

Evaluation expérimentale du comportement hygro - mécanique des assemblages bois par la méthode du suivi de marqueurs

Octavian POP, Nicolas SAUVAT & Frédéric DUBOIS

Université de Limoges
Laboratoire 3MsGC, Centre Universitaire de Génie Civil d'Egletons
Boulevard Jacques DERCHE, 19300 Egletons
ion-octavian.pop@unilim.fr

Résumé :

*Le travail proposé concerne l'investigation expérimentale, par la technique optique du suivi de marqueurs (ou cibles), du comportement mécanique des assemblages bois. Le comportement hygro - mécanique des assemblages est étudié pour deux équilibres hydriques qui correspondent à la plage d'humidité moyenne rencontrée pour des structures bois ($w = 12\%$ et 20%). Des essais d'enfoncement instantanés jusqu'à la ruine ont été conduits sur des éprouvettes axiales et transversales en Douglas (*Pseudotsuga Mensiesii*). La stabilisation en humidité des éprouvettes est effectuée dans une enceinte climatique à température et humidité relative de l'air (HR) contrôlées. Les mesures de champs sont influencées par l'humidité et l'anatomie du bois.*

Abstract :

*This paper presents an experimental investigation of the mechanical behaviour of wood in dowel-type connections by optical technique of mark tracking. The hygro-mechanical behaviour of connections is studied for two moisture contents levels used in wood construction, 12% and 20% respectively. The embedment tests were carried out on parallel and transversal wood specimens into Douglas (*Pseudotsuga Mensiesii*). The equilibrium moisture content of specimens is realised into conditioning chamber of specified temperature and relative humidity (RH). Fields measurements are dependent on moisture content and wood anatomy.*

Mots-clefs :

Bois, Equilibre hygroscopique, suivi de marqueurs

1 Introduction

Selon les procédures d'essai de différents codes de construction (Eurocode 5 – NF EN 1995-1-1, américains – Larsen (1973) ou canadiens – CAN/CSA-086-01) la capacité résistante des assemblages est estimée par la mesure de la portance locale du bois. La détermination de caractéristiques de la portance locale d'éléments d'assemblage se fait à partir des essais de traction ou de compression parallèle ou perpendiculaire aux fibres. La densité du bois, le diamètre de la tige et la direction du chargement par rapport aux fibres sont trois des paramètres dont l'influence est prépondérante et prise en compte dans ces codes. Cependant les variations d'hygroscopie sont prises en compte d'une manière très globale dans ces codes, tout en sachant que les phénomènes de diffusion d'humidité dans le matériau sont très présents pour les ouvrages en bois placés en extérieur.

Le bois est un matériau hygroscopique, et sa teneur en eau modifie son comportement mécanique. Ce phénomène est déjà pris en compte dans les règles de l'art du dimensionnement des structures bois pour des éléments massifs. Son influence sur les points singuliers des

structures, les assemblages, est beaucoup moins connue. Pour comprendre le comportement des assemblages mécaniques de type tige (broches, boulons, pointes), les problématiques de contact, de frottement, de grandes déformations dans un matériau fortement anisotrope doivent être prises en compte. La complexité du comportement (environnement variable, hygroscopie, anisotropie, hétérogénéité), mais également à cause de la lourdeur des dispositifs expérimentaux utilisés, rend l'étude des assemblages bois assez délicat. Les méthodes optiques de mesure de champs sans contact, non perturbatrice, sont tout indiquées.

Afin de réaliser une analyse de champ relative au comportement mécanique de ce matériau naturel dans le contexte d'un assemblage pour deux classes d'humidité ($w = 12\%$ et 20%), nous avons utilisé la méthode optique de suivi de marqueurs. Cette campagne expérimentale permettra d'évaluer la pertinence de cette méthode pour caractériser des champs de déplacement localisés dans un matériau anisotrope.

3 Analyse expérimentale

Pour l'analyse expérimentale nous utilisons des éprouvettes ASTM Larsen (1973), Rammer *et al.* (2001), Soltis *et al.* (1991) sollicitées en compression (enfoncement). La sollicitation en compression parallèle ou perpendiculaire des éprouvettes, se fait en suivant la procédure de chargement prescrite par la norme EN 383 :1993. Cette procédure est représentée sur la figure 1.

