

Comportement mécanique d'assemblages de bois soudé par friction sous sollicitation de traction-cisaillement.

B. GINESTE ^A, J-Y COGNARD ^B, A PIZZI ^C

a. LBMS, Université de Bretagne Occidentale, 6 Avenue V. Le Gorgeu, 29228 Brest Cedex3

b. LBMS, ENSTA-Bretagne, 2 rue F. Verny, 29806 Brest Cedex9,

c. ENSTIB-LERMAB, Université Henri Poincaré, Nancy-1, 2 rue du Merle Blanc, 88051 Epinal Cedex9

Résumé :

La physicochimie du soudage du bois par friction a été étudiée au LEMAB. Les performances mécaniques d'assemblages soudés sens fil sont évaluées à partir d'un essai Arcan développé au LBMS pour l'étude du collage. Le bois utilisé est du hêtre. Les différentes directions de chargement permettent de tracer l'enveloppe de rupture traction-cisaillement du joint soudé que l'on compare à celle du bois monobloc. Les résistances des joints soudés sont inférieures à celles du bois monobloc mais leurs valeurs sont tout à fait compatibles avec les besoins industriels. La simulation numérique permet de relier les efforts appliqués aux répartitions des contraintes.

Abstract :

The physical and chemical study of wood welding by friction was studied in the LEMAB. The mechanical performances of welded assemblies in the orientation of the thread are estimated from a Arcan test developed in the LBMS for the study of the collage. The wood used is beechwood. The various orientations of the effort applied allow us to draw the curve of break of the welded joint that we then compare to that of the solid wooden block. The resistances of the welded joints are lower than those of the wooden block but their values are completely compatible with industrial needs. The digital simulation allows the association of the efforts applied to the stress distribution.

Mots clefs : – Soudure du bois par friction - Mécanique des interfaces - Essais Arcan –

1 Introduction

L'objectif est d'utiliser l'essai Arcan (Figure 1) pour analyser la résistance des soudures sens fil sous des combinaisons d'une contrainte normale et d'une contrainte tangentielle. Une analyse identique a été faite sur du bois monobloc dans le but de comparer la résistance des joints soudés à celle du bois initial.

Cette étude a nécessité l'adaptation d'un montage Arcan disponible au LBMS pour l'adapter au matériau bois, modification des interfaces avec l'éprouvette pour limiter les endommagements locaux et permettre des dimensions d'éprouvettes plus importantes dans le but de réduire l'influence des dispersions.

Ce montage permet 7 directions de chargement, de 0° à 135° par pas de 22,5°, il en résulte une large plage de sollicitations de type « traction/compression-cisaillement ». Il peut-être utilisé pour étudier le comportement de bois collés sous sollicitation « hors plan ».

L'étude a été faite à partir d'échantillons de hêtre et d'assemblages soudés par friction linéaire fournis par le LERMAB, les usinages nécessaires à la réalisation d'éprouvettes adaptées montage Arcan ainsi que les essais ont été faits au LBMS.

L'anisotropie du bois n'est que partiellement prise en compte ; en effet des échantillons fournis ont été prélevés dans le sens du fil mais sans prendre en compte les directions radiales et tangentielles. Cette façon de procéder n'est pas aberrante puisqu'elle correspond à la majorité des applications industrielles, mais elle perturbe les résultats expérimentaux et rend discutable les modélisations numériques.

Les directions d'anisotropie sont notées : « \vec{R} » pour la direction radiale, « \vec{T} » pour la direction tangentielle et « \vec{L} » pour le sens fil.

