



**HAL**  
open science

# Analyse numérique d'une séquence d'images ultra-rapides: application à la fissuration dynamique de structures impactées

Emile Roux, Patrice Longère, Thierry Millot

## ► To cite this version:

Emile Roux, Patrice Longère, Thierry Millot. Analyse numérique d'une séquence d'images ultra-rapides: application à la fissuration dynamique de structures impactées. 12e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2015, Giens, France. hal-01516462

**HAL Id: hal-01516462**

**<https://hal.science/hal-01516462>**

Submitted on 1 May 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.

Public Domain

# Analyse numérique d'une séquence d'images ultra-rapides : application à la fissuration dynamique de structures impactées

Emile Roux<sup>1</sup>, Patrice Longère<sup>1</sup>, Thierry Millot<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées, Institut Clément Ader (EA 814), ISAE, Toulouse, France, {emile.roux ; patrice.longere}@isae.fr

<sup>2</sup>DCNS Research, Indret, France

**Résumé** — Une méthode d'analyse numérique d'images est proposée permettant de suivre le déplacement de points localisés le long de lignes gravées sur une plaque. Cette technique permet d'une part d'identifier les champs cinématiques successifs conduisant à la ruine dynamique de la structure et d'autre part de quantifier les vitesses de propagation mises en jeu. Elle est appliquée à l'étude de la propagation de fissure dans un acier haute résistance à partir d'images obtenues à une fréquence ultra-rapide de 1Mfps lors d'un essai d'impact de type Kalthoff & Winkler. Le développement d'une bande de cisaillement adiabatique et de la fissuration qui s'ensuit sont ainsi observés et analysés grâce à la méthode en question.

**Mots clés** — analyse numérique d'image, cisaillement adiabatique, propagation de fissure

## 1 Introduction

Une méthode d'analyse numérique d'images est proposée permettant de suivre le déplacement de points localisés le long de lignes gravées sur une plaque. Cette technique permet d'une part d'identifier les champs cinématiques successifs conduisant à la ruine dynamique de la structure et d'autre part de quantifier les vitesses de propagation mises en jeu.

Cette technique est appliquée à l'étude de la propagation de fissure dans un acier haute résistance à partir d'images obtenues à une fréquence ultra-rapide de 1Mfps et une résolution spatiale de  $312 \times 260$  pixel<sup>2</sup> lors d'un essai d'impact de type Kalthoff & Winkler [1]. Cet essai consiste à impacter la tranche d'une plaque doublement pré-entaillée au moyen d'un projectile cylindrique (Figure 1). Suivant la vitesse du chargement, la nuance du matériau, la température, différents phénomènes sont observés : rupture en mode I ou II, développement de bande de cisaillement adiabatique (BCA) [2], etc.

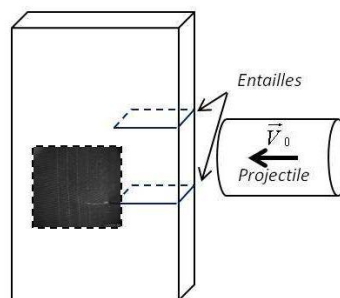


Figure 1 – Vue schématique de l'essai Essai Kalthoff & Winkler avec la zone d'intérêt filmée avec une caméra ultra-rapide.

Dans le cas du matériau étudié, la ruine ultime de la structure résulte du développement d'une bande de cisaillement adiabatique et de la fissuration. Ces deux mécanismes ont été analysés grâce à la méthode d'analyse numérique d'images retenue ici. L'objectif à terme est de donner grâce à ce type d'approche des éléments à la fois qualitatifs et quantitatifs aux modélisateurs [3,4] en vue de mener des calculs sur des structures complexes impliquant des mécanismes de détérioration multiples.

## 2 Méthode d'analyse numérique des images

Les lignes gravées sur la surface de l'éprouvette permettent de suivre le déplacement latéral de la matière suite à l'impact. Sous l'hypothèse que le déplacement vertical est nul, la dérivée de ces lignes par rapport à l'axe vertical donne directement la déformation en cisaillement subie par la matière. L'objectif est donc de décrire à l'aide de fonctions analytiques l'évolution des lignes gravées sur l'éprouvette pour remonter au champ de déplacement. Pour cela la procédure incrémentale suivante est développée à l'aide de Matlab :

- Découpe de l'image en sous-images contenant chacune une ligne (Figure 2a).
- Détection des contours de la ligne par un filtre de Sobel : obtention d'un nuage de points décrivant la ligne (Figure 2b).
- Identification des paramètres de la fonction analytique par régression linéaire sur la base du nuage de points.

