

Simulation numérique des pipelines fissurées réparées par patch composite

Bezzerrouki Mehadja^{†1}, Bachir Bouiadjra Belabbés[†], Oudad Wahid^{*}

[†]Laboratoire de Mécanique Physique des Matériaux (LMPM), Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbés, BP89, Cite Ben M'hidi, Sidi Bel Abbés, 22000 (Algérie).

^{*} Laboratoire Smart Structures (SSL) Centre Universitaire de Ain Témouchent, BP284, Ain Témouchent, 46000 (Algérie).

E-mail¹: m_bezzerrouki@yahoo.fr

Résumé : La simulation numérique du comportement des pipelines réparés par patch composite sous effets des diverses sollicitations (traction, flexion et pression interne) est réalisée en utilisant des méthodes d'éléments finis tridimensionnelles à l'aide du code de calcul abaqus. Le facteur d'intensité des contraintes au front des fissures été le critère de rupture. Les intensités des contraintes aux positions internes et externes de la fissure réparée ont été comparées. Les effets des propriétés mécaniques et géométriques de la couche adhésive et du patch composite collé sur la variation du facteur d'intensité des contraintes ont été analysés. Les résultats obtenus prouvent que la présence de la réparation par patch composite collé réduit de manière significative le facteur d'intensité des contraintes, qui peut améliorer la durée de vie du pipeline.

1. Introduction :

Des études nombreuses ont été prouvées l'efficacité de la réparation par patch composite dans plusieurs domaines. Alexandre et Francini ont présentés l'histoire des réparations des canalisations par collage de patch composite [1]. Toutanji et Dempsey ont travaillé à établir des patchs composites renforcés par des fibres comme moyen efficace pour la réparation et réadaptation des canalisations [2]. On a travaillé sur les performances de la réparation par patch composite pour les structures fissurées [3]. Dans cette étude, on a analysé les positions internes et externes pour la réparation des fissures avec les patchs composites des canalisations sous les effets de la pression interne, de la flexion et de la traction utilisant la méthode des éléments finis.

2. Caractéristiques des matériaux :

On a étudié l'effet de la réparation par patch en composite (verre/époxyde) d'une fissure dans une pipe en (acier inoxydable SA312 Type 304) et collé par l'adhésif FM73. Le modèle est étudié par la méthode des éléments finis tridimensionnels, analysée par le code de calcul Abaqus [4]. Le modèle est soumis à l'effet de la pression interne, du moment de flexion et de la traction chacun d'amplitude de 100 MPa (Figure 1). La figure 2 représente la section de la pipe au niveau de la fissure.

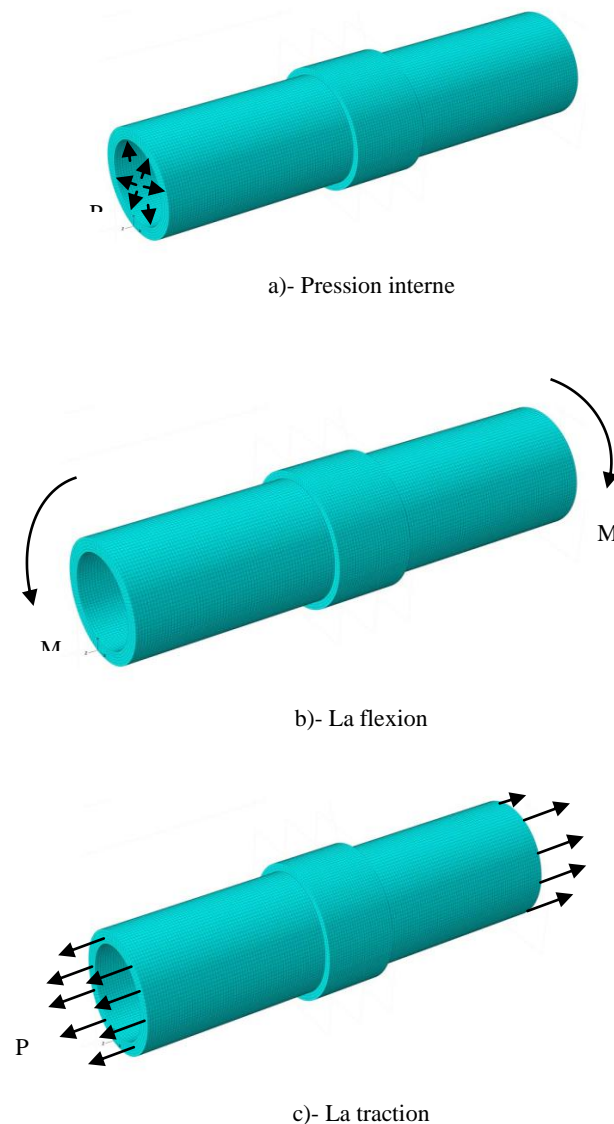


Fig. 1. La pipe réparée sous l'effet de la pression, le moment de flexion et la traction.

