

Endommagement et comportement à la rupture au cisaillement de voile de panneaux en bois à lamelles orientées (OSB) sous différents environnements

B. REDJEL^a, A. REMADNIA^a & M. CHAPLAIN^b

a. Laboratoire Génie Civil, Université Badji Mokhtar Annaba, BP12, 23000, Annaba, Algérie.

b. I2M-GCE- Institut de Mécanique de Bordeaux – Département Génie Civil et Environnemental - Université Bordeaux 1, 33405, Talence cedex, France.

Résumé :

Le comportement mécanique en cisaillement de voile des panneaux OSB est très influencé par les conditions d'humidités sous lesquelles ces éléments sont mis. La résistance au cisaillement atteint une valeur optimale à l'humidité ambiante pour diminuer par la suite jusqu'à des valeurs à saturation, inférieures à celles enregistrées à l'état anhydre. Les éprouvettes conditionnées à l'humidité ambiante ($H=9\%$) montrent la plus grande résistance au cisaillement alors que celles saturées ($H>30\%$) sont les moins résistantes. Cette résistance au cisaillement de voile est influencée par la direction de découpe des éprouvettes par rapport à l'orientation des lamelles.

Abstract:

The mechanical behavior of planar shear of OSB panels is heavily influenced by moisture conditions in which they are put. Shear strength reaches a maximum at ambient humidity to decrease thereafter until saturation values lower than those recorded in the anhydrous state. Specimens conditioned at ambient humidity ($H = 9\%$) showed the highest shear strength while those saturated ($H > 30\%$) are less resistant. This shear strength is influenced by sailing the cutting direction specimens relative to the slat.

Mots clefs : bois OSB, humidité, cisaillement voile, résistance, orientation.

1 Introduction

Le lamellé collé en bois ainsi que l' OSB utilisé sous forme modifiée ou associé à d'autres matériaux est un produit qui permet d'obtenir des éléments de structure de dimensions et de portées importantes et de caractéristiques de résistance que le bois massif traditionnel ne peut offrir [1]. De nombreuses études ont permis de connaître les capacités de résistance mécanique de ce panneau reconstitué [2-3-4]. Ceci a nécessité la mise en place de nouvelles méthodes d'essais permettant d'appréhender les différents facteurs influant ses performances [5]. On peut citer les travaux de Thomas [6] pour la détermination du module de cisaillement longitudinal, ceux de L. Le Mangarou et al [7] pour la détermination des différents composants de la loi de comportement viscoélastique par une seule mesure du champ, ceux de M.A.A. Ashraf et al [8] sur l'influence du choix du matériau sur les propriétés de résistance de l'âme des poutres en I, ceux de P. Racher et al [9] sur l'influence de l'épaisseur de l'âme sur la résistance au cisaillement et enfin ceux de R.J.H. Thompson et al [10-11] sur l'endurance en fatigue de trois types de panneaux. Peu de travaux ont abordé l'influence de l'humidité sur les performances mécaniques de l'OSB [12]. Ses propriétés mécaniques sont très influencées par sa teneur en eau et par conséquent par l'environnement dans lequel il évolue et en particulier l'humidité relative (RH) de l'air ambiant [12-13]. Il a été montré que la teneur en eau modifie les résistances, les rigidités, la portance locale ainsi que l'équilibre global du bois [14-15]. D.W. Green et D.E. Kretschmann [16] dressant l'état de l'art sur la variation de la plupart des propriétés mécaniques du bois à différents taux d'humidité notent que, dans le domaine de service des structures porteuses, toutes les propriétés du bois augmentent quand le matériau sèche. L'objectif de ce travail est de déterminer la résistance au cisaillement de voile de panneaux en bois à lamelles orientées OSB conditionnés à différentes

teneurs en eau ainsi que d'étudier l'évolution de l'endommagement au cours du chargement. Il fait suite aux travaux déjà initiés par M. Chaplain dans ce domaine [12].