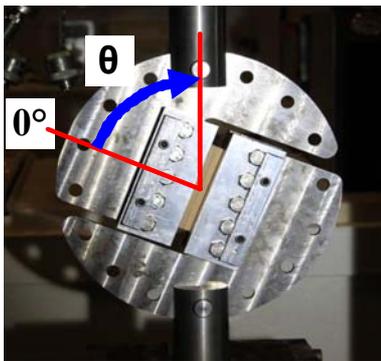


Figure 1 : Montage Arcan utilisé

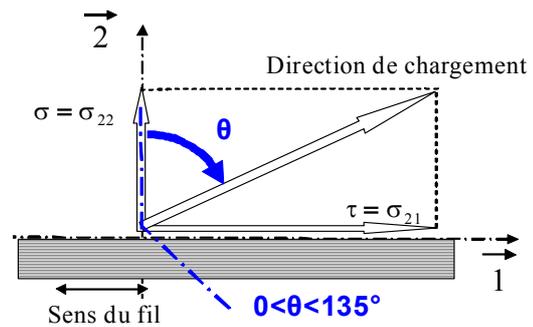


Figure 2 : Sollicitations appliquées

2 Etude du hêtre monobloc

2.1 La géométrie des éprouvettes

Pour les éprouvettes réalisées dans du bois monobloc (sans soudure), il est nécessaire de réduire l'épaisseur de la zone d'étude pour que les ruptures se fassent dans cette zone quelque soit le type de chargement.

Ces éprouvettes ont été réalisées dans des blocs de 100 mm de longueur (sens fil) et de 40 mm de côté. L'épaisseur de la zone centrale a été ramenée à 8 mm par usinage. Des essais préalables combinés avec des modélisations par la MEF ont permis de retenir le compromis donné par la figure 3 pour la section de l'éprouvette.

Cette forme permet de s'adapter au montage d'essais Arcan et d'obtenir dans la majorité des cas une rupture dans la zone d'étude comme le montre la figure 4, mais elle présente l'inconvénient de ne pas conduire à des champs de contrainte uniformes dans la section.

Malgré cette importante diminution de section, certaines ruptures restent pilotées par l'anisotropie du bois et ne se produisent pas dans la section la plus faible, figure 5. Dans tous les cas où ce phénomène se produit, l'amorçage de la rupture correspond à une fissure suivant la direction radiale, ce qui est conforme au fait que la résistance à la contrainte σ_{RR} est plus faible que celle à la contrainte σ_{TT} .

Le paragraphe suivant présente les modélisations par la MEF qui permettent d'évaluer les répartitions de contrainte dans la section centrale et d'en déduire le facteur de contraintes à prendre en compte pour exploiter les résultats.

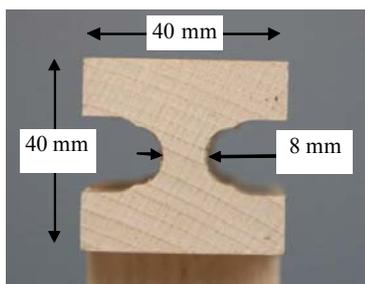


Figure 3 : Section des éprouvettes monobloc

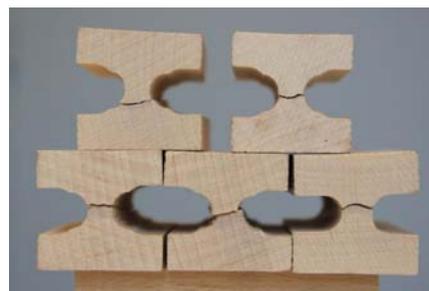


Figure 4 : Rupture des éprouvettes

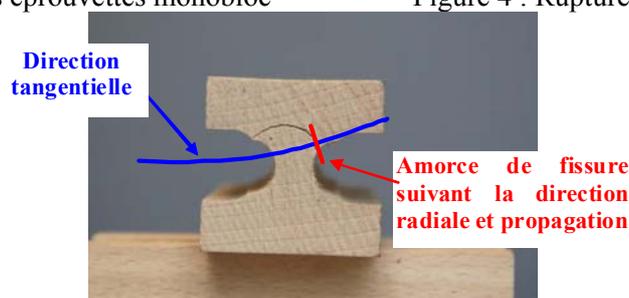


Figure 5 : Rupture pilotée par l'anisotropie

2.2 Modélisation de l'essai

Pour les deux sollicitations de référence, la traction ($\theta=0^\circ$) et le cisaillement ($\theta=90^\circ$), les répartitions de contraintes dans la zone d'étude ont été évaluées par un calcul « 3d » élastique linéaire.

