

Compréhension de l'aboutage du bois vert : détermination du procédé et principes physico mécaniques appliqués au Pin maritime

Régis Pommier

**US2B – Unité de Sciences du Bois et Biopolymères - UMR 5103, CNRS/INRA/
Université Bordeaux 1 - Domaine de l'Hermitage, 69, route d'Arcachon, 33612 Cestas
Cedex (pommier@us2b.pierroton.inra.fr)**

RESUME. Le sujet de recherche s'est appuyé un adhésif permettant de coller le bois à l'état vert (teneur en eau supérieur à 70%). Un des assemblages les plus intéressants est apparu comme étant celui de l'aboutage. Toutes les étapes du procédé ont été revues vis-à-vis d'un aboutage traditionnel : c'est une opération à la fois mécanique (indentation mutuelle des substrats), physico-chimique (adhésion sur un substrat humide, séchage d'un assemblage collé). Cette opération aboutit à un collage structural, voire même à une véritable soudure.

Afin d'estimer de façon non destructive les propriétés mécaniques d'usage d'un bois structural abouté à l'état vert, une large étude, à l'aide de la méthode dite vibratoire, a permis de démontrer une corrélation entre le MOE vibratoire obtenu sur un bois fraîchement abouté à l'état vert et son MOR après séchage à teneur en eau d'utilisation. L'étude du fluage, en condition climatique variable, a montré que l'aboutage du bois vert ne se déformait pas plus que du bois massif dans les mêmes conditions.

MOTS-CLÉS : collage, aboutage du bois vert, durabilité.

ABSTRACT. The research subject is based on a new adhesive formulation which can be used to glue green wood with a moisture content of over 70%. Finger-jointing emerged as one of the most promising types of joint. All stages of the process were reviewed in comparison with traditional finger jointing. It is both a mechanical operation (the fingers of the two wood ends locking together) and a physical-chemical process (adhesion of a wet adherend, drying of the glued piece). This operation produces a structural glue joint which is virtually a weld.

To estimate the mechanical properties in use of green finger-jointed structural wood in a non-destructive way, we ran a large study using the so-called vibratory method. This showed a correlation between the vibration MOE obtained with freshly glued green wood and its MOR after drying to a moisture content equivalent to standard usage conditions. In the study of creep in varying climatic conditions, green glued finger joints did not warp any more than solid wood under the same conditions.

KEYWORDS: bonding, green finger jointing, durability.

1. INTRODUCTION

Certains matériaux organiques comme le bois peuvent présenter une très forte humidité intrinsèque. Les technologies établies de collage nécessitent que le bois soit séché jusqu'à une teneur en eau bien inférieure au point de saturation des fibres (entre 9 et 14%) alors que les teneurs en eau d'usage en construction sont souvent au dessus. Le collage du bois vert consiste à transformer le bois avant de le sécher à sa teneur en eau d'usage (Morlier, 2003). Le séchage du produit vert déjà transformé est facilité par une purge préalable permettant une économie de 30% minimum sur le poste de séchage. La présente publication se penche et explique la démarche suivie pour voire apparaître sur le marché de la construction un nouveau matériau : à partir d'un pré polymère issu de la chimie, obtenir un adhésif à performance structurale pour le Pin maritime, valoriser les possibilités d'un matériau humide par l'aboutage, et obtenir un bois structural bois abouté à l'état vert, performant, durable et d'avenir pour l'industrie et pour la construction bois.

