Comportement expérimental aux cisaillements roulant et de voile de panneaux en bois à lamelles orientées (OSB) conditionnés sous différents environnements

Panel and planar experimental shear behavior of wood panels laminated softwood oriented OSB conditioned at different environments

Abbes Remadnia[*1], Bachir Redjel[1] & Myriam Chapelain[2]

[1] Laboratoire de Génie Civil, Université Badji Mokhtar, BP 12, 23000, Annaba, Algérie.
[2] I2M-GCE- Institut de Mécanique de Bordeaux – Département Génie Civil et Environnemental - Université Bordeaux 1, 33405, Talence cedex – France.

Soumis le 12/01/2016 *Révisé le 25/07/2016* *Accepté le 08/09/2016*

ملخص

لقد اجريت العديد من التجارب بالنسبة لاجهاد القص المتداول وفق السمك واجهاد القص الطولي على صفائح خشبية من الصف الثالث بسمك 10 سم حيث اخضعت هذه النما ذج التجريبية الى ظروف بيئية مختافة (وسط جاف وسط طبيعي ثم وسط مشبع ثم قياس المقاومة وفق طول هذه الشرائح و كذلك في الإتجاه العمودي للألياف يعني وفق السمك باستعمال جهازين مختلفين . نلاحظ حسب النتائج ان اتجاه عملية القص لا تؤثر كثيرا في المقاومة في حين نلاحظ ارتفاع هذه الأخيرة بدلالة المحتوى المائي إلى قيمة مثلى تعادل 9 بالمائة (وهو الوسط الطبيعي) ثم تبدأ المقاومة في الإنخفاض و يستنتج أن الشرائح الموضوعة تحت الظروف الطبيعية تظهر أعلى مقاومة للقص بالنسبة للصنفين الآخرين الجاف و المشبع كما أن النسبة بين مقاومة الشرائح الخاضعة للوسط الطبيعي و الخاضعة للوسط المشبع تعادل 2 (بمعنى الضعف) مع ملاحظة التشتت في النتائج وهو راجع إلى طبيعة هذه المواد الليفية . ويهدف هذا البحث الى بيان الاستعمال الامثل للمواد الخشبية تحت تاثير رطوبة الجو ومفعول المياه على المقاومة عامة ومقاومة القص خاصة.

الكلمات المفتاحية : صفائح خشبية موجهة- مقاومة القص المتداول- مقاومة القص الطولي – البيئة – نسبة الرطوبة

Résumé

Des essais de cisaillement roulant, suivant l'épaisseur, et de voile, suivant la longueur ont été réalisés sur des panneaux d'OSB classe 3 de 10 mm d'épaisseur à trois teneurs en eau H (milieu sec H=0%, milieu ambiant H= 9% et milieu saturé H>30%). La résistance au cisaillement a été mesurée sur des éprouvettes, taillées pour moitié dans le sens de la longueur du panneau (L) et pour moitié dans le sens perpendiculaire ou transversal (T) en utilisant deux dispositifs expérimentaux distincts. Les résultats de mesure se distinguent par une dispersion caractéristique de ces matériaux fibreux. Le sens de la découpe influe peu sur la résistance au cisaillement laquelle montre une augmentation avec l'élévation de la teneur en eau jusqu'à un optimum proche de 9% (humidité ambiante) pour décroître par la suite. Les éprouvettes conditionnées à l'humidité ambiante H=9% affichent la plus grande résistance au cisaillement et les éprouvettes saturées en humidité sont les moins résistantes vis-à-vis du cisaillement dans les deux cas traités. Le rapport entre les résistances en milieu ambiant et en milieu humide (saturation) est d'environ 2. Par ailleurs, la résistance au cisaillement de voile est très importante par rapport à celle mesurée dans le cas du cisaillement roulant pour les différents environnements.

Mots clés : panneau en bois lamellé orienté- résistance au cisaillement roulant – résistance au cisaillement de voile – environnement – taux humidité.

Abstract

Panel shear strength along the thickness and planar shear along the length of wood panels laminated softwood oriented OSB 10 mm thick, conditioned at different moisture contents (anhydrous medium, ambient temperature and humid medium) was measured on standardized test specimens, cut in half lengthwise panel (L) and half in the perpendicular or transversal direction (T) using two different experimental devices. The measurement results are characterized by a scatter characteristic of these fibrous materials. The cutting direction has little effect on the shear strength which shows an increase with increase in moisture content up to an optimum moisture at ambient temperature to decrease thereafter. Specimens conditioned at ambient moisture showed highest shear strength and moisture saturated specimens are less resistant toward the shear in both cases treated. The ratio between the two is about 2. In addition, the planar shear strength is very large compared to that measured in the case of panel shear for different environments.

Keywords : oriented strand board – panel shear strength- planar shear strength - environment – moisture content

[*] *Auteur correspondant : abbesremadnia 922 @yahoo.fr*

©UBMA - 2016

1. INTRODUCTION

Considéré comme un matériau renouvelable et respectueux de l'environnement, le bois devient une alternative de plus en plus convaincante de remplacement aux autres matériaux comme l'acier, le béton ou le béton armé dans le domaine du génie civil et de la construction. Ce matériau qui n'est plus aujourd'hui seulement le premier matériau de construction dans plusieurs régions du monde comme l'Amérique du Nord ou certains pays d'Europe de l'Ouest est aussi présent dans la nomenclature des matériaux privilégiés utilisés dans les technologies avancées sous forme modifiée ou associé à d'autres matériaux. Ainsi, le lamellé collé est un de ces produits qui permet d'obtenir des éléments de structure de dimensions et de portées importantes et de caractéristiques de résistance que le bois massif ne peut garantir ou offrir. Les recherches en ce qui concerne ce matériau permettent aujourd'hui par la mise en place de nouvelles méthodes d'essais de mieux appréhender toutes ses capacités notamment du point de vue de sa résistance mécanique sous différentes sollicitations ainsi que des différents facteurs influant ses performances [1-2-3-4]. Il devient alors de plus en plus courant de voir apparaître des structures complexes comme des bâtiments ou même des ponts entièrement construits en bois. Cependant, les propriétés mécaniques du bois sont influencées par sa teneur en eau et donc par l'environnement dans lequel il évolue et en particulier l'humidité relative RH de l'air ambiant [5-6-7-8-9-10]. P. Bekhta et P. Niemz [10], étudiant expérimentalement l'effet de l'humidité relative sur les propriétés physico mécaniques de différents panneaux fibrés en bois de différentes densités concluent que la chute de la résistance à la flexion et du module d'élasticité se produit comme étant la conséquence de l'augmentation du taux d'humidité. Ils notent une solide corrélation linéaire entre l'absorption d'eau et la résistance à la flexion dans les matériaux testés. Les mêmes constats de chute de la rigidité en flexion et de celle de la résistance à la rupture avec l'augmentation du taux d'humidité de panneau à lamelles orientées OSB commercialisés ont été relevés auparavant dans une ancienne étude par Q. Wu [7]. Des modèles de prédiction de ces deux paramètres en fonction du taux d'humidité ont été établis ainsi pour divers produits. P. Navi et F. Heger [11] montrent qu'il existe un couplage entre la contrainte mécanique et la variation de la teneur en eau du bois. En effet, sous un chargement mécanique, lorsque le bois est soumis à une variation hydrique, les contraintes internes se relaxent et sa déformation différée s'accélère. Ainsi la teneur en eau modifie les résistances, les rigidités, la portance locale ainsi que l'équilibre global du bois [12]. Des applications récentes dans des infrastructures de génie civil comme les ponts ou les passerelles posent de manière sérieuse le problème du comportement du bois dans des environnements à humidité variable. La perturbation du comportement mécanique du bois ainsi que les variations de ses propriétés mécaniques dues à l'humidité très peu abordées par l'expérimentation et la simulation numérique, les phénomènes de fluage, et les risques de fissuration ainsi engendrés restent encore mal maîtrisés [12]. Il parait ainsi essentiel d'être en mesure de prévoir son comportement vis-à-vis des chargements auxquels il devra être soumis durant sa phase d'exploitation dans toutes les conditions. D.W. Green et D.E. Kretschmann [13] dressant l'état de l'art sur la variation de la plupart des propriétés mécaniques du bois à différents taux d'humidité se sont intéressés à la résistance en traction, en compression, en flexion, au cisaillement, au module d'élasticité et à la résistance à la rupture en mode de fissuration I et II. Ils notent que, dans le domaine de service des structures porteuses, toutes les propriétés du bois augmentent quand le matériau sèche. Les résultats de mesure de la résistance du bois en fonction des teneurs en eau rapportés dans la littérature signalent une forte dispersion [11-12].

La plupart des études ont pour objectif la prévision de la résistance à la rupture à humidité constante. Peu de travaux ont abordé l'influence de l'humidité sur les performances mécaniques de l'OSB. Cependant les problèmes de gonflement et ses conséquences négatives sur les performances mécaniques de l'OSB, ainsi que les différents paramètres qui l'influencent ont été traités et rapportés dans la littérature [12]. En fatigue sous une sollicitation cyclique, le comportement de l'OSB a été étudié par R.J.H. Thompson et al [14] qui montrent que la rigidité de ce matériau est peu influencée par la durée de cyclage.

