



HAL
open science

Sur une méthode de séparation de modes mixtes de rupture dans le bois

Rostand Moutou Pitti, Frédéric Dubois, Octavian Pop, Christophe Petit

► **To cite this version:**

Rostand Moutou Pitti, Frédéric Dubois, Octavian Pop, Christophe Petit. Sur une méthode de séparation de modes mixtes de rupture dans le bois. AUGC 2009 27e Rencontres Universitaires de Génie Civil Comité Scientifique : Activités : St Malo Du 3 au 5 juin 2009, Jun 2009, St Malo, France. hal-01616920

HAL Id: hal-01616920

<https://hal.science/hal-01616920>

Submitted on 15 Oct 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Sur une méthode de séparation de modes mixtes de rupture dans le bois

Rostand Moutou Pitti* — **Frédéric Dubois*** — **Octavian Pop*** — **Christophe Petit**

* Laboratoire GEMH, Université de Limoges
Centre Universitaire Génie Civil, 19300 Egletons
Rostand.moutou_pitti@yahoo.fr

Frederic.dybois@unilim.fr
ion-octavian.pop@unilim.fr
christophe.petit@unilim.fr

RÉSUMÉ. Ce travail présente une méthode de séparation des modes mixtes de rupture adaptée aux matériaux viscoélastiques comme le bois. Des essais instantanés de fissuration sont effectués à l'aide de l'éprouvette 2MCG (Mixed Mode Crack growth) sollicitée en traction par une presse électromécanique munie d'un système d'acquisition classique. L'évolution du front de fissure est enregistrée par une caméra vidéo placée sur un trépied orienté dans l'axe d'inclinaison de l'éprouvette, reproduisant ainsi, le taux de mixité souhaité. Un capteur LVDT relève les déplacements des points d'application des efforts. Après une synchronisation parfaite, les courbes forces – déplacements sont obtenus. Le taux de restitution d'énergie expérimental est finalement calculé par la méthode de la complaisance et comparé aux prédictions issues d'un calcul éléments finis via l'intégrale invariante M .

ABSTRACT. A new method separating mixed-modes crack growth in wood material is presented in this paper. The instantaneous failures testing are performed with the 2MCG (Mixed Mode Crack Growth) specimen. This specimen is solicited by a press armed with an acquisition system data. The crack growth tip is recorder by a video camera placed on a tripod oriented in the slant axis of the specimen in order to translate, in the same time, mixed mode ratio. A LVDT sensor records the different displacements points of load during crack growth process. After the all perfect synchronisation, the loads –displacements curves are obtained. In this fact, the experimental energy release rate is finally evaluated according to compliance method and compared with simulations given by finite elements method using the non dependence M integral.

MOTS-CLÉS : bois, modes mixtes, taux de restitution d'énergie, analyse d'images, éléments finis.

KEYWORDS: wood, mixed-modes, energy release rate, images analysis, finite elements.

1. Introduction

La multitude et la complexité des sollicitations subies par les structures du génie civil engendrent, majoritairement, des fissurations aléatoires combinant un mode d'ouverture et un mode de cisaillement dans le cas où l'on se situe dans une configuration plane. Dans le bois, ce constat apparaît encore plus problématique au regard des caractères hétérogène et orthotrope additionnés au comportement fortement viscoélastique qui caractérise ce matériau. Pourtant, il reste aujourd'hui indispensable de pérenniser les structures à base du bois au vu de sa participation dans la stabilisation et la régulation des dommages environnementaux qui menacent l'équilibre de notre écosystème. C'est pourquoi, il est nécessaire de bien identifier les cinétiques d'amorçage et de propagation des fissures dans ce matériau. Cela doit passer, dans le cas de sollicitations complexes, par un découplage des modes de fissuration afin d'évaluer, à termes, la durée de vie des structures en bois.

