



## OFFRE D'ALLOCATION DE THESE

### ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES EXACTES ET LEURS APPLICATIONS - ED 211

Avenue de l'université BP 1155 64 013 PAU Cedex – France

## SUJET DE THESE

**TITRE :** Etude des contraintes électromagnétiques induites par les composants SiC d'une chaîne de conversion d'énergie en vue d'une optimisation pour des applications hautes fréquences.

### RESUME :

Les importantes avancées technologiques de ces dernières années dans le domaine des générateurs à base de composants SiC (Carbure de Silicium) permettent aujourd'hui d'envisager des possibilités d'alimentation en Haute Fréquence (HF) beaucoup plus élevées, et offrant de nouveaux avantages : compacité, légèreté, rendement amélioré, etc. Cependant, ces nouvelles formes d'alimentation engendrent parallèlement de nouveaux problèmes complexes vis-à-vis du système dans lequel elles sont insérées et des charges qu'elles alimentent.

Ces convertisseurs rapides provoquent sur l'ensemble de la chaîne de puissance une augmentation flagrante des excitations et des interactions électromagnétiques, et ce, en mode conduit comme en rayonné. Dans le cas des moteurs électriques, qui représentent la grande majorité des charges alimentées par ce type de générateurs, une conséquence importante est l'augmentation des phénomènes de décharges partielles apparaissant notamment sur leurs bobinages constitutifs. Ceux-ci engendreront un vieillissement prématuré de leurs matériaux isolants, ce qui se traduira, à court ou moyen terme par la destruction de ces bobinages. Cette problématique peut aujourd'hui frapper tout type de machine électrique haute performance, et ce, quel que soit le domaine d'application : véhicule électrique, aéronautique, processus industriel, médical, etc.

Au cours de cette thèse, nous souhaitons donc induire expérimentalement, puis analyser et modéliser ces phénomènes électromagnétiques pour établir clairement les limites des techniques d'isolation existantes en HF. Cette étude permettra la recherche et la proposition de nouvelles solutions afin de pouvoir profiter pleinement des bénéfices des nouvelles technologies d'alimentation SiC, en minimisant les risques pour les machines alimentées.

**Mots clés :** Conversion, SiC, Haute Fréquence, CEM, isolant, diélectrique

## CONDITIONS D'EXERCICE

**Laboratoire :** SIAME

**Site web :** [siame.univ-pau.fr](http://siame.univ-pau.fr)

**Directeur de thèse :** Thierry Reess/J.M. Dienot

**Co-Directeur de thèse :** Robert Ruscassié

**Co-Encadrant :** Anca Petre

**Lieu :** Technopole Helioparc, 2 Av. P. Angot, 64053 Pau Cedex 9

**Date début :** 01/09/2017

**Durée :** 3 ans

**Employeur :** Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

**Salaires mensuel brut :** 1685 € (pour contrat doctoral sur crédits UPPA et collectivités locales)

## SAVOIR-FAIRE DU LABORATOIRE

L'Equipe Génie Electrique du laboratoire SIAME (Laboratoire des Sciences pour l'Ingénieur Appliquées à la Mécanique et au génie Electrique) est reconnue depuis de nombreuses années pour ses travaux sur les phénomènes Haute Tension et les décharges électriques associées. Elle dispose des équipements de génération et de métrologie spécifiques, ainsi que du savoir-faire nécessaire à l'étude expérimentale des phénomènes de décharges rapides.

Les générateurs développés au sein de notre équipe étant de plus en plus orientés vers des technologies de conversion statique basées sur des transistors fonctionnant à des fréquences toujours plus élevées. Le développement de dispositifs expérimentaux susceptibles de permettre la caractérisation de composants SiC en régime de fonctionnement Haute Fréquence permettra donc de mieux cerner les nouvelles limites d'utilisation de ces composants, en particulier lors des régimes de fonctionnement intermittents, ce qui permettra d'ouvrir la voie au développement de nouveaux générateurs optimisés en technologie SiC.