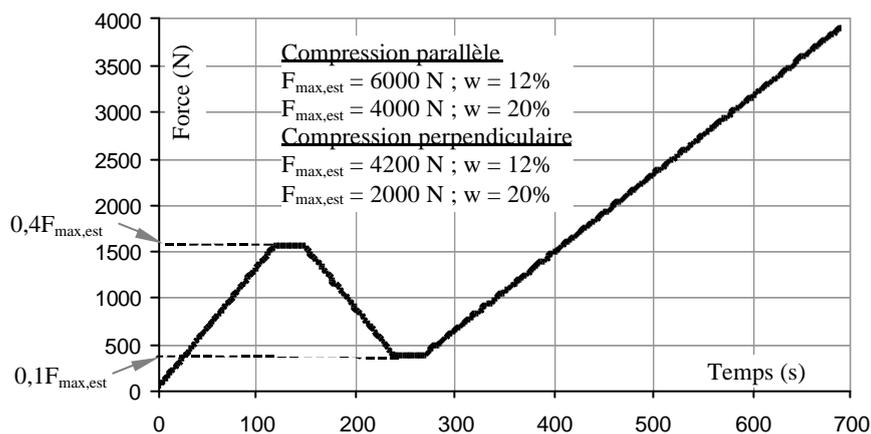


FIG. 1 – Procédure de chargement (EN 383:1993).

La force maximale estimée $F_{max,est}$ est imposée sur la base des essais préliminaires et sa valeur est conditionnée par la géométrie et le taux d'humidité de l'éprouvette.

La ruine de l'assemblage est constatée lorsque la force de rupture est atteinte ou lorsque l'enfoncement de la tige est égal à 5 mm.

3.1 Préparation des éprouvettes

Pour notre campagne de mesures expérimentales, nous avons choisi des éprouvettes avec des différentes textures (c. à d. débit sur dosse⁽¹⁾ et sur faux quartier⁽²⁾, figure 2). L'essence du bois utilisé pour la fabrication des éprouvettes testées est le Douglas (*Pseudotsuga Mensiesii*). Les dimensions géométriques de¹s éprouvettes sont : 6dx7dx2d pour les essais en compression

¹ Débit sur dosse = débit d'une pièce de bois dont le plus grand côté est scié tangentiellement aux cernes.

² Débit sur faux quartier = débit d'une pièce de bois où les cernes sont orientés à peu près à 45° par rapport aux côtés de la section.

parallèle et 8dx5dx2d pour les essais en compression perpendiculaire (où d = 8mm, le diamètre de l'élément d'assemblage, EN 383 :1993).

La simulation des conditions atmosphériques favorables pour une teneur en eau de 12% et 20% respectivement, est réalisée dans un caisson climatique à température et humidité relative de l'air (HR), contrôlées. Pour les éprouvettes avec un teneur en eau de 12% les paramètres d'environnement sont T = 20°C et HR = 70% alors que, pour un équilibre hygroscopique à 20%, on impose T = 30°C et HR = 90%. Une fois les éprouvettes conditionnées à masse constante, celles-ci sont soumises à des essais d'enfoncement instantanés à l'extérieur de l'enceinte climatique.

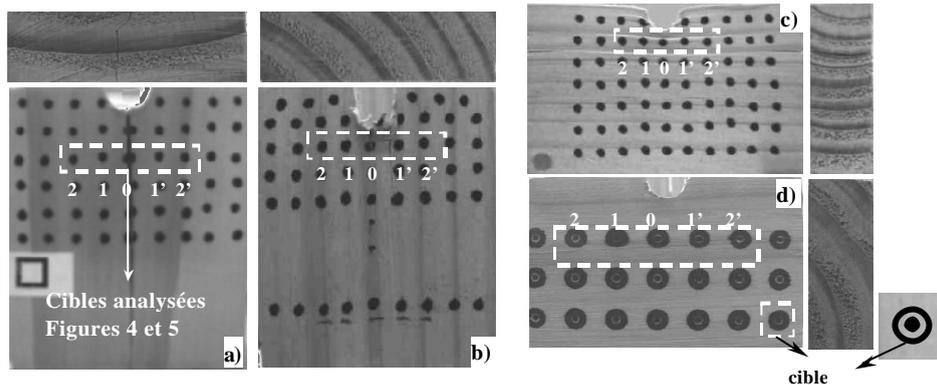


Fig. 2 – Eprouvettes ASTM - a) Enfoncement parallèle à 12% (débit sur dosse) ; b) Enfoncement parallèle à 20% (débit sur faux quartier) ; c) Enfoncement perpendiculaire à 12% ; d) Enfoncement perpendiculaire à 20% ;

3.2 Méthode de mesure. Suivi de marqueurs

Par son anatomie et sa structure alvéolaire multicouche, le matériau bois est particulièrement anisotrope et hétérogène avec une répercussion majeure sur son comportement mécanique. Dans ce cas, les déplacements ne sont pas homogènes sur tout l'échantillon bois. Pour réaliser une analyse de champ, plusieurs solutions sont envisageables, nous rappelons ici deux techniques : la méthode de corrélation Sutton *et al.* (1983) et le suivi de marqueurs Brémand *et al.* (1995). Compte tenu de sa simplicité de mise en œuvre, nous avons utilisé la technique de suivi de marqueurs, afin de pouvoir mettre en évidence l'évolution et l'hétérogénéité du champ de déplacement en surface de l'éprouvette.

