $w = 5$ mm. Il s'agit de bois dit parfait de provenance indéterminée. Quatre éléments de bois sont sollicités simultanément en compression, dans le sens longitudinal des cernes. Un mouchetis de peinture noire a été préalablement pulvérisé sur la surface des éprouvettes afin que le logiciel puisse repérer des points caractéristiques. Pour garantir une hygrométrie constante du bois, nous avons mis au point une chambre climatique en plexiglas (Fig.2-①). Elle est reliée à une solution saline saturée, qui garantit une humidité constante par un flux

d'air entre la chambre et la solution. La température est maintenue constante par une climatisation de la salle régulée au degré près.

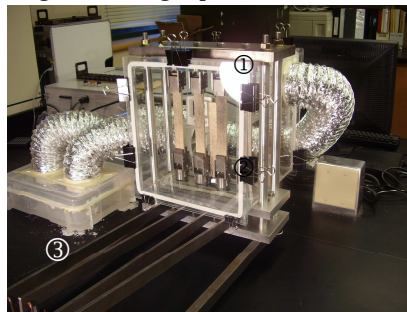


Figure 2. *Bâtiment de compression et enceinte climatique*

Les échantillons sont maintenus dans un climat correspondant à $RH = 65\%$ et $T^\circ = 20^\circ C$. La contrainte est maintenue par un système de leviers (Fig.2-②) (Fig.2-③) et de poids à environ 30 MPa.

Le système de mesure est composé de deux caméras CCD ciblées sur les éprouvettes. Trois prises de vue sont enregistrées avant la mise sous charge et serviront de référence. Des images sont enregistrées de façon régulière pendant la semaine de charge. Le logiciel VIC 3D calcule les déformations d'une zone d'intérêt que l'on a sélectionné sur les éprouvettes. La précision de mesure est supérieure à $0,1 \mu m$.

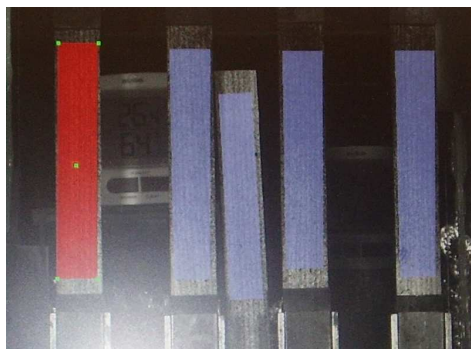


Figure 3. *Zones d'intérêt des éprouvettes sollicitées*

On peut obtenir les déformations ϵ_{xx} & ϵ_{yy} moyennes de l'ensemble des zones sélectionnées en fonction du temps.

3.2. Infrarouge

La thermographie Infrarouge, nous renseigne sur les modes d'endommagement du bois et des assemblages. Le matériau utilisé est exclusivement du Pin maritime de densité 0,45, constitués d'éléments aboutés à l'état vert de section $50 \times 100 \text{ mm}^2$. Les

poutres, aboutées en leurs milieux, sont séchées à une teneur en eau de 12% pour être testées. Un lot de douze poutres est prélevé pour être sollicité en flexion pendant six mois à une charge correspondant à 60% du MOR. Nous distinguons alors ; des poutres aboutées à l'état vert qui ont subi une sollicitation en fluage ; Lot C ; des poutres jumelles n'ayant pas subi de sollicitation ; Lot B. Des poutres témoins sont employées, avec le même matériau et un aboutage traditionnel ; Lot A.

A la suite, des éprouvettes de traction sont ensuite usinées dans chacune des poutres selon le schéma suivant :

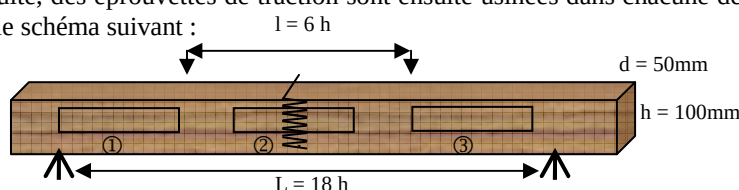


Figure 4. Emplacement des altères usinés sur les poutres aboutés

Les éprouvettes sont usinées sous forme d'haltères suivant la norme ASTM 2500 (1994), avec pour section centrale de $12 \times 25\text{mm}^2$. La caméra infrarouge, placée en face de l'aboutage, permet de localiser les endommagements et les ruptures par les échauffements qu'elles produisent. Les réponses à la sollicitation en traction sont enregistrées jusqu'à la rupture.