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. Il permet de valoriser des coursons de bois pour obtenir des éléments de grande longueur utilisable pour la construction (lamelles pour lamellé collé ou poutres en I, éléments de la maison à ossature bois, ...). Le collage du bois à l'état vert suscite un intérêt sur le plan mondial ; de nombreuses études techniques ont été menées avec des essences locales et des adhésifs disponibles sur le marché (Bustos, 2004) (Sterley, 2004). Verreault (1999) a mené une étude sur l'aboutage du bois à l'état vert avec une colle spéciale « Greenweld », à base de Résorcine. L'auteur a été le premier à montrer que les ruptures apparaissent hors du collage, suite à des essais de flexion quatre points. Toutes ces études ont montré l'intérêt du collage du bois vert sans démonter les avancées scientifiques et valider les performances des assemblages collés. En France, pour des contraintes environnementales dues aux émissions de formaldéhydes des colles à base résorcine, un brevet a été déposé sur une formulation innovante d'un adhésif Polyuréthane (Daudé, 2002). Les efforts se sont concentrés dans un premier temps sur l'optimisation des propriétés du collage et la caractérisation physico chimique de l'adhésion (Pommier, 2005). Le travail de recherche a débuté sur l'aboutage proprement dit, avec l'optimisation des procédés et la comparaison de l'aboutage du bois vert obtenu avec le polyuréthane breveté et des adhésifs du marché (Pommier, 2005). Les résultats ont montrés que l'aboutage du bois vert avec la colle innovante était le seul à voire apparaître la totalité des ruptures hors de la zone d'aboutage quel que soit la teneur en eau lors de la sollicitation en flexion quatre points. Le document présente les étapes essentielles à la validation et à la compréhension des propriétés d'un bois structural abouté à l'état vert ; ses performances mécaniques (Pommier, 2006, 2007), sa tenue à long terme et sa durabilité (Newman, 2005) (Pommier, 2006, 2007), le contrôle non destructif du produit (Pommier, 2007).

3. MATERIEL ET METHODES

Le matériau utilisé est exclusivement du Pin maritime de densité 0,45. Il est issu de coupes de deuxième éclaircie et prélevé dans le parc de la société Beynel Manustock. Les bois sont purgés et aboutés à une teneur en eau supérieure au point de saturation des fibres. Les coursons sont aboutés avec des entures de 20 mm et collés avec la colle Innovante Polyuréthane. Les éprouvettes obtenues,

sont aboutées en leurs milieux à l'état vert et sont séchées à une teneur en eau de 12% pour être testées. L'étude distingue en deux parties ; la première se base sur un lot de bois de petite section ($22 \times 35 \text{ mm}^2$) pour tester les performances instantanées de l'aboutage, la deuxième partie utilise du bois abouté en dimension structurale ($50 \times 100 \text{ mm}^2$) pour valider le performances en usage du produit.

3.1. PERFORMANCE DU BOIS ABOUTE VERT

Afin de valider les propriétés du bois abouté à l'état vert, les éprouvettes de section $22 \times 35 \text{ mm}^2$ sont testées en flexion quatre points selon la norme EN 408. Nous avons au préalable évalué, avec la méthode vibratoire, leur MOE (MOE_{vib}) pour le corrélérer au MOR obtenu en flexion quatre points. Cette corrélation permettra d'obtenir le MOR de façon non destructive. Viennent s'ajouter une caractérisation par micro tomographie X, effectuée à l'INRA d'Orléans sur des aboutages prélevés de façon aléatoire. Les éprouvettes de 2 mm d'épaisseur et recouvrant 3 entures sur la face sont ainsi obtenues pour visualiser le profil de densité du collage.

3.2. VALIDATION DES PROPRIETES DU BOIS ABOUTE A L'ETAT VERT EN DIMENSION STRUCTURALE

Des poutres de section $50 \times 100 \text{ mm}^2$ sont élaborées, on distingue ensuite :

- Lot A ; 12 poutres sont prélevées pour être testées en flexion quatre points,
- Lot B ; un lot jumeau de poutres va être testé en fluage pendant six mois avec une charge correspondant à 40% de la charge à la rupture obtenue par le lot A.

Après sollicitation en flexion des lots A et B, nous prélevons des éprouvettes①, ② et ③ selon le schéma suivant :

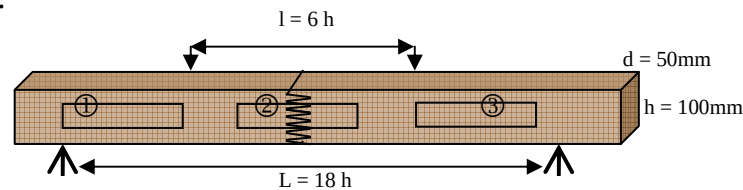


Figure 1 : Emplacement des altères usinés sur les poutres aboutés.

