

Analyse du phénomène de striction en régime dynamique par stéréocorrélation

G. BESNARD - J.-M. LAGRANGE / CEA-DAM Île-de-France

F. HILD - S. ROUX / Laboratoire de mécanique et technologie, ENS Cachan / CNRS / UPMC, UniverSud Paris, Cachan

P. MARTINUZZI / CEA - Valduc

La compréhension physique des mécanismes de ruine, telle que la striction, implique la réalisation d'expériences élémentaires au cours desquelles les matériaux subissent de grandes déformations, pour différents types de géométrie et de trajets de chargement. Cet article illustre une telle situation dans le cas d'éprouvettes cylindriques en aluminium de différentes longueurs soumises à une sollicitation de traction rapide au moyen de barres de Hopkinson. Afin de caractériser le comportement des éprouvettes, un système d'imagerie numérique rapide est mis en oeuvre. Nous décrivons ici l'accès à l'évolution de l'état de surface au cours du temps par la mise en place d'un système d'acquisition stéréoscopique. Nous insistons sur les spécificités liées à la haute cadence des prises de vue et aux grandes déformations des objets analysés ce qui, dans le contexte de notre étude, nécessite l'emploi de techniques de dépouillement d'images complémentaires.

Pour les applications de dynamique rapide où les objets subissent de grandes déformations (parfois au-delà de 100 %) pendant des temps très courts (moins de 1 ms), la cinématographie rapide est un moyen incontournable. Dans ce contexte, la mise en place d'un système stéréoscopique permet d'accéder à des informations tridimensionnelles liées à l'état de surface, grandeurs qui nous intéressent tout particulièrement dans le cadre de la caractérisation de la striction. En couplant la stéréovision avec la corrélation d'images numériques [1], grâce au recours à un marquage de type « mouchetis » de la surface de l'objet étudié, l'objectif est de fournir, par une analyse automatisée, une caractérisation de la qualité de la surface au cours du temps ainsi que les temps d'apparition des localisations de déformation. Tous les principes des techniques précitées ainsi que les éléments de caractérisation complète de nos chaînes optiques (distorsion, résolution) sont décrits en détail dans [2]. Nous nous concentrons sur leur déclinaison à des expériences de traction rapide en analysant, plus particulièrement, la problématique de l'étalonnage stéréoscopique ainsi

que l'association univoque, spatiale et temporelle, préalable à la reconstruction 3D.

Spécificité de la reconstruction de surfaces de matériaux déformés sous barres de Hopkinson

Comme illustré sur la **figure 1**, un système stéréoscopique réside dans l'observation d'une scène selon différents angles de vue. Pour nos applications, compte tenu de la durée de l'expérimentation de quelques millisecondes, la cadence d'acquisition doit être de l'ordre de 50 000 images par seconde. La solution retenue est d'utiliser deux caméras rapides (Photron APX-RS). Or, pour ces vitesses d'enregistrement, la résolution des images est faible et est à mettre en relation avec les forts niveaux de déformation atteints en cours d'expérience. Les associations spatiales et temporelles s'enrichissent, par conséquent, de corrections préalables.

L'accès à des informations 3D est basé sur l'analyse de paires d'images bidimensionnelles et nécessite une incontournable étape d'étalonnage stéréoscopique.

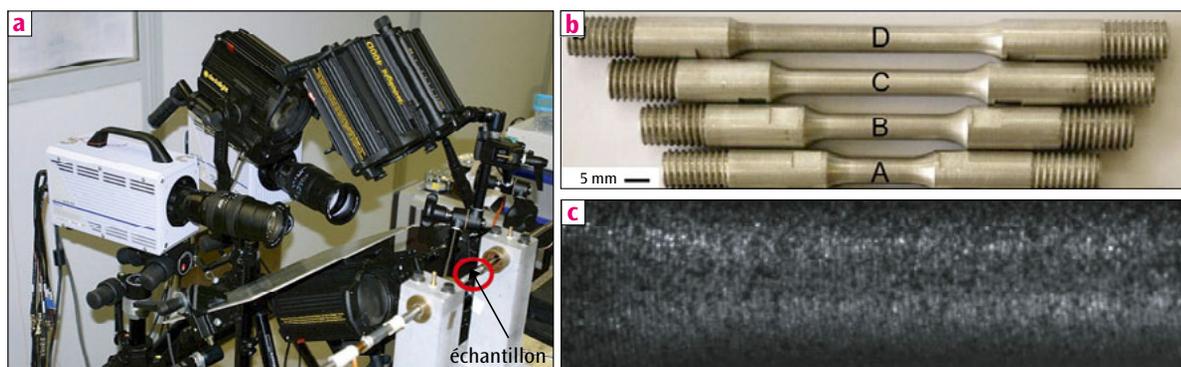


Figure 1. (a) Mise en oeuvre expérimentale de la visée stéréoscopique. (b) : Géométries des différentes éprouvettes cylindriques testées et zoom du mouchetis (c).

