

Sujet de thèse 2024

Comportement des joints en élastomère dans les emballages de transport de matière radioactive

Le comportement mécanique et en étanchéité des joints en élastomère est un enjeu essentiel pour la sûreté des emballages de transport de matières radioactives [1], [2]. Les joints doivent en effet assurer l'étanchéité de l'enceinte de confinement dans une large gamme de température afin de garantir le confinement des gaz et matières radioactifs y compris en conditions accidentelles.

A -40°C , le taux de compression du joint torique assurant l'étanchéité du couvercle doit rester suffisant ce qui implique que son diamètre soit élevée par rapport à la hauteur de la gorge [3]–[6]. Au contraire, à haute température, on cherche à éviter que le volume du joint n'excède celui de la gorge de manière à prévenir son extrusion éventuelle. De plus, la déformation rémanente après compression (DRC), ou inaptitude du joint à revenir à sa position initiale après compression, doit aussi être prise en compte [7], [8].

Ces deux critères sont difficiles à concilier et le dimensionnement de l'ensemble gorge/joint ne peut être que le résultat d'un compromis puisque ces exigences s'opposent. Il est ainsi parfois impossible d'éviter que le volume du joint ne dépasse celui de la gorge d'autant plus si le joint est soumis à une température élevée (*e.g.* 250°C).

Dans ce cas, l'élastomère étant considéré comme un matériau incompressible, l'extrusion se produira si un jeu est présent et offre au joint un volume pour se dilater [9]–[12]. Ce phénomène aboutit généralement à la perte de l'intégrité physique du joint.

Toutefois, dans les emballages de transport, l'assemblage entre la bride et le couvercle de confinement n'offre généralement pas de jeu au joint pour se dilater ne permettant donc pas son extrusion.

Or, le comportement à haute température d'un joint dans un volume contraint est très peu documentée dans la littérature scientifique [7]. Ainsi, on ignore si l'élastomère peut devenir compressible ou s'il est au contraire capable de soulever ou déformer la gorge et/ou le couvercle métallique de l'assemblage, nuisant ainsi à l'étanchéité de l'emballage.

Dans ce contexte, ce sujet de thèse vise à faire progresser notre connaissance des propriétés des joints élastomères avec une approche thermomécanique (haute et basse température) avec un focus particulier sur deux aspects : (a) mieux comprendre le phénomène d'extrusion lorsqu'un jeu est présent et (b) mieux appréhender le maintien ou la perte de la notion d'incompressibilité du matériau élastomère dans un volume contraint.

Le travail envisagé se décompose en plusieurs parties :

En collaboration avec le DTEL/SGPE, le programme d'études sera défini. Il devra être représentatif des problématiques rencontrées dans les emballages de transport du CEA : différentes nuances de joints et d'aciers, dimensions, formes de gorges, de forces de serrage, plage de température, etc.

Un protocole expérimental sera élaboré pour caractériser le comportement des joints in situ dans des assemblages vissés représentatifs offrant un jeu d'extrusion ou, au contraire, un volume contraint. Ces essais expérimentaux seront réalisés au CETIM en bénéficiant des moyens de mise en température, la conception et la réalisation de maquettes adaptées à l'étude avec leurs instrumentations, les moyens de contrôles métrologiques et étanchéité avec l'aspect mécanique en lien. Le CETIM a également une

large connaissance du domaines nucléaire et notamment un REX important dans l'étude des problématiques liées aux transports matière radioactive [2], [13].

Après essais, la structure des joints sera caractérisée à l'échelle atomique, microscopique et mécanique par diverses techniques (MEB, microdureté, force de réaction...).

Ces essais seront conçus et interprétés à l'aide de simulations numériques faisant appel à une base de données fonctionnelles et matériaux afin de modéliser le phénomène d'extrusion. Avec cette méthode, et connaissant la géométrie et les propriétés des matériaux, il est en effet possible de prédire la pression limite d'extrusion à différentes températures.

Les résultats expérimentaux seront confrontés aux calculs pour optimiser le design et les paramètres des dispositifs d'essais.

Les résultats obtenus dans le cadre de cette thèse permettront, à terme, de faire progresser notre connaissance du comportement des joints élastomères et de leur capacité à maintenir l'étanchéité en conditions extrêmes. Ils permettront de contribuer à adopter une approche plus innovante dans la conception des emballages de transport de matière radioactive et de les rendre plus sûrs.

