



HAL
open science

Identification des caractéristiques de fissuration par analyse d'images sur une éprouvette bois

Rostand Moutou Pitti, Frédéric Dubois, Octavian Pop

► To cite this version:

Rostand Moutou Pitti, Frédéric Dubois, Octavian Pop. Identification des caractéristiques de fissuration par analyse d'images sur une éprouvette bois. XXIVe Rencontres Universitaires de Génie Civil. , Jun 2008, Nancy, France. hal-01616918

HAL Id: hal-01616918

<https://hal.science/hal-01616918>

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.

Identification des caractéristiques de fissuration par analyse d'images sur une éprouvette bois

Moutou Pitti Rostand¹, Dubois Frédéric, Pop Octavian

¹ Groupe d'Etude des Matériaux Hétérogènes-Axe Génie Civil et Durabilité (GEMH-GCD), Université de Limoges, Centre Universitaire Génie Civil d'Egletons, Boulevard Jacques Derche, 19300 Egletons.

E-mail : rostand.moutou-pitti@etu.unilim.fr

RÉSUMÉ. Il est présenté une méthode de détermination des paramètres de fissuration par analyse d'images dans le bois. Les essais sont effectués sur une nouvelle éprouvette bois appelée 2MCG (Mixed Mode Crack Growth), conçue pour assurer une stabilité du taux de restitution d'énergie en mode mixte pendant la propagation de fissure. Grâce à l'utilisation combinée d'une presse, munie d'un capteur et d'un système d'acquisition, les courbes forces-déplacements sont obtenues. Simultanément, une acquisition par camera vidéo CCD est effectuée. Après synchronisation des outils précédents, l'ensemble de ces données sont exploitées pour obtenir les forces critiques et les longueurs de fissures correspondantes. Grâce à la méthode de la complaisance, le taux de restitution d'énergie est finalement calculé en mode I et comparé aux valeurs numériques.

ABSTRACT. This paper deals with a new method giving fracture parameters with the images analysis. Experiments are performed on a new Mixed Mode Crack Growth (2MCG) wood specimen ensuring the stability of energy release rate during crack growth process. The 2MCG specimen is designed in order to obtain in the same time, the opening mode, the shear mode, and the mixed mode ratios. Thanks to simultaneous using of a press, equipped with a sensor, forces-displacements curves are obtained and images are given by a CCD video camera. After the all parfait synchronisation, these precedent tools are exploited in order to deduce the critical load and crack length. According to the compliance method, the energy release rate are evaluated in opening mode and compared to numeric data.

MOTS-CLÉS: mécanique de la rupture, éprouvette bois, analyse d'images.

KEY WORDS: fracture mechanics, wood specimen, images analysis.

1. Introduction

En mécanique de la rupture, l'une des difficultés rencontrées par la communauté scientifique réside dans la mise en place des outils expérimentaux indispensables à l'évaluation des caractéristiques propres au matériau comme la complaisance ou le taux de restitution d'énergie. Dans le bois, souvent victime des fissures de cinétiques mixtes lors des sollicitations complexes, ces problématiques sont encore renforcées par le caractère hétérogène, ou encore le comportement viscoélastique et anisotrope qui caractérisent ce matériau.

Ainsi, ce travail présente une méthode d'indentification des paramètres précédemment cités par analyse d'images sur le matériau bois. Dans la littérature, certains auteurs [SAM 97] ont utilisé des méthodes similaires (Digital Image Correlation) afin d'étudier le mode mixte sur des éprouvettes TS (Tension Shear). Ici, une nouvelle géométrie appelée 2MCG (Mixed Mode Crack Growth) développée par Moutou Pitti [MOU 08], résultant d'un compromis entre les éprouvettes DCB à inertie variable [DUB 02] et CTS pour la détermination du mode mixte [VAL 89] est utilisée. Sa conception résulte de l'observation d'une plage de stabilité du taux de restitution d'énergie élastique calculée via l'intégrale $M?$ [MOU 06a] [MOU 06b].

La conception de l'éprouvette 2MCG est présentée dans la première partie de ce papier. Ensuite, les dispositifs expérimentaux et les courbes forces déplacements, respectivement en mode I et en mode mixte global, sont exposés dans la seconde partie. Le dispositif est composé d'un capteur LVDT, d'une presse munie d'un système d'acquisition et d'une caméra vidéo CCD relevant les images au cours de l'essai. Ainsi, les courbes forces-déplacements sont exploitées pour évaluer la longueur de la fissure et, par la méthode de la complaisance, le taux de restitution d'énergie dans le mode correspondant.