2 Démarche expérimentale

Les panneaux employés pour cette étude sont composés de lamelles de résineux minces et orientées provenant de bois d'éclaircies et sont de type OSB3, de 10 mm d'épaisseur couramment utilisés en construction. Les lamelles sont encollées par un liant organique suivant trois couches croisées. Les panneaux OSB ont été cisailés suivant leur longueur (utilisation en contreventement) ce qui a nécessité la mise en place d'un dispositif expérimental spécifique. Trois lots d'éprouvettes ont été usinés dans la direction L parallèle aux fibres (sens de la longueur) et dans la direction T perpendiculaire aux fibres (sens de la hauteur) et ont été conditionnés sous 3 taux d'humidité. Les éprouvettes ont été conditionnées en milieu quasi anhydre ($H= 0\%$), à la température ambiante ($H= 9\%$) et en milieu humide ($H= 75\text{ à }100\%$). En milieu sec, les échantillons ont été placés dans un four à la température constante de $105\text{ }^\circ\text{C}$ pendant une semaine. Le conditionnement en milieu humide est pratiqué par immersion partielle, sur 2 cm, dans un bac rempli d'eau pendant une semaine. Les éprouvettes sont finalement égouttées pendant 1 à 2 jours sur une grille disposée dans un bac hermétique au fond duquel repose un lit d'eau, afin de conserver une atmosphère humide. Pour le conditionnement en milieu ambiant, les éprouvettes sont disposées à l'air ambiant. L'usinage des éprouvettes a été réalisé avec un rapport de 0.7 par rapport à la géométrie décrite par la norme NF EN 789 à cause de la capacité réduite de la presse [17]. La figure 1 schématise la géométrie de ce type d'éprouvette.

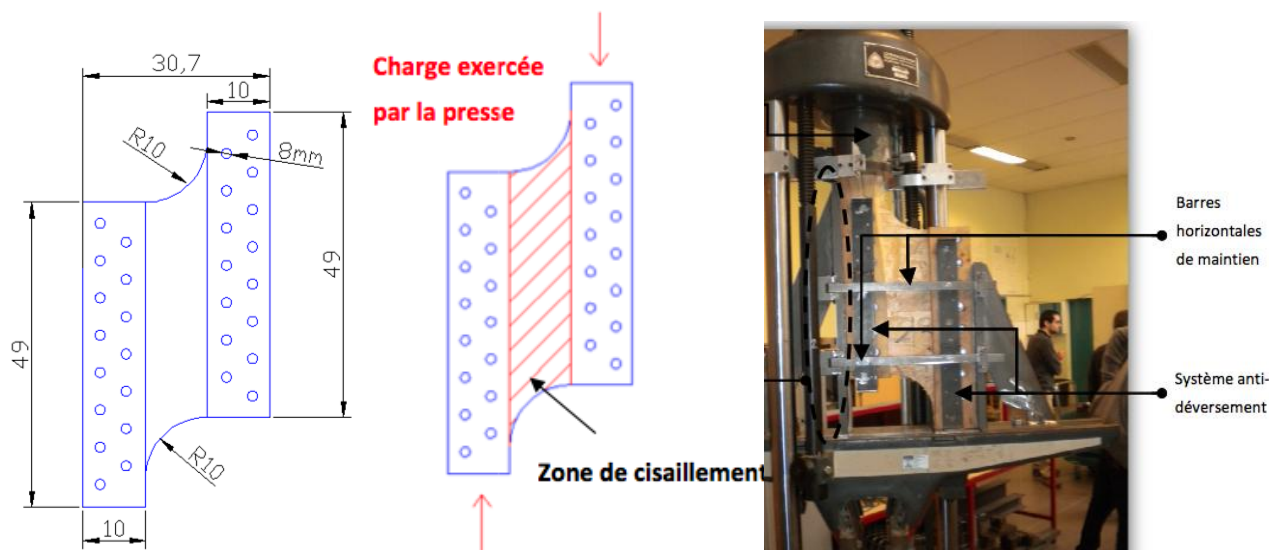


FIG. 1- Eprouvette utilisée en cisaillement de voile et dispositif d'essai

Les essais ont été effectués sur une presse hydraulique de 20 tonnes. L'éprouvette est placée dans un dispositif spécialement conçu pour cette opération, la maintenant parfaitement plane au cours de l'essai par l'intermédiaire de 4 montants boulonnés en bois massifs de 10 mm d'épaisseur. L'essai consiste à appliquer un effort de compression à l'échantillon. Lors de la mise en charge, la partie basse de la presse va progressivement monter à la vitesse de 1 mm/min, comprimant ainsi l'éprouvette jusqu'à la rupture. Les éprouvettes testées sont placées dans une étuve à $105\text{ }^\circ\text{C}$, pendant une semaine puis pesées de nouveau pour déterminer leur taux d'humidité au moment de l'essai.