Dans ce contexte, nous présentons une méthode expérimentale de séparation des modes mixtes de rupture dans le bois. A ce jour, des solutions technologiques, permettant d'évaluer les paramètres de fissuration dans le matériau bois, existent. Par exemple, Dubois *et al.* (2002) ont proposé l'éprouvette DCB (Double Cantilever Beam) à inertie variable assurant la stabilité de la fissure mais pour un mode simple d'ouverture de fissure. Celle-ci permet d'identifier les paramètres à la rupture indépendamment des effets viscoélastiques lors des chargements en fluage. Auparavant, Valentin et Caumes (1989) ont proposé la géométrie CTS (Compact tension Shear) garantissant un taux de mixité voulu lors des chargements polymodaux adaptés au bois, mais avec une instabilité de la fissure dès son amorçage. Couplées aux méthodes d'analyse d'images (Moutou Pitti *et al.*, 2008c), des solutions jouxtant ces deux avantages mériteraient, par conséquent, d'être proposées afin d'évaluer l'énergie de fissuration consécutive à de telles sollicitations.

Les méthodes de découplage de mode mixte de rupture, issues de l'intégrale M (Moutou Pitti *et al.*, 2007 ; 2008b), ou de la méthode de la complaisance, sont rappelées dans la première partie. Ensuite, le dispositif expérimental regroupant l'éprouvette 2MCG, dérivant d'un compromis entre les éprouvettes DCB et CTS, une caméra vidéo placée sur un trépied orientable est proposé (Moutou Pitti *et al.*, 2008c ; 2008d) ; le tout étant sollicité par une presse électromécanique. La synchronisation du pilotage de la presse et l'acquisition des images permet une exploitation présentée en troisième partie permettant l'obtention des courbes forces – déplacements – longueur de fissure. Les taux de restitution d'énergie expérimental et numérique sont obtenus respectivement par la méthode de la complaisance (en déplacement imposé) et par l'intermédiaire de l'intégrale M . Au final, les résultats expérimentaux sont comparés aux simulations numériques pour des taux de mixité β équivalents à 15° et 30°.

2. Rappel des méthodes de découplage de complaisance

Le taux de restitution d'énergie numérique instantané est calculé en exploitant l'intégrale indépendante $M\theta$ adaptée à la séparation des différents modes mixtes de rupture (Moutou Pitti *et al.*, 2007 ; 2008b). Sa base du développement analytique est issue des théorèmes de conservation d'énergie, des intégrales indépendantes, et d'une combinaison des champs des déplacements réels et virtuels introduisant une bilinéarité de l'énergie libre de déformation élastique. L'intégrale $M\theta$ prend la forme suivante :

$$M\theta = \frac{1}{2} \cdot \int_{\Omega} (\sigma_{ij}^{(u)} \cdot v_{i,j} - \sigma_{ij,k}^{(v)} \cdot u_i) \cdot \theta_{k,j} d\Omega \quad [1]$$

$\sigma_{ij}^{(u)}$ et $\sigma_{ij}^{(v)}$ représentent respectivement les contraintes réelles et virtuelles résultant des déplacements respectifs réels u et virtuels v . Les déplacements virtuels sont empruntés aux formes singulières proposées par Sih. Finalement, les facteurs d'intensité de contrainte réels ${}^u K_I$ et ${}^u K_{II}$, respectivement en mode I et mode II, sont évalués en choisissant des valeurs adéquates des facteurs d'intensité de contrainte virtuels ${}^v K_I$ et ${}^v K_{II}$ (Moutou Pitti *et al.*, 2008b ; 2008d) telles que:

$${}^u K_I = 8 \cdot \frac{M\theta({}^v K_I = 1; {}^v K_{II} = 0)}{C_1}; \quad {}^u K_{II} = 8 \cdot \frac{M\theta({}^v K_I = 0; {}^v K_{II} = 1)}{C_2} \quad [2]$$

C_1 et C_2 désignent les complaisances élastiques propres au mode I et au mode II (Moutou Pitti *et al.*, 2007). Ainsi, les parts de taux de restitution d'énergie G_1 et G_2 correspondant à chaque mode, sont donnés par :

$$G = G_1 + G_2 = C_1 \cdot \frac{({}^u K_I)^2}{8} + C_2 \cdot \frac{({}^u K_{II})^2}{8} \quad [3]$$