Les éprouvettes sont usinées sous forme d'haltères suivant la norme ASTM 2500 (1994), avec une section centrale de $12 \times 25 \text{ mm}^2$, pour être sollicitées en traction. Une caméra infrarouge est placée en face de l'aboutage, elle permet de localiser les endommagements et les ruptures par les échauffements qu'elles produisent (Luong, 2002).

4. RESULTATS

4.1. PERFORMANCE DU BOIS ABOUTE VERT

Nous avons effectué des essais en flexion quatre points sur des éprouvettes aboutées et séchées à deux teneurs en eaux différentes. Ces éprouvettes sont préalablement testées avec la méthode vibratoire afin de déterminer leur MOE de façon non destructive. Les courbes suivantes représentent respectivement les MOE_{vib} et MOR des bois testés à 12% de teneur en eau et testés à l'approche du point de saturation des fibres.

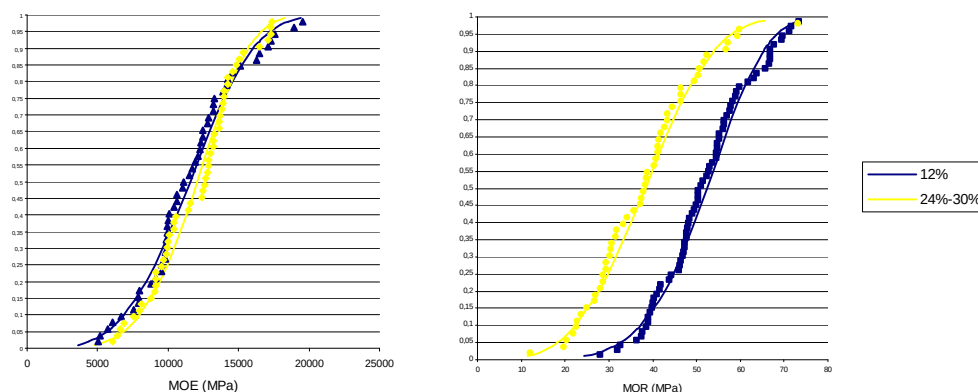


Figure 2 : Distribution des $MOE_{vib.}$ et des MOR obtenus en flexion quatre points (EN 408) sur des bois aboutés à l'état vert et testés à deux teneurs en eau différentes (12% et proche du point de saturation des fibres).

Les essais de flexion quatre points ont montrés que les ruptures surviennent exclusivement hors de la zone d'aboutage, quelle que soit la teneur en eau durant l'essai. Les MOR obtenus correspondent aux résultats d'un bois brut.

Les distributions cumulées des MOE sont confondues quelle que soit la teneur en eau, alors que le MOR diminue lorsque la teneur en eau augmente. Il est possible d'estimer le MOR à de façon non destructive grâce au MOE vibratoire des bois à 12% de teneur en eau. Etant donné que le MOE vibratoire est invariable (Pommier, 2007) selon la teneur en eau, il sera donc possible de déterminer de façon non destructive le MOR à la teneur en eau d'usage (MC=12%) à partir du MOE estimé de façon non destructive sur des aboutages vert.

Les résultats mécaniques ont montré que la zone d'aboutage était plus résistante que le bois lui-même ; la figure 3 représente les profils de densités d'aboutages secs et verts : testés à sec. Les parties les plus claires du négatif représentent les densités les plus élevées.

