

AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE

Monsieur Théo REBIERE

Candidat au Doctorat de Physique des polymères,
de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour

Soutiendra publiquement sa thèse intitulée :

Fabrication additive à base d'élastomères : adaptation de la structure des matériaux et impression 3D

Dirigée par Monsieur CHRISTOPHE DEMAIL et Madame SYLVIE DAGREOU

le 17 décembre 2024 à 9h30

Lieu : Avenue de l'Université, Université de Pau et des Pays de l'Adour, Bâtiment de la Présidence, 64000, Pau

Salle : Amphithéâtre de la présidence

Composition du jury :

| | | |
|--|--|------------------------|
| M. Christophe DEMAIL, Professeur des universités | Université de Pau et des Pays de l'Adour | Directeur de thèse |
| Mme Sylvie DAGREOU, Professeur des universités | Université de Pau et des Pays de l'Adour | Co-directrice de thèse |
| M. Julien VILLE, Professeur des universités | Université de Bretagne Occidentale | Rapporteur |
| M. Guillaume MIQUELARD-GARNIER, Professeur des universités | Conservatoire National des Arts et Métiers (le Cnam) | Rapporteur |
| M. René FULCHIRON, Professeur des universités | Université Claude Bernard Lyon 1 | Examineur |
| M. Frédéric PERUCH, Directeur de recherche CNRS | Université de Bordeaux | Examineur |
| M. Maxime CHARMAN, Responsable Recherche et Développement | EMAC SAS | Examineur |

Mots-clés : Rhéologie, Elastomères, Impression 3D, Noir de carbone, FDM, EPDM

Résumé :

Les élastomères sont utilisés dans de nombreuses applications pour leurs très bonnes propriétés élastiques obtenues après réticulation. Leur mise en œuvre par fabrication additive (FA) reste cependant délicate. Les défis de cette thèse concernent l'adéquation entre la formulation d'élastomères pour l'obtention de pièces complexes par FA, avec une maîtrise optimale des propriétés finales. Si la mise en œuvre par FA des polymères de silicone et de polyuréthane est largement discutée dans la littérature, les caoutchoucs, candidats importants pour de nombreuses applications, nécessitent, quant à eux, un travail de recherche encore soutenu. Ainsi, nous nous sommes attachés à comprendre la relation structure-propriétés d'élastomères afin d'adapter leur formulation à la fabrication additive. Nous utilisons les élastomères Ethylène-Propylène-Diène-Monomère (EPDM) et le procédé de fabrication additive connu sous le nom de Fused Deposition Modeling (FDM). Le comportement rhéologique ciblé de la formulation doit correspondre aux exigences du procédé de fabrication qui nécessite un comportement « liquide » au sein du dispositif de mise en œuvre et un comportement « solide » permettant de maintenir la géométrie de l'objet après la phase de dépôt. Le contrôle du comportement rhéologique de la formulation finale est un moyen privilégié d'adapter les élastomères au procédé FDM. Le travail s'est concentré dans un premier temps sur l'étude du comportement rhéologique de mélanges d'EPDM appropriés pour l'impression au moyen d'un dispositif FDM au sein duquel le matériau est convoyé par une vis d'extrusion. Nous avons ensuite exploré le comportement rhéologique obtenu lors de l'ajout de noir de carbone (CB). Nous nous sommes intéressés au seuil de percolation rhéologique, lié à la formation du réseau de CB, qui permet d'atteindre le comportement rhéologique approprié pour la maîtrise de la forme de l'objet imprimé. Nous avons montré que, pour une formulation au voisinage de la percolation, un comportement « liquide » est assuré dans les gammes de vitesses correspondant au dispositif FDM utilisé, assurant ainsi un écoulement optimum. Par ailleurs, le comportement « solide » de la formulation après dépôt est assuré par le développement du réseau de CB au sein du mélange. Dans un second temps, la compréhension de l'étape de réticulation permet de définir les conditions de mise en œuvre (limites thermiques et temporelles) à respecter. La cinétique associée définit trois temps à prendre en considération : le temps de grillage (le temps nécessaire pour initier la réaction de réticulation), le temps de grillage rhéologique (moment à partir duquel le réseau de CB est suffisamment développé pour que la formulation présente un comportement solide) et le temps de vulcanisation finale. Les deux temps de grillage déterminent le temps de séjour du matériau dans l'imprimante 3D à une température donnée. Nous nous sommes tout d'abord intéressés au temps de manipulation de la matière et donc plus particulièrement aux deux temps de grillage puis aux conditions de vulcanisation après l'impression d'un objet. Dans des conditions standard, l'objet final gonfle et présente un aspect mousseux. Nous avons observé que la réduction de température ainsi que l'augmentation du taux de charge permettent de diminuer l'apparition de bulles. En revanche des défauts persistent, pouvant toutefois être éliminés en vulcanisant en autoclave. Au travers du contrôle du comportement rhéologique et des conditions de vulcanisation, plusieurs objets à forme complexe ont pu être imprimés à partir de formulations d'EPDM à l'aide d'un procédé de type FDM. Ce projet de thèse s'est déroulé dans un contexte de collaboration public - privé avec la société EMAC, et en partenariat avec la société Lynxter. Il a bénéficié de financements de l'ANRT (CIFRE) et du projet E2S UPPA (projet exploratoire).