

- **SOUTENANCE** -
DE L'HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES EN SCIENCES
(la soutenance est publique)

NOM * : CAPSAL
Prénoms : Jean-Fabien
Fonctions : Maître de Conférences
Laboratoire INSA : LGEF
Titre du mémoire d'HDR :
**Optimisation des propriétés de conversion électromécanique des polymères et
leurs applications**
Date et heure de Soutenance : 16/12/2020 à 18h30
Lieu : VisioConférence

Rapporteurs :

Pr. Zoubeida Ounaies Professeur à l'Pennsylvania State University
Pr. Philippe Demont Professeur à l'Université Paul Sabatier Toulouse 3
Pr. Maud Langlois Professeur à l'Université Claude Bernard

Jury:

Pr. Zoubeida Ounaies Professeur à l'Pennsylvania State University
Pr. Philippe Demont Professeur à l'Université Paul Sabatier Toulouse 3
Pr. Maud Langlois Professeur à l'Université Claude Bernard
Pr. Lionel Petit Professeur à l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon
Pr. Antoine Million Professeur à l'Université Claude Bernard
Pr. Jeff Kuhn Professeur à l'Université d'Hawaï
Pr. Jean-Yves Cavailhé Professeur à l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon
Pr. Xavier Boddaert Professeur à Mines de Saint-Etienne

Résumé:

Les matériaux électroactifs organiques, susceptibles de présenter de bonnes propriétés des couplages électromécaniques, ouvrent la voie à de nombreuses applications d'actionneurs et/ou capteurs hautement intégrables aux structures. Cela permettra à terme d'ajouter aisément des fonctionnalités à des structures inertes pour former de nouvelles structures dites « intelligentes ». L'apparition assez récente de nouvelles familles de polymères à forts couplages électromécaniques associées à des techniques de fabrication

additive permettra une intégration dans la structure facilitée, un alourdissement négligeable et un coût réduit pour la nouvelle fonctionnalité.

Plusieurs types de matériaux électroactifs ont été développés mais seulement certains présentent un réel potentiel applicatif, et cela principalement en raison de leur stabilité aux conditions environnementales, leurs coûts ou leurs propriétés conservées en fonctionnement réel. Parmi ces matériaux identifiés comme très intéressants pour les applications futures, citons les polymères diélectriques électrostrictifs et les polymères/composites ferroélectriques. Cependant, ces 2 familles de matériaux n'ont pas vocation à remplir les mêmes fonctionnalités au sein des structures hôtes.

Les polymères diélectriques électrostrictifs, ont pour principale caractéristique une très grande déformation induite sous l'application, aux bornes de l'échantillon, d'un champ électrique. Ces matériaux sont donc des candidats de choix pour le contrôle de forme de structure qui nécessite de grands déplacements et de grandes densités d'énergies mécaniques. Les principaux axes de recherche autour de cette thématique sont liés à la compréhension et la modélisation physique du phénomène d'électrostriction dans ces matrices polymères très hétérogènes ainsi que sur l'optimisation des propriétés de conversion énergétique sous faibles champs électriques. Différentes voies d'étude pour l'amélioration des propriétés et la diminution des tensions électriques nécessaires au bon fonctionnement d'actionneurs réalisés à base de polymères électrostrictifs sont en cours de développement parmi lesquelles la synthèse chimique de nouveaux matériaux et la modification des matrices par voie composite semblent les plus prometteuses. Dans des applications, ces matériaux sont voués à être ajoutés aux structures (procédé additif) et permettre l'apparition d'une fonctionnalité nouvelle de cette dernière.

Les composites ferroélectriques sont des matériaux nouveaux basés sur le concept de donner une propriété fonctionnelle à une matrice initialement inerte. La voie composite est privilégiée dans cet axe de recherche et permet à partir d'un choix adéquat de couples matrices/particules de créer une synergie entre les bonnes propriétés thermiques et mécaniques des polymères et les grandes propriétés électroactives des céramiques particulières. Les propriétés ferroélectriques de ces matériaux en font des candidats incontournables pour les applications capteurs électromécaniques et pyroélectriques. À partir de ces matériaux fonctionnels, il est alors possible soit d'ajouter une fonctionnalité à la structure par procédé additif ou bien dans le cas de pièces en polymères d'intégrer la nouvelle fonctionnalité capteur directement au sein de la matière, le système n'étant alors pas modifié d'un point de vue structurel.

Ajouter des nouvelles propriétés à des structures est une étape qui peut-être grandement facilitée par les techniques en vogue de la fabrication additive. Selon le type d'applications, de systèmes et de configurations, plusieurs méthodes permettront d'intégrer les réseaux de capteurs ou d'actionneurs facilement et à bas coût dans des structures. Citons notamment l'impression jet d'encre et l'impression 3D dont les avancées sont très rapides. Toutes ces méthodes peuvent être rassemblées sous l'appellation fabrication additive 4D elles permettront à terme d'ajouter une dimension de couplage multiphysique en plus des dimensions mécaniques à ces procédés. Cependant, quel que soit le type de méthode de déposition, le type de matériaux et de substrat, beaucoup de paramètres vont influencer la possibilité et la qualité des méthodes de dépôts. La fonctionnalité et l'optimisation des propriétés de couplages multiphysiques ne sont donc pas garanties seulement par les propriétés intrinsèques de la matière mais vont dépendre grandement de la maîtrise de ces techniques de fabrications additives.

La recherche autour des matériaux à couplages électromécaniques pour la mécatronique est, de par sa nature, fortement en lien avec l'application et se nourrit grandement du besoin du monde industriel. La connectivité des objets et le besoin croissant

d'intégrer des fonctionnalités de type capteurs/actionneurs dans les appareils mais aussi de rendre « intelligents » leurs produits déjà commerciaux permet d'alimenter cette recherche aux moyens de cahiers de charges auxquels ces nouvelles familles de matériaux doivent/devront se confronter pour percer face à des technologies déjà établies mais très intrusives pour les structures. Cette « recherche à l'interface » des milieux académique et industriel n'est possible que si de fortes collaborations et échanges entre les parties existent et permettent de *transformer un besoin industriel en un questionnement scientifique*.

Ce mémoire détaille les actions de recherche que j'ai réalisées autour des matériaux organiques ou composites pour la conversion électromécanique dans le but de proposer de nouvelles fonctionnalités aux systèmes. Ce travail est détaillé dans une approche « du matériau vers les systèmes » qui rend compte de mon souhait de maîtriser les différentes composantes du processus d'innovation, des niveaux de TRL bas comme le développement de nouveaux matériaux et la validation de preuve de concepts à des niveaux de TRL plus élevés obtenus à l'aide de transferts de technologies en collaboration avec des acteurs du milieu industriel.