Le Laboratoire LABCEEM de l'IUT de Tarbes, aujourd'hui associé à l'Equipe Génie Electrique du SIAME, est reconnu pour ses compétences en caractérisation et modélisation CEM (Compatibilité Electromagnétique) des architectures électroniques embarquées et mobiles. Ses dispositifs expérimentaux et de modélisation numérique dédiés permettent d'explorer finement les nouveaux aspects multi-physiques des problématiques d'interactions électromagnétiques, et ce, dans différents modes (intégrité signal, conduit, rayonné, large-bande).

Dans le domaine des matériaux diélectriques, l'équipe Génie Electrique du SIAME possède des compétences permettant leur caractérisation par différentes techniques (rigidité diélectrique, charge d'espace, décharges partielles, etc).

## MISSION - ACTIVITES PRINCIPALES

### **Contexte et problématique :**

Par définition, un ensemble actionneur électrique est constitué d'une partie opérative (moteur électrique) alimentée par un convertisseur qui est lui-même piloté à partir d'un circuit de commande. La tendance actuelle de développement des applications embarquées, portée notamment par les acteurs du véhicule électrique et de l'aéronautique, oriente les cahiers des charges vers des fréquences de fonctionnement plus élevées, plus de compacité, et un rendement amélioré, dans l'optique de pouvoir prochainement converger vers le tout intégré.

Grâce aux récentes avancées en matière de transistors de puissance à base de Carbone de Silicium, de nouveaux convertisseurs (et notamment onduleurs) plus rapides sont aujourd'hui disponibles pour alimenter les moteurs électriques. De par leur front de montée plus rapide, ces composants SiC autorisent des fréquences de fonctionnement plus élevées et des pertes réduites. Cependant, ces forts  $dv/dt$  à haute fréquence induisent des surtensions dans toute la chaîne, jusqu'au moteur. Ces surtensions peuvent être suffisamment élevées pour induire des dégradations par claquage des isolants, ce qui engendrera, à plus ou moins longue échéance, la destruction de la machine.

Le but de cette thèse consistera à identifier les limites d'utilisation des divers isolants mis en œuvre dans une chaîne de conversion grâce à un banc de test HF basé sur un convertisseur SiC spécifiquement développé au laboratoire. Cet outil permettra de mieux comprendre les phénomènes d'apparition des surtensions et des décharges dans différents éléments du système (câbles, connecteurs, bobinages, PCB). Les fréquences de fonctionnement étant élevées, les commutations de ces structures étant à large spectre fréquentiel, et les dimensions des structures électriques étant réduites, les aspects liés aux interactions et à la compatibilité électromagnétique (CEM) seront nécessairement importants, et nécessiteront une analyse poussée de l'ensemble de la chaîne.

### **Objectifs et méthodologie utilisée :**

Les travaux du doctorant s'articuleront suivant 4 axes :

**1) Etude, conception et réalisation d'un convertisseur en technologie SiC** avec sa partie contrôle commande, afin de pouvoir générer des formes de signaux versatiles à Haute Fréquence.

- Etat de l'art des différents composants et des technologies de conception associées permettant l'obtention d'un cahier des charges prenant en compte les aspects fonctionnels et CEM.
- Etudes analytiques et numériques (modélisations électriques et électromagnétiques) en vue du dimensionnement et de la réalisation du convertisseur final.
- Analyse comparative et classification des différents types de commandes PWM (MLI) existantes, puis comparaison de leur impact sur le mode conduit et rayonné de l'ensemble de la chaîne.
- Développement de la métrologie associée au convertisseur concernant la caractérisation des signaux électriques et de leur intégrité, ainsi que des champs électromagnétiques internes et externes.