4. Résultats

4.1. Stéréovision

Nous avons analysé les prises de vue en repérant des zones caractéristiques que l'on va retrouver dans chaque photographie. Les déformations en trois dimensions de ces zones sélectionnées sont calculées. La figure 5 représente les champs de déformations obtenus dans les zones d'intérêt.

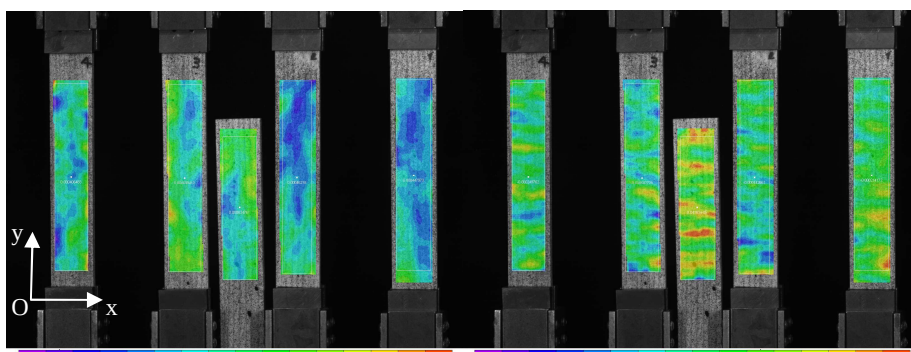


Figure 5. Champs de déformation dans le plan Ox (à gauche) et Oy (à droite)

Les déformations relatives moyennes des zones d'intérêts sont calculées. La Figure 6 représente par exemple, la déformation selon l'axe Ox de la Figure précédente.

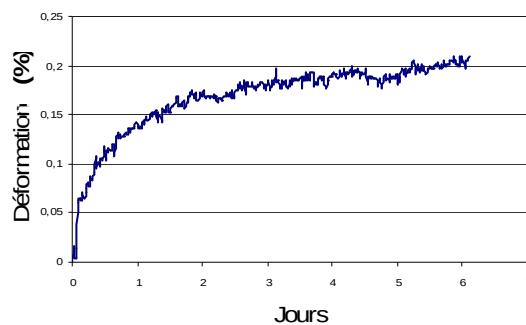


Figure 6. Compression du bois selon le temps obtenu par stéréovision

Les déformations au long de la semaine de test sont cohérentes avec les résultats issus de la littérature. Les résultats obtenus sur l'étude du fluage de l'Epicéa sollicité en compression nous démontrent, au delà d'une étude du fluage du bois brut en condition climatique maîtrisée, que l'on a réussi à effectuer une mesure sans interaction avec le matériau, à l'extérieur de l'enceinte de mesure tout en considérant l'ensemble de la pièce.

4.2. Infrarouge

La deuxième partie de l'étude se concentre plus sur l'aboutage du bois vert par des essais de traction associés à une caméra infra rouge.

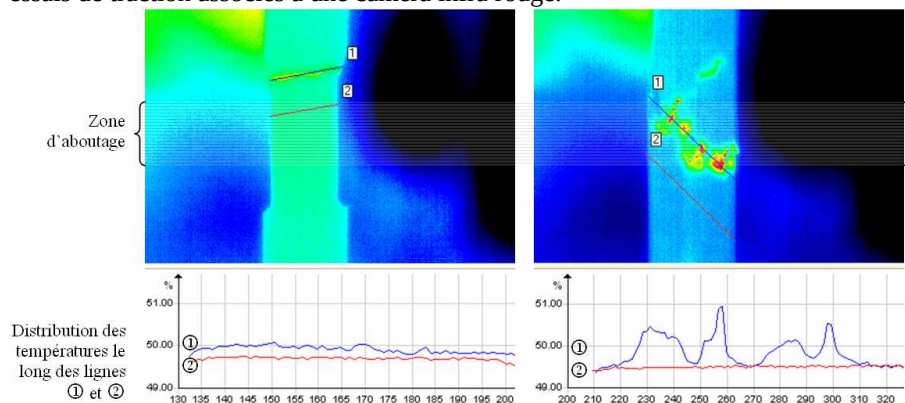


Figure 8. Echauffements lors de la rupture de bois aboutés à l'état vert et de bois abouté à l'état sec (le premier voit apparaître une rupture fragile avec peu d'échauffements, le deuxième avec voit apparaître de très forts pics de chaleur au niveau des vides en fond d'entures)

Les Modules de Ruptures obtenus correspondent à 27 MPa pour le lot A, 46,5 MPa pour le bois et 47 MPa pour les lots B et C (lots de bois aboutés à l'état vert).

Les résultats obtenus sur les éprouvettes de bois aboutés à l'état vert sont identiques quelque soit leur passé (le lot C est constitué d'éprouvettes préalablement sollicités en fluage) ; les ruptures surviennent exclusivement hors de la zone d'aboutage.

