

## PREDICTION ANALYTIQUE EN ELASTO-PLASTIQUE DE LA DEGRADATION DES PIPELINES SOUS DIFFERENTES SOLLICITATIONS

Belaid. Mechab<sup>1</sup>, Malika. Medjahdi<sup>2</sup>, Mohamed. Mokhtari<sup>3\*</sup>, Boualem Serier<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LMPM, Département de Génie Mécanique, Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès BP 89 Cité Ben M'hidi 22000, Sidi Bel Abbès, Algérie.

<sup>2</sup> Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès BP 89 Cité Ben M'hidi 22000, Sidi Bel Abbès, Algérie.

<sup>3</sup> Laboratoire LARTFM, Ecole Nationale Polytechnique Maurice Audin, Oran, Alegria  
E-mail: mokhtarimohamed44@yahoo.fr

Reçu le : 22/02/2020

Accepté le : 12/04/2020

### Résumé

*Cette étude présente une prédiction analytique en élasto-plastique de la dégradation d'un pipeline sous différentes sollicitations. L'analyse des contraintes limite des pipelines soumis à une pression interne et à la flexion simple par la contrainte limite optimisée. La méthode de Monte-Carlo est utilisée pour l'analyse de la probabilité de la défaillance du pipeline. On conclut que la contrainte de référence optimisée permet une meilleure évaluation de l'intégrale J pour les deux chargements pression et flexion simple, et que la taille de fissure est un paramètre prédominant dans l'analyse de défaillance des structures.*

**Mots-clés:** Pression, Flexion, Pipe, contraintes limites, l'intégral J, Monte-Carlo méthode.

### Abstract

*This study presents an analytical elastic-plastic prediction of the degradation of a pipeline under different stresses. Limit stress analysis of pipelines subjected to internal pressure and simple bending by the optimized limit stress. The Monte Carlo method is used for the analysis of the probability of pipeline failure. We conclude that the optimized reference stress allows a better evaluation of the J integral for the two loadings pressure and simple bending, and that the size of the crack is a predominant parameter in the analysis of failure of structures.*

**Keyword :** Pressure, Bending, Pipe, limite Stress, J intégral, Monte-Carlo Method

## 1- Introduction

Les canalisations de transport de gaz (gazoducs) acheminent le gaz sous haute

pression de leurs lieux d'extraction vers celui de distribution souvent éloignés qui sont les collectivités et les grands consommateurs industriels. Pour atteindre ce résultat les opérateurs gaziers ont progressivement établi des règles de gestion d'intégrité de ces pipelines comprenant des outils de détection de défauts. Ces derniers ont de multiples origines (élaboration, corrosion, irrégularité de surface etc.). L'orientation actuelle des activités de recherche sur les pipes et les coudes, comme en témoignent les différents travaux, est canalisée vers l'élaboration de méthodes simplifiées de calcul. En effet, les différentes approches de la mécanique de la rupture restent souvent inaccessibles à un bureau d'étude parce qu'elles nécessitent des moyens numériques importants et souvent relativement coûteux en termes de temps, en particulier lorsqu'il est question de structures réelles. Les défauts externes

peuvent se produire dans beaucoup de composants structuraux de forme cylindrique. Ainsi, Marie et al [1] ont proposés des solutions numériques pour des fissures externes dans les plaques, les pipes et les coudes. Folias [2], en utilisant la théorie classiques des coques en négligeant les contraintes de cisaillement, a obtenu des solutions du facteur d'intensité de contraintes résultant de fissures circulaires dans un pipe soumis des pressions internes et à des efforts de traction. Cette analyse se limite uniquement aux fissures courtes. Duncan-Fama[3] ont extrapolé les résultats obtenus par Folias [4] pour des fissures longues en utilisant des techniques numériques. Sanders [5] a développé une approche semi-analytique, basée sur la théorie des coques en introduisant les contraintes transversales, Plus tard, Klecker [6] a complété cette approche en analysant l'effet du rapport rayon sur l'épaisseur du pipe (R/t). Delale et Erdogan [7], en se basant sur le modèle d'amortissement, ont déterminé les facteurs d'intensité de contraintes résultants des fissures circulaires externes et internes.

Ce travail présente une prédiction analytique en élasto-plastique de la dégradation d'un pipeline sous différentes sollicitations. L'analyse des contraintes limitent des pipelines soumis à une pression interne et ont flexion simple par la contrainte limite optimisée. La méthode de Monte-Carlo est utilisée pour l'analyse de la probabilité de la défaillance du pipeline.