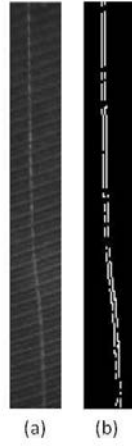


Figure 2 – Sous-image contenant une ligne, b) résultat de la détection de contour par le filtre de Sobel.

Le déplacement de chaque point des lignes est exprimé par la fonction suivante :

$$U_x(y, t) = U_x^{DM}(t) + U_x^{DHF}(y, t) + H(\gamma_{c1})U_x^{BCA}(y, t) + H(\gamma_{c2})U_x^{crack}(y, t) \quad (1)$$

Chaque composante de cette fonction (1) représente une étape/zone différentes (Figure 3a) et fait intervenir différents paramètres :

- Déplacement matériel :  $U_x^{DM}(t)$
- Champ de déplacement dans la zone faiblement hétérogène:

$$U_x^{DHF}(y, t) = \bar{U}_x^{DHF}(t) \sum_{i=1}^2 \tanh[d_i(t) \cdot (y - y_{offset})]$$

- Champ de déplacement dans la zone fortement hétérogène associée à la BCA :

$$U_x^{BCA}(y, t) = \begin{cases} \frac{\bar{\gamma}^{BCA}(t) \cdot w}{\pi} \sin\left(\pi \frac{y - y_{offset}}{w}\right) & \text{if } y - y_{offset} \in \left[-\frac{w}{2}, \frac{w}{2}\right] \\ + \frac{\bar{\gamma}^{BCA}(t) \cdot w}{\pi} & \text{if } y - y_{offset} > \frac{w}{2} \\ - \frac{\bar{\gamma}^{BCA}(t) \cdot w}{\pi} & \text{if } y - y_{offset} < -\frac{w}{2} \end{cases}$$

Cette composante est activée lorsque le cisaillement critique  $\gamma_{c1}$  est atteint (via la fonction de Heaviside  $H(\gamma_{c1})$ ).

- Champ de déplacement discontinu induit par la fissure :

$$U_x^{crack}(y,t) = \bar{U}_x^{crack}(t) \mathbf{x} \begin{cases} -1/2 & \text{if } y - y_{offset} > 0 \\ +1/2 & \text{if } y - y_{offset} < 0 \end{cases}$$

Cette composante est activée lorsque le cisaillement critique  $\gamma_{c2}$  est atteint.

Au total 9 coefficients sont introduits pour décrire le champ de déplacement ( $\bar{U}_x^{DHF}(t)$ ,  $d_1(t)$ ,  $d_2(t)$ ,  $y_{offset}$ ,  $\gamma_{c1}$ ,  $\bar{\gamma}^{BCA}(t)$ ,  $w$ ,  $\gamma_{c2}$ ,  $\bar{U}_x^{crack}(t)$ ). Les valeurs de ces coefficients sont identifiées en utilisant une méthode par régression linéaire pondérée. Cette méthode permet de s'affranchir des problèmes d'irrégularité du nuage de points issue de la détection de contour. De plus une contrainte de croissance est ajoutée sur 5 paramètres ( $\bar{U}_x^{DHF}(t)$ ,  $d_1(t)$ ,  $d_2(t)$ ,  $\bar{\gamma}^{BCA}(t)$  et  $\bar{U}_x^{crack}(t)$ ). Ces contraintes empêchent certes de capturer les phénomènes de relaxation mais améliorent la robustesse de la méthode.

Ce champ de déplacement (1) est ensuite dérivé pour obtenir la déformation en cisaillement :

$$\gamma_{xy}(y,t) = \frac{\partial U_x(y,t)}{\partial y} \quad (2)$$

### 3 Résultats

#### 3.1 Champs de déplacement et de déformation

Les champs de cisaillement (2) obtenus sont présentés Figure 3b. Une fois le champ de déformation mesuré il est possible d'évaluer les vitesses de cisaillement mises en jeu lors du développement de la BCA, ces vitesses se situent dans la décade  $10^5 \text{ s}^{-1}$ , cette valeur étant une borne inférieure.

