



SUJET DE STAGE  
**DEVELOPPEMENT D'UNE METHODE DE  
CONTACT-FROTTEMENT AVEC LES  
METHODES HYBRIDES A HAUT DEGRE  
(HHO) DANS CODE\_ASTER**

**DEPARTEMENT  
ELECTROTECHNIQUE  
ET MECANIQUE DES  
STRUCTURES**

|                   |        |             |
|-------------------|--------|-------------|
| Chef de groupe :  | Date : | Signature : |
| Aurélie LASOROSKI |        |             |

### **Contexte général**

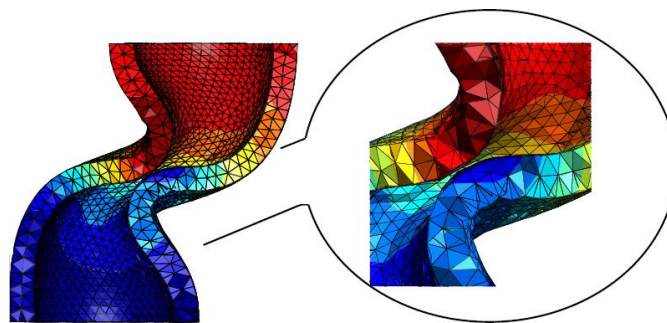
Au sein d'EDF R&D, le département « Electrotechnique et Mécanique des Structures » (ERMES) réalise des activités de recherche et de développement dans le domaine du comportement mécanique des structures (sous chargement statique et dynamique, linéaire et non-linéaire), afin de contribuer à la performance, à la durée de fonctionnement, et à la sûreté du parc de production électrique d'EDF, ainsi qu'à son évolution.



La modélisation numérique est l'un des outils (voire parfois le seul) utilisés pour traiter ces problématiques. Pour faire face à ces difficultés, EDF R&D développe au sein du département ERMES, le code de calcul par éléments finis **code\_aster** au sein de la plateforme **salome\_meca** (deux logiciels open-source) utilisés à la fois pour la recherche de pointe en mécanique numérique mais aussi pour les études d'ingénierie d'EDF avec le système d'assurance-qualité exigé de l'industrie nucléaire.

### **Contexte particulier au stage**

Les simulations numériques en mécanique des solides peuvent présenter de nombreuses difficultés dues aux différentes non-linéarités : grandes déformations, plasticité, endommagement... Des travaux de recherche sont menés actuellement par EDF R&D pour développer une nouvelle méthode de discrétisation des équations aux dérivées partielles, appelée HHO (Hybrid High-Order). Cette méthode HHO a été initialement introduite dans [1] et [2], et offre de nombreux avantages : formulation primale, précision d'ordre élevé, robustesse par rapport aux paramètres physiques, conservativité locale et maîtrise des coûts de simulation. En outre, cette méthode a été implémentée dans code\_aster et a montré sa robustesse à la limite incompressible en hyper-élasticité [3] et en petite déformations élasto-plastiques [4]



*Figure 1: Cylindre hyper-élastique en compression*

### **Activités confiées au stagiaire:**

Au cœur de l'équipe de développement de code\_aster, le stagiaire sera amené à étendre les méthodes HHO déjà présentes dans le code aux problèmes de contact-frottement en utilisant une approche de type Nitsche [5] aussi bien d'un point de vue modélisation qu'implémentation. Puis le stagiaire validera la méthode et la comparera avec les approches déjà existantes dans le code. Si le temps le permet, une application de la méthode sur une étude industrielle est envisagée.



SUJET DE STAGE  
**DEVELOPPEMENT D'UNE METHODE DE  
CONTACT-FROTTEMENT AVEC LES  
METHODES HYBRIDES A HAUT DEGRE  
(HHO) DANS CODE\_ASTER**

**DEPARTEMENT  
ELECTROTECHNIQUE  
ET MECANIQUE DES  
STRUCTURES**

|                   |        |             |
|-------------------|--------|-------------|
| Chef de groupe :  | Date : | Signature : |
| Aurélie LASOROSKI |        |             |

Les principales étapes du stage seront les suivantes :

- Prise en main des outils de calcul : code\_aster et salome\_meca;
- Etude et implémentation d'une approche Nitsche pour le contact-frottement avec HHO;
- Validation de la méthode et comparaison par-rapport aux éléments finis de Lagrange.

**Compétences mises en œuvre:** mécanique des structures, méthode des éléments finis, simulation numérique, programmation en FORTRAN.

**Profil souhaité**

- 3<sup>ème</sup> année d'Ecole d'ingénieurs, Master 2
- Formation : mécanique des structures, modélisation / calcul scientifique.
- Une aptitude et un goût prononcé pour les mathématiques et pour le développement logiciel sont indispensables
- La connaissance d'un code élément fini en particulier code\_aster et salome\_meca est un plus.

**Modalités**

- Durée : 6 mois à partir de Février-Mars 2019
- Localisation : le stage se déroulera à EDF Lab Paris Saclay.
- Contact : Mickaël Abbas et Nicolas Pignet - EDF Lab Paris Saclay - 7, Boulevard Gaspard Monge - 91120 Palaiseau – [mickael.abbas@edf.fr](mailto:mickael.abbas@edf.fr), [nicolas.pignet@edf.fr](mailto:nicolas.pignet@edf.fr)

**Bibliographie**

- [1] D. A. Di Pietro, A. Ern et S. Lemaire, «An arbitrary-order and compact-stencil discretization of diffusion on general meshes based on local reconstruction operators,» *Comput. Methods Appl. Math.*, vol. 14, n° 14, pp. 461-472, 2014.
- [2] D. A. Di Pietro et A. Ern, «A Hybrid High-Order locking-free method for linear elasticity on general meshes,» *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, vol. 283, pp. 1-21, 2015.
- [3] M. Abbas, A. Ern et N. Pignet, «Hybrid High-Order methods for finite deformations of hyperelastic materials,» *Comput. Mech.*, vol. 62, n° 14, pp. 909-928, 2018.
- [4] M. Abbas, A. Ern et N. Pignet, «A Hybrid High-Order method for incremental associative plasticity with small deformations,» *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, 2018.
- [5] F. Chouly, P. Hild, «Nitsche-based method for unilateral contact problem: numerical analysis» *SIAM. J. Numer. Anal.*, vol. 51, pp. 1295-1307, 2013.