Afin d'évaluer le taux de restitution d'énergie expérimentale, la méthode de la complaisance est utilisée. Celle-ci se traduit de la manière suivante :

$$G_{cI} = \frac{F_C^2}{2 \cdot b} \cdot \left(\frac{\partial C}{\partial a} \right)_d \quad [4]$$

Avec F_C la force critique induisant la longueur de fissure a , b l'épaisseur de l'éprouvette ($b = 25 \text{ mm}$), C la complaisance mesurée durant un essai à déplacement imposé.

3. Dispositif expérimental

L'évolution du front de fissure est enregistrée par camera vidéo. L'éprouvette 2MCG (caractéristiques géométriques : 210x65x25) est sollicitée en traction par une presse électromécanique munie d'un système d'acquisition classique et d'un bâtis fixe et mobil (Moutou Pitti 2008a ; Moutou Pitti *et al.*, 2008c ; 2008d). Un capteur LVDT relève les déplacements des points d'application des efforts. Grâce à un trépied inclinable, la caméra est aisément placée dans l'axe d'inclinaison de l'éprouvette afin de se placer dans un repère local adapté en pointe de fissure. On obtient ainsi les déplacements des cibles consécutifs au mode d'ouverture de fissure et de cisaillement. Un voile blanc est appliqué sur la face de l'éprouvette afin d'identifier le mieux possible la pointe de fissure par contraste, figure 1.

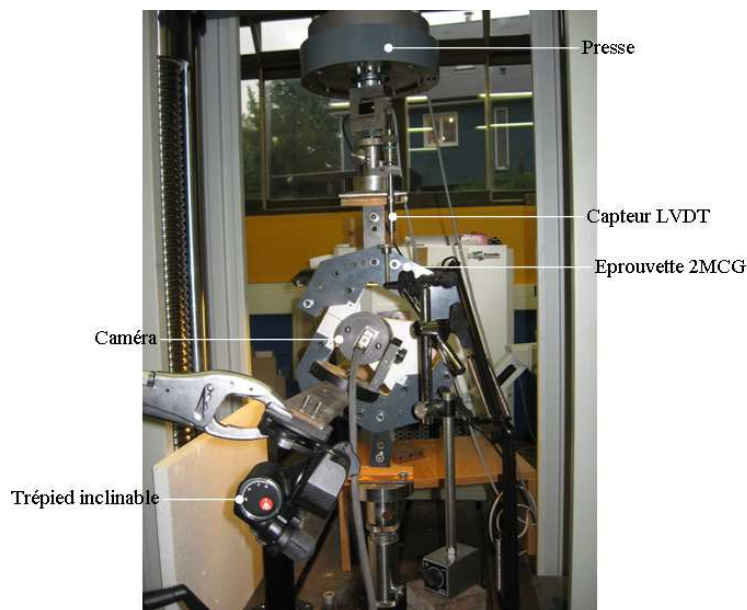


Figure 1. *Dispositif expérimental*

4. Courbes forces déplacements

Après une synchronisation de l'ensemble du dispositif (acquisition et pilotage) les courbes forces / déplacements et les différentes longueurs de fissures sont déterminées pour des taux de mixité correspondant à des inclinaisons de l'éprouvette de 15 et 30°, figures 2 et 3. La longueur de fissure est identifiée moyennant une analyse des images enregistrées. La synchronisation entre la presse et l'acquisition des images, effectuée pendant l'essai, nous permet de retrouver la force critique F_C

causant l'amorçage de la fissure et sa propagation. En fin d'essai, on observe une force de rupture F_R (respectivement 1350 N et 1700 N pour 15° et 30°) correspondant la ruine de la structure.