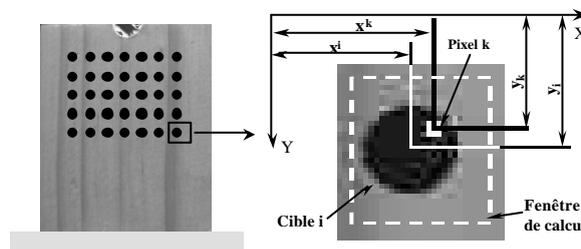


FIG. 3 – Suivi de marqueurs. Principe de la méthode

Le principe de la méthode est basé sur le calcul de positions successives de marqueurs au cours de l'essai. Les coordonnées de chaque marqueur sont calculées avec la relation (1) Brémand *et al.* (1995), Tié Bie *et al.* (2000).

$$x_i = \frac{\sum x_k (I_k - I_s)}{(I_k - I_s)} \text{ et } y_i = \frac{\sum y_k (I_k - I_s)}{(I_k - I_s)} \quad (1)$$

où : x_k et y_k sont les coordonnées des pixels dans la fenêtre de calcul (voir la figure 3), I_s l'intensité seuil et I_k l'intensité du pixel k .

L'avantage de cette méthode, par rapport aux procédés classiques, consiste dans le fait que par la disposition des marqueurs sur la surface de l'éprouvette, nous pouvons réaliser une mesure de champ sensible à la texture et à la structure de l'éprouvette.

Pour nos expérimentations, nous avons utilisé, comme il est montré à la figure 2, deux types de marqueurs (des points et des cibles). De plus, compte tenu de variations d'humidité et du caractère hygroscopique du matériau bois, les marqueurs sont appliqués sur la surface de l'éprouvette avant la stabilisation.

4 Résultats et discussion

Les essais d'enfoncement sont pilotés en déplacement à une vitesse de 0,012 mm/seconde et ont été effectués à température ambiante (environ 24°C). Les courbes force – déplacement représentées à la figure 4 mettent en évidence la différence de comportement macroscopique entre les quatre éprouvettes ASTM (figure 2) conditionnées à 12% et 20%, respectivement. L'enfoncement axial à 12% (a) montre un comportement rigide avec une fissuration qui apparaît lorsque la résistance maximale est atteinte. L'enfoncement transversal à 12 % (b) montre une rigidité moins importante dans la phase linéaire, mais le mode de rupture est très ductile. L'humidification du matériau assouplit les propriétés mécaniques du bois. Les essais à 20% montrent donc des comportements moins rigides, moins résistants et plus ductiles.

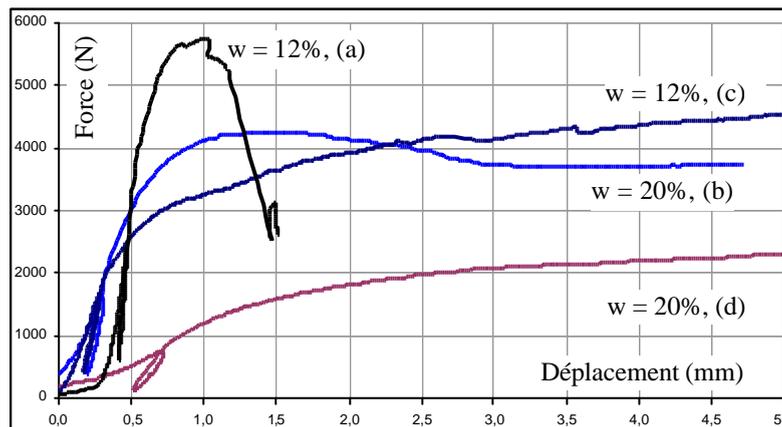


FIG. 4 – Courbes force-déplacements lors des essais d'enfoncement (a et b – éprouvette axiale ; c et d éprouvette transversale)

Les évolutions des déplacements U_x et U_y sont représentées sur les figures 5 et 6 pour les quatre configurations testées, en limitant la représentation à la phase de précharge.

