

PASSAGE DE LA RÉSILIENCE À LA TÉNACITÉ DANS LA ZONE DE TRANSITION DUCTILE-FRAGILE DE L'ACIER DE CUVE

A. Dahl, A. Parrot (EDF R&D, Département MMC)

Contexte

Les analyses de justification de plusieurs composants du circuit primaire des REP nécessitent de connaître la ténacité du matériau. Or, pour des raisons de simplicité, l'essai Charpy est plus utilisé que l'essai de ténacité pour caractériser le comportement à rupture des matériaux. Des méthodes empiriques d'évaluation de la ténacité à partir de la résilience ont été développées mais elles ne sont pas basées sur l'observation des phénomènes physiques et peuvent conduire à des marges excessives. Le projet Centenaire a pour objectif de proposer une méthode non-empirique de passage de la résilience à la ténacité. Cette méthode sera appliquée à l'acier de cuve et plus particulièrement au programme de surveillance de l'irradiation (PSI) qui comporte des éprouvettes Charpy.

Méthodologie

La méthode de passage de la résilience à la ténacité se découpe en trois étapes : simulation par éléments finis de l'essai de résilience, comparaison de la simulation avec les résultats expérimentaux pour optimiser les paramètres du modèle de rupture fragile et enfin simulation de la ténacité et détermination de la statistique de rupture en ténacité en appliquant les paramètres identifiés en résilience. Dans le domaine de la transition de l'acier de cuve, la rupture finale par clivage est précédée par une déchirure ductile. L'endommagement ductile est pris en compte par l'intermédiaire du modèle d'endommagement couplé de G. Rousselier, la rupture fragile par clivage est décrite à l'aide du modèle de Beremin. Les résultats les plus conservatifs sont obtenus avec le paramètre m fixé égal à 20.

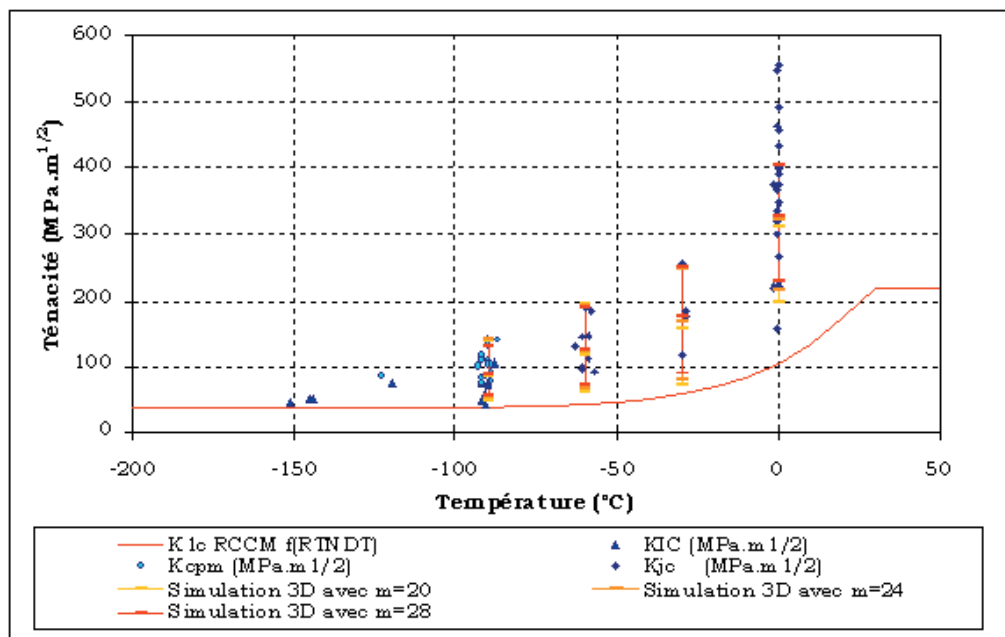
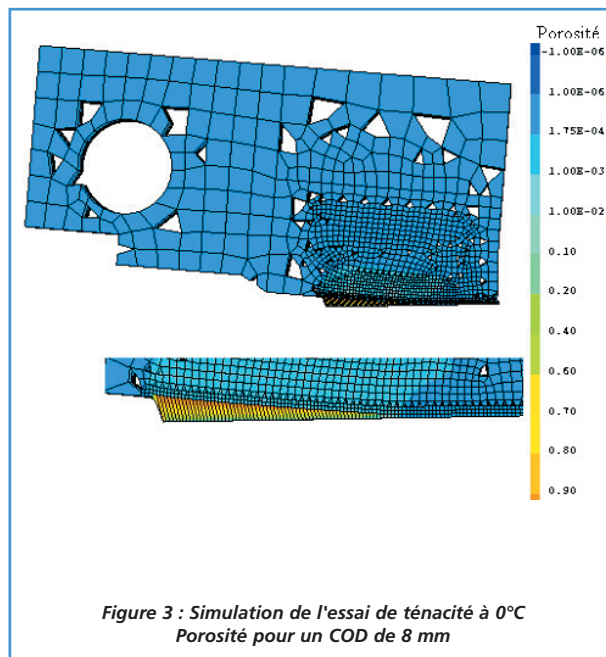
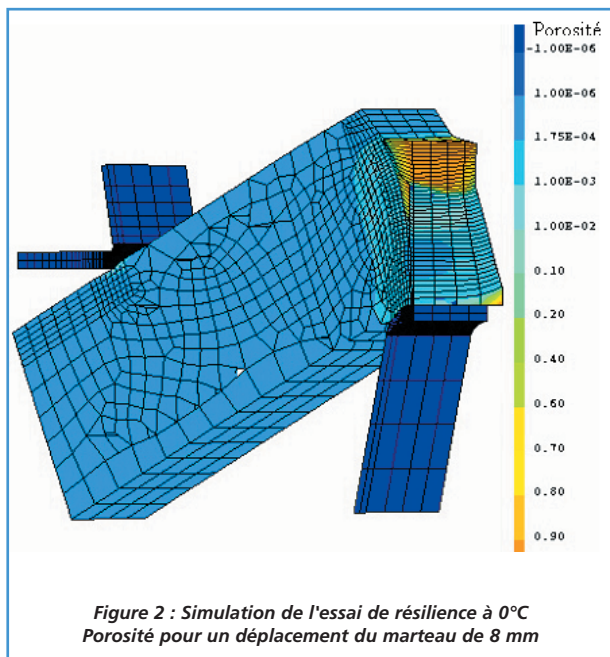