Une synthèse de l'état de l'art relative aux effets des phénomènes de fatigue et à ceux de

©UBMA - 2016

l'humidité sur les performances cycliques des panneaux à base de bois a été dressée et établie par J. Pritchard et al. [15]. Cette étude rapporte une littérature exhaustive des influences du taux d'humidité sur la durée de vie, l'endurance et la réponse cyclique dans le temps des produits à base de bois [16-17]

Concernant la modélisation du comportement du bois, celle-ci a ainsi fait l'objet de deux approches différentes. R.J. Astley et al. [18] puis P. Alart et al. [19] modélisent le comportement macroscopique du bois par des cellules qui forment sa microstructure laquelle est perçue comme un réseau de cellules hexagonales. A. Bouchair [20] utilisant une deuxième approche assimile le bois comme à un matériau orthotrope et homogène dans un milieu continu sans tenir compte de la complexité de sa microstructure. Concernant les assemblages, deux approches sont proposées dans la littérature. Une modélisation en 3D [21] qui reste très coûteuse numériquement et une autre en 2D qui présente des différences suivant le plan d'étude : perpendiculaire à l'axe de la tige prenant en compte le contact entre la tige et le bois et parallèle à la tige l'assimilant à une barre déformable avec un comportement élastoplastique mais avec une prise en compte difficile de l'humidité [22].

Il est à noter que le bois, présente des caractéristiques d'amortissement et de dissipation d'énergie élevées. C'est pour cette raison que les structures en bois sont très largement utilisées en zones à fort risque sismique parce qu'elles permettent de réduire considérablement les charges verticales et par conséquent l'intensité des actions sismiques horizontales qui en découlent [23]. Par ailleurs, la modélisation des propriétés structurales des poutres en bois lamellé collé en traction et en flexion prenant en compte les effets d'échelles et les ruptures progressives dans le matériau a fait l'objet de nombreux travaux de recherches utilisant des approches statistiques et probabilistes pour décrire l'hétérogénéité de ce matériau à différentes échelles [24].

Par ailleurs, les panneaux OSB sont de plus en plus utilisés non seulement comme éléments de «remplissage» mais comme éléments porteurs. Les murs en OSB servent de plus en plus seuls de contreventement (cisaillement roulant). Les planchers en OSB sont aussi courants et doivent reprendre non seulement les charges horizontales mais aussi les charges verticales qui s'appliquent aux bâtiments (rôle de diaphragme dans le cisaillement roulant). Les performances au cisaillement de l'OSB permettent ces utilisations mais également leur utilisation comme âme de poutre en I.

L'objectif de ce travail est de déterminer la résistance aux cisaillements roulant et de voile de panneaux en bois à lamelles orientées OSB conditionnés à différentes teneurs en eau afin de pouvoir estimer au mieux l'impact de l'influence de ces dernières sur le comportement mécanique de ces panneaux en bois reconstitués ainsi que d'étudier l'évolution de l'endommagement au cours du chargement.

2. METHODOLOGIES EXPERIMENTALES

2.1. Matériau de l'étude

Le panneau à lamelles minces orientées (OSB) de cette étude est composé de lamelles de résineux provenant de bois d'éclaircies. Les lamelles sont minces de 0,3 à 0,5 mm d'épaisseur et ont jusqu'à 8 cm de longueur. Elles sont encollées avec un liant organique suivant trois couches croisées. La fabrication est réalisée à partir d'un matelas de petits copeaux de bois rectangulaires compressée et encollé avec de la cire et de la résine (95% de bous et 5% de cire et de la résine). La composition de cette dernière varie en fonction de la classe du panneau souhaitée.

La colle résorcine utilisée est celle stipulée dans la norme NF EN 789 qui se présente en deux phases : la colle et le durcisseur. Le mélange, fonction de la surface à encoller se fait à 20%, c'est-à-dire 20 g de durcisseur pour 100 g de colle. Les produits sont pressés à température ambiante de 20 °C pendant 6 heures.

Les couches sont créées par déchiquetage du bous en lamelles qui sont réparties en plusieurs couches, triées et orientées différemment. Dans les couches externes, les lamelles sont généralement orientées parallèlement à la longueur du panneau. A l'intérieur dans la couche médiane elles sont orientées perpendiculairement à la longueur du panneau.

Les panneaux employés sont de type OSB3 de 10 mm d'épaisseur couramment utilisés en construction, de masse volumique variant entre 600 et 680 Kg/m^3.

Dans cette étude deux types de cisaillement permettant d'appréhender le phénomène dans son ensemble sont distingués pour les panneaux OSB, correspondant à deux processus de tests normalisés :

©UBMA - 2016

-le cisaillement roulant : le panneau est cisaillé suivant son épaisseur (utilisation en plancher).
-le cisaillement de voile : le panneau est cisaillé dans sa longueur (utilisation en contreventement).Ainsi l'étude du comportement des panneaux OSB suivant ces deux processus nécessite la mise en place de deux dispositifs expérimentaux distincts et par conséquent de deux types de géométrie d'éprouvettes.
Par ailleurs, il est à signaler que la résistance va varier en fonction de la teneur en eau mais aussi de la disposition des lamelles dans le panneau. Cette disposition étant soit parallèle, soit perpendiculaire à la longueur du panneau il s'avère nécessaire de préparer des éprouvettes présentant des arrangements lamellaires différents et ceci pour chaque taux d'humidité. Ainsi et afin de réaliser sans trop de pertes, des éprouvettes à lamelles perpendiculaires ou à lamelles parallèles, un plan de découpe a été dessiné et exécuté.

2.2. Eprouvettes :

Pour le cisaillement roulant, trois lots de 70, 77 et 57 éprouvettes chacun soit respectivement un lot par teneur en eau (H=1%, 9% et saturé) ont été usinés. Pour chaque lot, des éprouvettes ont été taillées en partie dans le sens de la longueur (L) c'est-à-dire parallèlement à l'orientation des fibres extérieures et en partie dans le sens perpendiculaire (T). La figure 1 montre la géométrie des éprouvettes utilisées. La profondeur de chacune des trois encoches est prise égale à la moitié de l'épaisseur de l'éprouvette, soit 5 mm. Les dimensions des éprouvettes sont exprimées en mm (Fig.1).

Le choix de cette géométrie particulière est déterminé par la norme NF B 51-012 [25] et permet de favoriser la fissuration selon le plan de cisaillement voulu et d'obtenir une rupture en cisaillement roulant et non pas une rupture de traction.
Pour le cisaillement de voile, trois séries chacune de trois autres lots répartis sur les trois taux d'humidité ont été usinées et testées à des périodes différentes. Chaque lot est découpé dans la direction L et dans la direction T comme pour les éprouvettes du cisaillement roulant. 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 [26] à cause de la capacité réduite de la presse [27]. La figure 2 représente la géométrie de ce type d'éprouvette.

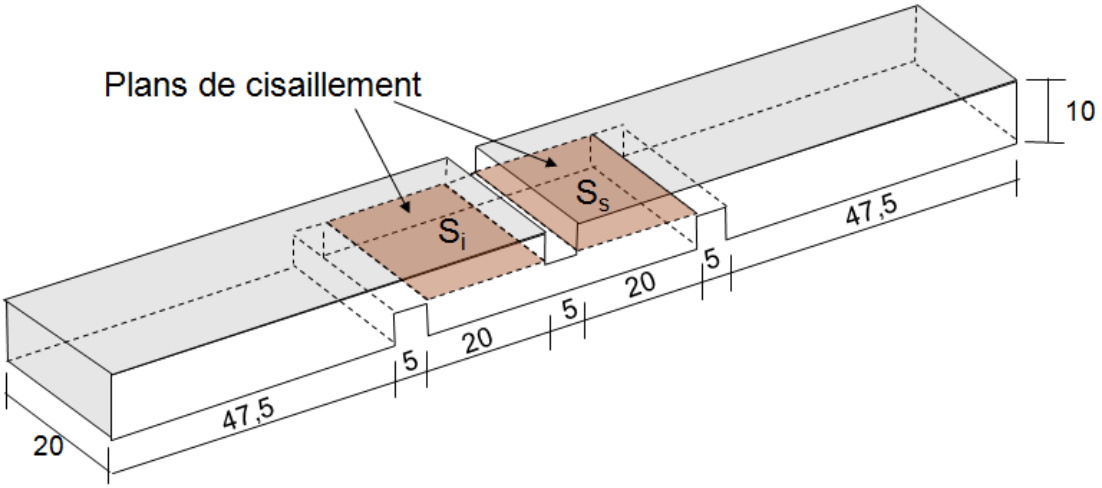

Figure 1 : éprouvette utilisée en cisaillement roulant (dimensions en mm)