3 Résultats et discussions

La figure 2 montre un exemple de courbe charge-déplacement enregistrée dans la direction d'orientation T pour les trois teneurs en eau étudiés. En général, ces courbes présentent la même allure avec une partie quasi linéaire au début de l'essai et qui traduit la réponse élastique du bois suivie d'une partie non linéaire caractérisant l'endommagement progressif qui s'opère au sein du matériau au cours du chargement. Il est difficile de localiser avec précision le point de transition qui dépend de la nature de chaque

éprouvette et qui annonce les premiers signes de dommage, ni de quantifier le niveau de contrainte de son apparition. Cet endommagement se produit et se développe sous forme de rupture des fibres et des lamelles, de décohésion dans le plan de collage des lamelles, de dégradation et de cassure dans les liaisons de l'adhésif, de détérioration progressive de la colle. Tous ces phénomènes combinés interagissent ensemble et s'accroissent avec l'augmentation de la charge pour provoquer la ruine du panneau.

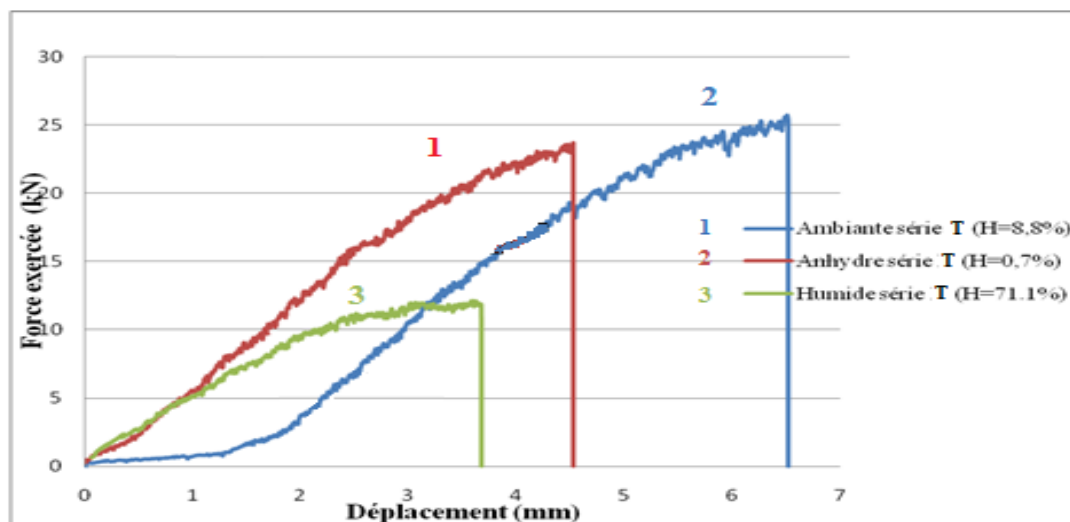


FIG. 2- Exemple de courbe charge-déplacement (orientation T)

Le tableau 1 rassemble les valeurs moyennes des contraintes de cisaillement enregistrées ainsi que celles des teneurs en eau pour les trois environnements et pour les deux sens d'orientation L et T.

Tableau 1 : Valeurs moyennes des contraintes de cisaillement τ et des teneurs en eau H(%)

conditionnement	anhydre		Ambiant		Humide	
	L	T	L	T	L	T
τ (MPa)	3.6	4.9	4.7	6.1	2.3	2.5
rapport T/L	1.36		1.29		1.09	
teneur en eau	0.3%	0.7%	8.4%	8.8%	64%	71%

