

Analyse avec X-FEM de la nocivité d'un défaut dans un pressuriseur

S. Geniaut, E. Galenne (EDF R&D AMA)

Contexte et objectifs

EDF R&D développe dans Code Aster un certain nombre de fonctionnalités spécifiques pour l'analyse de nocivité de défauts. C'est le cas par exemple de la méthode X-FEM (eXtended Finite Element Method), qui permet d'étudier une fissure et sa propagation sans avoir à mailler la fissure. Un des avantages est de pouvoir tester l'influence d'un paramètre géométrique de la fissure (ici la profondeur) sans devoir remailler la structure.

Au préalable à une utilisation par l'ingénierie de cette méthode récemment introduite dans Code Aster, une étude de faisabilité a été réalisée pour UTO, de manière à démontrer que la méthode X-FEM est applicable pour cette étude-type de UTO SIS et donne des résultats satisfaisants.

L'étude considérée est une analyse de nocivité d'un défaut axisymétrique situé dans la zone singulière des manchettes thermiques des tubulures d'as-

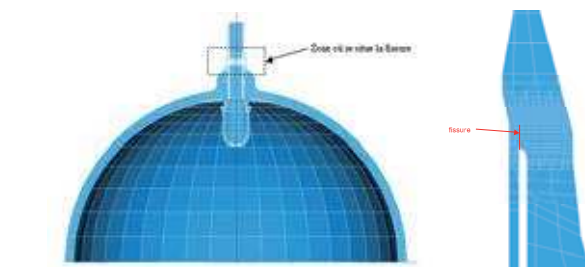


Figure 1 : coupe de la tubulure d'aspersion du pressuriseur (gauche) et zoom de la zone fissurée (droite)

persion des pressuriseurs CPO (voir Figure 1). Cette étude a déjà été réalisée par UTO avec une fissure maillée, il s'agit ici de comparer ces résultats avec ceux obtenus par une modélisation X-FEM.

Spécificités de l'étude

Grâce à l'utilisation de X-FEM, le maillage de la structure est sain (sans fissure) et peut être facilement réalisé avec le module SMESH de la plateforme Salomé. Un des intérêts de Salomé est de disposer d'un script qui génère le maillage, dont certaines caractéristiques sont paramétrées

(comme la discrétisation dans la zone raffinée). La fissure n'est pas maillée mais est introduite directement dans le fichier de commandes par un opérateur dédié.

Les difficultés de cette étude (par rapport à des cas tests simples) résident d'une part dans la complexité de la structure (maillage localement raffiné dans les zones de singularité) et d'autre part dans les chargements relativement complexes (pression sur les lèvres de la fissure, transitoire thermique, torseurs d'efforts). Deux scénarios sont envisagés : une épreuve hydraulique (mise en pression seule) et une situation de 2ème catégorie (mise en pres-

sion et choc thermique).

Un post-traitement en mécanique de la rupture permet de déterminer l'instant et le lieu du maximum du facteur d'intensité équivalent.

Comparaison FEM / X-FEM

Afin de comparer la méthode des éléments finis classique (FEM) et la méthode des éléments finis étendue (X-FEM), on évalue l'écart relatif sur le facteur d'intensité équivalent maximal pour chaque scénario envisagé. L'écart relatif est assez élevé pour l'épreuve Hydraulique (jusqu'à 13% sans torseur), mais satisfaisant pour la situation de 2ème catégorie (moins de 2%). Les niveaux de contraintes étant beaucoup plus faibles en Épreuve Hydraulique qu'en situation de 2ème catégorie, l'écart absolu entre FEM et X-FEM reste inférieur à $1 \text{ MPa.m}^{1/2}$, et ce quelque soit le chargement. Cet écart peut être expliqué par le fait que les chargements de pression en paroi interne et sur les lèvres ont des effets qui se compensent : la pression interne a tendance à fermer la fissure alors que la pression sur

Analyse avec X-FEM de la nocivité d'un défaut dans un pressuriseur

S. Geniaut, E. Galenne (EDF R&D AMA)

les lèvres a tendance à ouvrir la fissure. Ainsi, la précision obtenue avec pression seule est inférieure à celle où un chargement additionnel (torseur ou chargement d'origine thermique) est pris en compte. Ce qui explique aussi pourquoi l'écart relatif en Épreuve Hydraulique passe de 13% sans torseur à 2% si un torseur d'effort est ajouté au chargement.

