

Thèse financée par l'IRT Jules Verne (projet FACT)

Etude des transferts thermiques et de l'adhésion à l'échelle du cordon dans le procédé de fabrication additive FFF

Les technologies de **fabrication additive polymère** se sont fortement démocratisées ces dernières années ce qui est principalement dû à une forte médiatisation et une baisse des coûts d'acquisition de certains systèmes. Dans l'industrie, ces technologies sont utilisées depuis de nombreuses années pour la fabrication d'outillages, de prototypes ou encore de pièces faiblement sollicitées. Cependant, les **performances mécaniques** des pièces fabriquées restent **limitées** et ne permettent pas d'envisager l'utilisation de ces pièces pour des applications plus contraignantes (notamment de fortes sollicitations thermiques et mécaniques), ce qui limite le déploiement de ces technologies dans l'industrie pour des pièces structurelles. Ces limitations sont liées essentiellement aux faibles propriétés intrinsèques des matériaux existants sur le marché, au problème d'anisotropie des matériaux déposés, à leur mauvaise consolidation et plus généralement au manque de connaissance sur ces procédés, notamment sur la physique mise en jeu.

Dans le cadre du projet FACT mis en place à l'**IRT Jules Verne**, les procédés SLS (fusion de lit de poudre) et FFF (extrusion de filament) seront étudiés pour la mise en œuvre de polymères thermoplastiques haute température (PEEK et PEKK) renforcés ou non de fibres courtes de carbone. Il s'agit d'un **projet d'envergure** qui regroupe 11 partenaires dont l'IRT JV, 8 industriels et 2 laboratoires de recherche.

Les technologies de fabrication additive sont déjà largement utilisées dans différents domaines y compris l'aéronautique, mais pas pour des matériaux hautes performances (pièces avec des fortes sollicitations thermiques et mécaniques). Aussi, l'un des objectifs du projet FACT est **d'optimiser le procédé pour améliorer les performances mécaniques** des pièces obtenues. Ces optimisations concerneront à la fois la formulation des produits de départ et les stratégies de fabrication relatives aux deux procédés étudiés et les machines. Plus précisément, pour la technologie FFF, il s'agira d'améliorer l'adhésion entre les différents cordons composant la pièce finale, d'améliorer l'homogénéité, le contrôle d'épaisseur et le positionnement des différentes couches du matériau fabriqué, de mieux maîtriser la cristallinité des polymères déposés, ...

Dans le contexte de compréhension et d'amélioration du procédé FFF, le Laboratoire de Thermique et Energie de Nantes (LTEN) propose de développer des travaux de recherche dans le cadre d'un **thèse** relative à l'analyse des **transferts de chaleur** dans le procédé FFF à échelle réduite et à l'échelle du procédé, ainsi que le couplage avec la **cristallisation** du polymère thermoplastique et la cinétique d'**adhésion**.

Le LTEN est une unité mixte de recherche CNRS/Université de Nantes spécialisée notamment dans l'étude des transferts thermiques couplés pendant la mise en forme des matériaux polymères et composites ainsi que sur l'identification des propriétés

thermophysiques. Le laboratoire possède une expertise reconnue dans l'instrumentation et le développement de dispositifs expérimentaux uniques ainsi que sur l'identification des cinétiques de transformation de la matrice dans les conditions réelles du procédé.

Les tâches principales à réaliser au cours de la thèse sont :

1) La conception et réalisation de **2 bancs d'essais instrumentés**, permettant une étude à l'échelle du cordon. Il s'agit d'une part de concevoir, développer et instrumenter un banc de caractérisation, pour mesurer les transferts de chaleur, la cinétique de cristallisation et les résistances de contact pendant le dépôt d'un cordon. Par ailleurs, une platine d'essai de pelage sera conçue et réalisée. Celle-ci sera utilisée pour l'analyse post-mortem de l'adhésion à l'échelle du cordon.

2) L'analyse paramétrique du procédé FFF Une étude paramétrique sera réalisée à l'aide des 2 bancs ci-dessus, afin de déterminer la **fenêtre de processabilité**.

3) La **caractérisation** fine des propriétés thermophysiques des matériaux, dans les conditions du procédé. Différents essais seront menés afin de caractériser finement les propriétés de la matière dans les conditions du procédé. Les résultats obtenus pourront servir par ailleurs de données d'entrée pour la modélisation. Ces différentes propriétés seront mesurées en fonction de la température et de l'état du polymère (semi-cristallin / fondu) à partir de dispositifs expérimentaux standards ou spécifiques.

- Cinétique de **cristallisation**

Les paramètres de la loi cinétique seront identifiés par DSC et Flash DSC. Ce dernier appareil permet d'atteindre des vitesses de refroidissement identiques à celles rencontrées dans le procédé, voire supérieures.

- Cinétique **d'adhésion**

Une caractérisation de l'adhésion sera faite à partir du banc d'essai de pelage. Les résultats sont à corréliser à des mesures de temps de reptation des chaînes polymères.

- **Mouillage** à chaud

Un dispositif de mesure de tension de surface à chaud accessible dans un laboratoire nantais sera utilisé.

4) **Modélisation** multiphysique (à l'échelle du cordon)

Analyse des phénomènes prépondérants en vue d'une modélisation adaptée - couplages thermique, adhésion ; cristallisation, déformation - validation expérimentale du modèle sur le banc cordon.

Contacts :

Nicolas Boyard (nicolas.boyard@univ-nantes.fr)

Arthur Levy (arthur.levy@univ-nantes.fr)

Vincent Sobotka (vincent.sobotka@univ-nantes.fr)