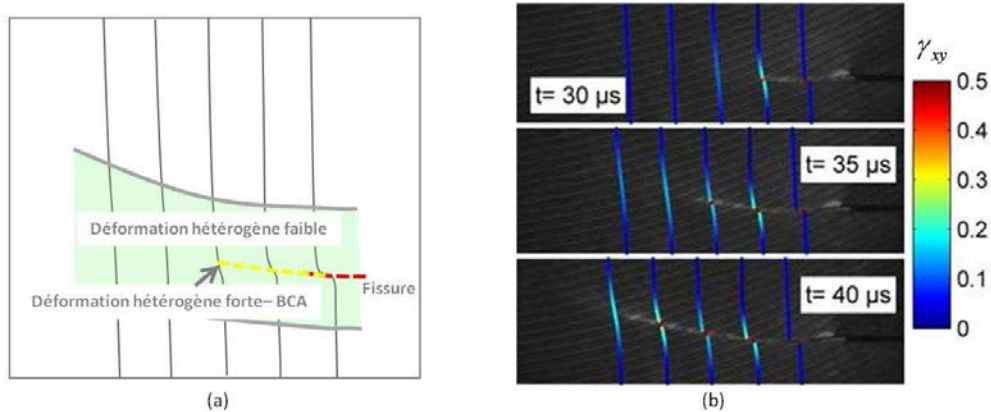


Figure 3 – Evaluation du champ de déformation basée sur le suivi des lignes perpendiculaires au chemin de propagation, a) représentation des différents phénomènes et zones sur l'éprouvette, b) champs de cisaillement.

### 3.2 Vitesses de propagation

La série de 100 images capturée permet aussi de mesurer les vitesses de propagation des différents phénomènes qui mènent à la rupture de la structure (Figure 4). L'impact à une vitesse de 156 m/s induit ainsi dans la structure une vitesse de cisaillement de 40m/s de part et d'autre de la pré-entaille, la propagation d'une BCA à une vitesse pouvant atteindre 650 m/s puis la propagation d'une fissure dans le sillage de la BCA à une vitesse de 260 m/s. Ces valeurs sont des bornes inférieures.

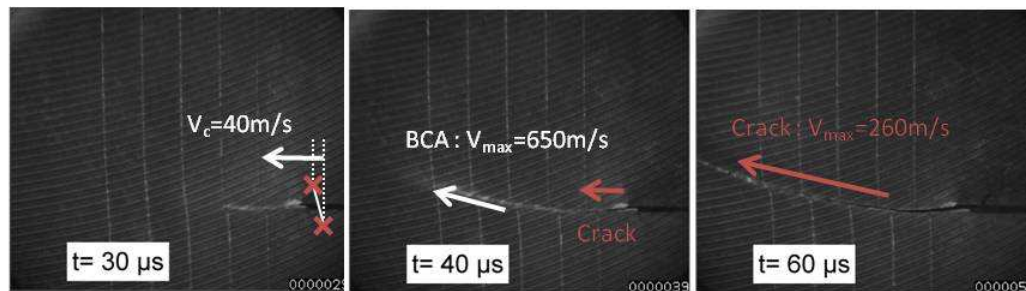


Figure 4 – Vitesses de propagations.

## 4 Conclusion

L'analyse numérique d'image réalisée sur l'essai d'impact permet d'observer et de quantifier les grandeurs mécaniques liées au développement d'une BCA et de la fissuration qui s'ensuit dans le cadre d'un impact dynamique. La BCA est notamment observée comme précurseur de la fissure.

La perspective principale de ces travaux est d'enrichir la méthode d'analyse d'images en adaptant notamment les méthodes de mesure de champs par corrélation d'image à la problématique de l'impact, pour à terme alimenter et calibrer les modèles de fissuration et de ruine des structures.

### Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier la DGA/MRIS pour son support financier.

### Références

- [1] J.F. Kalthoff, S. Winkler, Failure mode transition at high rates of shear loading, Proc Int Conf Impact Load. Dyn. Behav. Mater. (1987) 185–195.
- [2] J. Duffy, Y.C. Chi, On the measurement of local strain and temperature during the formation of adiabatic shear bands, Mater. Sci. Eng. A. 157 (1992) 195–210.
- [3] P. Longère, A. Dragon, X. Deprince, Numerical Study of Impact Penetration Shearing Employing Finite Strain Viscoplasticity Model Incorporating Adiabatic Shear Banding, J. Eng. Mater. Technol. 131 (2008) 1–14.
- [4] S. Su, L. Stainier, S. Mercier, Energy-based variational modeling of fully formed adiabatic shear bands, Eur. J. Mech. - ASolids. 47 (2014) 1–13.