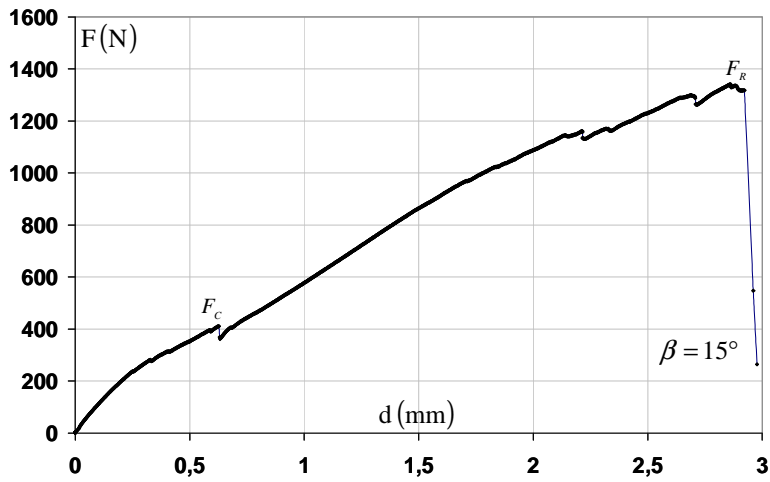


Figure 2. Courbe force – déplacement en mode mixte 15°

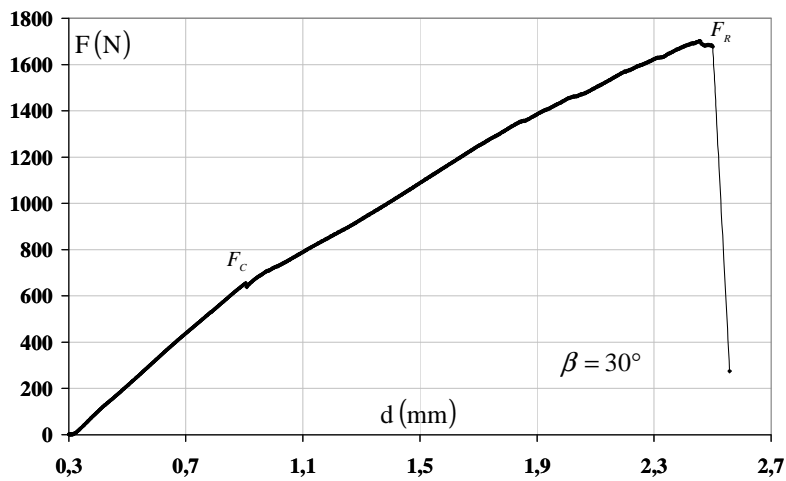


Figure 3. Courbe force – déplacement en mode mixte 30°

5. Taux de restitution d'énergie

A partir des forces et des déplacements obtenus précédemment, les différentes complaisances sont calculées par l'intermédiaire de l'équation (4). Finalement, en exploitant les images obtenues par méthodes optiques, le taux de restitution d'énergie critique est déterminé.