Enfin, le couplage entre expériences et simulations permettra de faire progresser les codes numériques utilisés pour modéliser le phénomène d'extrusion.

L'ensemble de ce travail de thèse sera réalisé grâce à plusieurs collaborations :

- CETIM de Nantes,
- DES/DDSD/DTEL/SGPE du CEA de Cadarache et
- Laboratoire de Mécanique Gabriel Lamé (LaMé - UR 7494) - Université de Tours

Le doctorant sera principalement basé au CETIM de Nantes mais sera amené à se rendre régulièrement au CEA de Cadarache et au LaMé de Tours selon l'avancement de chaque partie du travail.

Le salaire mensuel brut lors de la première année de thèse est de 2406 €.

Veillez soumettre votre candidature, qui doit comprendre un curriculum vitae, une lettre de motivation et tout document attestant de votre niveau académique, à renaud.belin@cea.fr, Benoit.Omnes@cetim.fr, julie.pepin@univ-tours.fr, stephane.meo@univ-tours.fr.

Références

- [1] M. Jaunich, D. Wolff, W. Stark, and H. Volzke, "Investigation of elastomer seal behavior for transport and storage packages," presented at the Proceedings of the 17th PATRAM 2013, 2013.
- [2] S. Momon, J. Garcia, and H. Issard, "Leak tightness of O-rings for transport of radioactive material," *Packag. Transp. Storage Secur. Radioact. Mater.*, vol. 24, no. 1, pp. 3–9, Mar. 2013.
- [3] M. Jaunich, W. Stark, and D. Wolff, "Comparison of low temperature properties of different elastomer materials investigated by a new method for compression set measurement," *Polym. Test.*, vol. 31, no. 8, pp. 987–992, Dec. 2012.
- [4] B. Omnès and P. Heuillet, "Leak tightness of elastomeric seal at low temperature: Experimental and FEM-simulation," in *Constitutive Models for Rubber IX*, CRC Press, 2015.
- [5] F. Rouillard, P. Heuillet, and B. Omnès, "Viscoelastic characterization at low temperature on an HNBR compound for sealing applications," 2013. [Online]. Available:

<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/b14964-109/viscoelastic-characterization-low-temperature-hnbr-compound-sealing-applications-rouillard-heuillet-omnes?context=ubx>

- [6] J. Troufflard, H. Laurent, G. Rio, B. Omnès, and S. Javanaud, “Temperature-dependent modelling of a HNBR O-ring seal above and below the glass transition temperature,” *Mater. Des.*, vol. 156, pp. 1–15, Oct. 2018.
- [7] B. Omnès and IRSN, “Comment se comportent les joints en cas d’accident grave ?,” *Repères-Le magazine de l’IRSN-N° 54*, Jul. 2022.
- [8] B. Omnès, “Arrhenius seal life prediction project: results and analysis,” *Valve World*, Oct. 11, 2023. <https://valve-world.net/arrhenius-seal-life-prediction-project-results-and-analysis/> (accessed Jan. 25, 2024).
- [9] X. Chen, R. H. Zonoz, H. A. Salem, and H. K. Lim, “Extrusion resistance and high-pressure sealing performance of hydrogenated nitrile-butadiene rubber (HNBR),” *Polym. Test.*, vol. 76, pp. 499–504, Jul. 2019.
- [10] B. Omnès, P. Heuillet, and M. Langlois, “Mechanical behaviour of elastomer and damages under high hydrostatic pressure: Sealing application,” in *Constitutive Models for Rubber XI*, CRC Press, 2019.
- [11] B. Omnès, N. Selles, and E. Beets, “Extrusion resistance of O-ring under extreme pressure: Experimental and numerical analyses of rubber material,” in *Constitutive Models for Rubber XII*, CRC Press, 2022.
- [12] P. Warren, S. Winterbottom, and A. Douglas, “A study of the factors that affect extrusion resistance of elastomers,” *Seal. Technol.*, vol. 2012, no. 7, pp. 7–11, Jul. 2012.
- [13] B. Omnès and S. Momon, “Leak Tightness of Elastomeric O-rings for the Transport of Radioactive Material: Finite Element Analysis Application,” presented at the 18th International Sealing Conference (18th ISC), Stuttgart, Allemagne, Oct. 2014, vol. B 02, pp. 371–391.