Les éprouvettes ayant été prélevées sans prendre en compte l'anisotropie dans le plan (\bar{R}, \bar{T}), il est retenu un modèle isotrope transverse pour le bois :

$$\begin{aligned} E_{LL} &= 15000 \text{ MPa}, E_{RR} = E_{TT} = 1500 \text{ MPa}, \\ G_{LT} &= G_{LR} = 1200 \text{ MPa}, G_{RT} = 400 \text{ MPa}, \\ \nu_{LT} &= \nu_{LR} = 0,43 \text{ et } \nu_{RT} = 0,65. \end{aligned}$$

Les calculs ont été faits avec le module « Simulation » de SolidWorks, les interfaces avec le montage d'essais ont été modélisées par les déplacements qu'elles imposent à l'éprouvette.

Pour la sollicitation de traction, un déplacement est imposé aux surfaces de liaison avec le montage et les symétries sont prises en compte. L'analyse des résultats montre que c'est la zone centrale qui est la plus sollicitée et que dans cette zone, c'est la contrainte normale qui est prépondérante. La figure 6 donne l'allure de la répartition de cette contrainte sur la section centrale, les valeurs obtenues sont : 9,8 MPa pour le maximum, 6,65 pour la moyenne et 4,8 MPa pour le minimum. La valeur du facteur de contrainte issu de cette modélisation est de 1,47.

Pour la sollicitation de cisaillement, on procède de même en imposant un déplacement aux surfaces liées au montage, une symétrie dans le plan (\bar{x}, \bar{y}) et une antisymétrie dans le plan (\bar{z}, \bar{x}). L'analyse des résultats montre que la zone d'étude est essentiellement sollicitée en cisaillement. La figure 7 donne l'allure de la répartition de cette contrainte sur la section centrale, les valeurs obtenues sont : 14,84 MPa pour le maximum, 10,24 MPa pour la moyenne et 0 pour le minimum. La valeur du facteur de contrainte issu de cette modélisation est de 1,45.

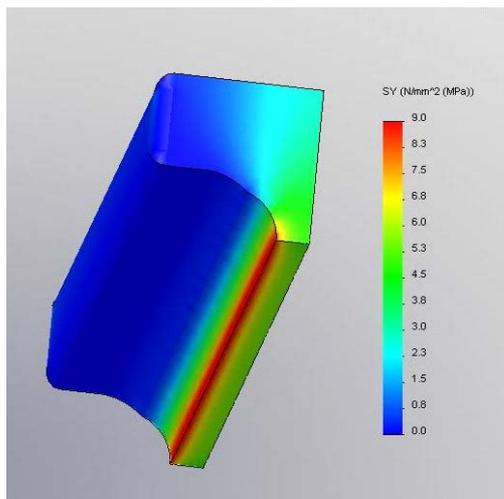


Figure 6 : Contrainte de traction

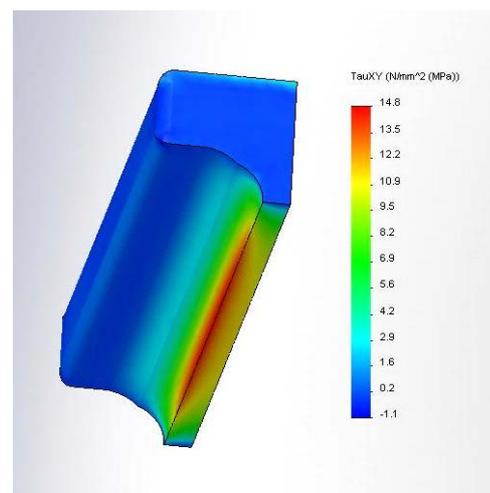


Figure 7 : Contrainte de cisaillement

2.3 Résultats des essais sur bois monobloc

6 à 7 éprouvettes ont été testées pour chacune des sept directions de chargement. Les contraintes sont déduites de l'effort à rupture, de la direction de chargement et de l'aire de la section, puis, elles sont pondérées par les facteurs de contrainte déterminés par la simulation numérique. Le tableau ci-dessous donne les valeurs moyennes et les écarts types mesurés.