©UBMA - 2016

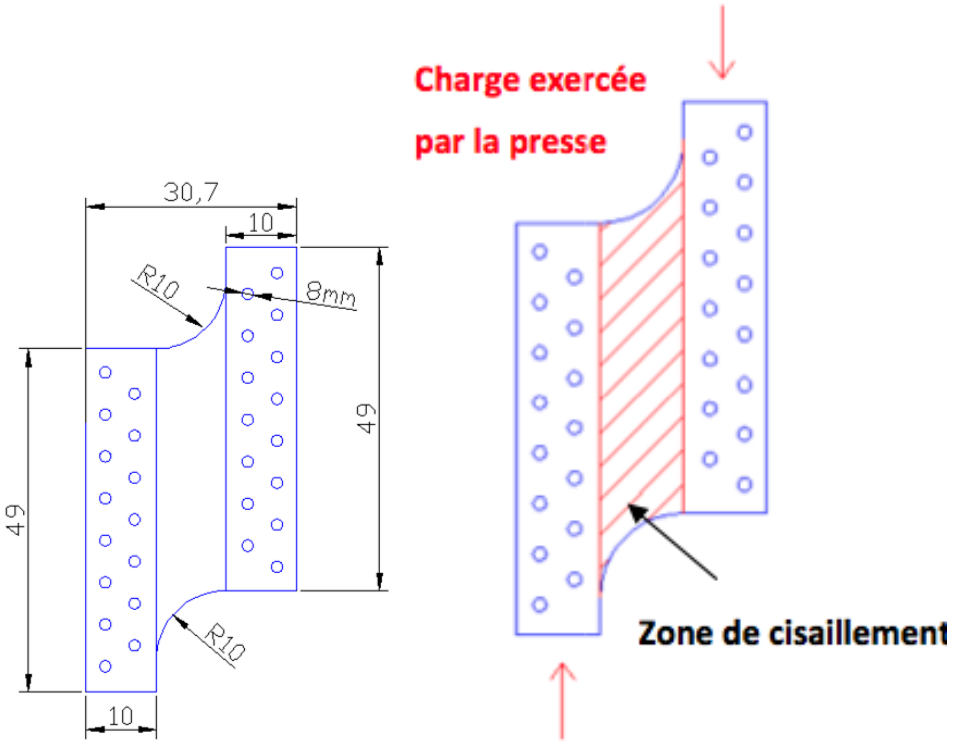

Figure 2 : géométrie de l'éprouvette utilisée en cisaillement de voile (épaisseur de 10 mm)

A partir de panneaux rectangulaires de 2,5 m sur 1,25 m de dimensions et d'épaisseur 10 mm un plan de calepinage sur logiciel a été dessiné afin d'optimiser l'opération des découpes des plaques et avoir le moins de pertes possibles. Des arcs de cercles sont alors réalisés sur des plaques au moyen d'un gabarit circulaire et des cales adaptées à la découpe servant de guide pour la défonceuse. Les finitions de ces arcs de cercles sont réalisées à l'aide d'une scie à ruban.

Cette phase d'usinage est sans doute la plus importante car le rôle de ces arcs de cercle est de positionner la zone de rupture due au cisaillement dans la partie centrale de l'éprouvette et non pas sur la jonction de l'assemblage âme-éprouvette. En effet si la découpe est mal réalisée, cette zone de rupture peut être endommagée ce qui risque fortement de fausser les résultats expérimentaux.

La contrainte de cisaillement τ est calculée par la formule classique de la résistance des matériaux, à savoir $\tau = F/S$ dans laquelle F et S représentent respectivement l'effort de rupture et la section de l'éprouvette. Pour le cisaillement roulant la surface S est égale à 20 x 20 mm^2 (Fig.1) comme le préconise la norme NFB 51-012 dont sont réglementés les essais [25]. Pour le cas du cisaillement de voile, S est généralement égale à 490 x 10 mm^2 (Fig. 2).

2.3. Conditionnement des éprouvettes

Les éprouvettes ont été conditionnées dans leurs milieux respectifs afin de les amener à des teneurs en eau différentes à savoir en milieu «quasi anhydre» (teneur en eau résultant H=0%), à la température ambiante (H=9%) et en milieu humide (H=75% à 100%). En milieu sec, les échantillons ont été placés dans un four à la température constante de 105° C pendant une semaine (Fig.3). La chaleur du four va permettre de déshydrater complètement les éprouvettes d'OSB initialement stockées dans un environnement quasi-ambiant. Deux relevés de masse de l'éprouvette sont opérés durant les cinquième et septième jours de conditionnement. Si la variation de masse entre les deux relevés est inférieure à 1%, l'éprouvette est alors considérée comme anhydre et sèche. Il faut signaler que les éprouvettes sèches ont tendance à rétrécir légèrement. Le conditionnement en milieu humide est pratiqué par immersion partielle, sur 2 cm, dans un bac rempli d'eau pendant une semaine (Fig. 4). Les éprouvettes sont finalement égouttées pendant un à deux jours sur une grille disposée dans un bac hermétique au fond duquel repose un lit d'eau, afin de conserver une atmosphère humide.

©UBMA - 2016

Figure 3 : conditionnement au four

Figure 4 : conditionnement en bac hermetique

L'augmentation du taux d'humidité dans les éprouvettes provoque en général un gonflement de celles-ci. Pour le conditionnement en milieu ambiant, les éprouvettes sont disposées à l'air ambiant au niveau des locaux du laboratoire sans aucun traitement particulier. Le taux d'humidité moyen varie entre 9% et 11%.

2.4. Dispositifs des essais de cisaillement

Pour le cisaillement roulant l'éprouvette est placée entre les deux mors d'une presse chacun encastré dans l'une des encoches opposées de l'éprouvette (Fig. 5). L'encoche du milieu sert à la propagation de la fissure suivant l'épaisseur. Lors de la mise sous contrainte le mors inférieur reste fixe durant le déplacement vertical du mors supérieur qui s'effectue à une vitesse de 1mm/min pour les éprouvettes ambiantes et anhydres et à 3 mm/min pour les éprouvettes humides afin de conserver un temps de rupture sensiblement égal pour les différentes teneurs en eau. En effet le déplacement observé sur les éprouvettes humides nécessite une force moindre et par conséquent un temps plus important avant d'atteindre la rupture de l'échantillon. Par ailleurs, il a été constaté que les éprouvettes anhydres et celles à humidité ambiante cisaillaient plus rapidement ce qui a nécessité une réduction de la vitesse de déplacement pour avoir une durée des essais suffisamment longue.

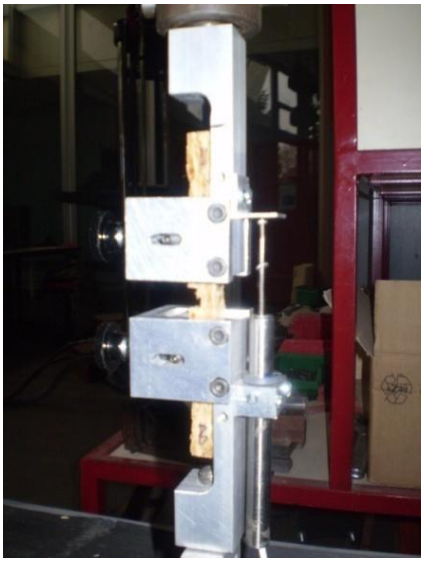

Figure 5 : dispositif du cisaillement roulant

Il faut noter que la norme qui indique une vitesse de déplacement de 1 à 2 mm/min pour ce type de matériau ne fournit aucune indication sur le taux d'humidité des éprouvettes. Celui-ci étant influant il a été alors jugé utile de part l'expérience acquise sur les expérimentations des matériaux de prendre le temps de rupture comme paramètre commun pour les trois environnements. Cette démarche est un compromis entre le temps de rupture et la vitesse de déplacement de la traverse.

L'ensemble du dispositif de mise sous contrainte est relié à un logiciel d'acquisition via un ordinateur relevant la force exercée en

©UBMA - 2016

fonction du déplacement de la traverse ainsi que le temps de la manipulation.
Pour le cisaillement de voile, les tests sont effectués sur une presse hydraulique de 20 tonnes appropriée pour ce type d'expérimentation comme le montre la figure 6.