Les valeurs mesurées se caractérisent par une dispersion au sein d'une même série. Cette dispersion est admise aujourd'hui comme une caractéristique des matériaux hétérogènes et fibreux et peut avoir dans notre cas des origines multiples comme les irrégularités des fibres à l'intérieur de l'OSB, l'orientation des lamelles qui sont rarement comparables d'un échantillon à l'autre ainsi qu'à la présence de microdéfauts de différentes dimensions aléatoirement distribués au sein de la structure de l'OSB. Par ailleurs il est difficile d'obtenir un taux d'humidité constant en ambiance humide une fois le point de saturation des fibres de l'OSB dépassé ($H_s=30\%$ environ). En effet la disparité dans les teneurs en eau est significative et varie aussi d'une éprouvette à une autre (H de 59% à 100%) alors que ces dernières ont toutes été soumises au même conditionnement. Il est à noter que les teneurs en eau des éprouvettes humides restent largement supérieures à la teneur en eau de saturation de l'OSB (tableau1). Ces valeurs élevées des humidités sont liées surtout au processus de conditionnement. En effet, en situation humide, les éprouvettes ont été placées dans un bac avec un fond d'eau. La partie inférieure de l'éprouvette d'environ 2 cm était toujours en contact avec l'eau et par capillarité cette dernière se propage dans la poutre ; le conditionnement a duré une semaine. Cette configuration «très saturée» a surtout pour but de simuler le comportement d'un mur en OSB d'une construction ayant subi une inondation. Signalons que la teneur en eau moyenne est obtenue par pesée de

l'éprouvette humide lors de l'essai puis après séchage en étuve à 105 °C [18].

La valeur de la contrainte mesurée est inférieure de 30% dans la direction T et de 10% dans la direction L par rapport à la valeur caractéristique de 6.8 MPa définie par la norme NF EN 300 en condition ambiante. L'histogramme de la figure 3 montre les rapports entre les contraintes de cisaillement mesurées dans les sens de découpe T (hauteur) et celles mesurées dans le sens de découpe L (longueur) par rapport au panneau pour les trois taux d'humidité étudiés.

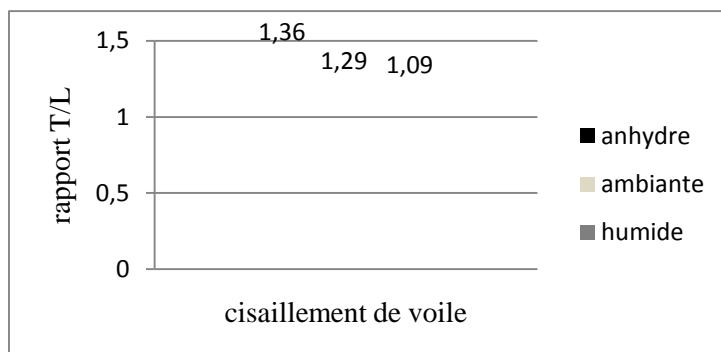


FIG. 3- Rapport des contraintes de cisaillement direction T (sens hauteur) sur direction L (sens longueur)

Les valeurs mesurées sur les éprouvettes possédant des lamelles dans leurs couches supérieures disposées dans le sens de la hauteur (direction T) c'est-à-dire perpendiculaire à la direction de l'effort de compression, sont légèrement supérieures à celles mesurées dans le sens L des éprouvettes possédant des lamelles réparties dans le sens de la longueur et ce pour les trois taux d'humidité. Cette différence de résistance est plus importante pour les éprouvettes anhydres (1.3MPa) et sèches (1.4 MPa) et décroît avec l'augmentation du taux d'humidité (0.2 Mpa pour le cas humide). Il semble ainsi dans ce cas que pour une utilisation en contreventement, il est préférable de disposer les couches externes des lamelles des panneaux suivant une direction perpendiculaire à l'effort engendré. La variation de la contrainte de cisaillement en fonction du taux d'humidité des éprouvettes pour les deux sens de découpe est montrée sur la figure 4.