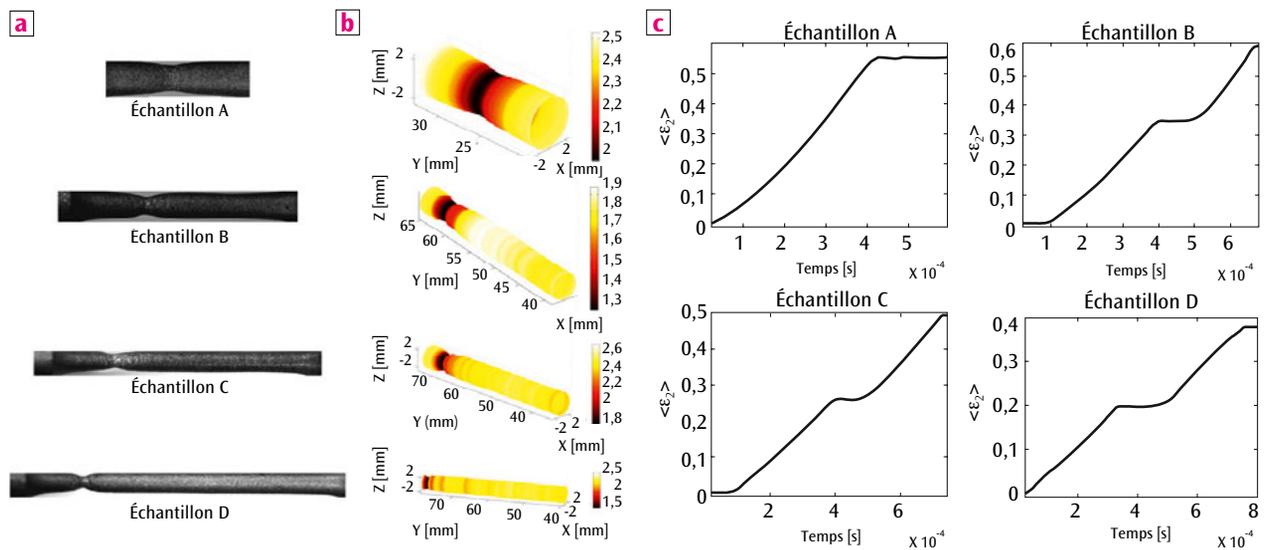


Figure 2. Observation de la striction des éprouvettes (a) et reconstruction 3D correspondante (b). (c) : Courbes traçant l'évolution de la déformation moyenne en fonction du temps pour les 4 géométries cylindriques.

Ceci conduit à la mise en place de mires calibrées en forme de livre ouvert [2] dont les surfaces représentent un damier fortement contrasté où chaque intersection est précisément connue.

Les associations spatiale (relations univoques entre les images gauche et droite) et temporelle (suivi d'un point au cours de sa déformation) sont basées sur la corrélation d'images [2] dont les performances sont intimement liées au marquage initial réalisé sur la surface de l'objet, ce marquage étant obtenu par mouchetis de peinture (figure 1c).

La présence de grands déplacements 3D ainsi que la forme de l'objet impliquent des mouvements importants d'amplitude sur les images enregistrées qui perturbent l'emploi de techniques basées sur la corrélation, malgré les stratégies multi-échelles qu'elles incorporent [2,3]. Une phase de prétraitement a été développée de manière à stabiliser la séquence en anticipant au mieux l'expansion apparente de l'objet, et en incluant sa forme théorique (dans le cas d'éprouvettes cylindriques). Cette phase consiste en des calculs grossiers de corrélation à référence variable couplés à une détection de contour de l'objet pour l'association temporelle. Pour l'association spatiale, la connaissance théorique de la forme est utilisée afin d'améliorer cette étape [4]. Ces estimations préliminaires donnent accès à un déplacement moyen permettant une initialisation du second calcul de corrélation beaucoup plus fin et à référence fixe (pas de cumul d'erreurs).

Tous les points précédents étant maîtrisés, la reconstruction 3D de la surface en découle pour différentes tailles d'éprouvettes testées (figure 2). De ces reconstructions, l'évolution des déformations principales sont déduites et servent de base pour la caractérisation du temps d'apparition de la striction mécanique.

L'estimation des incertitudes, pour les différents postes de dégradation des mesures expérimentales, est ensuite menée par propagation d'erreurs. Cette donnée permet de chiffrer la confiance sur les

positions résultantes, mais aussi de prédire les améliorations à venir en fonction des progrès attendus sur les dispositifs expérimentaux et, notamment, les caméras.

Perspectives

Cet article démontre la faisabilité de la reconstruction de l'état de surface d'un objet en grande déformation par imagerie ultrarapide et illustre son application aux études expérimentales de la localisation, cruciales pour la validation des approches numériques. Aujourd'hui, la principale voie de progrès réside dans l'amélioration de la technique d'imagerie avec l'emploi de plusieurs caméras dont la résolution serait augmentée. Un moyen prometteur de ce type est en cours de développement au sein du CEA/DAM [5]; il est basé sur un éclairage laser diffus et très bref (quelques ns) couplé à une caméra numérique intensifiée.

Références

- [1] M. A. SUTTON, J. J. ORTEU, H. W. SCHREIER, *Image Correlation for Shape, Motion and Deformation Measurements: Basic Concepts, Theory and Applications*, Springer, Berlin, Germany, 2009.
- [2] G. BESNARD, *Caractérisation et quantification de surfaces par stéréocorrélation pour des essais mécaniques du quasi statique à la dynamique ultra-rapide*, Thèse de doctorat, École normale supérieure de Cachan (2010).
- [3] G. BESNARD *et al.*, "Characterization of Necking Phenomena in High-Speed Experiments by Using a Single Camera", *EURASIP J. Im. Video Proc.*, Vol. 2010, ID 215956 (2010).
- [4] G. BESNARD, F. HILD, J.-M. LAGRANGE, P. MARTINUZZI, S. ROUX, "Analysis of necking in high speed experiments by stereocorrelation", *Int. J. Impact Eng.*, **49**, p. 179-191 (2012).
- [5] P.A. FRUGIER *et al.*, "Laser imaging: picturing high-explosive driven experiments with nanoseconds to picoseconds exposure times", *Proc. 29th International Congress on High-Speed Imaging and Photonics*, Morioka, Japan, 20-24 September 2010.