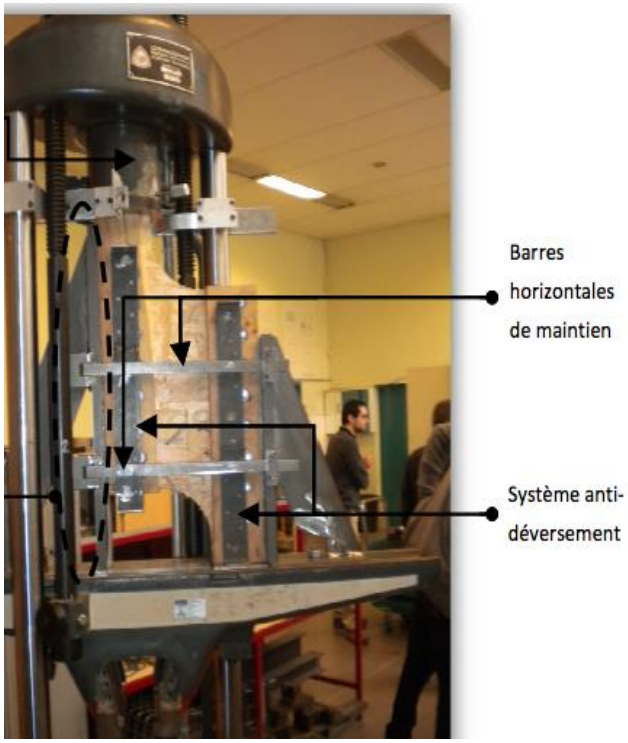

Figure 6 : presse de compression aménagée pour l'essai de cisaillement de voile

L'éprouvette est placée dans un dispositif spécialement conçu pour cette opération (Fig. 6) permettant de positionner l'échantillon de telle façon que la charge engendrée par la presse soit homogène conformément aux consignes de la norme NF-EN 789 [26]. Celui-ci la maintient parfaitement plane par l'intermédiaire de quatre montants boulonnés en bois massifs de 10 mm d'épaisseur, au cours de l'essai qui consiste à appliquer un effort de compression à l'échantillon. La détermination du nombre de boulons implantés dans le bois massif ainsi que leur disposition de part et d'autre de l'éprouvette (Fig. 6) ont fait l'objet d'une étude et d'un calcul selon l'Eurocode 5 (Eurocode 5, Calcul des structures en bois, AFNOR, 2005). Des barres verticales maintenues par des barres horizontales et doublées de téflons mises en contact des quatre montants stabilisent l'éprouvette et permettent sa meilleure glisse.
Ainsi le système anti déversement placé sur chaque face de l'éprouvette permet d'éviter les efforts parasites et de tenir l'éprouvette en position verticale évitant de la sorte un basculement de la plaque. Le système anti adhérent (plaques de téflon) placé sur chaque arrête permet aux déplacements dus à la charge de se faire sans qu'aucune résistance parasite ne soit induite par le bâti.
La figure 7 montre l'ensemble du bâti qui est réglable en largeur car sa partie droite est mobile. Lors de la mise en charge, la partie basse de la presse va progressivement remonter à la vitesse de 1 mm/min, comprimant ainsi l'éprouvette qui est bloquée en partie supérieure par la butée de la presse. L'éprouvette subit ainsi la compression jusqu'à atteindre la rupture.

Figure 7 : dispositif du cisaillement de voile

Dans les deux cas, les éprouvettes testées sont placées après rupture en étuve, à la température de 105 °C, pendant une semaine, puis pesées de nouveau pour déterminer leur teneur en eau lors de l'essai.

3. ANALYSE DES RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Mode de rupture

En cisaillement roulant, la rupture se produit entre l'une des entailles d'extrémité et l'entaille centrale. L'image de la figure 8 montre une éprouvette de cisaillement roulant avant rupture. La rupture a lieu et se produit au niveau de l'un des deux plans de cisaillement suivant la surface inférieure ou la surface supérieure. L'image de la figure 9 montre un exemple de ce type de rupture. C'est un délaminage qui s'initie à partir d'un défaut préexistant de moindre résistance pour se propager ensuite entre

©UBMA - 2016

couches dans le plan de cisaillement en cours de chargement avant de provoquer la ruine.

Figure 8 : éprouvette de cisaillement roulant avant rupture

Figure 9 : exemple de rupture en cisaillement roulant

Lors de l'essai de cisaillement de voile mené jusqu'à la fin, il apparait 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 former la fissure principale qui va amener la ruine de l'échantillon. La figure 10 montre un exemple de ce mécanisme de rupture. Le chemin de propagation est tortueux mais reste dans un plan parallèle à la direction de l'effort de compression.

Figure 10 : exemple d'une éprouvette rompue en cisaillement de voile

Les mécanismes de ruine sont complexes et on dénombre principalement des arrachements et des cassures de lamelles et de fibres, des ruptures des interfaces au niveau des plans de collage des lamelles, des dégradations progressives de l'adhésif. Tous ces mécanismes interagissent ensemble et de façon simultanée et il est difficile à priori de déterminer et d'estimer celui qui est le plus prédominant.

3.2 Description et analyse des courbes charge-déplacement

Les figures 11 et 12 montrent des exemples de courbes charge-déplacement respectivement dans le cas du cisaillement roulant et dans celui du cisaillement de voile pour tous les taux d'humidité étudiés et pour les deux sens d'orientation de découpe L et T. En général et pour tous les cas, 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 faible 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 ce point de transition qui dépend de la nature de chaque éprouvette et qui est annonciateur des premiers signes de dommage, ni de quantifier le niveau de contrainte au moment 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'accentuent avec l'augmentation de la charge pour provoquer la ruine du panneau.

Il est à signaler que tous les défauts microstructuraux qui sont à l'origine de l'amorçage des fissures dans le bois sont généralement répartis de manière aléatoire ce qui confère aux phénomènes de rupture le même caractère.

©UBMA - 2016

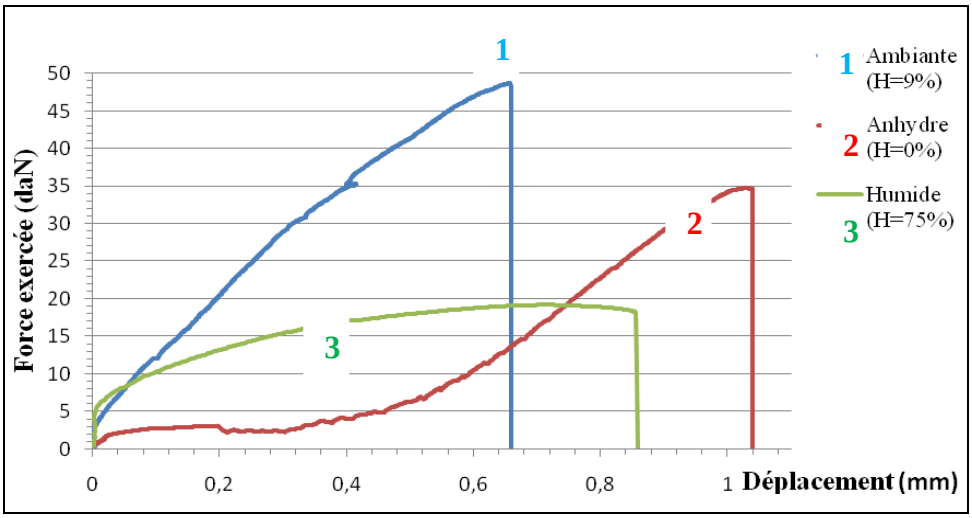

Figure 11 : Exemple de courbe charge-déplacement dans le cas du cisaillement roulant (orientation L)

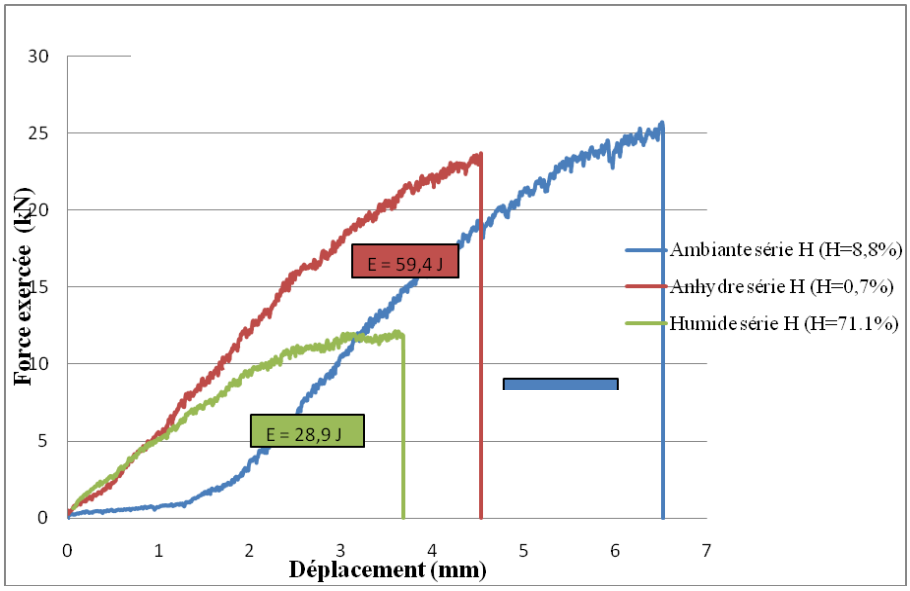

Figure 12 : Exemple de courbe charge-déplacement dans le cas du cisaillement de voile (orientation T)

