

## Proposition de post-doc

### Développement d'outils pour le dimensionnement et l'optimisation de corps de propulseurs

#### Contexte :

Le procédé de bobinage permet de produire des réservoirs composites capables de résister à de hautes pressions internes. Les propriétés spécifiques très élevées de ces matériaux conduisent à des structures de rigidité et de résistance remarquables pour une masse modérée. L'enroulement filamentaire dépose de manière continue des fibres préalablement imprégnées sur un moule ou un mandrin ayant un mouvement de rotation. Ce mode de fabrication est particulièrement adapté aux structures de révolution. Dans l'industrie spatiale cette technologie est déjà utilisée pour certains corps de propulseurs ou des réservoirs. Le CNES souhaite renforcer ses compétences dans le contrôle et la simulation de cette technologie et du comportement de ces réservoirs, notamment en intégrant un module de simulation et d'optimisation du processus de bobinage dans son outil de conception et d'optimisation de structures composites. A ces fins, le CNES propose un sujet d'étude post-doctorale, en collaboration avec l'Institut Pprime (UPR 3346, CNRS-ENSMA-Université de Poitiers) et le laboratoire SYMME (EA 4144, Université Savoie Mont-Blanc).

Les activités de l'équipe Endommagement & Durabilité de l'Institut Pprime portent notamment sur la compréhension, l'identification et la modélisation des mécanismes de déformation et d'endommagement dans les matériaux composites. L'activité du groupe Matériaux de Structures du laboratoire SYMME vise à développer des techniques particulières d'optimisation des paramètres sur des structures hétérogènes, et plus spécifiquement composites, avec la volonté de jouer à la fois sur la qualité de la modélisation et la rapidité du calcul nécessaire à des processus d'optimisation.

Les partenaires du projet ont développé récemment un outil de génération de la structure bobinée, à partir duquel il est désormais possible de simuler l'endommagement de la structure sous chargement de pression interne. Une méthodologie d'optimisation sera développée pour proposer des designs réduisant la masse de matériau composite tout en maintenant les contraintes du cahier des charges.

#### Etapes de l'étude

##### 1. Interfaçage entre génération d'enroulement et maillage

La performance d'une structure composite repose sur l'adéquation entre les directions de chargement et la distribution du renfort fibreux. Dans le cas du procédé filamentaire, une estimation fiable du comportement mécanique de la structure est conditionnée par la simulation la plus exacte possible de la trajectoire des fibres en particulier dans les

dômes, considérés comme les parties les plus délicates à représenter. Un outil de simulation du bobinage prenant en compte explicitement des paramètres tels que le coefficient de glissement, la largeur de bande d'enroulement ou la géométrie des surfaces de dépôt a été développé et permet de contrôler la forme des dômes [1].

Dans une première partie, un interfaçage devra relier le module de génération d'enroulement avec le code de calcul par éléments finis Abaqus, permettant d'obtenir directement le maillage de la structure.

## 2. Simulation du comportement mécanique du corps du propulseur

Une fois la géométrie du corps de propulseur et son maillage créés, le comportement de la structure sous l'effet de l'élévation de la pression interne et des efforts externes sera simulé, jusqu'à l'éclatement, et comparé aux données expérimentales. Même si la rupture de fibres dans les couches circonférentielles est le mode d'endommagement conduisant à l'éclatement final, une estimation précise de la pression ultime nécessite de prendre en compte l'ensemble des dégradations possibles (tels que la microfissuration matricielle voire le délaminage dans les dômes) [2]. Le comportement mécanique sera donc évalué en affectant au matériau composite un modèle d'endommagement le plus complet possible, tout en veillant à réduire le temps de calcul par un choix d'hypothèses simplificatrices les moins pénalisantes pour la fiabilité des résultats.

La confrontation des résultats des simulations aux données expérimentales permettra de valider le modèle de comportement sélectionné et la géométrie issue du module d'enroulement. Au besoin, les paramètres seront affinés afin par recalage. On disposera alors d'un outil de dimensionnement complet et fiable pour aborder la phase d'optimisation de la structure.

## 3. Optimisation du corps de propulseur

Sur la base des modèles géométrique et de comportement validés dans la partie précédente, on procédera à l'optimisation structurale du réservoir afin de réduire la masse de composite tout en gardant les performances à l'éclatement. Deux pistes seront explorées : l'optimisation structurelle (meilleure séquence de bobinage à géométrie donnée) ou géométrique (meilleure forme de corps).

On sélectionnera une méthodologie d'optimisation conduisant à des temps de calcul raisonnables. La taille du modèle éléments finis, qui plus est en présence d'une forte non linéarité matériau (endommagement), est ici un handicap. L'utilisation de méta-modèles [3] pourra être mise à profit. Cette méthodologie représente d'une manière simple et maniable (mais avec une fiabilité certes moindre) les fonctions à optimiser et permet de se passer d'une référence directe aux calculs éléments, après une phase préliminaire d'identification.

### Informations pratiques :

Les partenaires recherchent un candidat titulaire d'un doctorat en mécanique des matériaux et des structures. Des connaissances en matériaux composites, en modélisation et en simulation numérique sont souhaitées.

Le contrat pourra débuter entre septembre et décembre 2019, pour une durée d'un an.

Rémunération : ~29k€ bruts annuels

Merci de faire parvenir votre candidature (CV détaillé, lettre de motivation) ou vos demandes de renseignement à : [damien.halm@ensma.fr](mailto:damien.halm@ensma.fr)

- [1] L. Bizet, P. Saffré, K. Mathis, D. Halm, M. Gueguen, P. Francescato, « Design of composite filament wound pressure vessels: Management of singularities in multi-sequence dome lay-up simulations », ECCM18 - 18<sup>th</sup> European Conference on Composite Materials, 2018
- [2] J.P. Berro Ramirez, D. Halm, J.C. Grandidier, S. Villalonga, F. Nony, « 700 bar type IV high pressure hydrogen storage vessel burst – Simulation and experimental validation », Int. J. Hydrogen Energy, 40, 2015, p.13183–13192
- [3] D. Leh, B. Magneville, P. Saffré, P. Francescato, R. Arrieux, S. Villalonga, « Optimisation of 700 bar type IV hydrogen pressure vessel considering composite damage and dome multi-sequencing », Int. J. Hydrogen Energy, 40, 2015, p.13215–13230