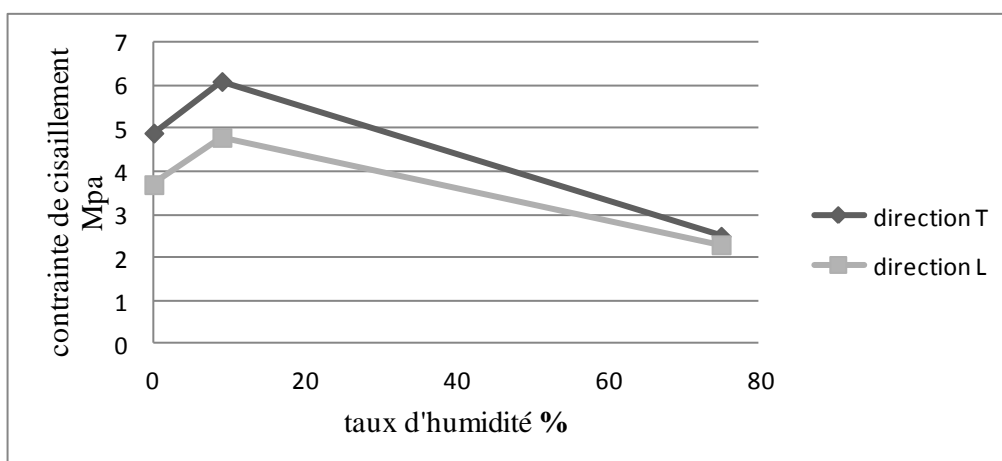


FIG. 4- Variation de la contrainte de cisaillement en fonction du taux d'humidité

La résistance au cisaillement croît avec le taux d'humidité jusqu'à une valeur optimale correspondante à l'humidité ambiante pour diminuer par la suite jusqu'à des valeurs à saturation, inférieures à celles enregistrées à l'état anhydre. Au delà du point de saturation des lamelles, la contrainte de cisaillement tend à

se stabiliser. Cette tendance rejoint celle déjà constatée et rapportée par Chaplain [12] sur des matériaux similaires. Les propriétés du matériau bois ne semblent plus varier avec la teneur en eau et se maintiennent constantes au dessus du point de saturation. Il apparaît pour les deux orientations de découpe, que ce sont les éprouvettes conditionnées à l'humidité ambiante ($H=9\%$) qui montrent la plus grande résistance au cisaillement alors que les éprouvettes saturées ($H>30\%$) sont les moins résistantes vis-à-vis du cisaillement. Le rapport des résistances entre les deux états ($H=9\%$ et $H>30\%$) est respectivement d'environ 2,4 et 2. Par rapport à l'état ambiant, cette résistance au cisaillement chute en moyenne d'environ 20% lorsque l'OSB est sec (milieu anhydre directions L et T) et de 51% (direction L) et 59% (direction T) lorsque l'OSB est saturé. Le bois est hygroscopique et sa teneur en eau interne varie en fonction des conditions climatiques de l'environnement. L'eau adsorbée sous forme d'eau libre n'a pas d'influence significative sur le comportement mécanique. Par contre la partie de l'eau adsorbée appelée «eau liée» interagit dans la paroi cellulaire sur les polymères constitutifs de la matière ligneuse. Cette hydrolyse partielle occasionne certainement des modifications du comportement mécanique qui se manifestent pendant les essais et qui se traduisent par une réduction de la résistance au cisaillement.

Lors de l'essai de cisaillement de voile mené jusqu'à la rupture de l'échantillon, il apparaît d'abord la formation de facettes de rupture situées à environ 45° au niveau des arcs de cercles de l'éprouvette. Les deux fissures engendrées par ces facettes se propagent au cours du chargement pour se rejoindre et amener la ruine de l'échantillon. La figure 5 montre un exemple de ce mode de rupture.



FIG. 5- Exemple d'une éprouvette rompue en cisaillement de voile

Les valeurs de l'énergie totale de rupture W sont estimées par la détermination de l'aire sous chaque courbe contrainte-déformation pour chaque éprouvette testée et pour les trois conditionnements. Ces valeurs sont résumées dans le tableau 2. Il apparaît que l'énergie nécessaire à la rupture est plus importante dans le cas des éprouvettes conditionnées à l'humidité ambiante ce qui est en concordance avec les résultats de mesure des contraintes de cisaillement.

Tableau 2 : Valeurs moyennes de l'énergie de rupture W en cisaillement voile

Energie de rupture (J)	Milieu anhydre (0,7%)	Milieu ambiant (8,8%)	Milieu humide (71%)
W sens hauteur (T)	6	7,7	2,9
W sens longueur (L)	3	5,7	2,6
Rapport W(T)/W(L)	2	1,35	1,12

4 Conclusion

Le comportement mécanique en cisaillement de voile des panneaux OSB est très influencé par les conditions d'humidités dans lesquelles ils sont soumis. La résistance au cisaillement atteint une valeur optimale à l'humidité ambiante. Pour une utilisation en contreventement par exemple, il semble plus pertinent de disposer les couches externes des lamelles des panneaux suivant une direction perpendiculaire à l'effort engendré.