Les caractéristiques géométriques de la pipe et de la fissure sont comme suit :

- Diamètre externe : $R_0=31$ mm.
- Diamètre interne : $R_i=24$ mm.
- Diamètre équivalent : $R_m=27.5$ mm.
- La fissure est représentée par l'angle θ . Le tableau 1 décrit les propriétés mécaniques du modèle composé de la pipe fissurée, le patch composite et l'adhésif.

Table 1. Propriétés des matériaux de la réparation de la pipe.

	E_1 (GPa)	E_2 (GPa)	E_3 (GPa)	ν_{12}	ν_{13}	ν_{23}	G_{12} (GPa)	G_{23} (GPa)	G_{13} (GPa)
Patch (verre /époxyde)	150	25	25	0,21	0,21	0,21	7,2	5,5	5,5
Adhesive (FM73)	2,55			0,32					
Pipe (acier inoxydable SA312Type 304)	204			0,3					

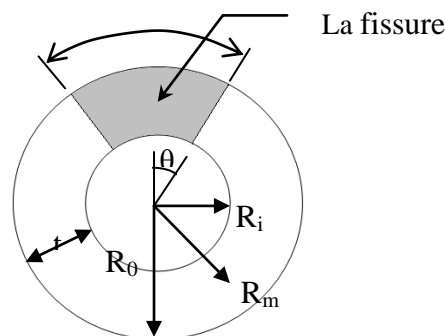


Fig. 2. La géométrie de la fissure dans la section de la pipe.

3. Le modèle éléments finis :

L'analyse est réalisée par la méthode des éléments finis tridimensionnels et à l'aide du code de calcul ABAQUS [5]. La figure 3 présente un le maillage au voisinage de la fissure.

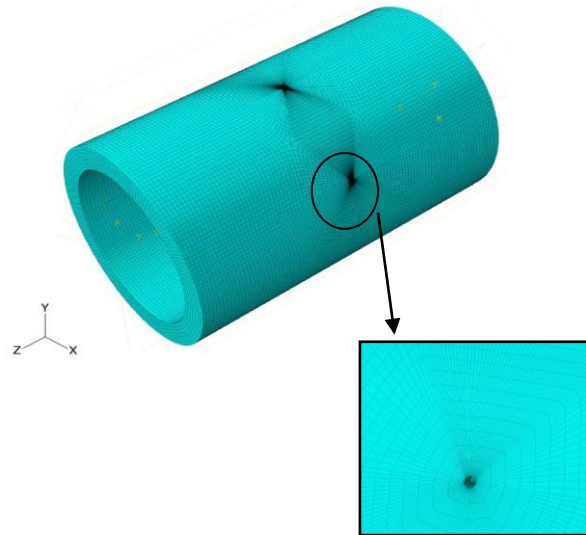


Fig. 3. Maillage au voisinage de la fissure.

4. La réparation des pipelines sous l'effet de la pression interne :

La figure 4 présente la distribution du facteur d'intensité des contraintes (FIC) en front de fissure en position externe pour des structures réparées et non réparées. La réparation par patch en composite de la fissure en position externe présente une réduction considérable du FIC. Tandis que ; en position de fissure interne la réduction est presque négligeable mais la réparation est toujours efficace, comme l'indique la figure 5. Ce comportement est dû au contact direct de la face externe de la fissure avec la couche adhésive et le patch. Le transfert de contrainte de la fissure de la pipe vers le patch composite à travers la couche adhésive est maximal au front de fissure en position externe. Par exemple le FIC est réduit à la position externe de la fissure de $15.11 \text{ MPa} \sqrt{m}$ to $7.24 \text{ MPa} \sqrt{m}$ pour un angle de fissure de 22° , soit une réduction relative de 52%. Le taux de réduction du FIC diminue proportionnellement avec la dimension de la fissure. L'écart important entre le FIC sur la position interne et externe du front de fissure présente un majeur inconvénient dans la réparation des pipes.

Revenant à la figure 4, on remarque que la variation du FIC au front de fissure réparé sur la position externe est approximativement linéaire. On prévoit dans le futur des études plus avancées sur la performance des paramètres afin d'établir des équations analytiques du FIC pour la réparation des fissures.