## 2- Présentation des matériaux

Propriétés mécaniques de l'acier X65 [8] sont regroupées sur les tableaux 1

Acier	E (GPa)	v	C <sub>0</sub> (MPa)	ε <sub>0</sub>	K <sub>IC</sub> (MPa)	J <sub>IC</sub> (kJ/m <sup>2</sup> )
X65	200	0.3	448	0.0022	97	42.81

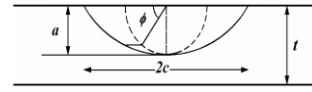
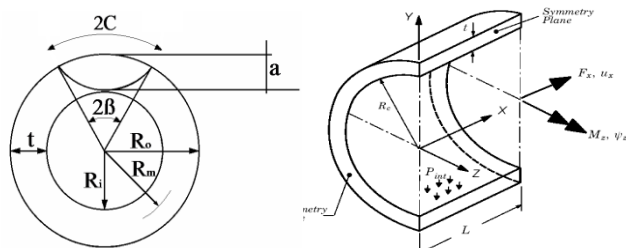


Figure.1: Représentation schématique du site de fissuration et des positions sur le contour d'intégration.

La structure est caractérisée par son rayon intérieur (r) et son épaisseur t, et le défaut de fissuration en forme elliptique est défini par le rapport de ses deux diamètres (a/c) comme le montre la figure 1. Cette dernière illustre les caractéristiques géométriques du pipe, les efforts sollicitant mécaniquement le pipe, le site de fissuration et les positions du contour d'intégration.

## 3-Analyse des contraintes limites sous différentes sollicitations

### 3.1- cas pression

#### a- Contrainte de Référence optimisée (OR)

$$\frac{P}{\sigma_{ref}^{OR}} = 2 \frac{t}{R_m} \gamma \left\{ 1 - \frac{\beta \left( \frac{a}{t} \right) + 2 \sin^{-1} \left[ \left( \frac{a}{t} \right) \frac{\sin \beta}{2} \right]}{\pi} \right\} \quad (1)$$

$$\gamma = 1.767 \left( \frac{a}{t} \right) \left( \frac{\beta}{\pi} \right) - 0.156 \left( \frac{a}{t} \right) - 0.101 \left( \frac{\beta}{\pi} \right) + 0.627 \quad (2)$$

### 3.2- cas flexion

#### a- Contrainte de Référence optimisée (OR)

$$\frac{M}{\sigma_{ref}^{OR}} = 4R_m^2 t \left[ \cos \left( \frac{\beta}{2} \cdot \frac{a}{t} \right) - \frac{a}{2t} \sin \beta \right] \gamma \quad (3)$$

$$\gamma = \theta_1 \left( \frac{a}{t} \right)^2 + \theta_2 \left( \frac{a}{t} \right) + 1.04 \quad (4)$$

$$\begin{cases} \theta_1 = 4.26 \left( \frac{\beta}{\pi} \right)^2 - 1.35 \left( \frac{\beta}{\pi} \right) + 0.80 \\ \theta_2 = -2.30 \left( \frac{\beta}{\pi} \right)^2 + 1.57 \left( \frac{\beta}{\pi} \right) - 0.77 \end{cases} \quad (5)$$

La figure 2, montre la Variation de la contrainte limite de référence optimisée

sous différents chargements en fonction du rapport (a/t) en fonction de la taille de la fissure. Cette figure montre que les valeurs en pression et flexion obtenues à partir des contraintes optimisées sont pratiquement les mêmes et quel que soit la taille du défaut. Tandis que les valeurs résultant des contraintes diffèrent à partir que la fissure se développe.

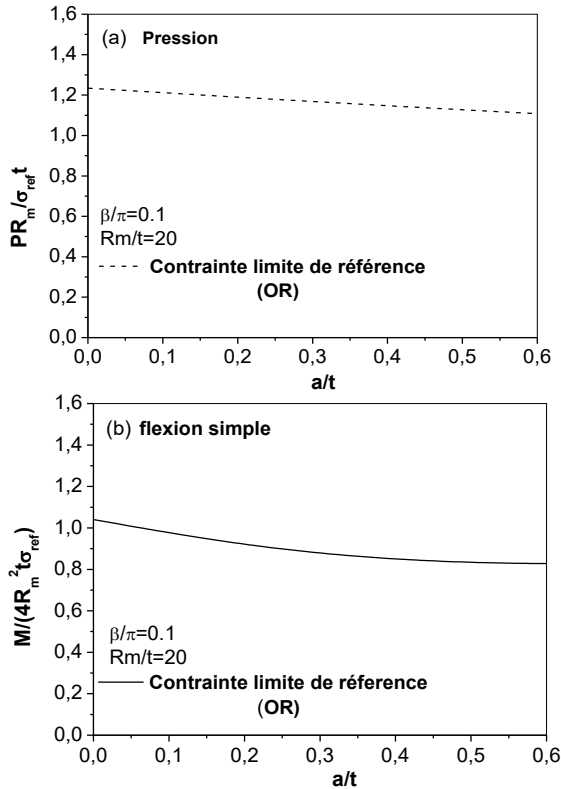


Figure 2: Variation de la contrainte limite de référence optimisée sous différents chargements en fonction du rapport a/t ((a) pression, (b) flexion simple)

