

# Ductilité et ténacité des aciers: de la mini-éprouvette à la structure

C. Belhadj<sup>1</sup>, Y. Madi<sup>1,2</sup>, J. Besson<sup>1</sup>

<sup>1</sup>MINES ParisTech, PSL Research University,  
Centre des Matériaux, CNRS UMR 7633, Evry, France

<sup>2</sup> Ermess, EPF-Ecole d'ingénieurs, Sceaux, France

## MOTS CLES : Ductilité, ténacité, mini-éprouvette

Le dimensionnement des structures nécessite une compréhension des propriétés mécaniques à la rupture des matériaux employés à travers des essais mécaniques normalisés sur des éprouvettes fissurées de type CT ou SENT. Pour être considérés comme valides selon les normes, ces essais doivent être réalisés sur des éprouvettes suffisamment grandes.

Cependant, l'utilisation des éprouvettes de petite taille est incontournable dans plusieurs cas: (i) éprouvettes prélevées *in situ* afin de faire des contrôles de structures en service ou du contrôle lors de la réception des pièces, (ii) lors de la mise au point de nouveaux matériaux en quantité limitée (iii) lorsque la structure ne permet pas d'extraire des éprouvettes suivant les recommandations des normes (*e.g.* structure mince).

Dans tous ces cas, il s'avère être difficile voire impossible de réaliser des essais «valides» selon les normes. Une approche qui permettrait d'aborder ce problème serait d'établir des procédures permettant l'accès aux propriétés macroscopiques à partir d'essais sur mini-éprouvettes.

Dans cette étude, on se propose d'employer un matériau de pipeline de nuance X52. La préparation des éprouvettes avec fissure pose quelques défis. Bien que les petites éprouvettes destinées à des essais de traction lisses et entaillées soient facilement réalisables, les mini-éprouvettes pré-fissurées de type CT et SENT se heurtent à la difficulté d'insérer une pré-fissure de fatigue. L'établissement d'un protocole expérimental pour la pré-fissuration de ces éprouvettes et la détermination des courbes de résistance à la propagation ( $J-\Delta a$ ) est un enjeu évident.

Dans ce travail, une méthodologie a été développée pour conduire un essai sur mini-éprouvette SENT.

Un montage spécifique a été conçu pour la pré-fissuration et l'essai de ténacité lui-même. Il comprend en particulier un système densitométrie et des caméras de corrélation d'images.

Ce montage peut également être installé pour réaliser les essais *in situ* en tomographie aux rayons X. Il permet alors de mesurer l'avancée de la fissure, de suivre la réduction de la section portante et d'étudier les micro-mécanismes d'endommagement et de qualifier la procédure d'essai en laboratoire. Il est en effet important de proposer un protocole expérimental s'affranchissant de la tomographie.

Dans cette étude, il est proposé d'employer un modèle d'endommagement ductile à base micro-mécanique pour réaliser un calcul de transition entre les différentes échelles: mini-éprouvettes vers les éprouvettes macroscopiques standards puis éventuellement vers la structure. Dans le domaine de la rupture ductile, le modèle GTN est le plus souvent employé. Ce modèle, dans sa version de base, est un modèle adoucissant conduisant à une forte sensibilité des résultats à la taille des mailles employées. On considère généralement une solution pratique consistant à utiliser les mailles de taille et de forme constante sur le chemin de fissuration. Pour simuler la rupture des aciers, cette taille de maille se situe généralement entre 100  $\mu\text{m}$  et 200  $\mu\text{m}$ . Pour les mini-éprouvettes envisagées, la taille du ligament sera vraisemblablement inférieure à 1mm. Il y aura donc très peu de mailles sur le chemin de fissuration. L'emploi des modèles à longueur interne (encore appelés modèles «non-locaux») pourrait aider à résoudre cette difficulté en permettant de s'affranchir de la dépendance à la taille de maille. Afin de valider la méthode de transition d'échelle, le matériau aura été bien entendu caractérisé avec des éprouvettes macroscopiques valides vis-à-vis de la norme.