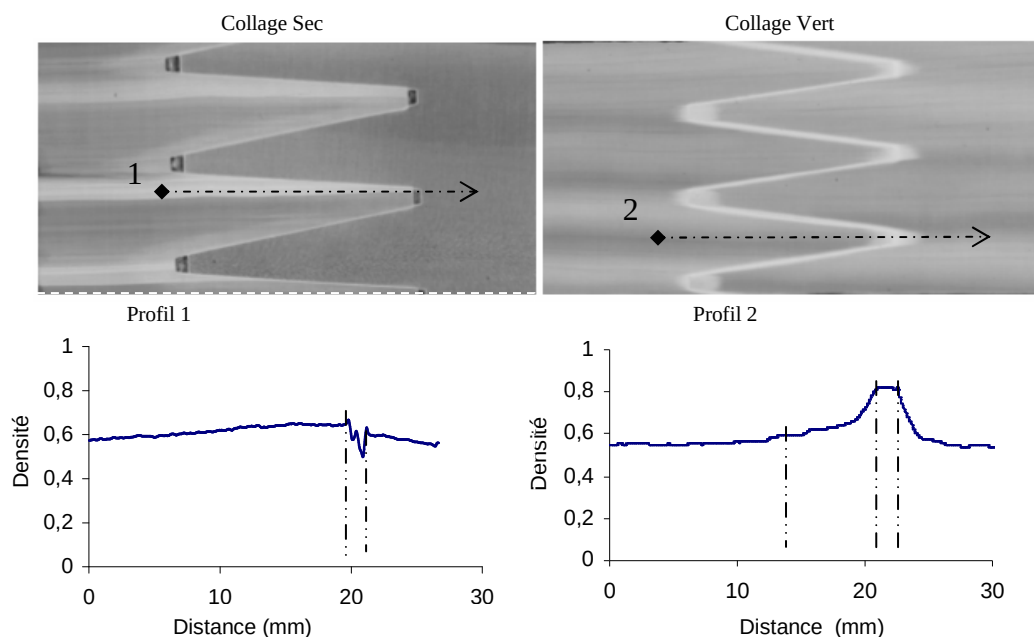


Figure 3 : Profils de densité sur des aboutages collés sec et vert, mesurés à sec.

Les profils nous montrent clairement que la densité de la zone aboutée est supérieure pour le bois collé à l'état vert que pour le bois collé à l'état sec. Aucune discontinuité du joint de collage n'est observée dans le bois collé à l'état vert alors que subsistent des vides en fond d'enture, inévitables dans l'aboutage du bois sec.

Plus spécifiquement, nous avons effectué des profils de densité le long des entures. Les profils de densité (1 et 2) présentés ont pour origine la base de l'enture et se prolongent sur le substrat opposé. Selon l'axe 1 de la Figure 3, nous n'observons aucune augmentation de la densité pour le bois collé sec et une perturbation de la densité à la pointe de l'enture. Pour le bois collé vert -axe 2- une augmentation graduelle de la densité du bois à l'approche de la pointe de l'enture est notée. Ensuite, la densité mesurée dans le courson opposé est celle du bois ; il n'y a pas eu apparition de fissure. L'aboutage du bois vert permet un assemblage avec un collage continu et une zone aboutée plus dense que le bois, d'où des propriétés mécaniques supérieures.

4.2. VALIDATION DES PROPRIETES DU BOIS ABOUTE A L'ETAT VERT EN DIMENSION STRUCTURALE

L'étude du bois abouté en dimension structurale débute par la détermination du MOR du lot A, en flexion quatre points (Figure 4).

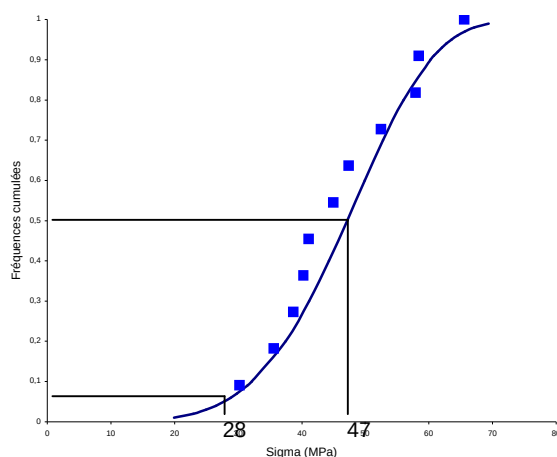


Figure 4 : Distribution cumulée du MOR du lot B, EN 408.

Le MOR du lot B est estimé avec la méthode vibratoire. Le lot est ensuite stabilisé en condition de service 2 de l'Eurocode 5 pour être chargé à 40% du MOR du lot jumeau A. La figure 6 représente la complaisance de la zone aboutée en fonction du temps. Le fluage est mesuré par un système spécifiquement élaboré pour mesurer la déformation autour de la zone aboutée. Les résultats obtenus en flexion quatre points sur le lot jumeau (lot A) donnent un $MOR_{median} = 47$ MPa, et un $MOR_k = 28$ MPa. La valeur caractéristique est supérieure à la contrainte requise pour un classement C24, souhaité pour une utilisation en construction.

