

Proposition de Stage M2

## Étude et modélisation du procédé de pultrusion de composites à matrice thermoplastique réactive

### Contexte

Le transport ferroviaire de proximité est un moyen efficace pour le désengorgement des centres-villes, mais il s'avère peu exploité en raison des coûts prohibitifs de maintien en état des voies traditionnelles. Pour redynamiser ce mode de transport doux, une nouvelle conception de voie en rupture avec le schéma classique de rails métalliques supportés par du ballaste est possible. C'est ce que propose le projet collaboratif INFRALight financé par le PIA4 au travers d'un AMI ADEME. L'objectif de ce projet est de développer une infrastructure ferroviaire légère sur pieux constituée de rails en matériaux composites destinée à la circulation de navettes autonomes très légères.

Pour la fabrication des rails, le procédé de pultrusion de composites à matrice thermoplastique réactive a été sélectionné. Un volet du projet INFRALight vise donc à mettre au point ce procédé de mise en œuvre par voie réactive dans le cas de ces structures épaisses de grande longueur. Ces matrices thermoplastiques particulières sont obtenues par polymérisation in situ d'un mélange réactif composé de monomères et d'agents de polymérisation. Cette réaction de polymérisation peut être réalisée après imprégnation des renforts fibreux afin d'obtenir in fine une structure composite, ce qui facilite l'opération d'imprégnation sans rallonger le temps de mise en œuvre par rapport à des matrices thermoplastiques conventionnelles.

### Objectif des travaux

La production continue par pultrusion nécessite d'établir un régime thermique optimal permettant la maîtrise de la polymérisation de la matrice réactive avant la sortie de la filière. Dans le cas de pièces massives, ce régime est délicat à atteindre car l'exothermie générée par la polymérisation de la matrice, et éventuellement sa cristallisation, peut engendrer un auto-échauffement à cœur à l'origine de défauts. Déterminer le régime de fonctionnement optimal en pultrusion réactive revient alors à trouver le meilleur compromis entre la vitesse de pultrusion, les conditions de chauffage de la filière, la diffusion thermique au sein du matériau et l'énergie dégagée par la synthèse de la matrice.

Ce stage est préliminaire à un travail de thèse qui démarrera dès septembre 2023 et dont l'objectif est d'étudier le couplage entre ces différents phénomènes par le développement d'une simulation multiphysique du procédé de pultrusion réactif. Le candidat retenu pour ce stage pourra donc se voir proposer de poursuivre en thèse à l'issue de sa période de stage.

Les travaux de stage initieront le travail de thèse. Il s'agira d'une part de caractériser les enthalpies et les cinétiques de réaction des matrices réactives PA6\* et PMMA† ainsi que les échanges thermiques du matériau avec la filière de pultrusion. D'autre part, le travail consistera à construire un premier modèle couplé du procédé de pultrusion en alimentant progressivement le modèle thermique avec les données expérimentales des matériaux. En parallèle, des campagnes expérimentales de pultrusion avec des filières instrumentées seront également menées afin d'identifier les champs de température dans la filière, d'analyser l'influence des paramètres de mise en œuvre sur les propriétés des pièces et valider le modèle numérique.

### Mots clés

Composites thermoplastiques, transferts thermiques, polymérisation, cristallisation, simulation numérique.

---

\* La réaction de polymérisation anionique par ouverture de cycle de l'épsilon-caprolactame, qui permet de synthétiser le PA6 a déjà fait l'objet de trois thèses à l'ICA : C. Vicard (<http://theses.fr/2018EMAC0001>) et A. Belkhir (<http://theses.fr/s210997>), W. Han (<https://www.theses.fr/s219156>).

† Une thèse en cours utilise le système formant du PMMA : F. Gouillou (<http://www.theses.fr/s338542>).

## Laboratoires d'accueil

Les travaux seront menés à l'Institut Clément Ader (ICA) sur le site de l'IMT Mines Albi, avec des déplacements à prévoir sur le site de l'ICA à Tarbes et chez les partenaires du projet disposant de lignes de pultrusion.

## Encadrement

Olivier De ALMEIDA, ICA-IMT Mines Albi, [olivier.dealmeida@mines-albi.fr](mailto:olivier.dealmeida@mines-albi.fr)  
Arthur CANTAREL, ICA – UPS, site de Tarbes, [arthur.cantarel@iut-tarbes.fr](mailto:arthur.cantarel@iut-tarbes.fr)

## Profil du candidat recherché

Ce stage s'adresse à un étudiant en fin d'études (Master Universitaire ou école d'ingénieurs) désireux de poursuivre dans le domaine de la recherche appliquée avec des compétences en sciences des matériaux, thermique et en modélisation/simulation. Sans être exigées, des compétences en physico-chimie des polymères et en thermique des matériaux sont recherchées chez le candidat. Le projet s'adresse à un candidat ayant un goût prononcé autant pour l'expérimentation que la modélisation, capable d'autonomie et de rigueur, et sachant travailler dans l'environnement d'un projet collaboratif avec des partenaires industriels et académiques.

## Date de début de thèse

Démarrage prévu dès février 2023.

## Candidature

Les candidatures sont à envoyer directement à [olivier.dealmeida@mines-albi.fr](mailto:olivier.dealmeida@mines-albi.fr) et à [arthur.cantarel@iut-tarbes.fr](mailto:arthur.cantarel@iut-tarbes.fr) avec un CV.