

Proposition sujet thèse CIFRE

Modélisation des phénomènes génériques d'imprégnation sous sollicitations mécaniques de mèches pour matériaux composites à matrice organique. Application aux procédés d'enroulement filamentaire et AFP/ATL.

Contexte de l'étude

Tout procédé de fabrication composite, i.e. réalisant l'association d'une matrice et de renforts fibreux pour obtenir une structure de forme géométrique donnée, se décompose systématiquement en 3 étapes de mise en forme : imprégnation, polymérisation et parachèvement. Les procédés automatisés traitent ces étapes avec une intervention humaine réduite et les opérations associées sont réalisées en totalité sur un même poste avec un moyen multifonctionnel.

Les procédés de mise en œuvre par enroulement filamentaire ou par dépose de bandes ou mèches, acronymes anglo-saxons ATL/AFP, sont des procédés industriels permettant d'obtenir des structures avec une très bonne répétabilité. Ils offrent l'avantage d'un haut degré d'automatisation, des temps de mise en œuvre courts et ils permettent de réaliser des pièces présentant un taux de renfort élevé (jusqu'à près de 70% en volume). L'enroulement filamentaire permet de réaliser des pièces de révolution avec des sections variables et des distributions de matière hétérogènes le long de l'axe de révolution. Les procédés ATL/AFP permettent de déposer de la matière selon des directions et des quantités spécifiques en n'importe quel point de la surface de la pièce, sans restriction sur la forme de celle-ci.

Ces procédés s'appliquent actuellement, de part leur coût d'investissement, à des productions de fort volume et les moyens employés sont de type « boîte noire », n'autorisant aucune modification importante, ni même parfois la compréhension fine de leur fonctionnement. Ils excluent donc la possibilité d'utiliser des matières premières différentes comme les fibres naturelles ou recyclées, et sont difficilement compatibles avec des productions unitaires ou de très faible volume, pour des formes complexes ou intégrant de multiples fonctions. Enfin, la principale difficulté d'utilisation de ces procédés est d'ajuster leurs paramètres opératoires, tels que la tension des mèches, la vitesse de dépose, la température, ... afin de contrôler/maitriser les propriétés de la pièce. Ces paramètres opératoires peuvent cependant être difficilement modifiables avec les dispositifs actuels.

Pour pallier à ces nombreuses contraintes et permettre ainsi d'ouvrir de nouvelles perspectives à ces procédés, en lien avec les besoins industriels et environnementaux, l'Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux (I2M) en partenariat avec la société TENSYL, dans le cadre de leur équipe commune de recherche FAC2D, souhaitent développer un outil numérique de simulation de ces procédés qui prennent en compte les différentes étapes du procédé et les couplages entre les phénomènes physiques. Ce travail s'inscrit dans la continuité de travaux initiés il y a quatre ans et qui ont permis de mettre au point un premier dispositif expérimental à l'échelle macroscopique, ainsi que des outils numériques associés. Si la finalité est de développer des outils de modélisation numérique, l'étude comportera aussi un volet instrumental pour caractériser les matériaux (les mèches en particulier) en tenant compte de leurs conditions d'utilisation, à partir de dispositifs instrumentés originaux développés en interne.

Objectifs

Ces deux procédés impliquent l'écoulement d'un fluide à travers un milieu poreux déformable qui mettent en jeu des phénomènes :

- mécaniques dus aux sollicitations de la mèche durant son imprégnation et à l'opération de compactage lors du bobinage pour le procédé d'enroulement, ou de l'application d'un rouleau presseur pour le procédé ATL/AFP ;
- convectifs liés à l'écoulement de la résine lors de la phase d'imprégnation des mèches, puis de la phase de compaction ;
- chimiques et thermiques dus à la polymérisation de la résine au cours du procédé.

L'objectif de cette thèse est de proposer et d'identifier un modèle permettant de décrire le couplage entre le comportement thermo-mécanique de la mèche et sa saturation en polymère. Ce modèle permettra ainsi de prédire l'état de déformation et donc le taux de renfort pour un niveau de saturation donné.

Les travaux de thèse seront décomposés en trois parties principales. Une première partie consistera à décrire les mécanismes d'imprégnation à différentes échelles. Pour cela, une approche numérique multi-échelle sera mise en œuvre et validée sur des bancs d'essais existants ou à concevoir. Une deuxième partie aura pour but d'identifier le comportement mécanique d'une mèche. L'objectif est de proposer, à partir d'approches expérimentales et numériques, une loi de comportement permettant de relier l'état de contrainte à l'état de déformation à l'échelle macroscopique, en intégrant le niveau de saturation en résine et son évolution en fonction des contraintes mécaniques, de l'état d'avancement de la polymérisation et de la température. Ce modèle, tenant compte des parties réversibles/irréversibles du comportement et intégrant les variabilités des matières premières, permettra de décrire l'évolution de l'état de la matière au fil des diverses étapes du procédé. La troisième partie intégrera les modèles macro déduits des études précédentes dans des modèles de simulation numérique des procédés d'enroulement filamentaire et de dépose de mèches/bandes (ATL/AFP). Les résultats des simulations numériques seront confrontés à ceux obtenus à partir des dispositifs expérimentaux de mise en œuvre que développe la société TENSYL, en exploitant et complétant l'instrumentation de ces dispositifs afin de suivre l'évolution de grandeurs physiques telles que la pression, la température, ... durant la réalisation de pièces types.

On s'attachera enfin, pendant les 3 parties de la thèse, à inclure dans les plans d'expérience, l'utilisation de matières premières d'origine non conventionnelle comme les fibres naturelles ou recyclées.

Profil des candidats

Le (la) candidat(e) devra être titulaire d'un master 2 ou diplômé d'une école d'ingénieurs dans les domaines de la mécanique, des matériaux ou des mathématiques appliquées (avec des expériences en mécanique et/ou matériaux). Le (la) candidat(e) sera familier des outils de simulation numérique incluant les aspects de programmation de méthodes numériques et aura un goût marqué pour les expérimentations.

Compétences requises : Mécanique des Milieux Continus, Mécanique des fluides, Méthode des Eléments Finis

Compétences appréciées : Mathématiques Appliquées, programmation scientifique, méthodes numériques

Date de début de thèse : Début 2022

Financement : Contrat CIFRE

Localisation principale : I2M Université Bordeaux et/ou Société TENSYL La Rochelle (à définir avec le candidat)

Contact et envoi des candidatures (CV, lettre de motivation) :

Arnaud Gillet (I2M-Université Bordeaux) - arnaud.gillet@u-bordeaux.fr - 05 56 84 79 79

Julien Valette (Société TENSYL) - julien.valette@tensyl.com - 05 46 28 22 83

Eric Lacoste (I2M-Université Bordeaux) - eric.lacoste@u-bordeaux.fr - 05 56 84 58 65