

ANALYSE DE NOCIVITÉ D'UNE INDICATION VOLUMIQUE DÉTECTÉE DANS LE REVÊTEMENT DE LA TUBULURE D'EXPANSION DU PRESSURISEUR DE BLAYAIS 3

E. Julan (EDF / R&D / AMA) ; N. Hubert, E. Cordelle (EDF / DPN / UTO)



CONTEXTE INDUSTRIEL ET ÉCART RENCONTRÉ EN EXPLOITATION

Le pressuriseur est un équipement sous pression du circuit primaire et est situé dans le bâtiment réacteur. Son rôle principal est de maintenir une pression suffisamment élevée dans le circuit primaire pour éviter toute ébullition de l'eau et donc toute surchauffe du cœur.

Lors de l'arrêt 2014 du réacteur n°3 de Blayais, des examens non destructifs (END) ont été réalisés au niveau de la soudure d'implantation de la tubulure d'expansion sur le fond inférieur du pressuriseur (Figure 1). Ces contrôles n'ont pas permis de conclure quant à l'absence de défaut de fabrication dans le revêtement. Ainsi, les END effectués ont conduit à déclarer la présence hypothétique d'une inclusion volumique située dans le revêtement (acier inoxydable) de la soudure d'implantation de la tubulure d'expansion du pressuriseur (acier ferritique).

L'objectif de l'analyse avec Code_Aster est de déterminer la nocivité de cette indication volumique spécifiquement vis-à-vis du dommage de fissuration par fatigue.

Figure 1 : Pressuriseur (vue 3D).

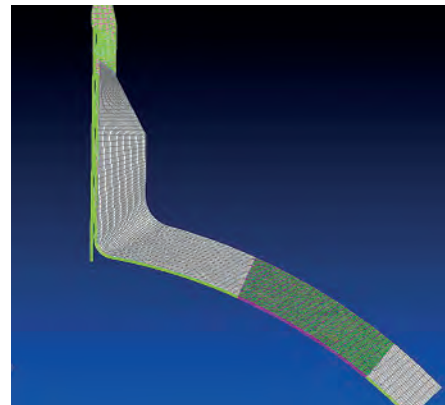


Figure 2 : Maillage de la tubulure d'expansion.

DÉMARCHE

Sous l'effet de sollicitations cycliques d'origine mécanique ou thermique, la microstructure du matériau peut s'endommager localement jusqu'à l'apparition de fissures. On parle de fissuration par fatigue. Ce phénomène peut potentiellement conduire à une perte d'intégrité de l'équipement considéré.

Le risque de fissuration par fatigue est évalué dans les notes de conception d'origine par le biais du calcul du facteur d'usage, nommé $F_U^{origine}$. L'absence d'apparition de fissure est assurée pour $F_U < 1$. En exploitation, la valeur de F_U est impactée par la présence de défauts :

une inclusion volumique se traduit par une diminution de section résistante donc une augmentation de contrainte globale (représentée par le paramètre λ) et par une intensification locale des contraintes due à la singularité géométrique (représentée par le paramètre K_T). Il existe des formulations analytiques pour ces paramètres, mais celles-ci sont généralement trop conservatives pour permettre l'acceptation des défauts volumiques. Le recours aux calculs par éléments finis permet d'approcher plus finement le couple $\lambda \cdot K_T$.

In fine, l'augmentation de F_U est calculée avec la formulation suivante :

$$F_U^{recalculé} = (\lambda \cdot K_T)^n \cdot F_U^{origine}$$

ANALYSE DE NOCIVITÉ D'UNE INDICATION VOLUMIQUE DÉTECTÉE DANS LE REVÊTEMENT DE LA TUBULURE D'EXPANSION DU PRESSURISEUR DE BLAYAIS 3

E. Julan (EDF / R&D / AMA); N. Hubert, E. Cordelle (EDF / DPN / UTO)

MODÈLE ET CHARGEMENTS ASSOCIÉS

La détermination de l'amplification des contraintes $\lambda \cdot K_T$ induite par l'inclusion repose sur la comparaison des contraintes de von Mises au niveau des contours de l'indication entre deux modèles de la tubulure d'expansion: un modèle sain (sans inclusion) et un modèle comportant une inclusion située à la demi-épaisseur du revêtement. Ces deux modèles sont axisymétriques et soumis à une pression appliquée en peau interne et à l'effet de fond associé (extrémité de la tubulure).

Une des difficultés de la démarche réside dans le fait que les contours de comparaison doivent être rigoureusement identiques (pas de biais de maillage).