2. Conception de l'éprouvette 2MCG

Les **Figures 1** (a) et (b) présentent les éprouvettes DCB (Double Cantilever Beam) à inertie variable développée par Dubois [DUB 02] et CTS (Constant Tension Shear), initialement proposée par Richard [RIC 81] pour les matériaux isotropes, et adaptée au bois par Valentin [VAL 89]. L'éprouvette DCB présente sur une plage donnée, une diminution du taux de restitution d'énergie G . Pendant cette phase, seuls les effets viscoélastiques vont participer à la progression du front de fissure lorsque l'éprouvette sera sollicitée en fluage. Les caractéristiques viscoélastiques seront ainsi clairement découplées des paramètres de fissuration lors des essais en fluage. L'éprouvette CTS est quant à elle conçue pour évaluer l'ensemble des modes mixtes dans le matériau bois. Deux bras en acier sont parsemés de perçages où s'appliquent des forces symétriques P orientées par des angles β de mixités. Sur les deux éprouvettes, la fissure reste orientée dans la direction de forte orthotropie.

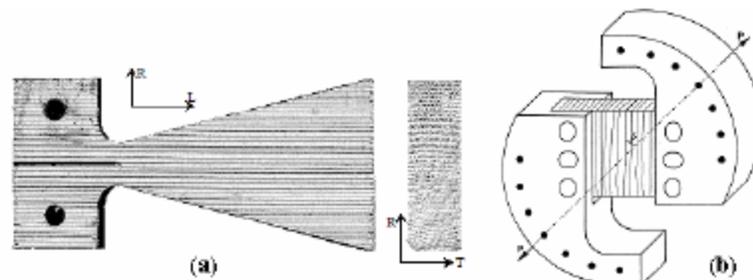


Figure 1. *a* : éprouvette DCB [DUB 02]; *b* : éprouvette CTS [VAL 89].

La conception de l'éprouvette 2MCG résulte d'une combinaison entre les géométries précédentes.

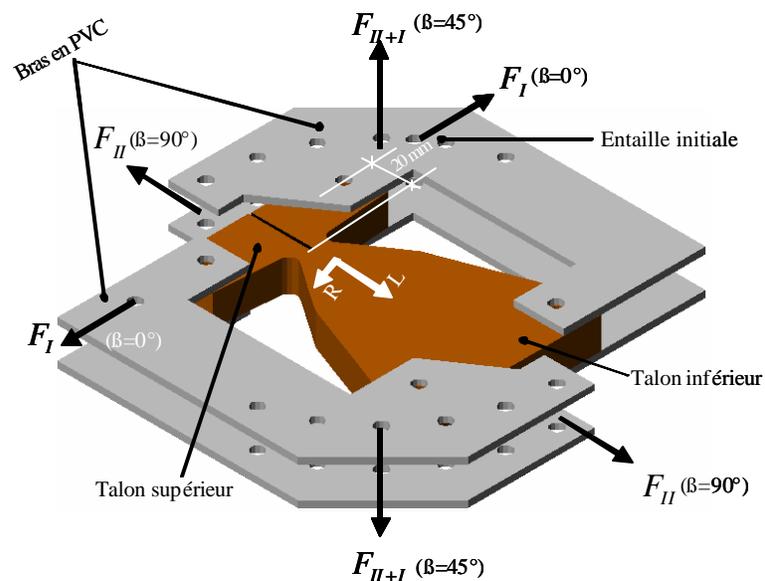


Figure 2. *Eprouvette 2MCG.*

A la **Figure 2** le talon supérieur a été légèrement modifié pour garantir une rigidité maximale. Le corps de l'éprouvette bois a été développé afin d'assurer la stabilité de G quelque soit la configuration en mode mixte. Aussi, un talon inférieur a été ajouté pour fixer les bras en PVC [MOU 08]. La fissure initiale $a = 20 \text{ mm}$ est orientée dans le sens des fibres (RL).

3. Résultats expérimentaux

3.1. Dispositifs expérimentaux

Les Figures 3 (a) et (b) présentent respectivement les dispositifs expérimentaux en mode I ($\beta = 0^\circ$) et mode mixte ($\beta = 45^\circ$). L'éprouvette 2MCG est maintenue par des axes de sollicitations fixés à une partie fixe et mobile (axe de sollicitation supérieure) de la presse. L'essence utilisée est le hêtre, dont les propriétés mécaniques sont relativement homogènes. L'entaille initiale est de 20 mm , orientée suivant l'axe des fibres, comme présenté à la Figure 2. Un capteur LVDT, relevant le déplacement des points d'application de l'effort, est situé sur un support fixe. Une caméra CCD est placée dans l'axe de la fissure.