Figure 1 : Statistique de rupture en ténacité - Ténacités simulées à 5%, 50% et 95% de probabilité de rupture, comparaison avec les résultats expérimentaux.

Recherche
& Développement



Passage résilience-ténacité dans le domaine de la transition

Toutes les simulations numériques ont été effectuées avec la version 6.03 du Code_Aster. Les essais de résilience ont été modélisés en 3D à -60°C, -30°C et 0°C. L'identification des paramètres de Beremin à partir des essais de résilience a été réalisée avec le paramètre m (caractéristique de la distribution de taille des défauts dans le matériau) fixé égal à 20, 24 et 28. Les essais de ténacité sur éprouvettes CT25 ont ensuite été modélisés en 3D. Les paramètres identifiés en résilience ont alors été utilisés pour modéliser la rupture des éprouvettes CT25.

Le passage résilience-ténacité permet de reproduire qualitativement l'augmentation de la valeur basse de ténacité et de la dispersion avec la température qui est observée expérimentalement. Les résultats les plus conservatifs sont obtenus avec m fixé égal à 20, ils permettent de reproduire correctement les résultats expérimentaux à -60°C et -30°C (Figure 1). A 0°C, la statistique de rupture simulée est trop fragile par rapport à l'expérience. La mauvaise estimation de la ténacité à 0°C peut avoir plusieurs origines. D'une part, les simulations de l'essai de

résilience et de ténacité à 0°C ne sont pas correctes car la déchirure ne s'est pas propagée dans le plan de symétrie des éprouvettes (Figure 2 et Figure 3). D'autre part, la validité du modèle de Beremin dans le domaine de la transition après des déformations plastiques importantes n'est pas assurée.

Perspectives

Pour améliorer les résultats dans la partie haute de la transition, les maillages des simulations de la résilience et de la ténacité à 0°C doivent être modifiés afin de simuler la propagation d'une seule déchirure dans le plan de symétrie des éprouvettes. Par ailleurs, les mécanismes de déclenchement du clivage dans le domaine de la transition doivent être précisés. Plusieurs modifications du modèle de Beremin pourraient alors être envisagées pour mieux décrire les mécanismes et augmenter la capacité prédictive du modèle. La méthode pourra également être améliorée par l'utilisation d'un modèle de rupture fragile plus physique, issu de modélisations micro-macro telles que celles qui sont développées dans le projet Ma-Mie.