Dans cette étude, on a souhaité simplifier autant que possible la phase de réalisation des deux maillages (le maillage sain et le maillage contenant l'inclusion). Pour cela, la méthode X-FEM a été mise à profit afin de n'avoir à générer qu'un seul maillage: le maillage sain. Ainsi pour réaliser l'étude, seul le maillage de la tubulure d'expansion sans inclusion est réalisé.

Ce maillage 2D axisymétrique est construit avec des éléments linéaires. Des éléments 1D sont utilisés pour l'application du chargement de pression (Figure 2). Ce maillage est ensuite raffiné avec le logiciel HOMARD (via `MACR_ADAP_MAIL`) dans une zone de type «boite» autour du centre de la future inclusion. On génère ensuite l'interface représentant la frontière de cette inclusion par le biais de la méthode X-FEM (`TYPE_DISCONTINUE = 'INTERFACE'`). Cette interface sépare ainsi la structure en deux zones: on modélise deux solides déformables, séparés par une interface sans contact.

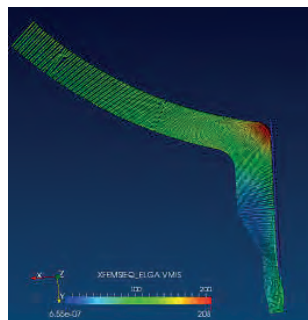


Figure 3: Position inclusion et résultat global.

Sur cette base, deux modélisations sont générées:

- Une première modélisation saine où l'interface est présente mais le champ de déplacement reste continu: les degrés de liberté X-FEM associés aux champs discontinus (degré de liberté Heaviside H1X et H1Y) sont mis à zéro.
- Une seconde modélisation avec inclusion où l'interface est présente et le champ de déplacement est discontinu: les valeurs des degrés de liberté Heaviside sont laissées «libre». L'inclusion est alors vue comme un solide déformable, séparé du reste de la structure. Il convient donc de bloquer les modes rigides de l'inclusion. Une étude de sensibilité au maillage a été effectuée dans le but d'obtenir la taille de maille optimale.

RÉSULTATS

L'analyse repose sur la comparaison des contraintes équivalentes de von Mises (Figure 3) extraites aux points de Gauss sur le modèle sain (Figure 4) et le modèle avec inclusion (Figure 5). Cette comparaison conclut à un ratio d'augmentation de contraintes $\lambda \cdot K_T$ de 1,5. Pour mémoire, un perçage dans une plaque est communément associé à une augmentation de contrainte de l'ordre de 3. Finalement, le facteur d'usage recalculé reste inférieur à 1, ce qui permet d'exclure le risque de fissuration par fatigue.

PERSPECTIVES

Ce type de modélisation (méthode X-FEM avec interface) permettra de mettre en œuvre facilement et rapidement des calculs paramétriques dans une optique de réalisation de notes génériques.

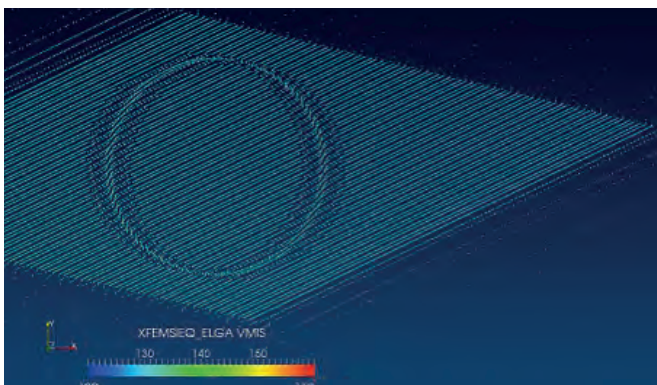


Figure 4: Résultat modèle sain.

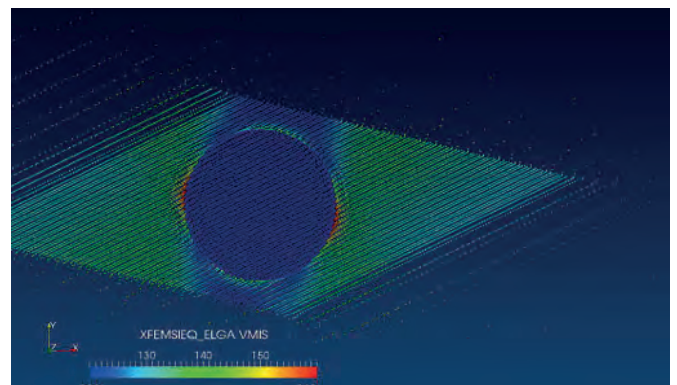


Figure 5: Résultat modèle avec inclusion.