

Dépouillement d'un essai de flexion dynamique aux barres de Hopkinson sur un matériau quasi-fragile

J.L. Hanus¹, B. Magnain¹, B. Durand¹, J. Alanis-Rodriguez¹, P. Bailly¹

¹ Prisme, Université Centre Val de Loire, ENSI de Bourges

{jean-luc.hanus, benoit.magnain, bastien.durand, javier.alanis-rodriguez, patrice.bailly}@ensi-bourges.fr

Résumé — Le dispositif des barres de Hopkinson constitue le «*standard*» pour évaluer les propriétés dynamiques de matériaux aux hautes vitesses de déformation. Son adaptation, pour la réalisation d'essais de flexion, permet d'étudier l'effet de la vitesse sur la résistance en traction de matériaux quasi-fragiles. Pour ces matériaux, la rupture apparaît pour de faibles déformations et avant atteinte d'un état d'équilibre dans l'échantillon. Une procédure d'analyse hors d'équilibre de l'essai a été développée. Des simulations numériques par éléments finis permettent d'en évaluer la pertinence et les limitations.

Mots clés — réponse hors équilibre, modélisation poutre, simulation EF.

Introduction

Les études de dangers et les analyses de risques amènent à envisager des scénarios de type explosion ou projection d'éclats. Les endommagements observés sur des éléments de structure en béton résultent souvent de sollicitations indirectes de traction à des vitesses de déformations de l'ordre de dizaines ou de centaines par seconde. Pour caractériser l'effet de la vitesse sur la résistance en traction dynamique de géomatériaux différents types d'essais dynamiques aux barres de Hopkinson peuvent être envisagés : traction dynamique directe, écaillage, brésilien ou encore de flexion. Si l'essai d'écaillage est assez répandu et désormais bien maîtrisé [Erzar (2010)], il n'en est pas de même de l'essai de flexion plus souvent utilisé pour des essais de ténacité [Jiang (2009)].

Une procédure de dépouillement a été spécialement développée pour l'analyse d'essais de flexion sur matériaux quasi-fragiles. Elle repose sur une modélisation de l'échantillon vu comme une poutre infinie et a été appliquée avec succès à des éprouvettes en terre cuite présentant une faible épaisseur ($e = 1.7\text{ cm}$) et un fort élancement ($\frac{l}{e} = 13$) [Delvare (2010)]. Des essais sont en cours sur des éprouvettes présentant une épaisseur plus importante et un plus faible élancement ($\frac{l}{e} = 4$, normalisation Eurocode 2 [EN 12390]) pour lesquelles il convient de vérifier la légitimité de la démarche proposée.

L'objectif de cet article est de réaliser une analyse comparative d'un dépouillement au moyen de l'approche analytique et de simulations numériques par la méthode des éléments finis.

Dispositif

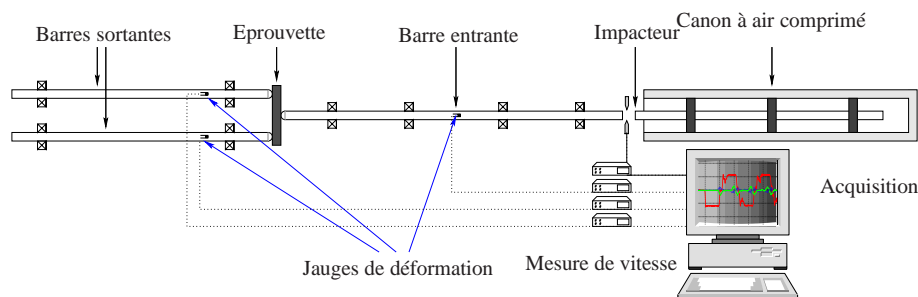


FIGURE 1 – Dispositif de flexion dynamique 3 points

Pour permettre une séparation aisée des ondes incidentes ε_i et réfléchies ε_r , les jauges sont collées au milieu de la barre entrante.

Dépouillement

La vitesse et la force au point de contact V_c et F_c entre la barre entrante et l'échantillon sont déterminées en utilisant les formules classiques de conservation de la quantité de mouvement et de compati-

bilité cinématique :

$$V_c(t) = -C_B(\varepsilon_i(t) - \varepsilon_r(t)) \quad (1)$$

$$F_c(t) = -C_B Z_B(\varepsilon_i(t) + \varepsilon_r(t)) \quad (2)$$

où $C_B = \sqrt{E_B/\rho_B}$ est la célérité des ondes 1D et $Z_B = E_B A_B / C_B$ l'impédance de la barre.