De l'approche de contrainte de référence, l'intégral J s'exprime par [10] :

$$\frac{J}{J_e} = \frac{E \varepsilon_{ref}}{\sigma_{ref}} + \frac{1}{2} \left( \frac{\sigma_{ref}}{\sigma_y} \right)^2 \frac{\sigma_{ref}}{E \varepsilon_{ref}} \quad (7)$$

$$\sigma_{ref} = \frac{Q}{Q_{ref}} \sigma_y \quad (8)$$

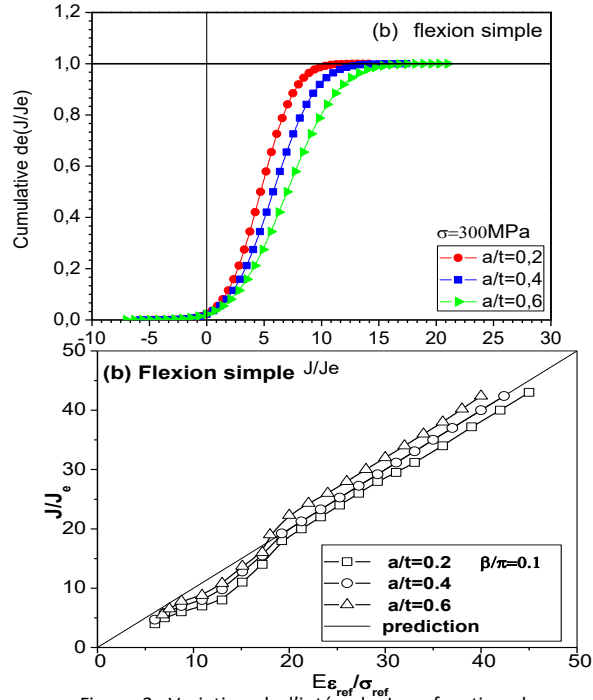
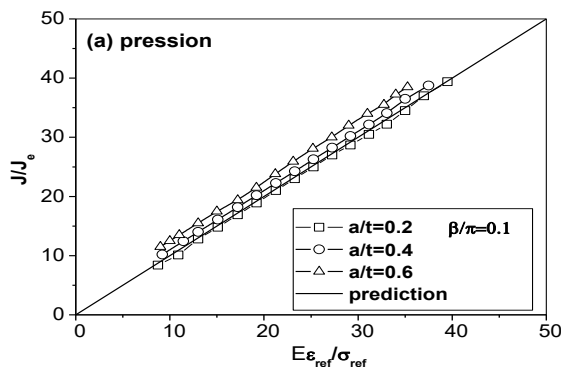


Figure 3: Variation de l'intégrale J en fonction du rapport (Eεref/σref) sous chargement différents ((a) pression, (b) flexion simple)

Les résultats ainsi obtenus sont représentés sur les figures 3. Ces figures montres la variation de cette intégrale en fonction du rapport (Eεref/σref) de la contrainte de référence optimisée résultent des intégrales J correspondantes à la ligne de prédiction définie par l'égalité de (J/Je) = (Eεref/σref) et ce quel que soit la taille de la fissure analysée. On notera cependant qu'un accroissement de la taille de ce défaut conduit à une légère augmentation de la pente. De la contrainte locale découle une intégrale J dont l'écart par rapport à la ligne de prédiction est trop important.

#### 4. Analyse probabilistique

La fonction de densité est évaluée en utilisant la méthode Monte-Carlo. L'idée de base est de prélever des échantillons au hasard pour les paramètres d'entrée, puis calculer la réponse pour chaque échantillon par la méthode de Monte-Carlo, qui représente une analyse statistique des ensembles de réponses, est fournie pour atteindre une grande précision des résultats, nous avons réalisé 105 simulations. les incertitudes sont prises en compte en considérant la marge de sécurité J(xi) décrite en termes de variables aléatoires xi qui définissent les

incertitudes. La marge de sécurité  $J(x_i)$  est la règle de conception probabiliste, qui définit la sécurité de la poutre par l'état  $J(x_i) > 0$  et l'échec de la poutre par  $(x_i) \leq 0$ . On voit que la marge augmente de façon significative avec les incertitudes liées à la contrainte appliquée à la taille de la fissure (augmente conduisant à une plus

grande probabilité de défaillance (voir figures 6 et 7).