3.3 Valeurs mesurées et analyse des contraintes de cisaillement

Tableau 1 : Valeurs moyennes des contraintes de cisaillement τ et des teneurs en eau H% pour les deux orientations de découpe (cas du cisaillement roulant)

conditionnement	Milieu Anhydre		Milieu Ambiant		Milieu Humide	
Orientation	L	T	L	T	L	T
Nombre	24	46	49	28	28	29
τ (MPa)	1.04 ± (0.38)	1 ± (0.32)	1.26 ± (0.36)	1.36 ± (0.42)	0.61 ± (0.15)	0.56 ± (0.16)
Coef. variation %	36,5%	32%	28,5%	30%	24 ,5%	28,5
Rapport τ T/L	0.96		1.08		0.92	
Teneur en eau H(%)	0	0	8.84 ±0.23	8.84± 0.18	78.5±13.5	76.6± 8

©UBMA - 2016

Tableau 2 : Valeurs moyennes des contraintes de cisaillement τ et des teneurs en eau H% pour les deux orientations de découpe (cas du cisaillement de voile)

conditionnement	Milieu Anhydre		Milieu Ambiant		Milieu Humide	
Orientation	L	T	L	T	L	T
Nombre	10	11	14	27	8	6
τ (MPa)	4.9 ± (1.23)	5.1 ± (0.66)	5.26 ± (1.08)	5.7 ± (0.77)	2.87 ± (0.65)	3.015 ± (0/7)
Coef. variation %	25%	13%	21%	13.5%	22.5%	23%
Rapport τ T/L	1.04		1.08		1.07	
Teneur en eau H(%)	0.35± 0,03	0.38±0,04	10.5±2,35	9.09±1,95	92.5±12,11	83± 19,5

Les tableaux 1 et 2 rassemblent 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 respectivement pour le cas du cisaillement roulant et pour celui du cisaillement de voile. Les chiffres entre parenthèses représentent les écart-types.

Comme il apparaît sur ces tableaux les valeurs mesurées se caractérisent par une dispersion élevée au sein d'une même série. Cette dispersion est une caractéristique des matériaux hétérogènes et fibreux. Les irrégularités des fibres à l'intérieur de l'OSB, ainsi que des différences de taux et/ou d'orientation des lamelles qui sont rarement comparables d'une éprouvette à l'autre ainsi que les dispersions de performance du matériau bois peuvent aussi être à l'origine notamment de cette variabilité. Celle-ci peut aussi être attribuée à une présence de micro défauts de différentes dimensions aléatoirement distribués au sein de la structure de l'OSB. Les irrégularités de collage des fibres à l'intérieur de l'OSB ainsi que les dispersions des résultats de performance du bois sont aussi des paramètres favorisant cette dispersion. La réduction de cette variabilité passerait par l'utilisation d'éprouvettes de grandes dimensions.

Ainsi la rupture peut être amorcée à différents niveaux de contrainte selon l'orientation, la localisation et les dimensions des microporosités et des discontinuités engendrées par des gonflements partiels et selon le degré de faiblesse de l'interface fibre-colle ainsi que des bouts de fibres. Par ailleurs il est difficile d'obtenir un taux d'humidité constant une fois le point de saturation des fibres de l'OSB dépassé (H=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. 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 l'éprouvette ; 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 [27].

Par ailleurs il est à noter que la résistance moyenne au cisaillement roulant mesurée en conditionnement ambiant est supérieure de 26% pour l'orientation L et de 36% pour l'orientation T par rapport à la valeur caractéristique de 1 MPa définie par la norme NF EN300 en condition normale intérieure [28]. Cet écart peut être attribué aux méfaits d'un conditionnement en plein air subis par les panneaux chez le fournisseur des produits. Il est aussi possible qu'un effet d'échelle soit aussi à l'origine de cette divergence car la norme NF B51- 012 n'est pas spécifique uniquement pour l'OSB [25]. Ainsi, des essais sur des éprouvettes de dimensions plus importantes sont à réaliser pour vérifier cette hypothèse comme il a été rapporté par d'autres études sur

©UBMA - 2016

les performances de l'OSB testé dans les mêmes conditions. Il faut aussi signaler que la nature différente des panneaux OSB qui peuvent aussi ne pas provenir des mêmes lots, ni des mêmes origines de boiserie par conséquent possédant des qualités différentes est aussi une source probable de cette divergence.

Concernant le cisaillement de voile, la valeur moyenne de la contrainte mesurée est inférieure de 29% dans la direction L et de 19% dans la direction T par rapport à la valeur caractéristique de 6.8 MPa définie par la norme NF EN 300 en condition ambiante [28].

3.4 Influence de la direction de découpe

L'histogramme de la figure 13 montre les rapports entre les valeurs des 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 et pour les deux types de sollicitation.

Comme le montre la figure 13, malgré la forte dispersion observée sur les mesures des résistances, le sens de découpe semble ne pas avoir d'influence significative sur le comportement mécanique dans le cas du cisaillement roulant c'est-à-dire pour une utilisation en plancher. Il est probable que la rupture dans ce cas se produise dans le plan de collage des fibres.

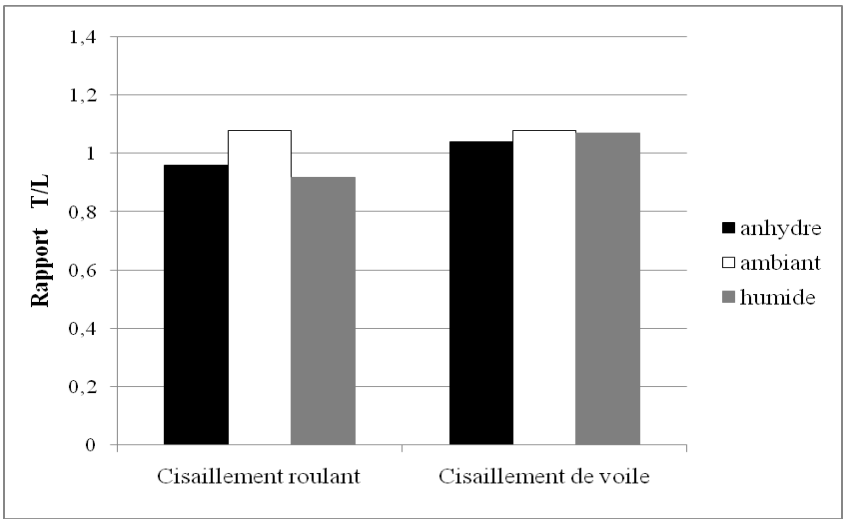

Figure 13 : influence de la direction de découpe sur la résistance au cisaillement

Dans le cas du cisaillement de voile et pour les trois taux d'humidité, les valeurs mesurées dans le sens T concernant les éprouvettes possédant des lamelles dans leurs couches supérieures disposées dans le sens de la hauteur, c'est-à-dire perpendiculaire à la direction de l'effort de compression, semblent être légèrement supérieures à celles mesurées dans le sens L, concernant les éprouvettes possédant des lamelles réparties dans le sens de la longueur. Cette différence de résistance est toutefois légèrement accentuée pour le cas des éprouvettes ambiantes (0.44 MPa) par rapport à celles sèches (0.2 MPa) et à celles humides (0.14 MPa). Cependant au vu de la dispersion importante constatée sur les mesures des résistances, cette différence n'est pas très significative comme l'indique le rapport T/L qui montre une allure constante.

Il semble néanmoins et pour plus de sécurité dans ce cas que pour une utilisation en contreventement par exemple, il est préférable de disposer les couches externes des lamelles des panneaux suivant une direction perpendiculaire à l'effort engendré.

3.5 Influence de la teneur en eau

Les figures 14 et 15 montrent la variation de la contrainte de cisaillement en fonction du taux d'humidité à l'état brut de chaque éprouvette respectivement pour le cas du cisaillement roulant et pour celui du cisaillement de voile pour les deux sens de découpe. La résistance au cisaillement croit avec le taux d'humidité dans les deux cas étudiés jusqu'à une valeur optimale correspondant à l'humidité ambiance pour diminuer par la suite jusqu'à des valeurs à saturation inférieures à celles enregistrées à l'état anhydre.