Direction de chargement	0°	22,5°	45°	67,5°	90°	112,5°	135°
Contrainte normale : - Moyenne (MPa)	7,34	7,57	7,31	4,35	0	-9,58	-23
- Ecart type	0,92	0,91	1,79	0,22		0,44	2,78
- Ecart type / Moyenne (%)	12,3	12,2	24,5	5,1		4,6	12,1
Contrainte Tangentielle : - Moyenne (MPa)	0	3,14	7,31	10,51	20,05	23,13	23
- Ecart type		0,38	1,79	0,54	1,29	1,06	2,78
Ecart type / Moyenne (%)		12,2	24,5	5,1	6,4	4,6	21,1

Bien que les éprouvettes aient été prélevées sans prendre en compte l'anisotropie du bois dans le plan (\bar{R}, \bar{T}), les dispersions restent limitées. De plus, on observe que cette anisotropie pilote le type d'amorçage de la

rupture, sans altérer de façon significative la résistance globale de l'éprouvette. C'est un point intéressant pour les applications industrielles qui, pour des raisons économiques, ne peuvent pas prendre en compte cette anisotropie. Malgré tout, il apparaît que les valeurs les plus faibles sont associées à une amorce de rupture sous la forme d'une fissuration suivant la direction radiale du bois qui ne correspond pas forcément à la section minimale, Cf. figure 5.

3 Etude du hêtre soudé sens fil

3.1 La géométrie des éprouvettes

L'assemblage par soudure étant moins performant que le bois des substrats, il n'est pas nécessaire de faire une réduction de l'épaisseur de la zone d'étude. Quelques essais ont permis de comparer les résultats pour des éprouvettes avec ou sans réduction d'épaisseur, il n'a pas été décelé d'influence notable. Les essais présentés concernent les éprouvettes d'épaisseur constante comme le montre la figure 8.

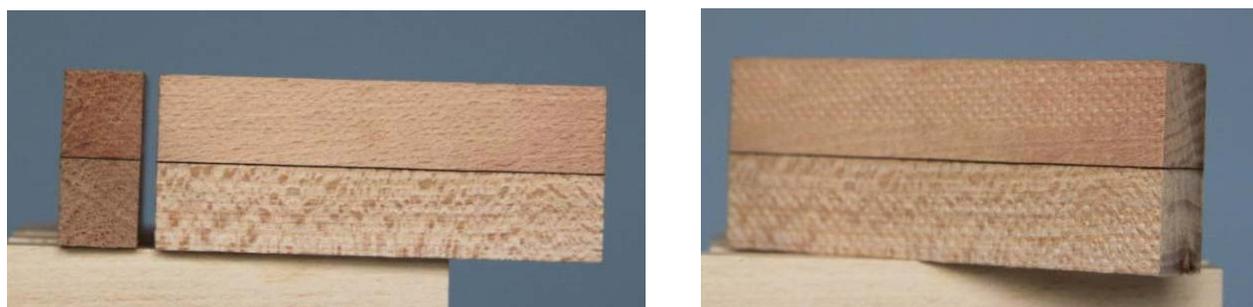


Figure 8 : Géométrie des éprouvettes soudées

3.2 Résultats des essais sur bois soudé

Comme pour le bois monobloc, 6 à 7 éprouvettes ont été testées pour chacune des sept directions de chargement. Les contraintes sont déduites de l'effort à rupture, de la direction de chargement et de l'aire de la section. Il n'y a pas de pondération de ces valeurs, une analyse numérique faite dans un premier temps sans modéliser le joint soudé a montré que les contraintes sont sensiblement uniformes dans le plan de la soudure. Le tableau ci-dessous donne les valeurs moyennes et les écarts types mesurés.