Il est possible de corréliser les résultats aux imageries infra rouges (Fig. 8). Nous pouvons localiser les endommagements préalables à une rupture. Ils surviennent à l'extrémité du joint de colle dans le collage du bois sec. L'aboutage du bois sec voit subsister des vides en fond d'enture qui induisent des concentrations de contraintes à l'extrémité du joint de collage de chacune des entures. Cet échauffement ne se produit pas lorsque l'on teste un aboutage élaboré à l'état vert. Les joints de collages n'ont pas de discontinuités, et l'extrémité des entures ne se distingue pas des autres régions du collage. Le lot C voit apparaître les mêmes résultats : les poutres aboutées du lot C ont été préalablement sollicitées en fluage pendant six mois (la complaisance au fluage s'est stabilisée à deux fois la complaisance instantanée de la même façon que pour un bois brut de même nature). Les résultats montrent que le joint de colle ne s'est pas endommagé lors de cette sollicitation en longue durée.

5. Conclusion

La technique de mesure par corrélation d'images (ou stéréovision) présente l'avantage majeur, pour un matériau complexe et hygrosopique, de pouvoir s'effectuer à l'extérieur d'enceintes climatiques. Nous avons montré qu'elle permet tout aussi bien des mesures instantanées que à long terme, sur des zones d'intérêt pouvant aller de quelques pixels à plusieurs centimètres carrés.

Les essais de tractions associés à une caméra Infrarouge, nous ont montré que l'aboutage du bois vert produisait des ruptures hors de la zone aboutée. Les résultats de ruptures se sont confirmés hors de la zone d'aboutage après une sollicitation de six mois. L'assemblage collé ne s'est visiblement pas endommagé durant la sollicitation préalable en fluage.

Une étude de fluage à l'aide de la stéréovision nous permettra d'estimer la complaisance spécifique du joint de collage et du bois au niveau de la zone d'assemblage. Nous pourrions définir et comprendre précisément le comportement sous différentes sollicitations du bois abouté à l'état vert.

6. Références

ASTM 1037, *Standard test methods for evaluating properties of wood base fiber and particle panel materials, Tensile strength perpendicular to the surface*, Annual book of ASTM Standards, USA, 1994.

Bustos C., *Investigation on the influence of the key parameters affecting the finger-jointing process*, 8th World Conference on Timber Engineering, 2004, Lathi. Finlande.

Konnerth, J., A. Valla, W. Gindl and Mueller U., 2006, *Measurement of Strain Distribution in Timber Finger Joints*, Wood Science and Technology, V40(8): 631-636.

Gindl W, Sretenovic A, Vincenti A, Müller U., *Direct measurement of strain distribution along a wood bond line*, Part II: Effects of adhesive penetration on strain distribution, 2005, Holzforschung 59:307–310

Luong P., *Infrared thermodetection of thermomechanical coupling in solids*, Int. Conf". Thermal Sensing and Imaging Diagnostics Applications, Aerosense 2002, Thermosense XXIV, April 2002, pp. 492-506., Orlando.

Müller U, Sretenovic A, Vincenti A, Gindl W., *Direct measurement of strain distribution along a wood bond line*, Part I: Shear strain concentration in a lap joint specimen by means of electronic speckle pattern interferometry, 2005, Holzforschung 59:300–306

Pommier R., « *Rapport de Post Doctorat* », Commission Franco-américaine d'échange culturels Fulbright, 2006, France.

Pommier R, et Elbez G., *"Finger jointing green softwood – evaluation of the interaction between PUR adhesive and wood"*. Wood Material Science and Engineering, Taylor & Francis, 2006.

Pommier R. et Morlier P., *"Finger jointing on green maritime pine timber – a study of adhesive glue and determination of resulting bending strength with different adhesives"*, Word Conference on Timber Engineering (WCTE2006), Portland (USA), Aout 2006.

Pommier R., *"Finger jointing on green maritime pine timber- evaluation of different adhesives and determination of resulting bending strength"*, International conference « Green Gluing of Wood » COST E 34, Avril 2005.

Muszynski L., *"Full-field strain measurement techniques for characterisation of micromechanical performance in wood-plastic composites"*, Internal report, Oregon State University, 2006, Corvallis Oregon, USA.

Newman C., *Evaluation of test procedure for green glued finger joints*, Conference Green gluing of wood - process – product – market, (2005), Boras, Sweden.

Sterley M., *"Green gluing of wood"*, Licenciante thesis, KTH Civil and Architectural engineering, Stockholm. Sweden, 2004.