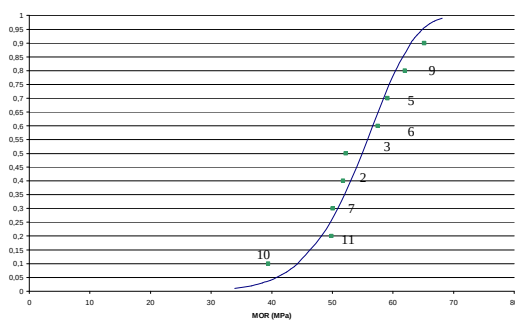


Figure 5 : MOR estimé en fonction du MOE.

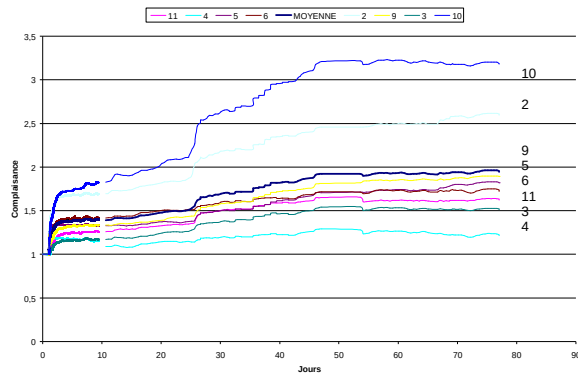


Figure 6 : Complaisance rapportée à la complaisance instantanée en fonction du temps.

Les résultats obtenus avec la méthode vibratoire sont similaires, nous pouvons remarquer une forte dispersion des MOR, ce qui va induire une variabilité de la charge effective appliquée sur le lot B. Le lot B est sollicité en flexion quatre points pendant six mois, à 40% de la charge estimée à la rupture, dans un abri ouvert vert l'extérieur pour retrouver des conditions de classe de service 2.

Nous remarquons que la poutre 10 a une déformation accidentelle. Concernant les autres poutres, la complaisance se stabilise à une valeur relative correspondant à deux fois la complaisance instantanée. L'ensemble des travaux antérieurs au laboratoire sur du Pin maritime brut ont montré un comportement similaire. La complaisance au fluage du bois abouté à l'état vert est donc identique à la complaisance du bois lui-même. Le Polyuréthane, dans un aboutage classique, est connu pour fluer fortement (15 fois plus qu'avec un adhésif à base résorcine), tandis que l'aboutage du bois vert avec la colle innovante Polyuréthane ne flue pas plus que le bois lui-même. Les premiers résultats permettent de penser que l'aboutage du bois à l'état vert est satisfaisant pour un usage en structure.

Après sollicitation en fluage, des haltères sont usinés selon le schéma de la figure 1. Des essais de traction associés à une caméra infra rouge sont effectués sur avec des bois issus du lot A et du lot B, mais aussi du lot C.

Les résultats des MOR des éprouvettes testées sont représentés dans le tableau suivant.

Lots	MOR moyen (MPa) Haltère avec aboutage	MOR moyen (MPa) Haltère en bois brut
Lot C (N = 5)	27	
Lot A (N = 10)	47	46,5
Lot B (N = 10)	47	46,5

Figure 7 : Module de Rupture des différents lots.

Les résultats de la Figure 7 sont associés aux imageries infra rouge des ruptures dans la Figure 8.

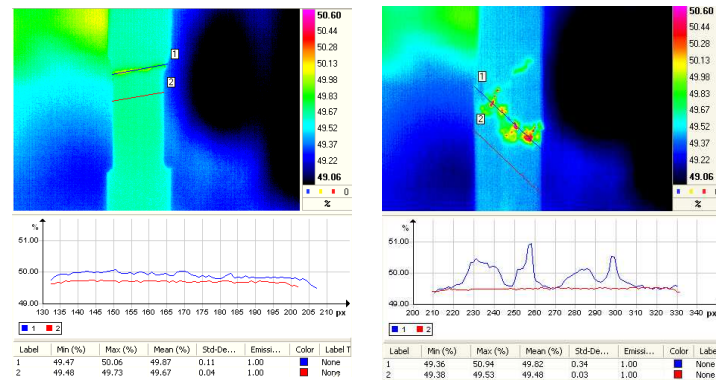


Figure 8 : Echauffements lors de la rupture de bois aboutés à l'état vert et de bois abouté à l'état sec (le premier voit apparaître une rupture fragile avec peu d'échauffements, le deuxième voit apparaître de très forts pics de température au niveau des vides en fond d'entures).