Influence de la profondeur du défaut

L'avantage de la méthode X-FEM est de pouvoir étudier différentes profondeurs de fissure avec le même maillage. Seule la profondeur de la fissure change dans le fichier de commandes.

À partir de ce type de calcul, on pourrait envisager tous les transitoires réglementaires, et combinés au nombre d'occurrences, un calcul de propagation par la méthode X-FEM pourrait estimer la durée de vie de la structure.

La Figure 3 présente l'évolution du taux de restitution d'énergie local (G_{local}) en fonction de la longueur de la fissure (de 3,2 mm à 5,5 mm), pour la situation de 2ème catégorie (transitoire le plus critique). On observe que G_{local} évolue peu et a tendance à diminuer progressivement avec la profondeur de la fissure. De plus, la valeur maximale de G_{local} est inférieure à $J_{0,2}$.

On peut donc en conclure que la propagation de la fissure est stable.

En conclusion, les faibles écarts obtenus, comparés à la solution de référence issus d'une modélisation par éléments finis classiques, permettent de valider de l'utilisation de la méthode X-FEM pour ce type d'étude industrielle.

Pour faciliter les études de propagation de défauts, des travaux sont en cours pour réactualiser automatiquement la géométrie des fissures à chaque itération du calcul.

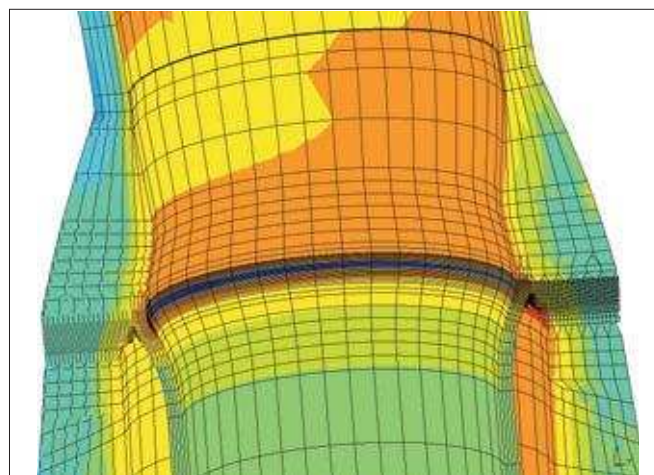


Figure 2 : contraintes équivalentes de Von Mises lors de la situation de 2ème catégorie

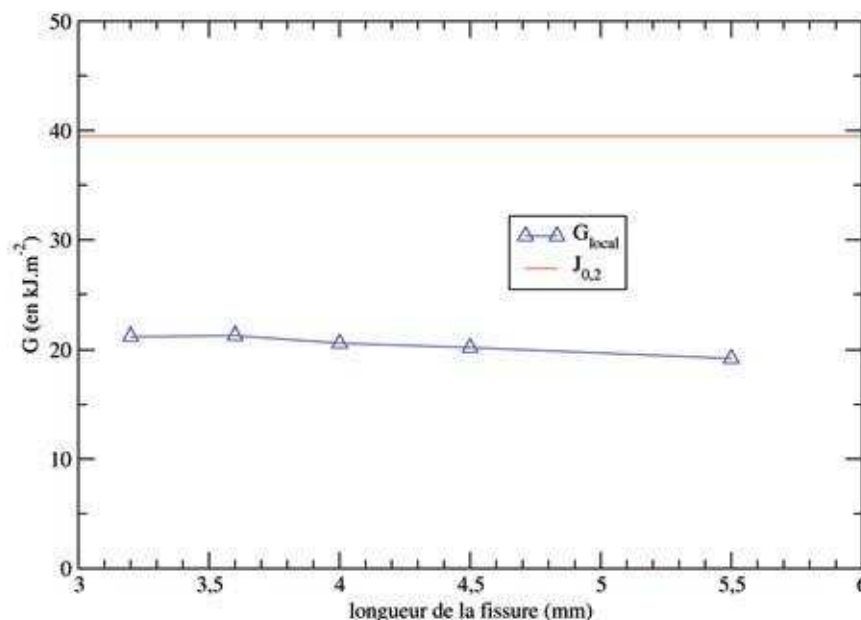


Figure 3 : évolution de G_{local} en fonction de la longueur de fissure (de 3,2 à 5,5 mm)