

Université de technologie de Compiègne - Proposition de thèse

1^{re} partie : Fiche scientifique	
Intitulé de la thèse	Développement d'une méthodologie de surveillance des structures composites par insertion de transducteurs piézoélectriques et fusion de données
Type de financement	Contrat doctoral sur allocation Ministère
Laboratoire d'accueil	unité de recherche : Roberval (Mécanique, énergie et électricité) équipe de recherche : Matériaux & Surfaces site web : https://roberval.utc.fr/
Directeur(s) de thèse	Walid HARIZI (MCF, non HDR) et Zoheir ABOURA (Professeur des universités)
Domaines de compétence	Sciences pour l'ingénieur Physique Informatique, électronique
Description du sujet de thèse	<p>Contexte général</p> <p>La volonté de réduire la masse et le coût énergétique des structures pousse les concepteurs à les dimensionner d'une façon optimale. Cependant, ces structures sont soumises au cours de leur fonctionnement à des impondérables nécessitant des coefficients de sécurité qui vont à l'encontre d'un dimensionnement optimisé. La gravité ou non des sollicitations imprévisibles est souvent constatée <i>a posteriori</i>. Cela nécessite l'arrêt du fonctionnement de la structure et une investigation, souvent poussée, permettant de juger son état de santé. Il est clair que l'ensemble de ces opérations est très coûteux. Cette démarche va bien évidemment à l'encontre de l'idée d'une technologie sûre et durable. Ce constat justifie pleinement l'idée de surveillance de l'état de santé des structures en temps réel. Dans le cas des matériaux composites, la problématique se complexifie compte tenu de leur caractère hétérogène et de la complexité de leurs mécanismes d'endommagement. Les abattements des admissibles, lors du dimensionnement, sont très importants. Cependant, ces matériaux offrent l'avantage avec leur procédé de fabrication de pouvoir inclure, au cœur de la matière, des transducteurs capables d'envoyer des informations en temps réel. Tuloup et al.^[1] ont recensé les différentes techniques permettant de faire le suivi santé des structures composites (SHM Structural Health Monitoring). Ils montrent l'intérêt certain de ces techniques, mais mettent également en évidence la nécessité de relever de nombreux challenges afin que les techniques utilisées soient fiables. En plus de pouvoir renseigner sur l'état de santé de la structure, ces transducteurs peuvent également suivre le procédé de mise en œuvre du composite. Récemment, une étude publiée par Tuloup et al.^[2] a montré un fort potentiel des transducteurs piézocéramiques PZT (Lead Zirconate Titanate) pour la détection des différentes phases de réticulation de la résine durant le procédé d'infusion. Ces travaux se basent sur l'étude de la variation de la capacité électrique du transducteur une fois intégré au cœur de la matière. La littérature ainsi que les travaux de thèse de Corentin Tuloup^[3] ont montré le fort potentiel des transducteurs piézocéramiques PZT et piézopolymères PVDF (Polyvinylidene fluoride) pour le suivi du procédé de mise en œuvre des composites ainsi que leur état de santé (détection des premiers endommagements majeurs) suite à des sollicitations mécaniques diverses. Ces transducteurs, peu coûteux, présentent l'avantage de pouvoir être utilisés soit de manière passive (récupération des signaux d'émission acoustique EA, mesure de variation de la capacité électrique), mais également de manière active (excitation vibratoire des structures composites). Les travaux réalisés au laboratoire Roberval ont permis d'accumuler des connaissances dans le cas d'une exploitation de ces transducteurs en mode passif. Le côté actif de l'utilisation de ces transducteurs constitue une composante maîtresse de ce sujet de thèse. Elle permet d'apporter une brique supplémentaire à l'utilisation de ces transducteurs, positionnés au sein de la matière, comme moyen de SHM.</p> <p>Méthodologie</p> <p>L'approche vibratoire de la stratégie SHM réside dans l'exploitation des propriétés de couplage électromécanique des transducteurs intégrés au sein de la structure afin de mettre en place des méthodes de détection de défauts. Les approches linéaires basées sur la modification des paramètres modaux (fréquences du système ou modes propres de vibration)^[4-5] ne sont pas suffisamment robustes vis-à-vis d'une variation de l'environnement et en particulier d'une variation de température, pour envisager des applications industrielles exploitables. Ainsi, la démarche vibratoire proposée dans cette étude se focalisera sur des indicateurs non linéaires en exploitant la dynamique non linéaire induite par les défauts, en particulier l'apparition de fréquences <u>sur-harmoniques</u> et <u>sous-harmoniques</u> ainsi que la localisation des <u>anti-résonances</u> des fonctions de réponse fréquentielle d'ordre supérieur^[6]. La stratégie vibratoire proposée repose donc sur les points suivants :</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Optimisation du positionnement des transducteurs lors de la phase de conception de la structure composite afin d'agir sur l'ensemble des modes de vibration endommageants pour la structure. Cette phase fera appel à une modélisation numérique intégrant les éléments de couplage électromécanique ainsi que les précontraintes induites par le procédé de fabrication, ☞ Utilisation couplée de céramiques piézoélectriques PZT et de films polymères PVDF afin d'exploiter au mieux leurs propriétés d'actionnement et de mesure. ☞ Analyse modale expérimentale de la structure composite réalisée, ☞ Mesure des fonctions de réponse fréquentielle pour différents niveaux d'excitation en utilisant les transducteurs intégrés à la structure composite et définition d'indicateurs non linéaires pour différents défauts ou à différents stades du processus de fabrication. <p>La méthode proposée de type multiphysique couplera donc une approche numérique avec une démarche expérimentale afin de vérifier et garantir la conception optimale de la structure composite instrumentée et de permettre la validation de la méthode de détection et de caractérisation des défauts.</p> <p>Cette étude permettra une utilisation de deux types de transducteurs, PZT piézocéramique et polymère PVDF en mode actif et passif, chacun présentant des avantages et certaines limitations. La combinaison de leurs deux modes de fonctionnement, au sein du même système technologique, exigera de développer non seulement des approches interdisciplinaires, mais aussi transdisciplinaires basées sur l'hybridation des savoirs et des pratiques. En effet, les piézocéramiques PZT, avec un fort couplage électromécanique, seront utilisés comme actionneurs de la structure composite afin de générer des ondes ultrasonores (US) et la faire vibrer à des différentes fréquences. Les capteurs thermoplastiques PVDF, de faibles couplages électromécaniques, seront employés pour détecter les ondes US/et les vibrations et pourront révéler un état de déformation triaxiale de la structure nettement supérieure aux déformations à la rupture des PZT. Enfin, cette utilisation combinée de PZT et PVDF nous obligera à proposer un séquençement des différentes mesures physiques (Salves d'EA, ondes US, capacité et vibrations) en lien avec le type du chargement mécanique qui sera contrôlé en temps réel par des techniques complémentaires conventionnelles ex-situ. Ainsi, un protocole expérimental doit être mis en place afin de dresser un diagnostic complet sur l'état de la matière dès sa mise en œuvre à sa mise en service. L'exploitation simultanée des quatre types de réponse des transducteurs (acoustique, capacitive, ultrasonore et vibratoire) constitue une des originalités de ce projet. A notre connaissance, il n'existe pas au sein de la littérature de telles approches. Il est à noter que cette étude se focalisera sur l'utilisation de matériaux composites à matrice thermoplastique et des renforts fibreux en verre. L'avantage du thermoplastique réside dans sa capacité d'être recyclé, ce qui devrait avoir un impact moindre que les thermodurcissables sur l'environnement. La société ARKEMA sera partenaire de cette étude en fournissant la résine thermoplastique et les capteurs piézopolymères pour la fabrication des "SMART" composites. Elle dispose à travers sa filiale PIEZOTECH d'un savoir-faire dans la réalisation de films et de réseaux en capteurs thermoplastiques. D'ordre général, la finalité de la thèse résidera dans le développement d'un système technologique (de nature mécatronique), intelligent, autoporteur de l'information, sûr et durable permettant une traçabilité de la mise en œuvre jusqu'à la fin de vie de la structure composite. La fusion de données (par une application des théories complexes comme les réseaux de neurones, la théorie de Dempster-Shafer, la théorie de possibilités, etc.) consistera à rassembler les informations hétérogènes provenant des différents transducteurs piézoélectriques, formant un réseau planaire et/ou en épaisseur, afin de mettre en évidence la totalité des mécanismes d'endommagement de structures composites et ainsi dresser un diagnostic fiable, précis et complet sur leur état de santé en temps-réel. Ainsi, il sera possible d'intervenir à tout moment pour assurer la sécurité des biens et de leurs usagers.</p>
Mots clés	Surveillance des structures composites ; Transducteurs piézoélectriques ; Approche multiphysique ; Fusion de données.