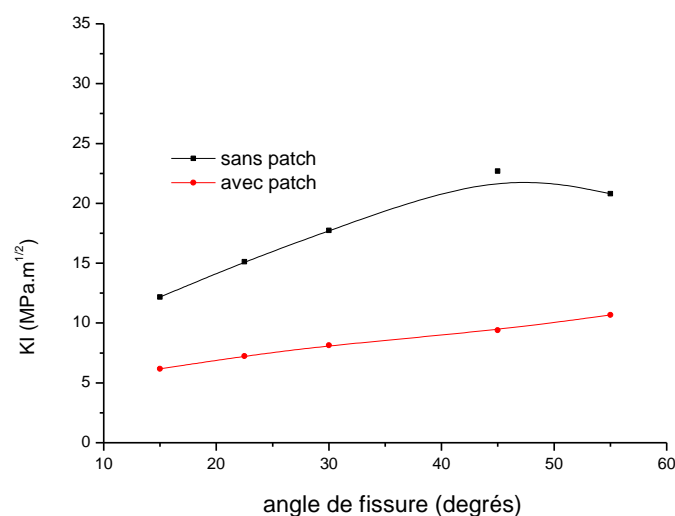


Fig. 4. Le FIC en fonction de l'angle de fissure pour une fissure en position externe réparée et non réparée.

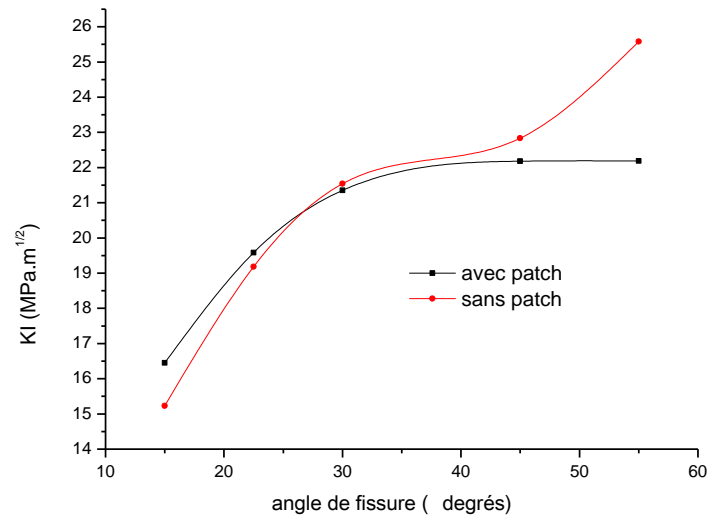


Fig. 5. Le FIC en fonction de l'angle de fissure pour des fissures en position interne réparées et non réparées.

5. La réparation des pipelines sous l'effet du moment de flexion:

La figure 6 présente la distribution du FIC pour des fissures en position externes réparées et non réparées en fonction de l'angle de fissure. On observe une diminution remarquable de la concentration des contraintes ce qui prouve la fiabilité de la réparation par patch en composite des pipes fissurées sous l'effet du moment. A titre d'exemple, pour un angle de fissure de 45° le taux de réduction est de l'ordre de 63%.

La figure 7 montre la distribution du FIC pour des fissures en position internes réparées et non réparées en fonction de l'angle de fissure. On voit une bonne réduction de la concentration des contraintes du côté interne de la fissure.

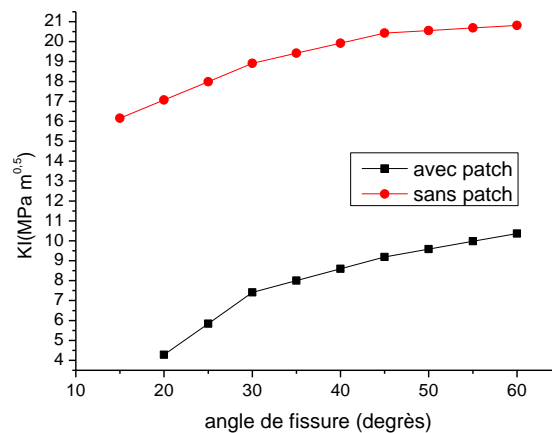


Fig. 6. La variation du FIC en fonction de l'angle de fissure en position externe réparée et non réparée.

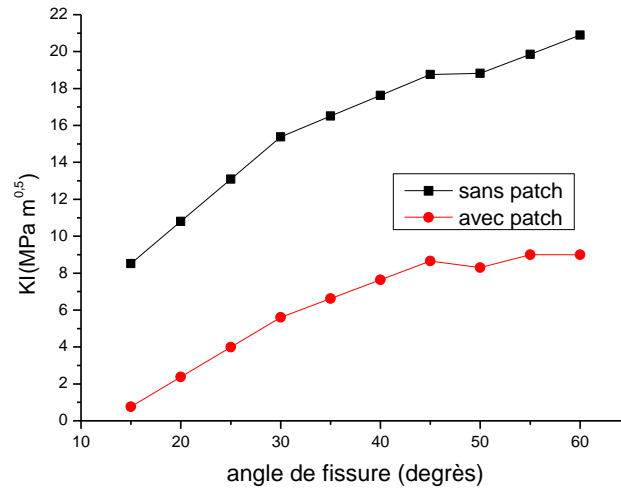


Fig. 7. La variation du FIC en fonction de l'angle de fissure en position interne réparée et non réparée.

