

# Rupture ductile en présence d'anisotropie

Yazid MADI

Centre des Matériaux - Mines ParisTech, CNRS UMR 7633, Evry  
EPF-Ecole d'ingénieur-e-s, Sceaux

Le comportement anisotrope est observé sur beaucoup de structures, particulièrement sur des tôles laminées qui sont les éléments de base de certains composants structuraux (pipelines en aciers servant au transport d'énergie, éléments structuraux d'avions en alliage d'aluminium ou encore alliage de magnésium qui est un matériau d'avenir et candidat potentiel pour remplacer différents éléments de structures). L'anisotropie ici fait référence à la fois au processus de déformation lié à la plasticité anisotrope et également au processus de rupture anisotrope. Pour bien prédire la rupture anisotrope, il est indispensable de décrire au préalable parfaitement le comportement plastique du matériau. Le critère de plasticité anisotrope le plus simple est celui développé par Hill (Hill 1950). Cependant ce modèle quadratique ne permet pas de décrire simultanément l'anisotropie en contrainte et l'anisotropie en déformation de sorte que des modèles plus sophistiqués doivent être utilisés (Barlat, 1991 ; Karafillis et Boyce 1993, Bron et Besson 2004 ; Kondori et al, 2018). La première partie de notre exposé sera consacrée aux travaux réalisés dans la recherche de critères de plasticité adaptés au comportement anisotrope observés sur des tôles laminées. On se focalisera plus spécifiquement sur l'exemple d'un acier à haute résistance de grade API X100 (procédé de laminage thermomécanique) utilisé pour le transport du gaz. La seconde partie de notre exposé sera dédiée aux travaux réalisés dans la recherche de critères de rupture pour décrire la rupture anisotrope d'aciers de pipeline. Les propriétés de rupture ont été étudiées à l'aide d'essais de traction, de traction entaillée et d'éprouvettes fissurées de type CT (Compact Tensile) et SENB (Single Edge Notched Bending). Les éprouvettes testées dans le sens du laminage L sont plus ductiles et plus résistantes à la propagation de fissures que celles testées dans le sens transversal long T. L'analyse des faciès de rupture ne permet pas de mettre clairement en évidence l'anisotropie de rupture. Une mise en évidence plus claire de l'anisotropie de rupture est alors proposée à l'aide d'essais *in-situ* couplés à la technique de tomographie X (cf. Figure 1). Des calculs de cellules ont été utilisés pour montrer que l'anisotropie de rupture n'est pas liée à l'anisotropie plastique. En supposant que la rupture est contrôlée par la localisation interne entre des vides espacés de façon anisotrope, un modèle multi-surfaces combinant les modèles GTN (Gurson 1977 ; Tvergaard et Needleman 1984) et Thomason (Thomason 1985) est proposé pour décrire l'anisotropie de rupture. Un modèle phénoménologique modifié est également proposé afin de réduire le coût de calcul.

Mots clés : comportement plastique, rupture, ductile, anisotropie, approche locale, tomographie X.

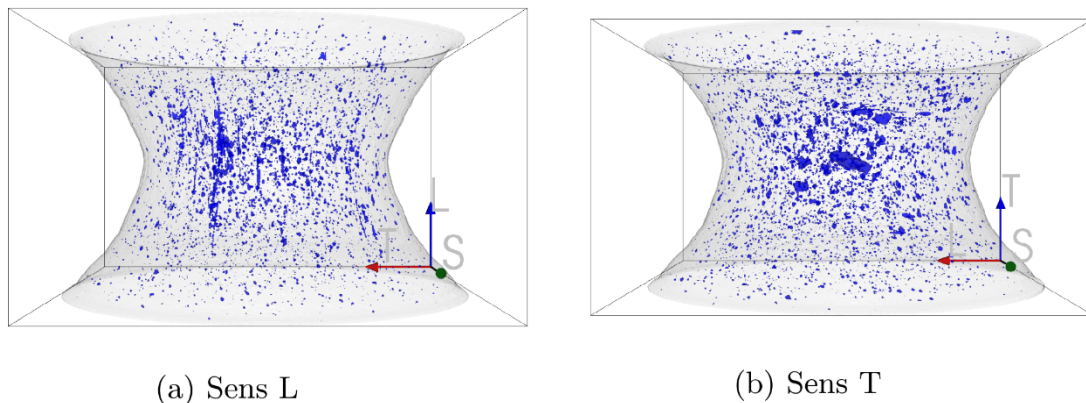


Figure 1 : Mise en évidence de l'anisotropie de rupture par analyse en tomographie X sur deux essais de traction entaillée : a) direction L de sollicitation et b) direction T de sollicitation.

## Références :

- F. Barlat, D. Lege, J. Brem, A six-component yield function for anisotropic materials, *Int. J. Plasticity* 7 (1991) 693–712.
- F. Bron, J. Besson, A yield function for anisotropic materials. Application to aluminium alloys, *Int. J. Plasticity* 20 (2004) 937–963.
- A. Karafillis, M. Boyce, A general anisotropic yield criterion using bounds and a transformation weighting tensor, *J. Mech. Phys. Solids* 41 (1993) 1859–1886.
- A. L. Gurson, Continuum theory of ductile rupture by void nucleation and growth: Part I— Yield criteria and flow rules for porous ductile media, *J. Engng Mater. Technol.* 99 (1977) 2–15.
- R. Hill, *The mathematical theory of plasticity*, Clarendon Press, Oxford, 1950.
- B. Kondori, Y. Madi, J. Besson, A. Benzerga, Evolution of the 3d plastic anisotropy of hcp metals: Experiments and modeling, *International Journal of Plasticity* (2018).
- Y. Shinohara, Y. Madi, J. Besson, Anisotropic ductile failure of a high-strength line pipe steel, *International Journal of Fracture* 197 (2016) 127–145.
- V. Tvergaard, A. Needleman, Analysis of the cup–cone fracture in a round tensile bar, *Acta Metall.* 32 (1984) 157–169.
- P. F. Thomason, Three-dimensional models for the plastic limit-loads at incipient failure of the intervoid matrix in ductile porous solids, *Acta Metall.* 33 (1985) 1079–1085.