Profil et compétences du candidat	Recherche d'un étudiant de niveau ingénieur (bac + 5) ou master 2, avec de fortes compétences scientifiques en science des matériaux, matériaux composites, acoustique & vibrations, méthodes CND, modélisation et simulation numérique. Des connaissances sur les réseaux de neurones types Perceptron multicouches et Carte auto-organisatrice, ainsi que des compétences solides en programmation sous Matlab® seront bien appréciées.
Date de début de la thèse	Octobre 2021
Lieu de travail de thèse	Université de technologie de Compiègne - France

2^e partie : Fiche de poste	
Durée	36 mois
Possibilité missions complémentaires	à définir avec le candidat (possibilité d'enseignement)
Laboratoire d'accueil	Les activités de recherche du laboratoire Roberval (unité de recherche en mécanique, énergie et électricité) portent sur le développement des méthodes expérimentales et numériques innovantes pour l'analyse, la modélisation et la conception de structures et de systèmes complexes.
Moyens matériels	<ul style="list-style-type: none"> - Plateforme expérimentale de l'équipe «Matériaux et Surfaces» du laboratoire Roberval permettant le développement d'une approche multiphysique utilisant plusieurs techniques CND : EA, CIN, TIR, vidéo-microscopie, machines d'essais, moyens de mesures électriques ... - Sorbonne Université à travers l'Institut Jean le Rond d'Alembert, équipe MPIA (Modélisation, Propagation et Imagerie Acoustique), pour la modélisation et le contrôle des vibrations de structures.
Moyens humains	Le doctorant intégrera le laboratoire Roberval de l'UTC et bénéficiera de tous les environnements scientifiques et techniques de cette unité de recherche. Un accompagnement des étudiants en stage de Master est également prévu.
Moyens financiers	Le salaire du doctorant est assuré suite à une obtention d'une allocation Ministère (MESR). En ce qui concerne les frais de fonctionnement de la thèse, un financement sur fonds propres assurera l'achat des transducteurs piézoélectriques et de la matière première utilisée pour le processus de fabrication des structures composites à matrice polymère.
Modalités de travail	La thèse débutera par une formation du doctorant sur les différentes techniques expérimentales qui seront utilisées durant ses travaux de recherche. De même, des réunions entre le doctorant et ses encadrants seront planifiées régulièrement tout au long de l'état d'avancement des travaux de thèse. Pour l'approche vibratoire, spécialement l'aspect numérique, des déplacements à l'Institut Jean le Rond d'Alembert de Sorbonne Université seront programmés afin de travailler avec M. Baptiste Chomette, spécialiste dans ce domaine.
Projet de recherche lié à cette thèse	Non
Collaboration(s) nationale(s)	Oui, avec Sorbonne Université à travers l'Institut Jean le Rond d'Alembert, équipe MPIA (Modélisation, Propagation et Imagerie Acoustique), pour la modélisation et le contrôle des vibrations de structures.
Collaboration(s) internationale(s)	Non
Thèse en cotutelle internationale	Non
Coordonnées de la personne à contacter	Dr. Walid HARIZI; Tél. : +33 (0)3 44 23 46 23; Email : walid.harizi@utc.fr

Contactez d'abord le directeur de thèse avant de renseigner
un dossier de candidature en ligne sur <https://webapplis.utc.fr/admissions/doctorants/accueil.jsf>