

## Recrutement de Doctorant pour la rentrée 2019-2020

### **Stabilité mécanique d'une structure métallique soumise à une corrosion généralisée non uniforme**

### **Mechanical stability of metal structures subjected to non-uniform generalized corrosion**

#### Laboratoire

Laboratoire d'Etude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux (LEM3 - UMR CNRS 7239)

7 rue Félix Savart

F-57070 Metz

Site web : <http://www.lem3.univ-lorraine.fr>

#### Contexte et objectifs

Dans le cadre du projet français de centre de stockage géologique profond des déchets radioactifs (Cigéo) il est prévu de stocker les déchets de Haute Activité (HA) dans des micro-tunnels horizontaux appelés alvéoles de stockage. Ces micro-tunnels sont équipés d'un tube en acier appelé chemisage qui a pour fonction principale de permettre la mise en place et le retrait éventuel des colis de déchets pendant *a minima* 100 ans. Celui-ci doit donc rester stable mécaniquement pendant cette période et être dimensionné au flambage ou à la ruine plastique, en intégrant les dommages susceptibles d'apparaître au cours de la vie de l'ouvrage.

Les alvéoles de stockage de déchets HA visent, par conception, à maintenir les différents composants métalliques qui les constituent (chemisage et conteneur de stockage) en régime de corrosion généralisée homogène ou faiblement hétérogène. L'injection d'un matériau cimentaire entre le chemisage et la roche hôte, favorise la passivation de l'acier. Toutefois, une passivation imparfaite peut conduire à une corrosion non uniforme.

L'objectif de la thèse est de prendre en compte l'impact de ce type de corrosion sur le comportement mécanique du chemisage et notamment son endommagement : entrée en plasticité et flambage. L'enjeu essentiel est de représenter explicitement la propagation hétérogène de fronts de corrosion en face externe du chemisage. Cette propagation pourra être de nature aléatoire spatialement et en termes de cinétique et se traduire par l'apparition de motifs périodiques en surface. Les travaux comporteront un volet expérimental et un volet numérique visant à coupler endommagement par corrosion et comportement mécanique. Les travaux de modélisation s'appuieront sur des données expérimentales disponibles pour ce qui concerne la caractérisation de la corrosion (taille des zones concernées, répartition, différence de cinétiques). Pour la caractérisation du comportement mécanique, des essais sur éprouvettes et maquettes à échelle réduite, notamment pour caractériser la tenue au flambage sous pression externe en tenant compte du confinement, seront à mettre en œuvre.

#### Context and objectives

Cigéo is the French deep geological repository project in which high level radioactive waste (HLW) are planned to be disposed of in horizontal micro-tunnels referred to as disposal cells. These micro-tunnels are equipped with a non-alloy steel casing to allow the emplacement and the retrieval of the waste disposal packages during the reversibility period (at least 100 years). It must therefore remain mechanically stable

during this period and be designed against buckling or plastic collapse, taking into account the damage that may occur during the life of the structure.

The waste disposal cells aim to maintain the various metallic components that constitute them (the casing and the disposal overpack) in a generalized, uniform or slightly heterogeneous corrosion regime. The annular gap between the casing and the host rock is filled with a cementitious material allowing the steel passivation. However, imperfect passivation may lead to non-uniform corrosion.

The aim of the thesis is to study the effect of this type of corrosion on the mechanical behavior of the casing, in particular its damage, plasticity occurrence, propagation, and finally buckling phenomena. The key issue is to model explicitly the heterogeneous propagation of corrosion fronts on the outer face of the casing. This corrosion propagation may have a random spatial distribution and kinetics, and can induce periodic patterns on the surface. The research work will consider both numerical and experimental approaches to gauge the effects of damage induced by metal corrosion on the load bearing capacity corresponding to buckling, and buckling behavior or mode of collapse. The modeling work will be based on available experimental data concerning the characterization of corrosion (size of the corroded zones, distribution, differences of kinetics). For the mechanical behavior characterization, tests on specimens and reduced scale mockup will be conducted in particular to characterize the buckling under external pressure in confined configuration.



## Références:

Z. Draïdi, T.T. Bui, A. Limam, H. V. Tran, A. Bennani " Buckling behavior of metallic cylindrical shell structures strengthened with CFRP composite " , *Advances in Civil Engineering*, vol. 2018, Article ID 4231631, 13 pages, <https://doi.org/10.1155/2018/4231631/>

N. Mathieu, M. Potier-Ferry, H. Zahrouni. Reduction of flatness defects in thin metal sheets by a pure tension leveler. *International Journal of Mechanical Sciences* 122 (2017) 267–276

K. Kpogan, H. Zahrouni, M. Potier-Ferry, H. Ben Dhia. Buckling of rolled thin sheets under residual stresses by ANM and Arlequin method. *International Journal of Material Forming*. Vol. 10 (3), pages: 389-404, 2017

T. N. Nguyen. - « Flambage sous contact d'une coque cylindrique soumise à pression externe »- Thèse de Doctorat, INSA-Lyon, 2017.

H. V. Tran, A. Limam, " Upon the effect of low pressure and thermal foam protection barrier on the buckling of short thin-walled cylinders under combined bending and shear loads " in: 2016 EMI international conference of ASCE, Metz, France, October 25-27 2016.

S. Abdelkhalek, H. Zahrouni, N. Legrand, M. Potier-Ferry. Post-buckling modeling for strips under tension and residual stresses using asymptotic numerical method. *International Journal of Mechanical Sciences*. Volume: 104, Pages: 126-137, 2015

Y. Cong, S. Nezamabadi, H. Zahrouni, J. Yvonnet. Multiscale computational homogenization of heterogeneous shells at small strains with extensions to finite displacements and buckling. International Journal for Numerical Methods in Engineering, Volume 104, Issue 4, 2015, Pages 235–259

D. Vasilikis and S. A. Karamanos, "Stability of confined thin-walled steel cylinders under external pressure," International Journal of Mechanical Sciences, vol. 51, no. 1, pp. 21–32, Jan. 2009.

M. Jamal, L. Lahlou, M. Midani, H. Zahrouni, A. Limam, N. Damil, M. Potier-Ferry « A semi-numerical buckling analysis of imperfect shells under axial compression. International Journal of Solids and Structures 40 (2003) 1311-1327

K. El-Sawy and I. Moore, "Stability of Loosely Fitted Liners Used to Rehabilitate Rigid Pipes," Journal of Structural Engineering, vol. 124, no. 11, pp. 1350–1357, 1998.

### **Profil recherché**

- Ecole d'ingénieur ou université, niveau master 2 en mécanique : matériaux, structures.
- Candidat de citoyenneté de l'UE + âgé de moins de 26 ans au 1er octobre 2019

### **Date de début**

1<sup>er</sup> Octobre 2019

### **Durée du contrat**

36 mois

### **Salaire**

Une demande de financement d'un montant de l'ordre de 2150€ brut/mois, sera déposée dans le cadre de l'appel à la candidature lancé par l'Andra.

### **Direction et Encadrement**

H. Zahrouni, LEM3 Université de Lorraine, A. Limam, IFSTTAR Bron

### **Suivi du projet**

F. Bumbieler, Andra

### **Date limite de dépôt de dossier**

01 avril 2019

### **Contacts et candidatures**

Le dossier de candidature (CV détaillé et lettre de motivation) est à envoyer par mail aux deux adresses :

H. Zahrouni (Professeur des Universités - LEM3)

hamid.zahrouni@univ-lorraine.fr

A. Limam (Professeur des Universités – IFSTTAR Bron)

ali.limam@insa-lyon.fr