

Etude expérimentale et numérique de joints d'étanchéité en graphite expansé matricé

E. Viéville^a, G. Rio^a, H. Laurent^a, B. Omnès^b, H. Lejeune^b

a. Univ. Bretagne Sud (UBS), FRE CNRS 3744, IRDL, F-56100 Lorient, France
emilie.vieville@univ-ubs.fr, gerard.rio@univ-ubs.fr, herve.laurent@univ-ubs.fr

b. CETIM, F-44000 Nantes, France
Benoit.Omnes@cetim.fr, Hubert.Lejeune@cetim.fr

Résumé :

L'objectif de cette étude est de caractériser le comportement mécanique de joint en graphite expansé matricé (GEM) des systèmes de presse-étoupe. Un dispositif expérimental a été conçu pour déterminer la contrainte axiale du joint mais également, les déformations circonférentielles et longitudinales du logement durant différents chargements reproduisant les mouvements de la tige. Ces résultats ont permis de développer un modèle de comportement macroscopique de type Hyperélastique-Hystérésis afin de retranscrire la réponse mécanique de ces joints. Le niveau de porosité du graphite expansé matricé est également pris en compte via les interactions entre les parties déviatorique et sphérique des contributions hyperélastique et hystérétique en contrainte du modèle. Les comparaisons entre les données expérimentales et les simulations numériques montrent que le modèle est capable de reproduire le comportement de joint en graphite expansé matricé pour les différents chargements étudiés.

Abstract :

The aim of this work is to characterize the mechanical behavior of exfoliated graphite seals of the stuffing-box systems. A test device has been designed to measure the axial stress of the seal but also, the circumferential and longitudinal strains of the housing during different loadings reproducing the displacements of the stem. These results have permitted to develop an Hyperelastic-Hysteresis macroscopic behavior model in order to reproduce the mechanical response of these seals. The level of porosity of the exfoliated graphite is also taken into account through the interactions between the deviatoric and spherical parts of the hyperelastic and hysteretic stress contributions of the model. The comparisons between the experimental data and the numerical simulations show that the model is able to reproduce the behavior of exfoliated graphite seal for different loadings.

Mots clefs : Presse-Garniture, Joints en Graphite Expansé Matricé, Modèle Hyperélasto-Hystérésis

1 Introduction

L'un des enjeux environnementaux de notre société actuelle est de réduire l'impact environnemental des industries et, l'un de ces enjeux majeurs est la réduction des émissions industrielles [1]. Certes, une partie

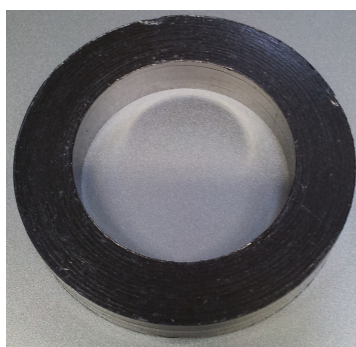
de ces fuites peut être évitée par un contrôle et un entretien régulier des structures industrielles mais, il reste une proportion de fuites qui ne peut être prédite : les émissions fugitives [2]. Un des produits d'étanchéité les plus utilisés dans les vannes, pompes et brides de robinetterie est le presse-garniture souvent composé de joints en Graphite Expandé Matricé (GEM).

En vue d'améliorer l'étanchéité de ces systèmes, les travaux présentés dans cette étude ont pour but de comprendre le comportement mécanique des joints en GEM. Un dispositif expérimental a été spécialement conçu pour reproduire le fonctionnement d'un presse-garniture de robinetterie composé d'un empilement de plusieurs joints. Il permet de récupérer la contrainte axiale des joints mais également, les déformations circonférentielles et longitudinales du logement. Pour cela, différents chargements au niveau de la tige sont appliqués pour obtenir un serrage de la bague d'étanchéité. Ensuite, des mouvements de tige sont effectués afin de simuler le fonctionnement de la vanne.

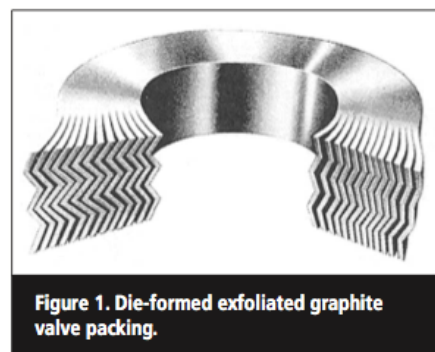
Les cycles appliqués sont reproduits à l'aide d'un modèle EF, prenant en compte tous les éléments du montage. Un modèle de comportement macroscopique de type Hyperélasto-Hystérétique est utilisé pour retranscrire la réponse mécanique des joints. Ce modèle de comportement décompose la puissance mécanique en deux contributions en contrainte : une partie hyperélastique et une partie hystérésis. La partie hyperélastique est fortement non linéaire réversible. Quant à la partie hystérésis, elle introduit une non-réversibilité non visqueuse dans la modélisation du comportement du joint, les résultats expérimentaux ayant montré que la contribution visqueuse était négligeable. Le modèle d'hystérésis permet de simuler les cycles de charge-décharge. Le niveau de porosité du joint en GEM est également pris en compte via les interactions entre les parties déviatorique et sphérique des contributions hyperélastique et hystérétique en contrainte du modèle. Les comparaisons entre les données expérimentales et les simulations numériques montrent que le modèle EF est capable de reproduire le comportement du joint en GEM placé dans le corps de la vanne, pour différents chargements appliqués par la tige.