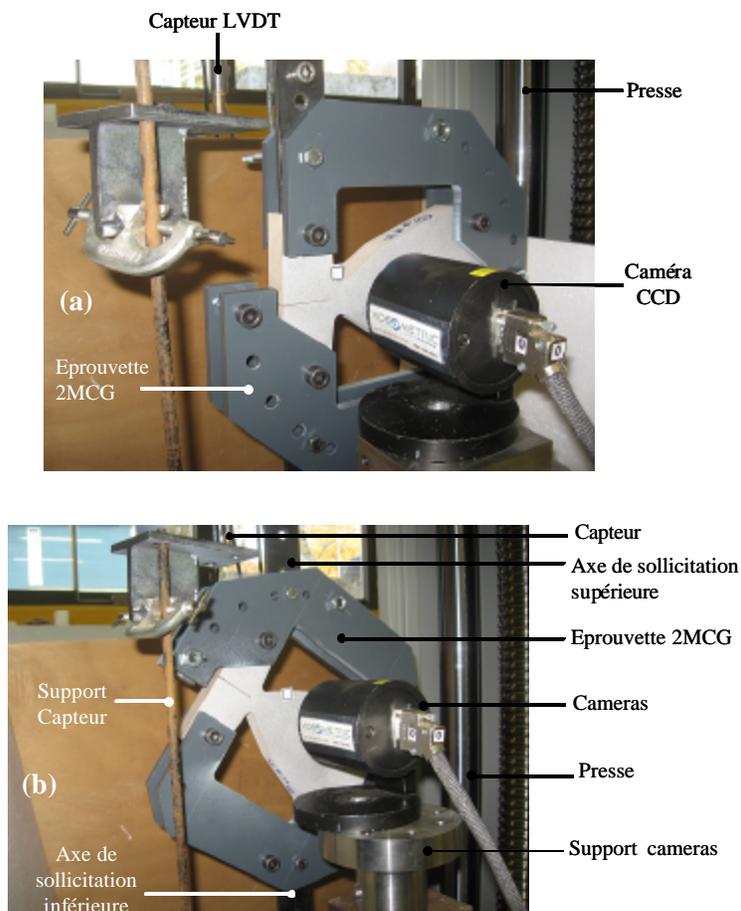


Figure 3. Dispositifs expérimentaux : a-mode I ($\beta=0^\circ$) ; b-mode mixte ($\beta=45^\circ$).

3.2. Courbes forces-déplacements

Les **Figures 4** (a) et (b) illustrent respectivement, les courbes forces-déplacements en mode I ($\beta = 0^\circ$) et en mode mixte global ($\beta = 45^\circ$). Sur ces deux graphiques, on observe trois parties distinctes. Une zone linéaire due à la partie élastique du chargement. Une seconde partie caractérisée par un ensemble de pics de forces critiques F_C qui initient une propagation nette de la fissure. Les pics croissants valident la zone de stabilité de la fissuration. Enfin, une dernière partie où la rupture du matériau survient suite à l'application d'une force de rupture F_R ($F_R = 840\text{ N}$ en mode I, et $F_R = 2975\text{ N}$ en mode mixte) traduisant l'instabilité finale de la fissure.

