

N° d'ordre :

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de L'enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique

المركز الجامعي بلحاج بوشعيب عين تموشنت

Centre Universitaire Belhadj Bouchaib-Ain Témouchent



Institut de Technologie  
Departement de Génie Mécanique  
Laboratoire des Structures Intelligentes



## THESE

Présentée pour l'obtention du diplôme de DOCTORAT 3<sup>eme</sup> Cycle

**Domaine** : Sciences et Technologie

**Filière** : Génie Mécanique

**Spécialité** : Mécanique

**Par** : BELHADRI Djamel Eddine

### Intitulé de la thèse

## Renforcement et réparation par matériaux composites des canalisations de transport de gaz endommagés

Soutenue publiquement, le 12 / 03 / 2020 , devant le jury composé de :

Mr. Nehari Driss	Pr	Centre Universitaire Belhadj BOUCHAÏB – Ain Témouchent	Président
Mm. Bouafia Farida	Pr	Centre Universitaire Belhadj BOUCHAÏB – Ain Témouchent	Examinatrice
Mr. Amirat Mohamed	MCA	Centre Universitaire Belhadj BOUCHAÏB – Ain Témouchent	Examineur
Mr. Madani Kwider	Pr	Université de Sidi Bel Abbès - Djillali Liabes	Examineur
Mr. Sereir Zouaoui	Pr	Université Mohamed Boudiaf des Sciences et de la Technologie - Oran	Examineur
Mr. Oudad Wahid	Pr	Centre Universitaire Belhadj BOUCHAÏB – Ain Témouchent	Directeur de thèse

Année Universitaire : 2019/2020

## *Remerciements*

Je remercie, en premier lieu, **Allah** le tout puissant de m'avoir donnés la volonté et la patience pour mener à bien ce modeste travail.

J'aimerais exprimer mes vifs remerciements à mon directeur de thèse M. OUDAD Wahid pour son appui, son orientation et ses conseils qui m'ont été très précieux.

Je ne saurai oublier de remercier également M. BELHAMIANI et tout le personnel du Centre Universitaire Belhadj Bouchaib-Ain Témouchent,

J'adresse mes chaleureux remerciements à l'ensemble des enseignants du département de Génie Mécanique qui ont contribué à ma formation

Enfin, tous mes remerciements vont à ma famille  
et mes amis qui ont été nombreux à m'aider  
et à m'encourager.

الهدف من هذه الدراسة هو التحقق من استخدام تقنية إصلاح الأنابيب المتصدعة باستخدام المواد المركبة والتحقق من صحتها ، وتستند الدراسة إلى حالتين مختلفتين: أن تكون مادة الأنابيب مرنة ومرنة وفقاً لما ورد في نموذج Romberg Osgood. تم استخدام طريقة العناصر المحدودة ثلاثية الأبعاد (MEF) لحساب عوامل شدة الإجهاد (FIC) و J في الجزء السفلي من الشقوق. من أجل تعزيز الطبيعة التقنية للإصلاح ، تمت إضافة معيارين لتقييم هذه التقنية وهي مخطط سلامة التمزق (DIR) و التحميل الأقصى. تمت دراسة إصلاح خطوط الأنابيب المتصدعة تحت الضغط الداخلي باستخدام المواد المركبة مع مراعاة تأثير هندسة الشق، وطول المواد المركبة وسمكها ، وكذلك تباين التحميل الميكانيكي. . تم إدخال تحسين في أنظمة الإصلاح من خلال استخدام جزء إضافي لتقليل تركيز الضغط في المناطق النالفة من خط الأنابيب. تشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى وجود اعتماد متعدد الحدود بين قيمة المعامل J والمتغيرات الأخرى ، كما أظهر أن المعادلة المقترحة كافية للتنبؤ بسلوك الأنابيب التي تم إصلاحها. بالإضافة إلى ذلك، يوفر تحسين الإصلاح بالصفائح الرفيعة كفاءة إصلاح أفضل مبررة بتقليل  $K_T$  والمنطقة البلاستيكية. كما يوفر تخفيضاً بنسبة 78٪ في سمك المواد المركبة المستخدمة مما يقلل تكاليف عمليات الصيانة.

## *Résumé*

L'objectif de cette étude est de vérifier et de valider l'utilisation de la technique de réparation des pipelines fissurés par composite collé, l'étude est basée sur deux conditions différentes : le matériau du pipeline est supposé élastique et élasto-plastique selon le modèle de Romberg Osgood. La méthode des éléments finis tridimensionnels (MEF) a été utilisée pour calculer les facteurs d'intensité de contrainte (FIC) et l'intégrale J au fond des fissures. Afin de renforcer le caractère technique de la réparation par composite, deux paramètres ont été ajoutés pour évaluer cette technique à savoir le diagramme intégrité rupture (DIR) et les contraintes de la limite plastique. La réparation des oléoducs fissurés sous pression interne à l'aide des composites collés a été étudiée en tenant compte de l'influence de la géométrie de la fissure, la longueur de recouvrement du patch et de son épaisseur, ainsi que la variation du chargement mécanique. Une amélioration a été introduite dans les systèmes de réparation par composites grâce à l'utilisation d'une pièce additive pour réduire la concentration des contraintes dans les zones endommagées du pipeline. Les résultats obtenus indiquent qu'il existe une dépendance polynomiale entre la valeur de l'intégrale J et les autres variables elle ont montré aussi que l'équation suggérée est suffisante pour prédire le comportement des pipes réparés. De plus l'amélioration de la réparation par la tôle mince offre une meilleure efficacité de réparation justifiée par la réduction du  $K_I$  et de la zone plastique. Elle offre aussi la réduction de 78% de l'épaisseur du composite utilisé ce qui réduira d'avantage les coûts des opérations de maintenances.

## *Abstract*

The objective of this study is to verify and validate the use of the composite repair technique for cracked pipe; the study is based on two different conditions: the pipeline material is supposed to be elastic and elastoplastic according to Romberg Osgood model. The three-dimensional finite element (FEM) method was used to calculate the stress intensity factors (SIF) and the integral J at the crack tip. In order to reinforce the technical nature of composite repair, two parameters have been added to evaluate this technique namely the Failure Assessment Diagram (FAD) and the Limit Load Analyses. The repair of cracked pipelines under internal pressure using bonded composites was studied taking into account the influence of the geometry of the crack, the overlap length of the patch and its thickness, as well as the variation of the mechanical loading. . An improvement has been introduced in composite repair systems through the use of an additive part to reduce stress concentration in damaged areas of the pipeline. The results obtained indicate that there is a polynomial dependence between the value of the J integral and the other variables. It has also shown that the suggested equation is sufficient to predict the behavior of repaired pipes. In addition the improvement of the repair by the thin sheet offers a better repair efficiency justified by the reduction of the  $K_I$  and the plastic zone. It also offers a 78% reduction in the thickness of the composite used which will further reduce the costs of maintenance operations.