En analysant les deux évolutions, nous pouvons constater que les champs de déplacements ne sont pas systématiquement symétriques ni homogènes. L'évolution des déplacements (U_x , U_y) est conditionnée par le pourcentage d'humidité et par la texture du bois au voisinage de chaque marqueur (bois initial ou bois final, voir la figure 2). Cet aspect est plus prononcé pour les éprouvettes avec une teneur en eau de 20%. Nous constatons également que la capacité de déformation de l'éprouvette augmente avec le pourcentage de teneur en eau au détriment de la capacité de résistance. Par exemple, pour une sollicitation en compression parallèle, l'amplitude des déplacements des marqueurs situés sur la zone initiale d'un cerne annuel (*cerne annuel = couche d'accroissement transversal produit pendant une année par l'arbre*) est plus importante que celle des marqueurs positionnés sur la zone finale.

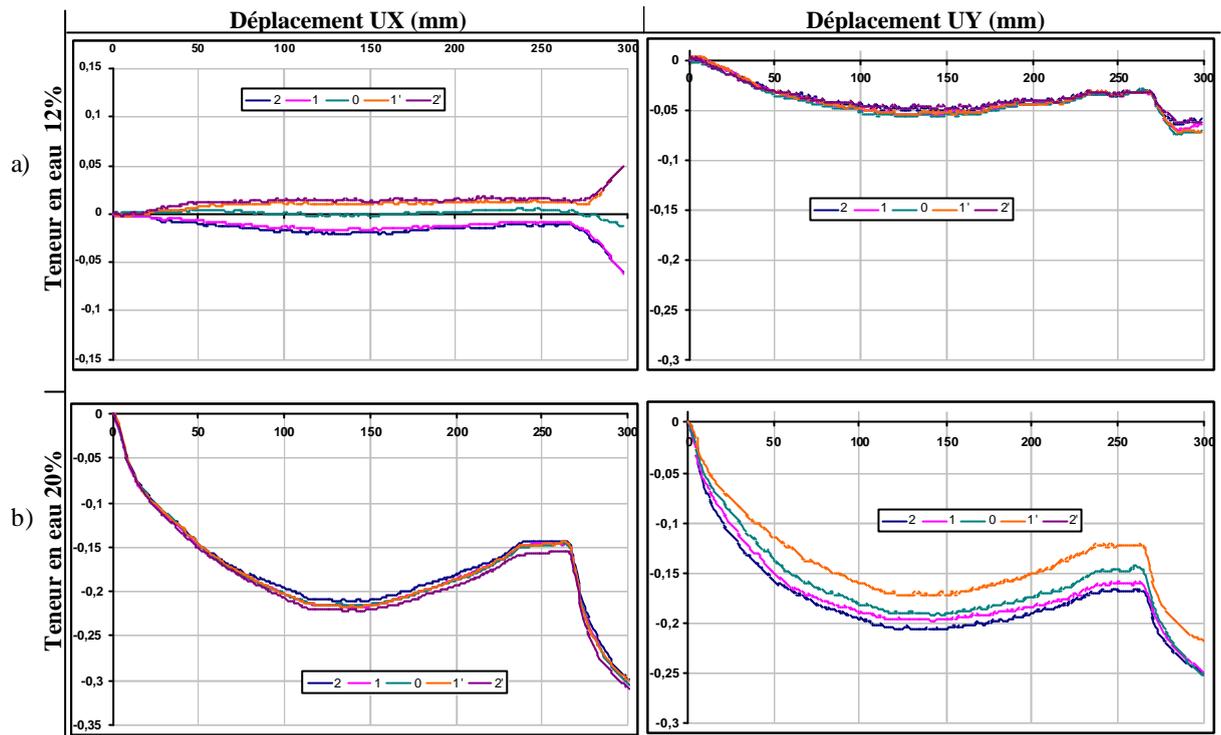


FIG. 5 – Enfoncement parallèle. Déplacements (mm) vs. Temps (s) - a) 12% ; b) 20%.