©UBMA - 2016

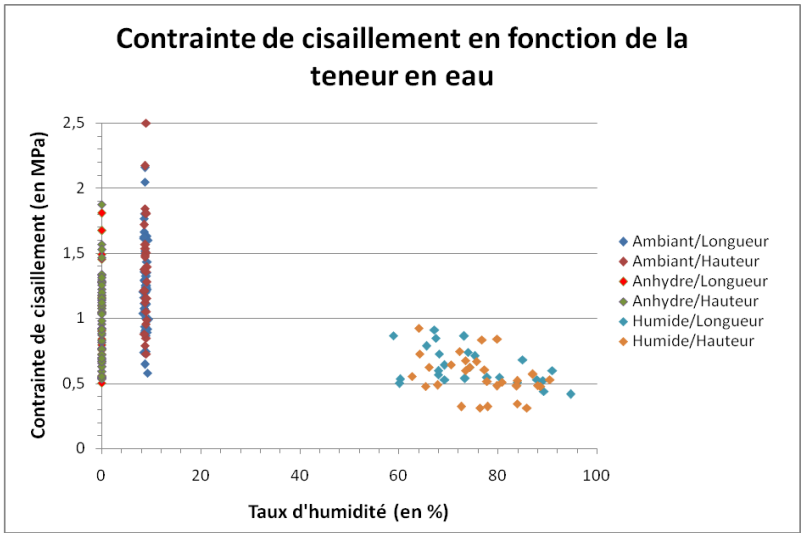

Figure 14 : Variation de la contrainte de cisaillement en fonction du taux d'humidité pour chaque éprouvette (état brut cas du cisaillement roulant)

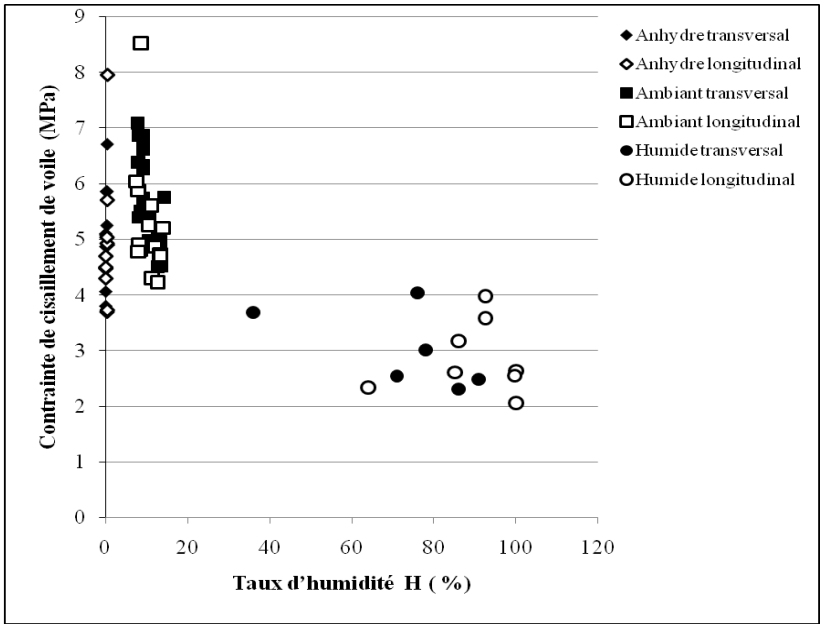

Figure 15 : Variation de la contrainte de cisaillement en fonction du taux d'humidité pour chaque éprouvette (état brut cas du cisaillement de voile)

Au delà du point de saturation des lamelles, la contrainte de cisaillement tend à se stabiliser et ce pour les deux cas étudiés et pour les deux directions. Cette tendance rejoint celle déjà constatée et rapportée par Wu et Suchsland [6] sur des matériaux similaires. Selon D. Guitard [29], les propriétés du matériau bois ne semblent plus varier avec la teneur en eau et se maintiennent constantes au dessus du point de saturation.

Cette tendance est représentée à partir des valeurs moyennes et des écarts types (barres d'erreurs) par les figures 16 et 17 qui montrent clairement la dispersion importante des résultats de mesure des valeurs des contraintes. Cette dispersion est plus accentuée dans le cas du cisaillement roulant.

©UBMA - 2016

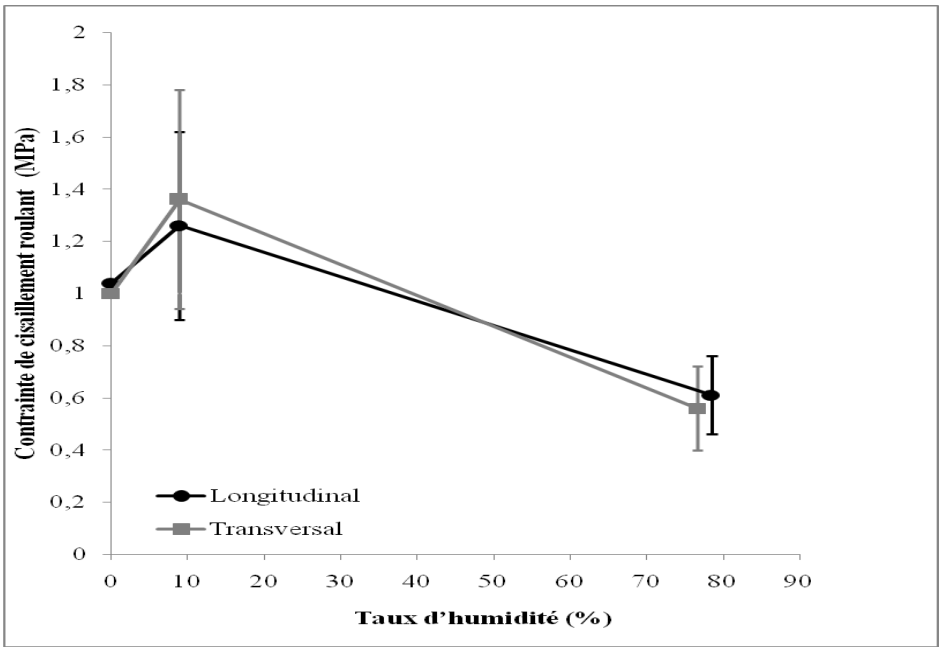

Figure 16: Variation de la contrainte de cisaillement en fonction du taux d'humidité (cas du cisaillement roulant).

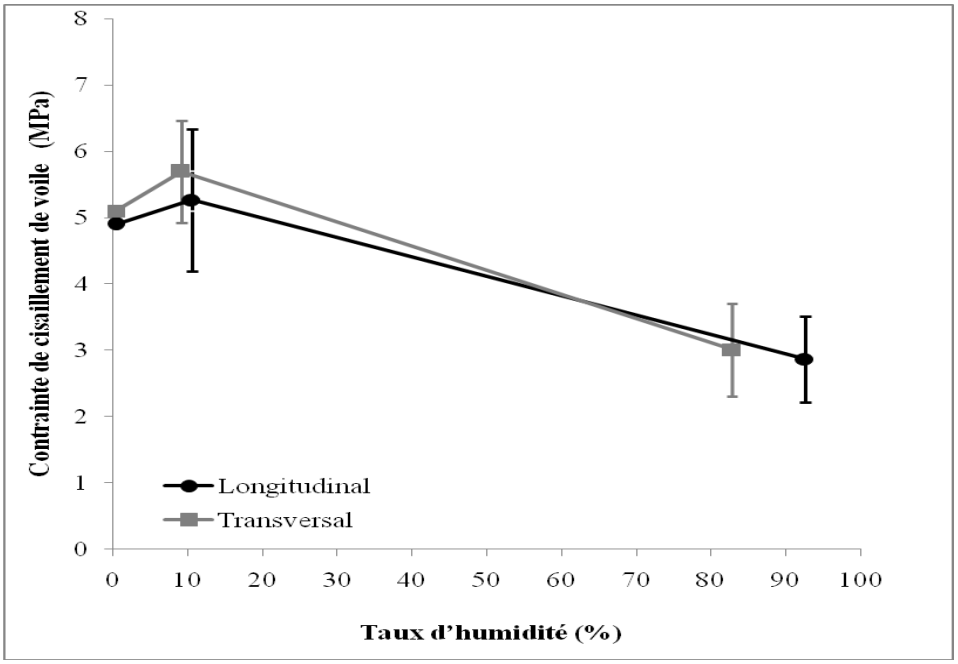

Figure 17: Variation de la contrainte de cisaillement en fonction du taux d'humidité (cas du cisaillement de voile)

Il apparaît ainsi dans les deux cas traités et 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 d'environ 2 dans le sens L et de 2.4 dans le sens T dans le cas du cisaillement roulant. Il est d'environ 1.8 dans le sens L et 1.9 dans le sens T dans le cas du cisaillement de voile.

Par rapport à l'état ambiant, la résistance au cisaillement chute en moyenne de 17% (direction L) et de 26% (direction T) dans le cas

©UBMA - 2016

du cisaillement roulant et d'environ 7% et 10.5% respectivement dans la direction L et dans la direction T dans le cas du cisaillement de voile lorsque l'OSB est sec (milieu anhydre). Lorsque l'OSB est saturé cette chute est de 51.5% (direction L) et de 59% (direction T) dans le cas du cisaillement roulant et de 45% (direction L) et de 47% (direction T) dans le cas du cisaillement de voile.

D'autre part, il est à signaler que le bois étant hygroscopique, 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. Le comportement de la colle a aussi une influence sur les résistances mécaniques. Dans le cas des éprouvettes anhydres, les lamelles restent attachées malgré l'endommagement et la destruction de la structure de la colle. Dans les éprouvettes humides, les lamelles se désolidarisent suite aux ruptures dans les liaisons de la colle au niveau des interfaces.
Enfin il faut noter que l'humidification faisant en général gonfler le bois, bouleverse la structure de l'OSB de manière inéluctable et altère les propriétés de la colle et de l'interface comme c'est dans le cas des composites à matrice polymériques renforcés de fibres synthétiques lorsqu'ils sont immergés dans l'eau douce ou l'eau salée [30-31-32].

