

LABO - Axe et Equipe : **INSTITUT PASCAL** - M3G – Mécanique expérimentale

Directeur de thèse : **Xavier Balandraud** (PU), xavier.balandraud@sigma-clermont.fr

Co-directrice de thèse : **Geneviève Chadeyron** (PU), genevieve.chadeyron@sigma-clermont.fr

Co-encadrant : **Antoine Jury** (MCF), antoine.jury@uca.fr

Titre de la thèse : **Développement de matériaux biosourcés luminescents pour la fabrication additive d'objets fonctionnels dédiés au marquage anticontrefaçon : caractérisation physico-chimico-thermo-mécanique**

Résumé : La contrefaçon constitue aujourd'hui un enjeu économique, industriel et sociétal majeur, touchant aussi bien les biens de consommation courante que des secteurs à forte valeur ajoutée tels que l'automobile ou l'aéronautique. Dans ce contexte, le développement de solutions de marquage anticontrefaçon innovantes, durables, difficilement reproductibles et intégrées directement au produit est devenu une nécessité. Parallèlement, la **fabrication additive** par extrusion de polymères s'impose comme une technologie clé de l'industrie du futur, offrant des possibilités uniques en termes de personnalisation, de complexité géométrique et de traçabilité des pièces produites. L'intégration de matériaux luminescents au cœur même des objets imprimés représente ainsi une approche particulièrement prometteuse pour le marquage anticontrefaçon en volume, par définition ineffaçable sans détériorer la pièce. Dans ce cadre, le projet FABULEU (piloté par Geneviève Chadeyron) a visé à développer des matériaux polymères luminescents pour la fabrication additive, capables de générer des signatures optiques spécifiques destinées à des applications de marquage sécurisé. Ce projet de thèse s'inscrit pleinement dans cette dynamique et a pour objectif **d'explorer la formulation de polymères biosourcés intégrant des luminophores** (sous forme de fils destinés à alimenter des machines d'impression 3D, en vue de la réalisation d'objets imprimés intégrant des fonctions de marquage anticontrefaçon), et **d'évaluation les propriétés mécaniques des fils et des objets imprimés** (afin de garantir l'intégrité, la durabilité et la fonctionnalité des produits marqués). Ce travail vise ainsi à établir des liens clairs entre formulation matériau – procédé de fabrication additive – propriétés optiques et mécaniques, dans une perspective d'applications industrielles. Un focus sera notamment à faire sur les **propriétés mécaniques à la fois statiques (rigidité, résistance...) et dynamiques (fluage, fatigue...) aux interfaces avec les zones intégrant des luminophores, afin garantir la durabilité dans le temps de la solution de marquage**. Des essais instrumentés par caméra (mesures de champs optiques et thermiques) devront être employés afin de suivre l'évolution spatio-temporelle des déformations et des auto-échauffements des matériaux. Enfin, un volet **multi-fonctionnalité** sera rajouté à l'étude avec l'emploi de poudres « mécano-luminescentes », ouvrant la voie à des applications inédites pour l'expérimentation mécanique des polymères.

Objectifs scientifiques de la thèse :

- Sur le volet « formulation » : développer des matrices polymères biosourcées luminescentes ; élaborer des fils polymères luminescents compatibles avec leur

transformation en matière première pour l'impression 3D ; étudier la compatibilité polymère / luminophore (dispersion, stabilité thermique et photostabilité) ;

- Sur le volet « fabrication additive » : élaborer des éprouvettes (pour caractérisation mécanique) et objets imprimés intégrant un marquage luminescent en volume (visible sous excitation spécifique) ;
- Sur le volet « caractérisation optique » : caractériser les propriétés optiques associées au marquage (signature spectrale, stabilité dans le temps) ;
- Sur le volet « caractérisation mécanique » : évaluer les propriétés thermomécaniques des fils composites (polymère+luminophores) ; évaluer les propriétés mécaniques des matériaux composites luminescents obtenus par fabrication additive ; évaluer les propriétés mécaniques aux interfaces entre les zones composites luminescentes et les zones non-composites (polymère pur non- luminescent). Evaluer l'intégrité mécanique de produits finaux (pièces intégrant un marquage anti-contrefaçon).

Programme de travail prévu :

1. Formulation de matériaux et de fils polymères luminescents :

- Sélection de polymères biosourcés compatibles avec la fabrication additive ;
- Choix et intégration de luminophores adaptés au marquage anticontrefaçon ;
- Optimisation des formulations (taux de charge, dispersion, compatibilité) ;
- Mise en forme sous forme de fils ;
- Étude de leur stabilité thermique et optique ;

2. Fabrication additive d'éprouvettes et d'objets marqués :

- Transformation des fils en matière première pour impression 3D ;
- Réalisation d'éprouvettes pour caractérisation mécanique et d'objets intégrant un marquage luminescent en volume ;

3. Caractérisations optiques et mécaniques :

- Étude des propriétés photoluminescentes liées au marquage ;
- Caractérisation mécanique des fils et de éprouvettes avec focus sur les propriétés aux interfaces polymère pur / polymère luminescent ;
- Corrélation entre formulation, procédé et performances mécaniques finales des pièces imprimées ;

4. Démonstrateur final pour validation du concept de marquage anticontrefaçon intégrées aux objets fabriqués par impression 3D.