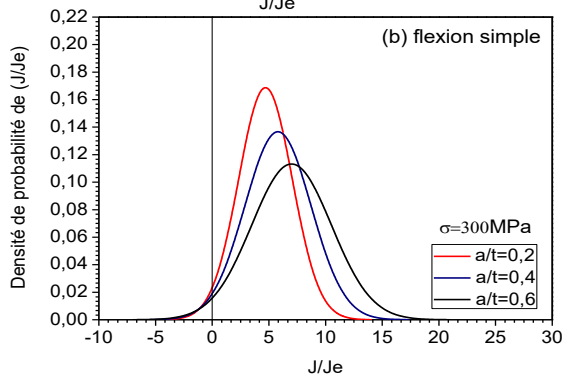
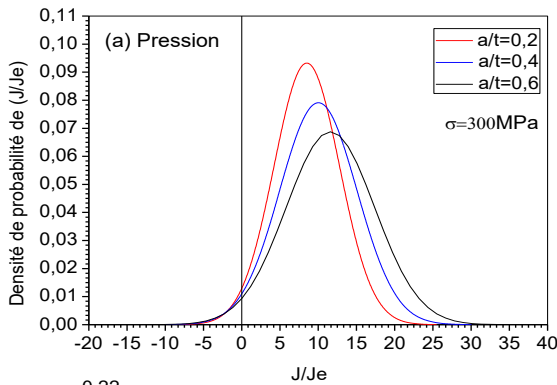
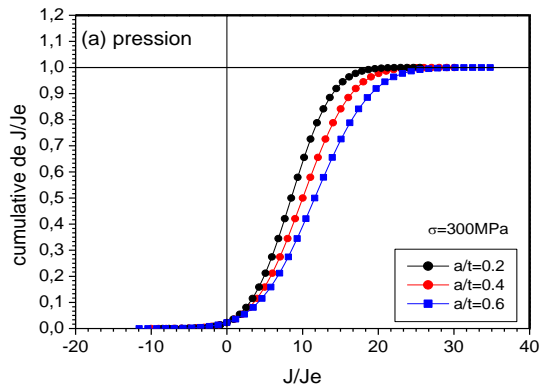


Figure 7 : Densité de probabilités de  $J/Je$  pour trois différentes valeurs de  $(a/t)$

## 6- Conclusion

L'apparition de fissures et leur éventuelle propagation est l'un des risques majeurs de rupture des structures industrielles. La discontinuité géométrique que constitue la fissure peut, sous certaines conditions de chargement, conduire à une fuite désastreuse où même la ruine complète de la structure. Ce travail présente une prédiction analytique en élasto-plastique de la dégradation d'un pipeline sous différentes sollicitations. L'analyse des contraintes limites des pipelines soumises à une pression interne et on flexion simple par la contrainte limite optimisée. La méthode de Monte-Carlo est utilisée pour l'analyse de la probabilité de la défaillance du pipeline. D'après les résultats obtenus, nous notons que, la contrainte de référence optimisée correspondantes à la ligne de prédiction définie par l'égalité de  $(J/Je) = (E\epsilon_{ref}/\sigma_{ref})$  et ce quel que soit la taille de la fissure analysée donne une bonne évaluation à l'intégral  $J$ ; On conclue que la taille de fissure et un paramètre prédominants dans l'analyse de défaillance des structures.

## 7- Référence

[1] Marie S, Chapuliot S, Kayser Y, Lacire MH, Drubay B, Barthelet B, et al. French RSE-M and RCC-MR code appendices for flaw analysis: presentation of the fracture parameters calculation part V: elements of validation. International Journal of Pressure Vessels and Piping 2007;84:687e96.

[2] Folias ES. An axial crack in a pressurized cylindrical shell under tension. International Journal of Fracture 1965;1:104e13.

[3] Duncan-Fama ME, Sanders Jr JL. A circumferential crack in a cylindrical shell under tension. International Journal of Fracture 1972;8:15e20.

[4] Folias ES. A circumferential crack in a pressurized cylindrical shell. International Journal of Fracture 1967;3:1e11.

[5] Sanders Jr JL. Circumferential through-wall cracks in cylindrical shells under combined bending and tension.

Journal of Engineering Materials and Technology 1983;50:221.

[6] Klecker R, Brust F, Wilkowski GM. NRC leak-before-break (LBB-NRC) analysis method for circumferentially through-wall cracked pipes under axial plus bending loads. NUREG/CR-4572: 1986.

[7] Delale F, Erdogan F. "Application of line-spring model to a cylindrical shell containing a circumferential or axial part-through crack". Journal of Applied Mechanics March 1982;49:97e102.

[8] Kim Yun-Jae, Kim Jin-Su, Park Young-Jae, Kim Young-Jin. Elastic-plastic fracture mechanics method for finite internal axial surface cracks in cylinders. Engineering Fracture Mechanics 2004;71:925e44.

[9] R6 (2001). Assessment of the integrity of structures containing defects, revision 4. Gloucester: British Energy Generation Ltd.; 2001.

[10] Miller AG. Review of limit loads of structures containing defects. International Journal of Pressure Vessels and Piping 1988;32:191-327.