3.6 Influence du mode de sollicitation

L'histogramme de la figure 18 montre les rapports entre les valeurs des résistances au cisaillement de voile et celles au cisaillement roulant pour les trois taux d'humidité et pour les deux sens de découpe. Ces rapports sont rassemblés dans le tableau 3.

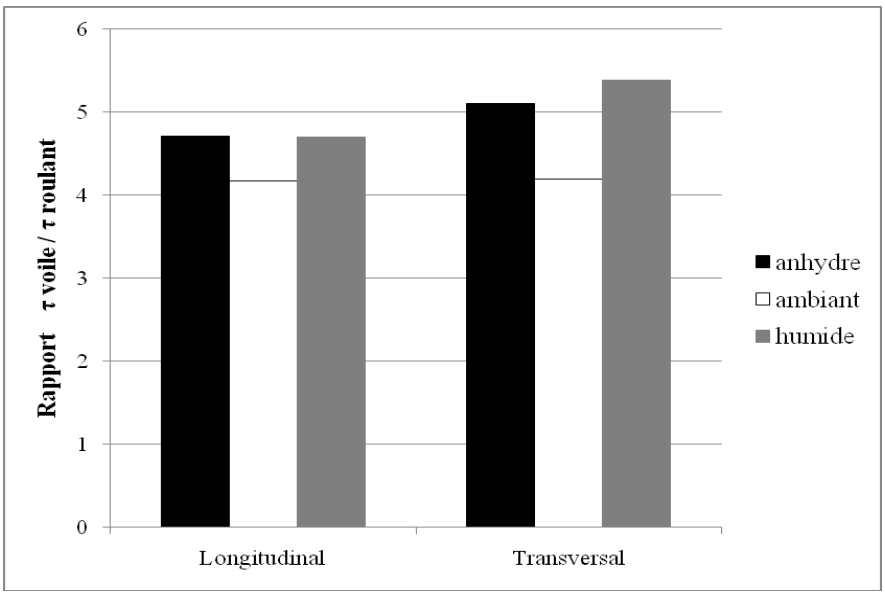

Figure 18 : rapport des contraintes cisaillement de voile / cisaillement roulant.

Tableau 3 : rapport des résistances au cisaillement de voile et roulant

Conditionnement	Milieu anhydre	Milieu ambiant	Milieu Humide
Rapport τ voile L/ τ roulant L	4.7	4.17	4.7
Rapport τ voile T/ τ roulant T	5.1	4.19	5.4

©UBMA - 2016

Ce rapport de résistances au cisaillement voile par rapport au cisaillement roulant semble être constant dans le cas de découpe dans le sens de la longueur (L). Dans cette direction (L) la variation maximale est de 12.7%. Dans le sens de découpe suivant la hauteur ce rapport qui est légèrement plus grand ne présente pas la même tendance et montre une variation maximale de 22.5%.

3.7 Détermination de l'énergie de rupture

L'énergie totale de rupture W a été estimée en calculant l'aire sous chaque courbe pour chacune des éprouvettes testées et pour les trois conditionnements. Les tableaux 4 et 5 résument les valeurs moyennes dans les deux cas d'étude (respectivement le cas du cisaillement roulant et celui du cisaillement voile). Les chiffres entre parenthèses expriment les écarts-type.

Tableau 4 : Valeurs moyennes de l'énergie de rupture W en cisaillement roulant et écart-type entre parenthèses

Conditionnement	Milieu anhydre (0%)	Milieu ambiant (8,84%)	Milieu humide (77,5%)
W sens hauteur(T) (Joules)	0,12 ± (0.06)	0,18 ± (0.14)	0,17 ± (0.14)
W sens longueur (L) (Joules)	0,14 ± (0.1)	0,29 ± (0.18)	0,2 ± (0.23)
Rapport W (T)/W (L)	0.86	0,62	0,85

Tableau 5 : Valeurs moyennes de l'énergie de rupture W en cisaillement voile

Energie de rupture (Joules)	Milieu anhydre (0,7%)	Milieu ambiant (8,8%)	Milieu humide (71,1%)
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

Les résultats de mesure se caractérisent comme dans le cas des résistances au cisaillement par une forte dispersion. Celle-ci est beaucoup plus importante que celle relevée sur les contraintes de cisaillement et rend difficile toute analyse.

Il semble cependant indiquer selon ces résultats que l'énergie nécessaire à la rupture est plus importante dans le cas des éprouvettes conditionnées à l'humidité ambiante et ce pour les deux types de sollicitations ce qui est en concordance avec les résultats de mesure des contraintes de cisaillement. Cependant concernant le cisaillement roulant il faudrait davantage d'énergie pour rompre une éprouvette humide que pour une éprouvette anhydre. Ceci est probablement du au fait que l'énergie nécessaire à la rupture est une fonction de la contrainte appliquée d'une part mais également du déplacement et par conséquent du module d'élasticité de l'éprouvette. Or le module de Young d'un bois humide est beaucoup plus faible que celui d'un bois sec et ainsi une déformation plus importante est observée sur les éprouvettes saturées. Ceci augmente l'énergie utile à cette rupture.

Concernant le cisaillement voile, l'OSB en conditionnement humide a une résistance à la rupture proche de celle des éprouvettes sèches. Une teneur en eau élevée qui entraine une déformation importante des lamelles de bois par étirement dans le cas du cisaillement roulant engendre ici un cisaillement et un déchirement prématuré.

En effet le plan de rupture qui est parallèle aux lamelles dans le cas du cisaillement roulant est perpendiculaire dans le cas du cisaillement de voile. Les lamelles composant les panneaux OSB étant très fines, l'humidité accélère alors le cisaillement de voile. Il faut signaler qu'une teneur en eau « ambiant » de (9%) correspond à une meilleure résistance des panneaux OSB. Par contre, le caractère anhydre des éprouvettes les rend plus « cassantes » et plus fragiles au cisaillement de voile.

Par ailleurs la constatation établie à propos de la disposition des lamelles se voit corrélée par les résultats de l'énergie de rupture au sein de chaque conditionnement pour les deux orientations T et L. La disposition des lamelles composant les couches externes des panneaux OSB implique une résistance plus élevée à la

©UBMA - 2016

rupture lorsqu'elles sont perpendiculaires à l'effort de compression exercé par la presse.

4. CONCLUSION

Le comportement mécanique en cisaillement des panneaux OSB est très influencé par les conditions d'utilisations et d'humidités dans lesquelles ils sont mis. Ainsi la résistance au cisaillement atteint une valeur optimale à l'humidité ambiante qui est d'environ 9% et ce aussi bien dans le cas du cisaillement roulant que dans celui de voile. Les valeurs mesurées de la résistance au cisaillement pour toutes les teneurs en eau et pour les deux cas de chargement se caractérisent par une importante dispersion caractéristique de ces matériaux lamellaires. La disposition des lamelles n'a pas d'influence significative sur le comportement mécanique en cisaillement roulant, c'est-à-dire pour une utilisation des panneaux en plancher. En revanche, concernant le cisaillement de voile, c'est-à-dire pour une utilisation en contreventement par exemple, la disposition des couches externes des lamelles des panneaux suivant une direction perpendiculaire à l'effort engendré est ainsi recommandée.

Pour le cisaillement roulant, il apparait que les éprouvettes humides résistent mieux à la rupture que les éprouvettes sèches. Cette constatation semble inverse pour le cas du cisaillement de voile durant lequel il est préférable de privilégier une utilisation en milieu ambiant.

Par ailleurs, la variabilité de la réponse mécanique de l'OSB est un fait expérimental connu et accepté aujourd'hui comme une caractéristique de ce matériau. L'influence de cette variabilité sur la fiabilité des structures impose inévitablement d'en tenir compte dans les calculs du dimensionnement et lors de la conception des pièces réalisées avec ce matériau et il convient d'intégrer ce paramètre lors de l'élaboration de modèles de prédictions du comportement. Ainsi les méthodes statistiques et les modèles probabilistes de plus en plus développés dans les études du comportement mécanique des matériaux composites en général sont à utiliser pour analyser des résultats expérimentaux et étudier leur variabilité [33]. Les approches probabilistes contrairement à celles déterministes permettent d'estimer à leur juste valeur l'importance relative des différentes variabilités influentes sur la fiabilité.

Par ailleurs les valeurs optimales mesurées expérimentalement qui correspondent à un état hydrique de 9% restent discutables dans la mesure où d'une part elles sont en accord avec celles rapportées par des études antérieures sur l'OSB effectuées dans les mêmes conditions et d'autre part contredisent d'autres travaux rapportés par la littérature. Ce constat discutable nécessite par conséquent des confirmations. Ainsi des états intermédiaires entre une humidité ambiante de 9% et un état saturé sont à continuer et à intensifier afin d'accéder à la nature réelle du profil de la variation de la contrainte de cisaillement en fonction de l'augmentation du taux de l'humidité et de modéliser ce comportement.