2 Conditions expérimentales

Cette étude s'intéresse à des joints de section carrée (8mm) composés de graphite expansé matricé (figure 1). Leur structure particulière en forme de chevrons est due à leur procédé de fabrication et présente un taux de porosité aux alentours de 10%. Quant à leur rôle dans les systèmes presse-étoupe, il est de garantir l'étanchéité autour de la tige tout en garantissant une manœuvrabilité de cette dernière.



(a)



(b)

FIGURE 1 – a) Joint en graphite expansé matricé. b) Illustration d'une bague graphite expansé [3].

Afin d'obtenir un dimensionnement précis des presse-étoupes, une première étude [4] a été menée avec un montage proche des conditions réelles d'utilisation d'essais. Au travers d'essais de compression en confinant l'échantillon, des premières informations sur le comportement mécanique du joint ont pu être exploitées. Ainsi, l'influence du frottement semble avoir un impact non négligeable contrairement à la viscosité ($\approx 5\%$) que l'on négligera dans le développement du modèle numérique. Suite à ces résultats, un nouveau montage (figure 2) a été développé dans l'optique de prendre en compte différentes températures et d'étudier le frottement. Afin d'avoir une compréhension globale du comportement mécanique du joint in-situ, le montage est équipé de jauges de déformation permettant de mesurer les déformations axiale et circonférentielle du logement au cours des cycles de charge-décharge.

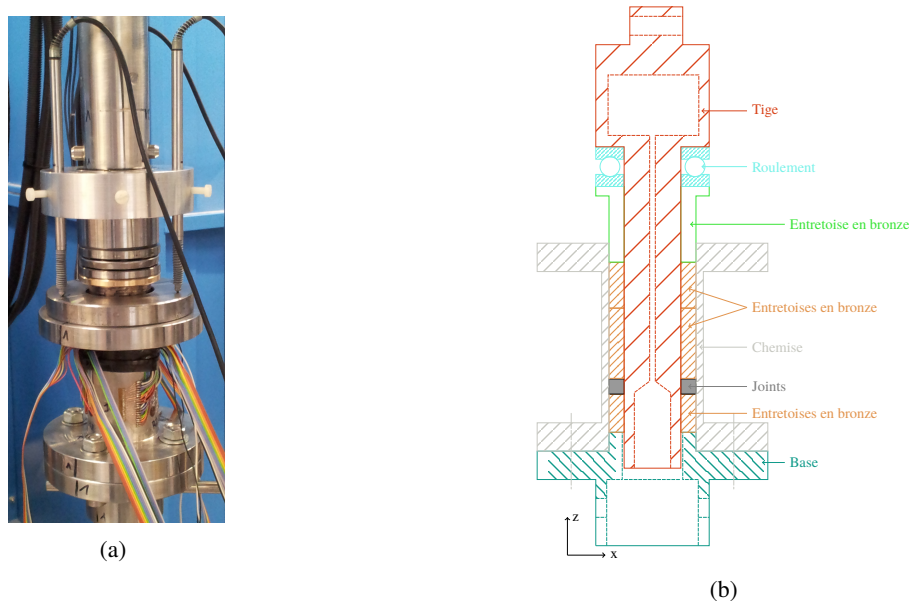


FIGURE 2 – a) Photo du montage d'essai. b) Schéma explicatif du montage.

Ces jauges de déformations permettent l'utilisation du logement comme d'un capteur de mesure. En effet, les résultats obtenus couplés à un calcul numérique offrent la possibilité de déterminer le niveau de pression interne. Pour cela, un calcul numérique du logement est réalisé (Fig.3.a). Une pression équivalente à la hauteur d'un joint est appliquée sur la paroi interne du logement. Ainsi, on peut récupérer les déformations circonférentielles et axiales (Fig.3.b.1) sur la hauteur de la chemise. Le pic observé correspondant à la mi-hauteur du joint et, au niveau de pression maximal. Quant à la figure 3.b.2, correspondant à l'évolution de la déformation en fonction de la pression au niveau de cette pression maximale, permet de mettre en relation les données expérimentales et ce calcul. En effet, pour un essai de compression charge-décharge, la déformation circonférentielle est d'environ 0,016% et la déformation axiale est d'environ 0,012%. Cette modélisation permet donc, selon la figure 3.b.2 d'évaluer la pression interne de l'ordre de 12MPa.