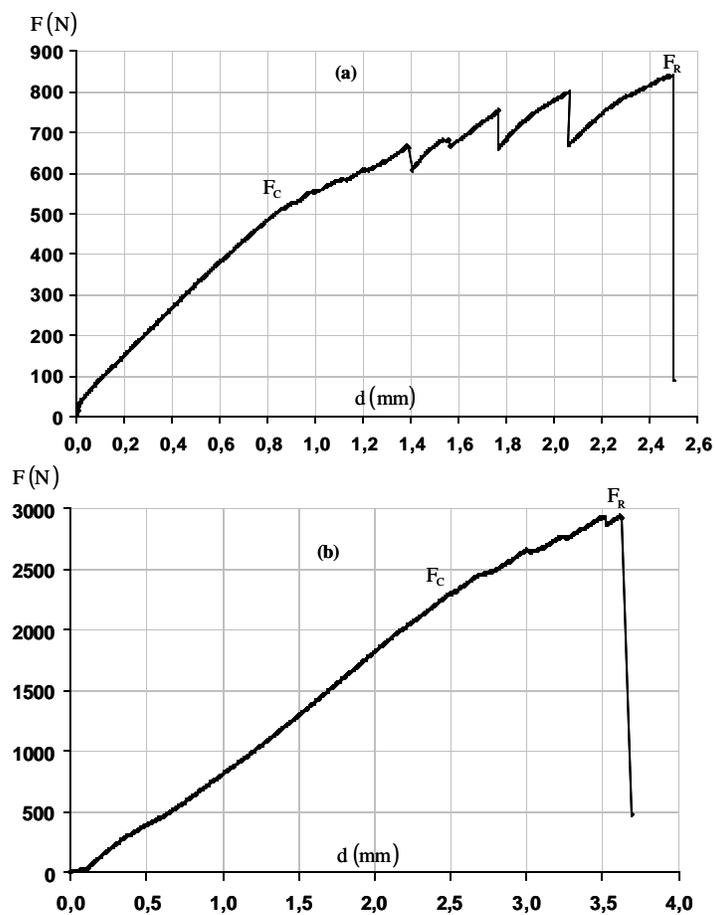


Figure 4. Forces-déplacements : a-mode I ($\beta=0^\circ$) ; b-mode mixte ($\beta=45^\circ$).

3.3. Longueur de fissure et taux de restitution d'énergie

La Figure 6 (a) montre les évolutions de la force en fonction de la longueur de fissure respectivement en mode I et en mode mixte globale 45°. Dans ce cas, la longueur de la fissure est détectée par l'analyse d'image et synchronisée avec les valeurs en force et déplacement.

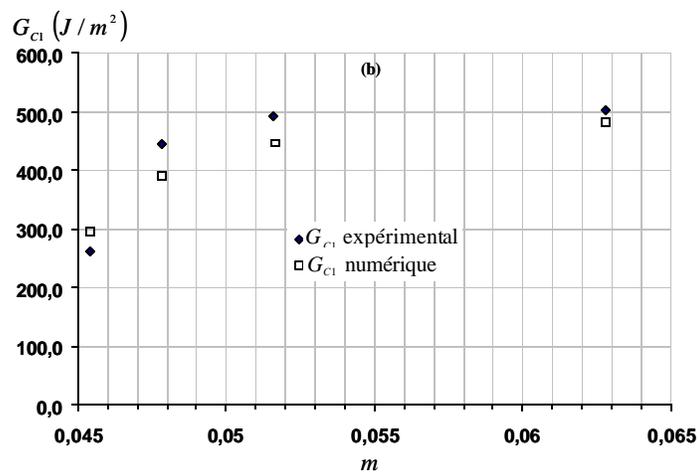
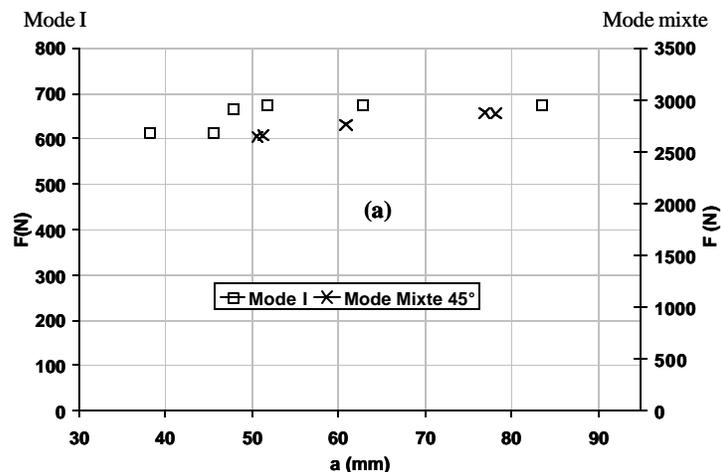


Figure 5. a : force-longueur de fissure ; b : Taux de restitution d'énergie.

Les points de la Figure 6 (a) sont obtenus par synchronisation en identifiant les forces critiques F_C induisant une avancée du front de fissure correspondant. On

constate que la force de rupture F_R en mode I est quatre fois supérieure à celle en mode mixte avec une plage de propagation plus importante (plus de 40 mm en mode I). Ce fait se justifie par la prépondérance des pics observés sur les courbes forces - déplacements en mode I par rapport au mode II, Figure 4 (a) et (b).

La Figure 6 (b) présente les variations du taux de restitution d'énergie critique expérimental et numérique G_{cI} en mode I en fonction de la longueur de fissure. Les constantes élastiques du hêtre sont les suivantes : $E_X = 14100 \text{ MPa}$; $E_Y = 400 \text{ MPa}$; $G_{XY} = 300 \text{ MPa}$. G_c est obtenu par la méthode de la complaisance de la manière suivante :

$$G_{cI} = \frac{F_c^2}{2 \cdot b} \cdot \left(\frac{\partial C}{\partial a} \right)_d \quad [1]$$

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 obtenue en déplacement imposé. On remarque une concordance entre les valeurs numériques et expérimentales.