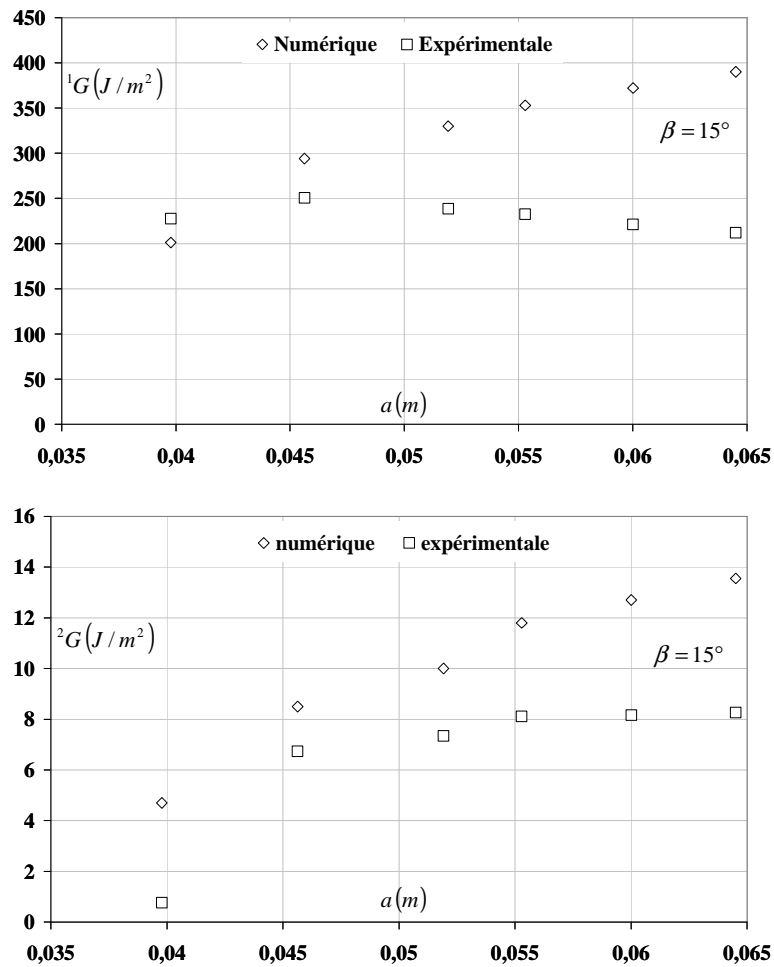


Figure 4. Taux de restitution d'énergie en mode mixte 15°

Les figures 4 et 5 présentent respectivement les parts de taux de restitution d'énergie en mode I et II en fonction de la longueur de fissure, et ce, pour des angles de sollicitation de 15° et 30° .