Enfin il reste important de noter qu'il serait intéressant d'arriver à créer pour la nomenclature des panneaux OSB un chapitre dans les Eurocodes pour la mise en place de normes réglementaires rigoureuses propre à ce type de matériaux composites lamellaires dont l'augmentation de l'utilisation dans de nombreux pays est de plus en plus remarquée grâce à la démocratisation des constructions en bois. Il serait intéressant de savoir si les panneaux OSB qui sont actuellement utilisés en tant qu'enveloppe du bâtiment et non en structure porteuse pourraient devenir l'élément porteur et de contreventement de ce type de construction.

Si tel serait le cas, les enjeux économique et écologique dans le futur seraient importants dans la mesure où une telle situation engendrerait une diminution des prix des constructions et par conséquent une augmentation de la demande serait alors prévisible.

Actuellement l'absence de réglementation spécifique à l'OSB fait que son utilisation reste très empirique entrainant en général un surdimensionnement des structures.

Remerciements

Les essais ont été effectués au sein des laboratoires de l'unité sciences du bois et des bio polymères USB2, nouvellement rebaptisée

©UBMA - 2016

GCE/I2M de l'Université Bordeaux1, (France). Les auteurs remercient particulièrement Agnes Roudier et Quentin Beaufreton pour leur aide précieuse ainsi que Samuel Guegueniat, Alban Colin, Joris Guarreaux et Sabrina Humbert pour leur contribution et expriment toute leur gratitude envers l'ensemble du personnel technique, administratif et enseignants chercheurs de l'Institut I2M (GCE) de l'Université de Bordeaux1, Talence pour leur amabilité, leur constante disponibilité, leur enthousiasme et leur fructueuse collaboration.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Thomas, W., 2004, « Planar shear moduli of rigidity of an oriented strand board from bending and shear tests », *Materials and Structures*, Vol. 37, N° 271, 480-484.

[2] Ashraf A. & Noboru S., 2005, "Veneer strand flanged I-beam with MDF or particleboard as web material III: effect of strand density and preparation method on the basic properties", *Journal of Wood Science*, Vol. 51, N° 5, 492-497.

[3] Ashraf A. & Noboru S., 2006, "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" *Journal of Wood Science*, Vol. 52, 167-172.

[4] Racher P., Bocquet J.F. & Bouchair A., 2007, «Effect of web stiffness on the bending behavior of timber composite I-beams", *Materials and Design*, Vol. 28, 844-849.

[5] Green D.W., Cramer S.M., Surytmono B., Kretschmann D.E., 2003, "On fracture related causes for reduction in tensile strength for southern pine lumber at low moisture content", *Wood and Fiber Science*, 35 (1), 90-101.

[6] Wu Q., Suchsland O., 1997, Effect of moisture on the flexural properties of commercial oriented strand boards, *Wood and Fiber Science*, 29 (1), 47-57.

[7] Wu Q., 1998, effect of moisture on bending and breaking resistance of commercial oriented strandboards, *Wood and Fiber Science*, 30 (2), 205-209.

[8] Aydin I., Colakoglu G., Colak S., Demirkir C., 2006, Effects of moisture content on formaldehyde emission and mechanical properties of plywood, *Building and Environment*, 41, 1311-1316.

[9] Van Houts J.H., Wang S., Shi H., Pan H. & Kabalka G.W., 2004, "Moisture movement and thickness swilling in oriented strandboard. Part 2: analysis using nuclear magnetic resonance microimaging" *Wood Science and Technology*, Vol. 38, N° 8, 617-628.

[10] Bekhta P., Niemz P., 2009, "Effect of relative humidity on some physical and mechanical properties of different types of fibre boad", *Europ. J. of Wood Prod*., 67, 339-342.

[11] Navi P. & Heger F., 2005, «Comportement thermo-hydromécanique du bois, application techniques et sans structures», Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, CH-1015 Lausanne, Suisse.

[12] Benabou L. & Duchanois G., 2007, «Modeling of the hygroelastic behavior of a wood-based composite for construction", *Composite Science and Technology*, Vol. 67, N° 1, 45-53.

[13] Kretschmann D.E & Green D.W., 1996, «Moisture content-specific gravity relashionships for clear southerne pine", proceedings of the international wood engineering conference, New Orleans, LA. Baton Rouge, LA. Louisiana, State University, (USA), Vol. 2, 536-542.

[14] Thompson R.J.H, Ansell M.P., Bonfield P.W. & Dinwoodie J.M., 2005, "Fatigue in wood- based panels. Part 2: property changes during fatigue cycling of OSB, chipboard and MDF", *Wood Science and Technology*, Vol. 39, N° 4, 311-325.

[15] Pritchard J., Thompson R.J.H., Bonfield P.W., Ansell M.P, 1996, A comparison of the fatigue and creep performance of commercial grade chipboard, OSB and MDF based on equivalent applied stress levels, In: Proceedings of International COST 508 Wood Mechanics Conference, Stuttgart, Germany, 409-423.

[16] Pritchard J., Ansell M.P., Bonfield P.W., Barlow C.Y., Bucur V., 1997, Understanding the fatigue and creep properties of MDF, OSB and chipboard using environmental scanning electron microscopy and x-ray densitometry, In: Proceedings of IUFRO S 5.02 Timber Engineering, Copenhagen, Denmark, 18-20 June 1997.

[17] Pritchard J., Ansell M.P., Thompson R.J.H. Bonfield P.W., 2002, Effect of two relative humidity environments on the performance properties of MDF, OSB an chipboard, *Wood Science and Technology*, 35, 405-423.

[18] Astley R.J., Harrington J.J., & Stol K.A., 1997, «Mechanical modeling of wood microstructure an engineering approach », IPENZ transactions, 24 (1), 21-29.

[19] Alart P, Barboteu M. & Gril J., 2004, «A numerical modeling of non linear 2D frictional multicontact problems : application to post-buckling in cellular media», *Computational Mechanics*, 34, 298-309.

[20] Bouchair A., 1993, «Modélisation non linéaire du comportement local des assemblages bois » Thèse de Doctorat, Université Blaise-Pascal Clermont II, France.

[21] Moses D.M., & Prion H.G.L., 2003, «A three dimensional model for bolted connections in wood» *Can. J. Civ. Eng./Rev. Can*., Genie Civil 30 (3), 555-567.

[22] Daudeville L., Davenne L., Yasumura M., 1999, «Prediction of the load carrying capacity of bolted timber joints», *Wood Science and Technology*, 33, 15-29.

[23] Crosnier B. & Cévaër F., 2006, «Assemblages bois par organes-tiges sous sollicitations alternées », Rencontre AUGC, La Grande Motte, France, 1-22.

[24] Castéra P., & Breysse D., 1998, «Mise en œuvre d'approches probabilistes pour décrire l'endommagement et la rupture de bois reconstitués», *Revue des Composites et des Matériaux Avancés*, Vol. 8, Numéro hors série/1998, 137-152.

[25] Norme Européenne NF B 51-012 : « Bois – Essai de cisaillement», Norme AFNOR, 1942.

©UBMA - 2016

[26] Norme Européenne NF EN 789 « Structures en bois – Méthodes d'essai : détermination des propriétés mécaniques des panneaux à base de bois », Norme AFNOR 2005.

[27] Remadnia A., 2010, «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, Institut I2M (GCE), Université Bordeaux1, France, 31p.

[28] Norme Européenne NF EN 300 « Panneaux de lamelles minces, longues et orientées (OSB) – Définition, classification et exigences » Norme AFNOR, 1997.

[29] Guitard D., 1987, «Mécanique du bois et composites», Paris : Cépaduès, France.

[30] Menail Y., El Mahi A., Assarar M., Redjel B. & Kondratas A., 2009, «The effects of water aging on the mechanical properties of glass-fiber and Kevlar-epoxy composite materials", *Mechanika*, Nr 2 (57), 8-13.

[31] Menail Y., Redjel B., El Mahi A. & Assarar A., 2012, « Impact de la fatigue et du vieillissement hygrothermique en eau douce sur un composite unidirectionnel verre-epoxy », Synthèse, *Revue des Sciences et de la Technologie*, éditée par la Direction des Publications de l'Université Badji Mokhtar de Annaba, Algérie, N°24, Avril 2012, 38-43.

[32] Menail Y., El Mahi A., Redjel B. & Assarar M., 2014, «Vieillissement en eau de mer d'un matériau composite kevlar-époxyde », *Journal of Materials, Processes and Environment*, Vol. 2, N°1, May 2014, 59-62.

[33] Achouri S. & Redjel B., 2014, « Etude expérimentale et analyse probabiliste du comportement à la rupture en traction de matériaux composites verre-perlon-acrylique à usage orthopédique » *Synthèse, Revue des Sciences et de la Technologie*, éditée par la Direction des Publications de l'Université Badji Mokhtar de Annaba, Algérie, N° 29, Octobre 2014, 59-76.

©UBMA - 2016