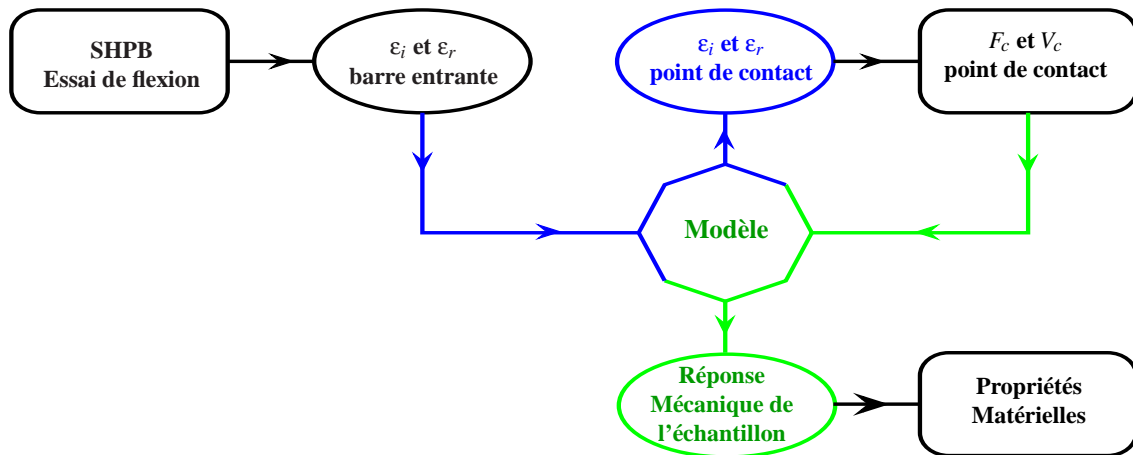


FIGURE 2 – Position centrale du modèle dans le dépouillement d'un essai

Dans l'essai de flexion dynamique, c'est la réponse de l'échantillon, vu comme une *structure*, qui détermine la relation entre l'onde incidente et l'onde réfléchie. Le dépouillement de l'essai nécessite l'utilisation d'un modèle de réponse de la structure à deux niveaux (figure 2) :

- pour le transport des ondes du point de mesure au point de contact ;
- pour la calcul de l'état mécanique dans l'échantillon.

Nous comparons les réponses du modèle analytique de poutre longue à ceux de modélisations par éléments finis. La figure 3 illustre la bonne concordance de résultats sur la contrainte maximale et la vitesse de déformation entre les différentes modélisations pour une poutre courte ($54mm \times 52mm \times 220mm$).

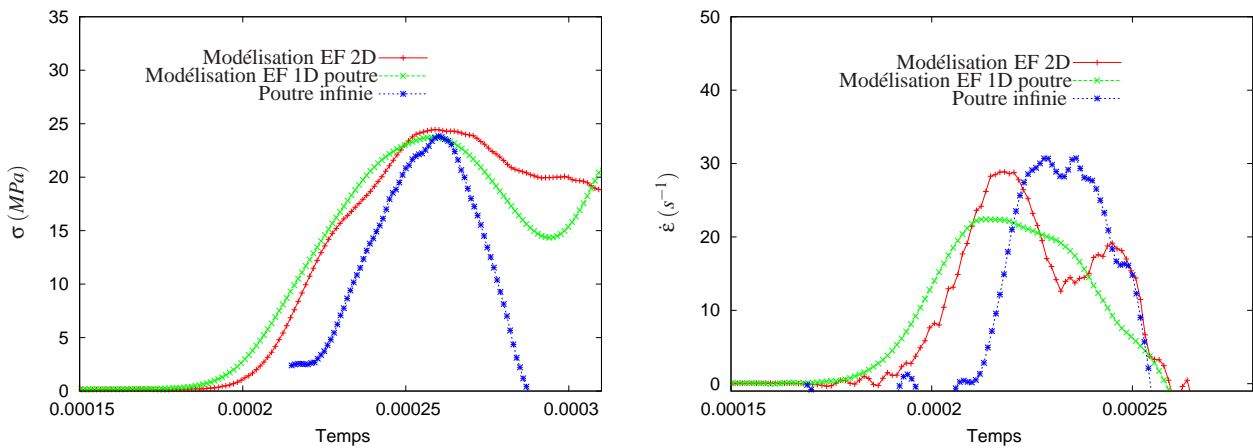


FIGURE 3 – Contrainte et vitesse de traction maximales dans l'échantillon

Références

- [Delvare (2010)] F. Delvare, J.L. Hanus, P. Bailly, *A non-equilibrium approach to processing Hopkinson Bar bending test data : Application to quasi-brittle materials*, International Journal of Impact Engineering, Volume 37, Issue 12, pp. 1170-1179, 2010
- [Erzar (2010)] B. Erzar, P. Forquin, *An experimental method to determine the tensile strength of concrete at high rates of strain*, Experimental Mechanics, vol. 50, n°, pp. 941-955, 2010
- [Jiang (2009)] F. Jiang, K. S. Vecchio, *Hopkinson Bar Loaded Fracture Experimental Technique : A Critical Review of Dynamic Fracture Toughness Tests*, Appl. Mech. Rev., vol. 62, 060802, 2009
- [EN 12390] NF EN 12390, *Essai pour béton durci - Partie 1 : Forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules*, 1999, *Partie 5 : Résistance à la flexion sur éprouvettes*, 2001