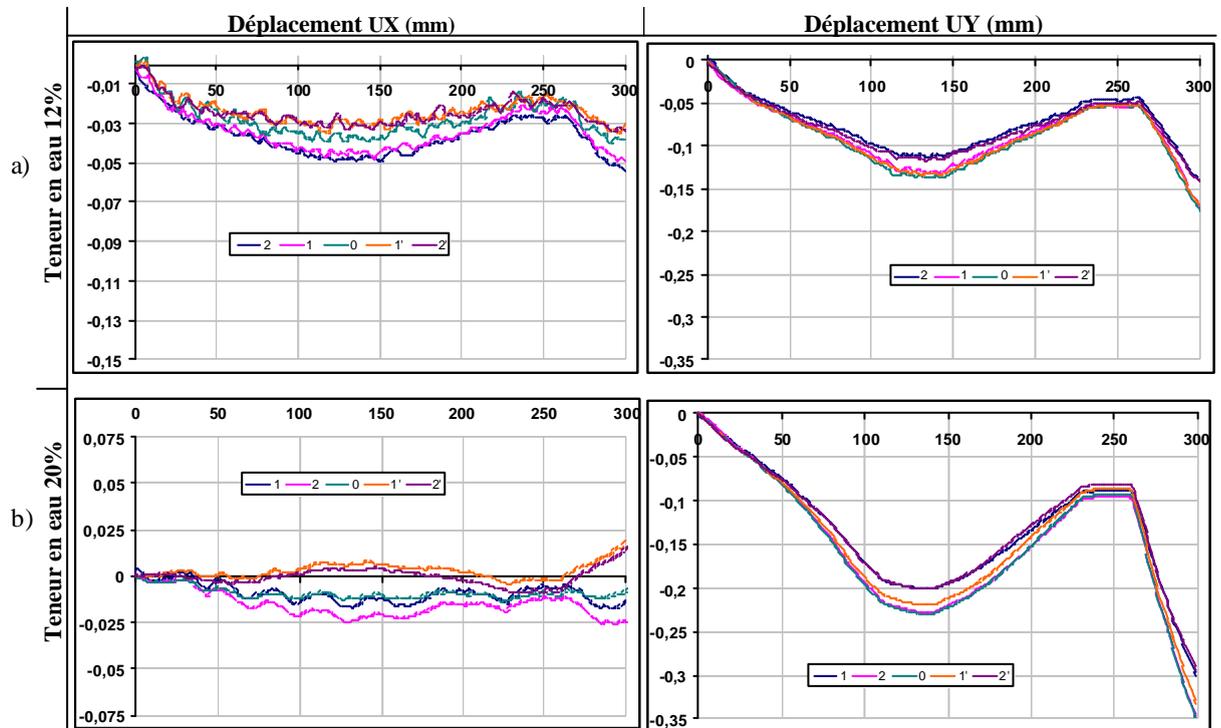


FIG. 6 – Enfoncement perpendiculaire. Déplacements (mm) vs. Temps (s) - a) 12% ; b) 20%.

5 Conclusions

Ce travail préliminaire n'est que la première étape d'une campagne de mesures expérimentales vers l'identification du comportement du matériau bois dans les assemblages mécaniques de type tige. Les essais montrent que la technique de suivi de marqueurs est bien adaptée pour des mesures ponctuelles et des mesures sur un champ. Les mesures effectuées, nous ont permis de mettre en évidence le comportement hétérogène du matériau bois et l'influence de l'humidité sur l'ampleur du champ de déplacements.

Références

- Brémand F., Dupré J.C. & Lagarde A. 1995 Mesure des déformations sans contact par analyse d'images, *Photomécanique 95 – Etude du comportement des matériaux et des structures*, Ed. Eyrolles, pp. 171-177.
- CAN/CSA-086-01 2003 Engineering Design in Wood (National Standard of Canada).
- Larsen H.J. 1973 The yield load of bolted and nail edjoint. IUFRO 5-20, Rep. South Africa, pp. 646- 654.
- NF EN 383:1993 Détermination de caractéristiques de fondation et de la portance locale d'éléments d'assemblage de type broche.
- NF EN 1995-1-1 2005 Eurocode 5 : Calcul des structures en bois. Partie 1-1.
- Rammer D.R. & Winistorfer S.G. 2001 Effect of moisture content on dowel-bearing strength. *Wood and Fiber Science*. **33**, 513-520.
- Soltis L.A. & Wilkinson T.L. 1991 United states adaptation of european yield model to large-diameter dowel fastener specification. In *Proceedings of the 1991 International timber engineering conference London* (London: TRADA), pp. 3.43-3.49.
- Sutton M.A., Wolters W.J., Peters W.H. & Ranson W.F. 1983 Determination of displacements using an improved digital correlation method. *Image and Vision Computing*. **3**, 133-139.
- Tié Bie R. & Dupré J.C. 2000 Thermomechanical parameters measurement by optical methods: Application on Polymers, *EUROMAT 2000 – Advances in mechanical behaviour, plasticity and damage*.