4. Conclusion

Une méthode d'indentification des paramètres de fissuration a été présentée dans ce papier. Les essais ont été effectués sur une nouvelle éprouvette appelée 2MCG, responsable d'une propagation stabilisée en mode mixte. La conception de cette éprouvette est la conséquence non seulement d'un compromis entre les éprouvettes DCB et CTS, mais aussi de l'observation d'une stabilité du taux de restitution d'énergie élastique calculé par l'intermédiaire de l'intégrale M. Grâce à une presse munie d'un système d'acquisition, un capteur LVDT, et une caméra, les courbes forces-déplacements et les images correspondantes sont obtenues après synchronisation de l'ensemble. S'aidant de la méthode de la complaisance, les taux de restitution d'énergie expérimental et numériques sont évalués en fonction de la longueur de fissure en mode I. Il reste dorénavant à effectuer des essais de fissuration instantanés en mode de cisaillement et de prévoir des essais en fluage à long terme afin d'isoler, sur cette nouvelle géométrie, les caractéristiques viscoélastiques du matériau.

5. Bibliographie

[CHE 77] Chen F.M.K., Shield R.T., «Conservation laws in elasticity of Jintegral type». *Journal of applied Mechanics and Physics*, vol. 28, 1977, p. 1-22.

[DES 83] Destuynder P., Djaoua M., Lescure S., 1983 « Quelques remarques sur la mécanique de la rupture élastique », *Journal de Mécanique Théorique et Appliquée*, vol. 2, 1983, p. 113-115.

- [DUB 02] Dubois F., Chazal C., Petit C., « Viscoelastic crack growth process in wood timber: an approach by finite element method for mode I fracture », *International Journal of Fracture*, vol. 113, 2002, p. 367-388.
- [MOU 06a] Moutou Pitti R., Dubois F., Petit C., Sauvat N., « Découplage des modes de rupture dans un matériau viscoélastique orthotrope : application au matériau bois », *Actes des 24^e rencontres de l'AUGC*, La Grande Motte, 01-02 juin, 2006a, p. 135.
- [MOU 06b] Moutou Pitti R., Dubois F., Petit C., Sauvat N., « Fracture of wood under mixed mode loading : Numerical approach by the M^2 -integral », *9th World Conference on Timber Engineering*, Portland, OR, USA, August 6-10, 2006b.
- [MOU 07a] Moutou Pitti R., Dubois F., Octavian P., Sauvat N., Petit C., « Intégrale M^2 pour la propagation de fissure dans un milieu viscoélastique », *Comptes Rendus Mécaniques*, vol. 335, n° 11, 2007a, p. 727-731.
- [MOU 07b] Moutou Pitti R., Dubois F., Petit C., Sauvat N., « Mixed mode fracture separation in viscoelastic orthotropic media : numerical approach by the M^2 -integral », *International Journal of Fracture*, vol. 125, n°3, 2007b, p. 181-193.
- [MOU 07c] Moutou Pitti R., Dubois F., Petit C., Sauvat N., « Propagation de fissure en mode mixte dans un matériau viscoélastique orthotrope: approche numérique et analytique par l'intégrale M^2 », *Actes des 25^e rencontres de l'AUGC*, Bordeaux, 23-25 mai 2007c, p. 70-71.
- [MOU 08] Moutou Pitti R., Dubois F., Octavian P., « Nouvelle approche expérimentale pour le découplage de mode mixtes de rupture dans le bois », *Variation Dimensionnelle des Géomatériaux (GEODIM'08)*, Saint-Nazaire, 03-04 Avril 2008.
- [NOE 71] Noether E., « Invariant variations problem », *Transport Theory and Statistical Physics*, vol. 1, 1971, p. 183-207
- [RIC 81] Richard HA., « A new compact shear specimen », *International Journal of Fracture*, vol. 17, n°5, 1981, p. R105-R107.
- [SAM 97] Samarasinghe S., Kulasiri D., Nicolle K., « Study of mode-I and mixed-mode fracture in wood using digital image correlation method », *9th Proceedings of International Wood Engineering Conference*, Louisiana, USA, 1997.
- [VAL 89] Valentin G., Caumes P., « Crack propagation in mixed mode in wood: a new specimen », *Wood Science and Technology*, vol. 23, n° 1, 1989, p. 43-54.