

# Identification expérimentale d'une zone cohésive par corrélation d'images

## Exemple pour une rupture par craquelage dans un polymère amorphe

R. Estevez<sup>1</sup>, J. Réthoré<sup>2</sup>

<sup>1</sup> SIMaP, Grenoble-INP, France, Rafael.Estevez@simap.grenoble-inp.fr

<sup>2</sup> LaMCoS, INSA Lyon, France, Julien.Rethore@insa-lyon.fr

---

### Résumé —

Nous présentons une identification d'un modèle de zone cohésive à partir de mesures par corrélation d'images des champs de déplacement observées autour d'une entaille sollicitée principalement en mode I. A partir d'un seul essai, des caractéristiques comme le niveau de contrainte pour l'amorçage du craquelage, l'ouverture critique et l'étendue de la zone d'élaboration ainsi que le profil traction-ouverture sont obtenus. Les valeurs identifiées apparaissent cohérentes avec des mesures reportées par ailleurs dans la littérature.

**Mots clés** — Corrélation d'images, Identification, Zone cohésive, Polymères.

---

## 1 Présentation de l'étude

La rupture des polymères amorphes solides (PMMA, polystyrène, polycarbonate) a lieu par craquelage. Ce mécanisme procède selon trois étapes (i) d'amorçage pour un état de contrainte local critique, (ii) de fibrillation avec la transformation de la matière massive en fibrille avec une zone plastique localisée à l'interface entre ces deux régions et (iii) l'apparition d'une fissure pour une ouverture critique caractéristique du matériau. La géométrie d'une craquelure avec quelques microns d'épaisseur et quelques dizaines de microns de longueur suggère une description par un modèle de zone cohésive pour l'analyse de la rupture des polymères. La communauté de mécanique des polymères a d'abord considéré le modèle de Dugdale [2] pour sa description dont les prédictions en termes de longueur de zone cohésive ont été assez bien vérifiées expérimentalement par des observations en interférométrie optique de la craquelure se développant au fond d'une entaille sollicitée en mode I [1].

Cependant, le modèle de Dugdale avec l'hypothèse d'une énergie de fissuration constante est mis en défaut expérimentalement où des effets de vitesses de chargement sur le taux de restitution d'énergie correspondant à l'amorçage de la propagation ([1, 5]). L'origine d'une telle dépendance se trouve dans le mécanisme de rupture par craquelage avec notamment l'étape de fibrillation qui implique une plasticité localisée [4] intrinsèquement dépendante du temps (et de la température) pour cette classe de matériaux. A partir des observations physiques disponibles un modèle cohésif viscoplastique a été proposé pour décrire le craquelage [6, 3]. Cette proposition a été calibrée et validée expérimentalement [5], notamment pour rendre compte d'effets de vitesse de chargement sur l'amorçage de la rupture. Cependant, la calibration nécessite de expérimentations séparées et approfondies des trois étapes caractéristiques du craquelage pour identifier un critère d'amorçage, la cinétique d'élargissement des fibrilles et leur rupture une ouverture critique. Dans cette étude, une méthode d'identification de la relation contrainte ouverture est proposée à partir d'un seul essai de rupture. Les champs de déplacement autour d'une entaille sollicitée principalement en mode I sont enregistrés. Une méthodologie est présentée à partir de laquelle la relation traction-ouverture est identifiée pour cet essai qui permet notamment d'identifier l'ouverture critique à partir de laquelle une fissure apparaît, l'étendue de la zone de craquelage en avant du fond d'entaille ainsi que le niveau de contrainte pour lequel le mécanisme de craquelage s'amorce.

Le matériau retenu pour cette étude est un PMMA commercial (Perspex) identique à celui étudié par Saad et al. [5]. Une entaille fine est créée par tapping (cf. [5]) et un mouchetis est préparé autour de l'entaille. Une vis assure son ouverture en mode I principalement, bien qu'une mixité entre mode I et II

apparaissent progressivement car la configuration n'est pas pleinement symétrique. Nous présentons en Fig. 1 un schéma du montage ainsi qu'une image numérisée de l'état déformé avant la propagation de la fissure.

Les champs de déplacement expérimentaux issus de la corrélation d'image sont ajustés de manière à extraire localement leur répartition gouvernée par la singularité en facteur d'intensité des contraintes [7] mais surtout en tenant compte d'une contribution due à la zone cohésive en fond d'entaille. La forme de la zone cohésive ainsi que ses caractéristiques en terme d'ouverture critique (cf. Fig 2) et de longueur de process zone sont extraites des observations. Nous montrerons que les caractéristiques obtenues sont conformes aux observations reportées par ailleurs [1, 5] ce qui suggère qu'à partir de ce seul essai, un modèle cohésif pour le craquelage peut être identifié.

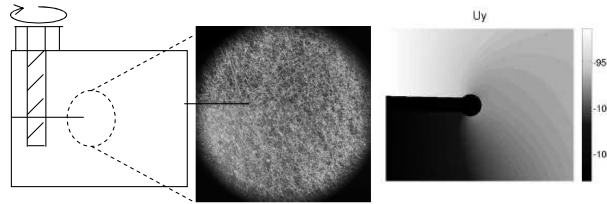


FIG. 1 – Schéma de l'essai de rupture, observation du mouchetis déposé et un calcul d'identification de la composante verticale  $U_y$  du champ de déplacement autour de l'entaille.

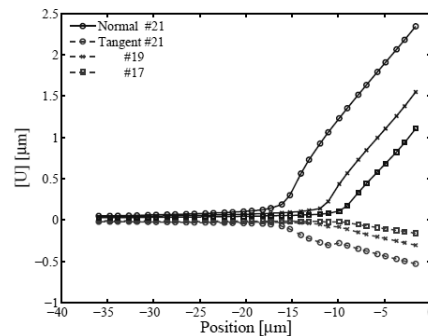


FIG. 2 – Variation de l'ouverture normale (partie ascendante) et tangentielle de la zone cohésive au cours du chargement. Une ouverture normale critique de  $2.4\mu\text{m}$  est observée à l'amorçage de la propagation.

## 2 Références bibliographiques

### Références

- [1] W. Döll, L. Könczöl, *Micromechanics of fracture : optical interferometry of crack tip craze zone*, Advances in Polymer Science, Vol. 91-92, 138-214, 1990.
- [2] D.S. Dugdale, *Yielding of steel sheets containing slits*, J. Mech. Phys. Sol, Vol. 8, 100-104, 1960.
- [3] R. Estevez, E. Van der Giessen, *Modeling and computational analysis of fracture of glassy polymers*, Adv. Polym. Sci, Vol. 188 (II), 195-234, 2005.
- [4] E.J. Kramer, L.L. Berger, L.L., *Craze growth and fracture*, Advances in Polymer Science Vol. 91-92, 1-68, 1990.
- [5] N. Saad-Gouider, R. Estevez R., C. Olagnon, R. Séguéla, *Calibration of a viscoplastic cohesive zone for crazing in PMMA*, Engng. Fracture Mechanics, Vol. 73, 2503-2522, 2006.
- [6] M.G.A. Tijssens, E. Van der Giessen, L.J. Sluys, 2000. *Modeling of crazing using a cohesive surface methodology*, Mechanics of Materials, Vol. 32, 19-35, 2000.
- [7] S. Roux, J. Réthoré, F. Hild, *Digital image correlation and fracture : an advanced technique for estimating stress intensity factors of 2d and 3d cracks*, Journal of Physics D : Applied Physics, Vol. 42 (214004), 2009.