Direction de chargement	0°	22,5°	45°	67,5°	90°	112,5°	135°
Contrainte normale : - Moyenne (MPa)	1,50	1,44	0,93	0,75	0	-2,62	-9,76
- Ecart type	0,99	0,97	0,27	0,49		1,13	2,02
- Ecart type / Moyenne (%)	66	67	29	65		43	21
Contrainte Tangentielle : - Moyenne (MPa)	0	0,60	0,93	1,82	3,41	6,32	9,76
- Ecart type		0,40	0,27	1,18	2,25	2,72	2,02
Ecart type / Moyenne (%)		67	29	65	66	43	21

On observe que les performances des joints soudés utilisés pour cette étude sont nettement inférieures à celles du bois monobloc et qu'elles sont associées à des dispersions très significatives. Dans quelques cas, l'observation des zones de rupture permet d'identifier des défauts significatifs comme le montre la figure 9, mais ce n'est pas général, pour la majorité des éprouvettes rompues pour de très faibles charges, il n'y a pas de défaut visible sans grossissement.



Figure 9 : Défaut de soudure

4 Comparaison des enveloppes de rupture

La figure 10 permet de comparer l'enveloppe de rupture du bois soudé à celle du bois monobloc pour les différentes directions de chargement. Ces résultats montrent une très grande sensibilité de la résistance du joint soudé à la contrainte normale et justifient l'intérêt d'utiliser un essai qui permet de contrôler cette contrainte normale et de la combiner à une contrainte tangentielle comme le fait l'essai Arcan.