Remerciements

L'ensemble des essais mécaniques de cisaillement ont été réalisés à l'unité sciences du bois et des biopolymères USB2, nouvellement rebaptisée GCE/I2M de l'Université Bordeaux 1 (France). Les auteurs remercient tout le personnel du laboratoire ainsi que les stagiaires A. Roudier et Q. Beaufreton pour leur aide.

References

- [1] Abdallah A., Etude de la faisabilité d'un bois lamellé-collé à partir d'essence Algérienne, mémoire de magister, département génie civil, Université de Guelma, 2011.
- [2] Ashraf A. & Noboru S., veneer strand flanged I-beam with mdf or particle board as web material III: effect of strand density and preparation method on the basic properties, *J. of wood sci.*, 51, 5, 492-497, 2005.
- [3] Ashraf A. & S. Noboru, Veneer strand flanged I-beam with mdf or particle board as web material IV: effect of web material types and flange density on the basic properties, *J. of wood sci.*, 52, 167-172, 2006.
- [4] Racher P., Bocquet J.F. & Bouchair A., Effect of web stiffness on the bending behavior of timber composite I-beams", *materials and design*, 28, 844-849, 2007.
- [5] Roudier A., Etude du comportement en cisaillement des panneaux OSB (ames des poutres en I) : effet du vieillissement accéléré et de la teneur en eau » Rapport de stage de 3^{ème} année, unité science du bois et des biopolymères, Ecole supérieure du bois de Nantes, 2008.
- [6] Thomas W., Planar shear moduli of rigidity of an oriented strand board from bending and shear tests *Materials and Structures*, 37, 480-484, 2004.
- [7] Le Mangourou L., Bos F. & Rouger F., Identification de lois de comportement élastique et viscoélastique par mesure de champs, *Méc. et Ind.*, 4, 673-677, 2003.
- [8] Ashraf A. & Noboru S., Veneer strand flanged I-beam with MDF or particleboard as web material IV: effect of web material types and flange density on the basic properties" *J. of wood sci.*, 52, 167-172, 2006.
- [9] Racher P., Bocquet J.F. & Bouchair A., Effect of web stiffness on the bending behavior of timber composite I-beams, *Materials and Design*, 28, 844-849.
- [10] Thompson R.J.H., Ansell M.P., Bonfield P.W. & Dinwoodie J.M., Fatigue in wood-based panels. Part 1: the strength variability and fatigue performance of OSB, chipboard and mdf" *Wood science and technology*, 36, 255-269, 2002.
- [11] Thompson R.J.H., Ansell M.P., Bonfield P.W. & Dinwoodie J.M., Fatigue in wood-based panels. Part 2: proper. changes during fatigue cycling of OSB, chipboard and mdf" *Wood sci. and techn.*, 39, 311-325, 2005
- [12] Chaplain M. & Roudier A., Effet de la teneur en eau et du vieillissement accéléré sur les résistances au cisaillement des panneaux OSB, *AUGC*, 1-14, 2009.
- [13] Remadnia A., Redjel B. & Chaplain M., Influence of the environmental effect on the rolling shear behavior of wooden panels of oriented strand boards (OSB), first international conference on innovative materials and techniques, CIMT 2012, November 12-15, Hammamet, Tunisia, 2012.
- [14] Navi P. & Heger F., Comportement thermo-hydromécanique du bois, applications techniques et sans structures, presses poly. univ. romandes, CH-1015, Lausanne, Suisse, 2005.
- [15] Benabou L. & Duchanois G., Modeling of hygroelastic behavior of a wood-based composite for construction, *composites science and technology*, 67, 1, 45-53, 2007.
- [16] Kretschmann D.E. & Green D.W., Moisture content-specific gravity relationships for clear southern pine, *proceedings of inter. wood eng. conf.*, New Orleans, State University, 2, 536-542, 1996.
- [17] Bouchair A., Modélisation non linéaire du comportement local des assemblages bois, thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont 2, France, 1993.
- [18] Remadnia A., «Etude de l'influence de la rhéologie sur les propriétés mécaniques des panneaux OSB en bois, en particulier le cisaillement», rapport de stage, Unité sciences du bois et des biopolymères, Université Bordeaux 1, France, 2010, p. 31