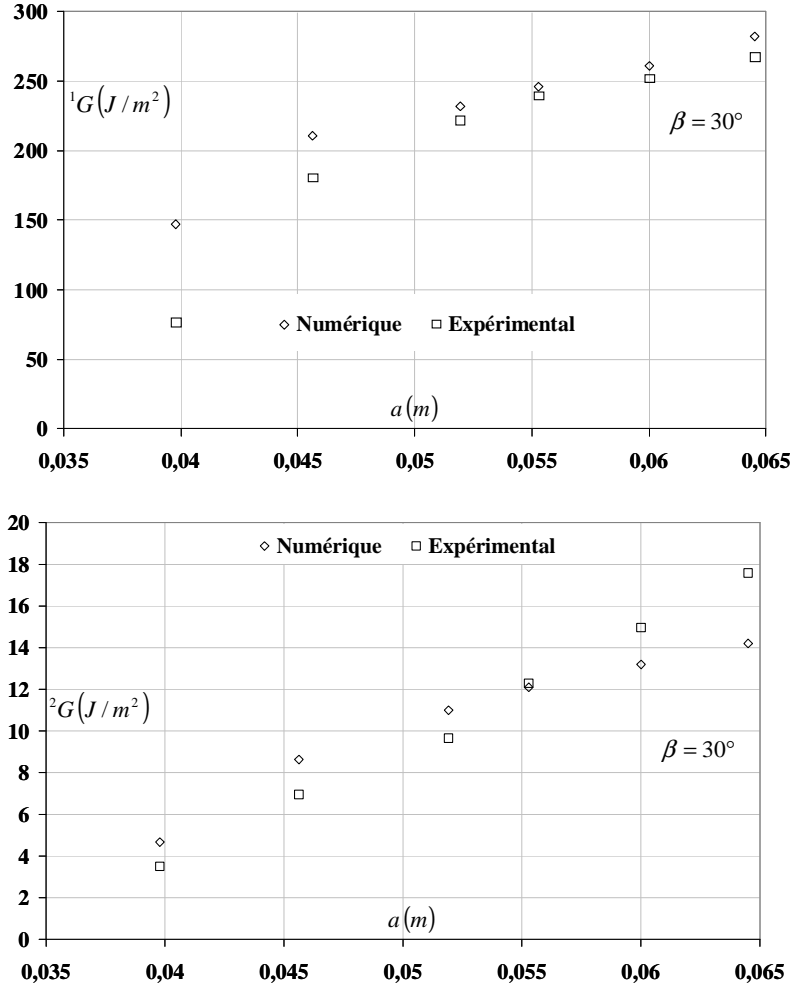


Figure 5. Taux de restitution d'énergie en mode mixte 30°

Parallèlement, des calculs numériques en élasticité orthotrope sont effectués via le code de calcul Castem (Moutou Pitti *et al.* 2008b) en exploitant l'éprouvette 2MCG et l'intégrale $M\theta$, équations (1) et (3). Les constantes élastiques du matériau (bois de Douglass) issues des références bibliographiques sont introduites moyennant une correction en comparant les déplacements numériques et expérimentaux obtenus en mode d'ouverture de fissure. Au final, les résultats sont confrontés en termes de taux de restitution d'énergie. En regard des dispersions expérimentales généralement observées en mécanique du bois, nous observons des comparaisons de résultats expérimentaux et numériques encourageantes.

6. Conclusion

Une méthode de séparation des modes mixtes de rupture dans le bois a été proposée. L'éprouvette 2MCG, les outils d'analyse d'images et l'intégrale M ont conjointement été utilisés afin de calculer et de comparer les taux de restitution d'énergie expérimentaux et numériques, et ce, pour différents taux de mixité. Il reste dorénavant, à effectuer des essais de fluage en ambiance contrôlée ou en extérieur afin de recréer les conditions environnementales réelles. La comparaison entre l'expérience et la simulation numérique est encore confrontée à la barrière que représente la détermination des propriétés mécaniques du matériau testé. Ceci est encore plus vrai en mécanique de la rupture concernant le comportement local au voisinage de la pointe de fissure. Une des perspectives de ce travail est le développement d'une stratégie couplant, à la fois, des essais expérimentaux en caractérisant directement sur l'éprouvette les propriétés d'élasticité du matériau et de rupture. Il pourrait s'agir d'une généralisation du concept de l'intégrale M en mêlant champs numériques et expérimentaux.

7. Bibliographie

- Moutou Pitti R., Découplage des modes mixtes de rupture dans les matériaux viscoélastiques orthotropes; modélisation et expérimentation, Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2008a. <http://www.unilmi.fr/theses/2008/sciences/2008limo4025/notice.htm>.
- Dubois F., Chazal C., Petit, C., « Viscoelastic crack growth process in wood timber, An approach by the finite element method for mode I fracture », *International Journal of Fracture*, vol. 113, n° 4, 2002, p. 367-388.
- Valentin G., Caumes P., « Crack propagation in mixed mode in wood: a new specimen », *Wood Science and Technology*, vol. 23, n° 1, 1989, p. 43-53.
- Moutou Pitti R., Dubois F., Pop O., « On a specimen providing stable mixed mode crack growth in wood material », *Comptes Rendus Mécanique*, vol. 336, n° 6, 2008b, p. 744-749.
- Moutou Pitti R., Dubois F., Pop O., « Identification des caractéristiques de fissuration par analyse d'images sur une éprouvette bois », Actes des 26ème rencontres de l'AUGC, Nancy, 4-6 juin 2008c. <http://laego.inpl-nancy.fr/fileadmin/AUGC08/Communications/MATERIAU%20BOIS/66-Moutou-Pitti-AUGC2008.pdf>.
- Moutou Pitti R., Dubois F., Petit C. « A new mixed mode fracture specimen (2MCG): numerical and experimental results », Proceedings, 10th World Conference of Timber Engineering, Osaka, 2-5 June 2008d. <http://www.ewpa.com/wcte/WCTE2008.pdf>.
- Moutou Pitti R., Dubois F., Sauvat N., Petit C., « Mixed mode fracture separation in viscoelastic orthotropic media: numerical and analytical approach by the M_{0v}-integral », *International Journal of Fracture*, vol. 125, n° 3, 2007, p. 181-193.