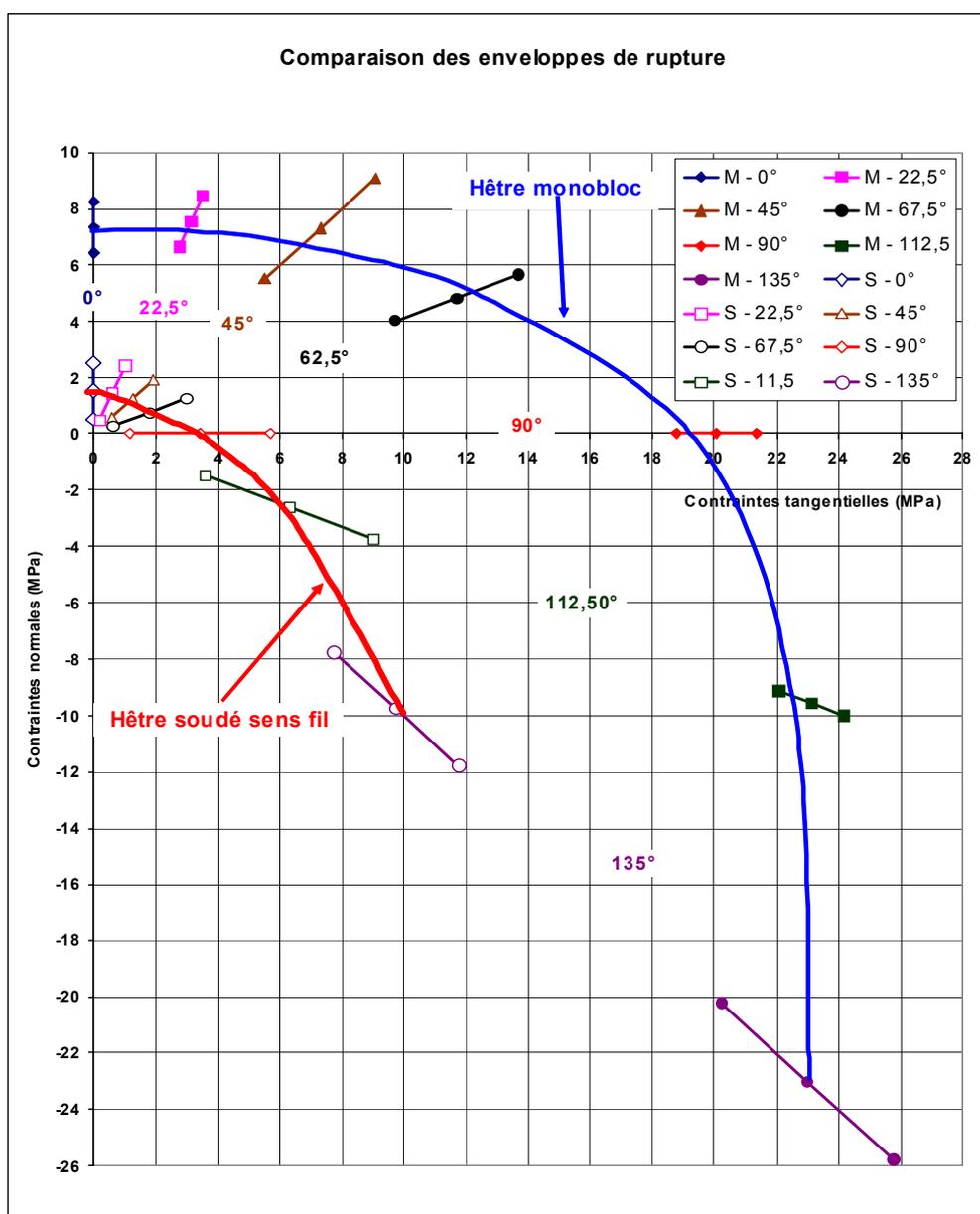


Figure 10 : Comparaison des enveloppes de rupture

Ces résultats font apparaître des performances modestes et des fortes dispersions pour les assemblages soudés. Il ne faut pas en tirer des conclusions immédiates, cette étude a été faite à partir d'échantillons issus de plusieurs lots pour lesquels le manque de traçabilité ne permet pas de connaître l'historique (nature des substrats, paramètres de soudage, conditions de vie après soudage, ...).

5 Conclusion et perspectives

Cette étude montre que l'essai Arcan présente des potentialités intéressantes pour évaluer la résistance des assemblages de bois soudés par friction et qu'il peut aussi présenter un intérêt pour caractériser la résistance du bois dans le sens transverse ou le comportement de bois collés pour des sollicitations de type hors plan.

Un suivi des conditions de réalisation et des conditions de vie après soudage des éprouvettes doit permettre de mieux analyser les dispersions sur la résistance de bois soudés par friction.

De plus, cet essai peut constituer un outil fiable d'aide à l'optimisation au titre de la résistance du procédé de soudage par friction. La recherche de corrélations entre les paramètres de soudage, les évolutions de l'enveloppe de rupture et des dispersions associées et l'exploitation de ces corrélations constituent un enjeu important pour le développement industriel de ce procédé.

References:

- [1] = S. Chen, L. Fang, X. Liu, R. Wellwood, Effect of mat structure on modulus of elasticity of oriented strandboard, *Wood Science and Technology* (2008) 42:197–210
- [2] = J.Y. Cognard, P. Davies, B. Gineste, L. Sohier, Development of an improved adhesive test method for composite assembly design, *Composites Science and Technology*, 65 (2005) 359-368.
- [3] = J.Y. Cognard, L. Sohier, P. Davies, A modified Arcan test to analyse the behaviour of composites and their assemblies under out-of-plane loadings", *Composites Part A*, 42 (2011) 111–121
- [4] = J. Follrich, A. Teischinger, W. Gindl, U. Müller, Effect of grain angle on shear strength of glued end grain to flat grain, joints of defect-free softwood timber, *Wood Science and Technology* (2007) 41:501–509.
- [5] = J. Garab, D. Keunecke, S. Hering,, J. Szalai, P. Niemz, Measurement of standard and off-axis elastic moduli and Poisson's ratios, of spruce and yew wood in the transverse plane, *Wood Science and Technology* (2010) 44:451–464
- [6] = P. Mackenzie-Helnwein, J. Eberhardsteiner, H. A. Mang, A multi-surface plasticity model for clear wood and its application to the finite element analysis of structural details *Computational Mechanics* 31 (2003) 204–218
- [7] = H. R. Mansouri ; P. Omrani ; A. Pizzi, Improving the Water Resistance of Linear Vibration-Welded Wood Joints, *Journal of Adhesion Science and Technology* 23 (2009) 63–70
- [8] = M. Oudjene, M. Khelifa, C. Segovia, A. Pizzi, Application of Numerical Modelling to Dowel-Welded Wood Joints, *Journal of Adhesion Science and Technology* 24 (2010) 359–370.