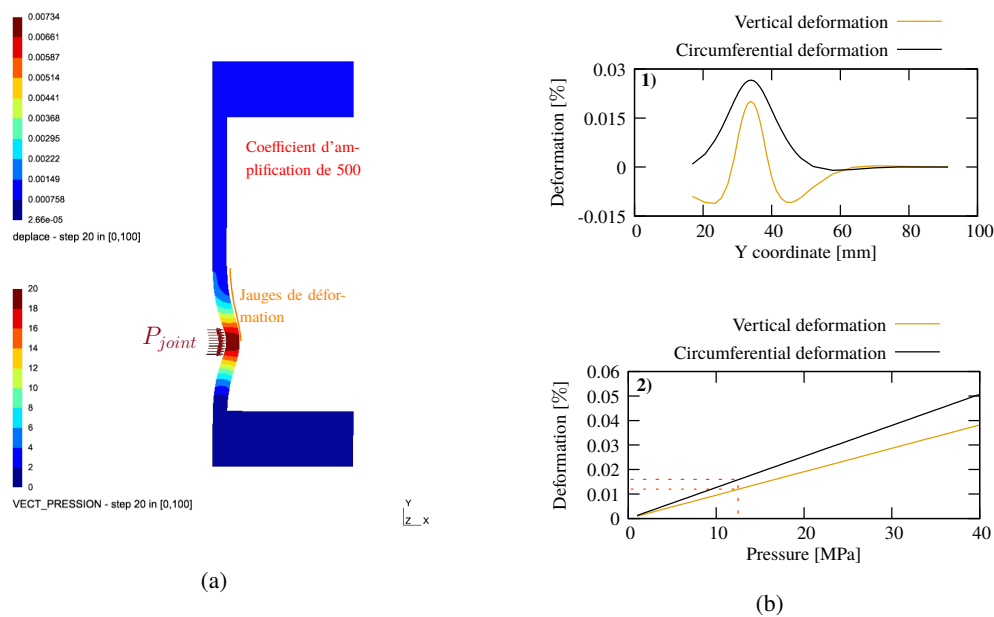


FIGURE 3 – Relation entre la pression interne et la déformation de la chemise. a) Résultats de la modélisation. b) Courbes issues du calcul ; 1 : évolution de la déformation de la chemise en fonction de la hauteur et 2 : évolution de la déformation de la chemise en fonction de la pression interne à mi-hauteur du joint ($Y=34\text{mm}$).

Ce nouveau dispositif a permis d'enrichir les données expérimentales sur le comportement mécanique de joint en graphite expansé matricé. Ainsi, des essais de compression charge-décharge et cyclique ont pu être effectués démontrant également une bonne reproductibilité de la réponse mécanique du joint (figures 4 et 6).

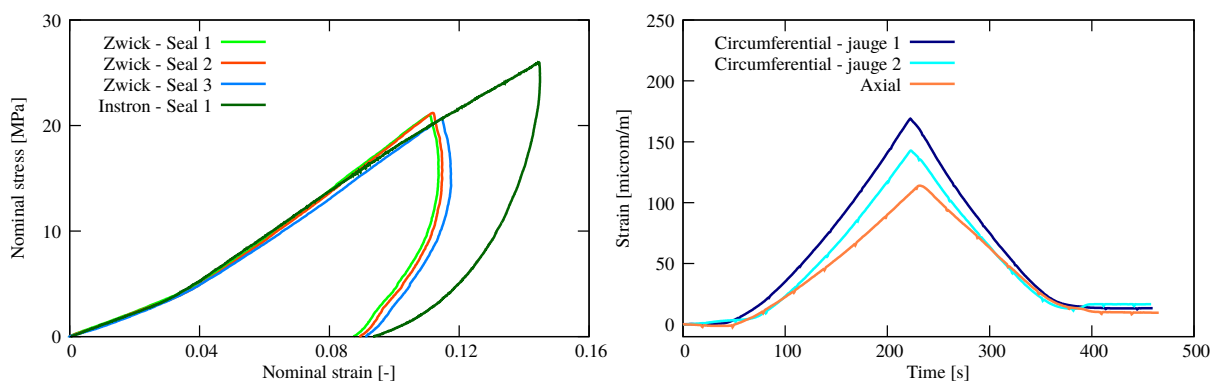


FIGURE 4 – Evolution des contraintes-déformations lors d'essais de compression charge-décharge (Instron : montage précédent [4] et Zwick : montage de la figure 2).