**2) Mise en œuvre d'un banc de test de bobinages basé intégrant l'ensemble de la chaîne (convertisseur SiC, câblage et connectique, bobinages)** afin de pouvoir analyser et caractériser l'impact des signaux Haute Fréquence sur l'ensemble des matériaux diélectriques impliqués.

- Développement de la métrologie concernant la caractérisation des décharges partielles et des matériaux diélectriques, autour et à l'intérieur des bobinages, des câbles et de leurs matériaux associés.
- Test des différents modes de commande pour comparaison des  $dv/dt$  et  $di/dt$  susceptibles d'être générés, et de leur impact sur les isolants.
- Étude des modèles existants permettant d'établir les niveaux de tension et de champ électrique générés au voisinage des isolants, tour d'horizon des matériaux et des solutions techniques (classiques et moins classiques) utilisés pour isoler les bobinages.

**3) Campagne de caractérisation des limites des isolants**

- Une fois le banc d'essai développé, sa mise au point nécessitera l'étude comparative de plusieurs techniques de caractérisation sur différentes plages de fonctionnement et la sélection des modes de diagnostic les mieux adaptés à nos configurations d'étude.
- Il faudra ensuite analyser et interpréter les effets relatifs aux phénomènes d'apparition des surtensions et des décharges dans les bobinages, les câbles et les matériaux associés afin de pouvoir envisager les meilleurs compromis lors de l'élaboration des modèles.

**4) Modélisations des bobinages et des systèmes associés**

- Deux stratégies de modélisations couplées seront à développer : des modèles équivalents électriques type Eléments Partiels RLC, pour la simulation électrique, ainsi que des modèles électromagnétiques 2D/3D pour la simulation par Eléments Finis (FE). Des campagnes d'analyse de sensibilité des paramètres physiques et électriques des modèles seront nécessaires, dans un souci de simplification pertinente des modèles.
- En synthèse, les résultats attendus des travaux de thèse consisteront à mener des simulations de validation et de prévision, basés sur les modélisations mixtes électriques/électromagnétiques, afin de maîtriser les limites d'utilisation pour chaque configuration, et d'en tirer des informations réalistes sur le comportement des bobinages, des câblages et des matériaux associés. Ces résultats devraient permettre de proposer des solutions visant à fiabiliser l'ensemble de la chaîne convertisseur-actionneur.

## COMPETENCES REQUISES

Le candidat devra disposer d'un diplôme de niveau Master 2 en EEEA, GEII ou équivalent.

Il devra plus spécifiquement avoir de solides compétences en conversion d'énergie, en CEM, en matériaux pour le GE, en CAO/simulations et en programmation ( $\mu$ contrôleurs PIC).

## CRITERES D'ÉVALUATION DE LA CANDIDATURE

Traitement du dossier : Les candidats seront sélectionnés d'abord sur dossier. Un entretien avec le jury de sélection sera organisé après la première phase de sélection du dossier de candidature.

- Adéquation entre le diplôme de Master (ou équivalents) et le sujet de thèse.

- Notes et classements en Master, et régularité dans le cursus universitaire.
- Bon niveau d'anglais.
- Capacité du candidat à présenter ses travaux.
- Expériences professionnelles de type stage(s) en laboratoire ou autre ; éventuels travaux de recherche déjà réalisés (rapports, publications).

## CONSTITUTION DU DOSSIER DE CANDIDATURE, DATE LIMITE DE DEPOT

Envoyer par email un dossier de candidature comprenant :

- CV
- Lettre de motivation
- Relevé de notes et classements en Master
- Lettres de recommandation
- Coordonnées des personnes du milieu professionnel (minimum deux) à contacter

DATE LIMITE DE DEPOT DU DOSSIER : 26/05/2017

## CONTACT

**NOM : Robert Ruscassié**

**MAIL : robert.ruscassie@univ-pau.fr**

**NOM : Jean-Marc Dienot**

**MAIL : jm.dienot@iut-tarbes.fr**