Nous pouvons localiser les endommagements préalables à une rupture. Ils surviennent à l'extrémité du joint de colle dans le collage du bois sec (lot C). 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 avec 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 B voit apparaître les mêmes résultats : les poutres aboutées du lot B 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

Le défi a été de considérer une approche pluridisciplinaire du collage du bois vert, partant de l'établissement du procédé à la caractérisation globale des propriétés mécaniques du bois structural abouté vert.

Une caractérisation mécanique de l'aboutage du bois vert a montré très clairement que le bois abouté à l'état vert avec la colle Polyuréthane innovante devient un point fort de l'assemblage par rapport au bois lui-même. Nous observons un collage structural et une véritable soudure par un joint de colle finalement invisible et des joints discrets et sans vides en fond d'enture. L'aboutage du bois à l'état vert permet un joint de colle continu, et une zone d'aboutage plus dense que le bois lui-même.

Nous avons pu définir les performances du bois abouté vert après la purge de façon non destructive pour pouvoir trier des approvisionnements (bois vert) et les purger pour obtenir du bois abouté de qualité donnée, éventuellement classé par un CND en plusieurs catégories équivalentes par exemple à C_{18} et C_{24} .

Nous avons vu que la tenue à long terme de notre assemblage est similaire à la tenue d'un bois brut utilisé en construction en climat de classe 1 ou 2 (Eurocode 5). L'étude du fluage, en condition climatique variable, a montré que l'aboutage du bois vert ne se déformait pas plus que du bois massif dans les mêmes conditions.

Les essais de traction pure associés à une caméra infra rouge sur des aboutages préalablement sollicités en fluage, nous ont permis enfin de valider les propriétés de l'aboutage du bois vert car le fluage n'a provoqué aucun endommagement.

6. BIBLIOGRAPHIE

- ASTM 1037 (1994) "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.
- Bustos C. (2004) "Investigation on the influence of the key parameters affecting the finger-jointing process", 8th *World Conference on Timber Engineering*, Lathi, Finlande.
- Daudé G. (2002) « Synthèse d'une colle pour le collage du Pin Maritime vert », Brevet FR 2842818.
- Luong P. (2002) "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.
- Morlier P. Coureau J.L. (2003) « An innovative technology: gluing of wet (green) timber », 4th *int. seminar for value-added innovating products in Pine*, France.
- Newman C. (2005) "Evaluation of test procedure for green glued finger joints", *Conference Green gluing of wood - process – product – market*, Boras, Sweden.
- Pommier R. (2006). « Rapport de Post Doctorat », Commission Franco-américaine d'échange culturels Fulbright, France.
- Pommier R. et Elbez G. (2006), "Finger jointing green softwood – evaluation of the interaction between PUR adhesive and wood", *Wood Material Science and Engineering*, Taylor & Francis.
- Pommier R. et Morlier P. (2006) "Finger jointing on green maritime pine timber – a study of adhesive glue and determination of resulting bending strength with different adhesives", *World Conference on Timber Engineering (WCTE2006)*, Portland (USA), Aout 2006.
- Pommier R. (2005) "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, April 2005.
- Pommier R. (2005) « Description physico-mécanique du joint de colle dans le collage du bois vert », *Conférence JADH 2005*, Bollwiller, France.
- Pommier R. et MUSZYNSKI L. (2007) « Evaluation du comportement d'assemblage bois collé par méthodes de caractérisation non optiques », 25^e *rencontres universitaires de Génie Civil*, Mai 2007, Bordeaux.
- Sterley M. (2004) "Green gluing of wood", Licenciante thesis, KTH Civil and Architectural engineering, Stockholm, Sweden.
- Verreault C. (1999), "Performance evaluation of green gluing for finger jointing", Forintek Canada Corp, Rapport interne, CFS-VA rapport # 2295, Ste-Foy, QC. Canada, 59 pp.