3 Simulation numérique

À partir de l'exploitation de ces données expérimentales, une loi de comportement macroscopique de type Hyperélasto-Hystérésis [5] a été développée afin de déterminer le comportement du joint in-situ. La simulation du comportement des joints dans un environnement confiné, a montré l'importance du

découplage entre le comportement déviatorique et sphérique des contraintes. La figure 5 présente la modélisation effectuée avec des éléments quadratiques axisymétrique.

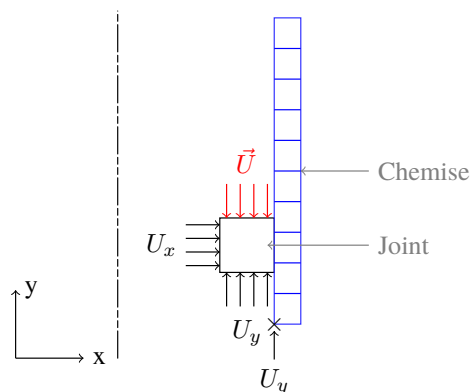


FIGURE 5 – Schéma des conditions limites et du chargement.

Quant à la figure 6, elle met en avant la bonne adéquation entre les simulations et les résultats expérimentaux. Le modèle de comportement d'Hyperélasto-Hystérésis s'avère comme une alternative intéressante au modèle de Cam-Clay dans le cadre de la modélisation de joints dans des systèmes presse-étoupe.

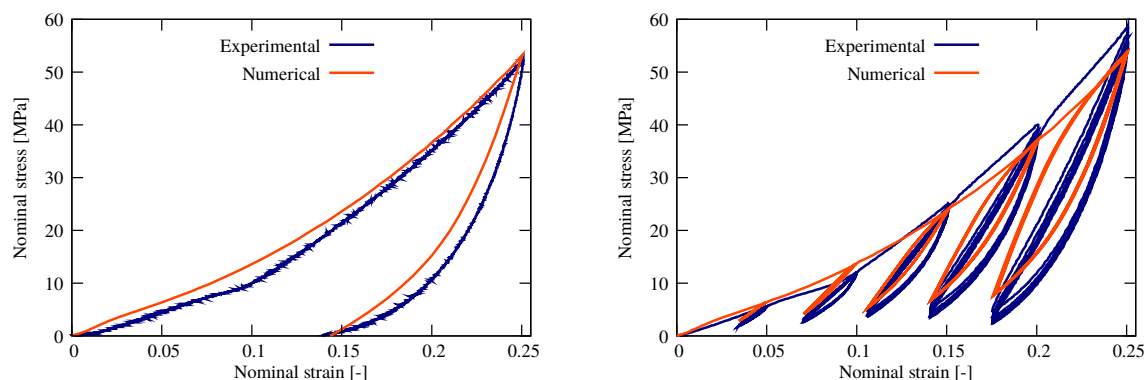


FIGURE 6 – Réponses des contraintes-déformation expérimentale et numérique dans le cadre d'un essai de compression charge-décharge et d'un essai de compression cyclique.

4 Conclusion

Le nouveau dispositif mis en place a permis d'enrichir les données expérimentales et d'observer une bonne reproductibilité de la réponse mécanique du joint. Ce montage devrait permettre, ultérieurement, l'application des protocoles expérimentaux à un empilement de joint ainsi que l'analyse de la prise en compte du frottement. Cette étude expérimentale a permis le développement d'un modèle de type Hyperélasto-Hystérésis permettant une bonne prise en compte du comportement global (déviatorique et sphérique) du joint.

5 Remerciement

Les auteurs remercient la Fondation Cetim (sous l'égide de la Fondation de France) pour la participation financière à cette étude et à la thèse d'Émilie Viéville.

Références

- [1] M. Kazemina et A.-H. Bouzid, Stress Analysis of Packed Stuffing-Boxes, *Journal of Pressure Vessel Technology*, 2015,137(5), 051205.
- [2] European Sealing Association (ESA), SSealing Technology - BAT guidance notes, ESA Publication N°014/13 (revision 2 of 014/05), 2013.
- [3] M. N. Ruaidhe et A. A. Torrance, Developing a finite element model of exfoliated graphite valve packings, *Sealing Technology*, 2003(6) :6-9.
- [4] E. Viéville, H. Laurent, G. Rio, B. Omnès et H. Lejeune, Caractérisation et modélisation du comportement mécanique de Presses-Garnitures, 22^{ème} Congrès Français de Mécanique, Août 2015.
- [5] A. Vandenbroucke, H. Laurent, N. Ait Hocine et G. Rio, A hyperelasto-visco-hysteresis for an elastometric behaviour : Experimental and numerical investigations, *Computational Materials Science*, 2010(49) :495-503.