6. La réparation des pipelines sous l'effet de la traction :

La figure 8 présente la variation du FIC pour des fissures en position externe réparées et non réparées en fonction de l'angle de fissure. On constate une diminution importante du facteur d'intensité des contraintes. Par exemple, pour un angle de fissure de 45° le taux de réduction est de l'ordre de 59% et on remarque un comportement asymptotique de la courbe représentant la fissure réparée qui prouve le bon effet de la réparation par patch en composite sous chargement en traction de la fissure en position externe.

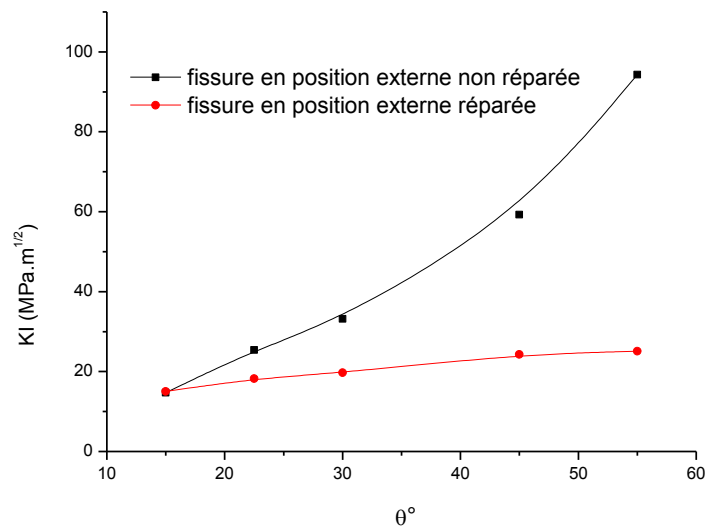


Fig. 8. La variation du FIC en fonction de l'angle de fissure en position externe réparée et non réparée.

Pour examiner l'effet de la réparation par patch composite sur les fissures en positions internes, on expose la figure 9. On remarque que la réparation réduit même la concentration des contraintes au niveau de la fissure en position interne. A titre d'exemple, pour un angle de fissure de 45° le taux de réduction est de l'ordre de 54%.

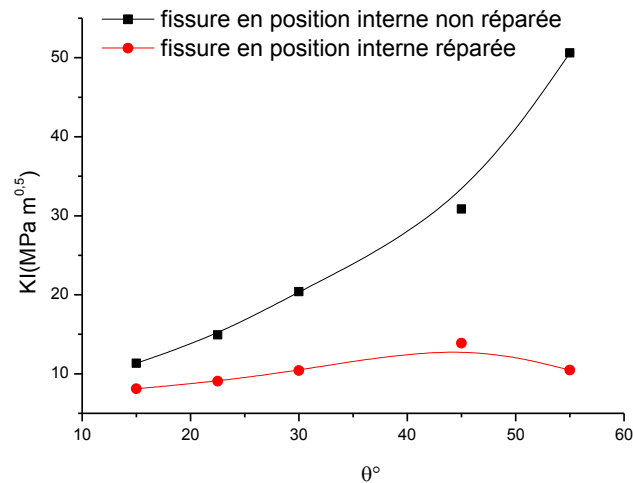


Fig. 9. La variation du FIC en fonction de l'angle de fissure en position interne réparée et non réparée.

7. Conclusion :

La réparation des pipelines fissurés par patch en composite et sous l'effet des sollicitations (pression interne, flexion et traction) est efficace et ça présente une réduction significative de l'intensité des contraintes au voisinage des fissures ce qui augmente la durée de vie des pipes.

8. Bibliographie :

- [1] Alexander CR and Francini R. State of the art assessment of composite systems used to repair transmission pipelines. Paper no. IPC2006-10484. In: Proceedings of the 16th International Pipeline Conference, September 25-29, 2006, Calgary, Canada.
- [2] Toutanji H and Dempsey S. Stress modeling of pipelines strengthened with advanced composites materials. Thin Wall Struct 2001,39,153-165.
- [3] Bezzerrouki M. Analyses de la performance des réparations par patch en composite des structures endommagées. Thesis, Sidi-Bel-Abbès University, Jun 2012.
- [4] ABAQUS/CAE Ver 6.9 User's Manual. Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc,2007. India: Dassault systems.