

Proposition de thèse – Ecole doctorale EEATS de Grenoble
(Electronique, Electrotechnique, Automatique, Traitement du signal)

Intensification électro-hydrodynamique des transferts de chaleur basée sur de nouveaux matériaux diélectriques diphasiques

Contexte :

L'un des domaines de recherche les plus fructueux du point de vue de la valorisation en générale est l'étude de nouveaux matériaux, lesquels permettent bien souvent des avancées scientifiques et des innovations, quel que soit le domaine d'applications. Citons par exemple le développement de nouveaux composants électromagnétiques, électroniques, ...etc.

Dans cette thèse, un premier objectif est d'étudier le comportement électrodynamique de nouveaux matériaux diphasiques basé sur une phase liquide continue et des particules solides dispersées. Lorsqu'un champ électrique est appliqué à ce type de liquides hétérogènes, la force électrique peut être créée par une charge nette induite dans le liquide (force Coulombique) ou par une force diélectrophorétique basée par exemple sur la présence de sauts de propriétés électriques (conductivité, permittivité) aux interfaces liquide/particule.

Une première application possible de ces liquides diphasiques est l'intensification des transferts de chaleur dans les systèmes électroniques de puissance. Un des enjeux majeurs de l'électronique de puissance du futur est de disposer de composants semi-conducteurs de puissance qui seraient capables de fonctionner à haute fréquence, à haute tension sans claquage, et à des températures de jonction supérieures à celles autorisées par les composants en silicium. Des nouveaux semi-conducteurs à grand gap tels que le carbure de silicium, le nitrure de galium ou le diamant devraient progressivement remplacer le silicium pour tous les composants de puissance appelés à fonctionner sous ces contraintes sévères. Les recherches actuelles montrent que le bénéfice des performances théoriquement possibles des semi-conducteurs à grand gap est loin d'être obtenu, en raison de diverses limitations électriques, thermiques, et de fiabilité imposée par les différents matériaux composants les modules (matériaux d'isolation, d'assemblage et de connexion).

Il apparaît aujourd'hui indispensable de rechercher de nouveaux matériaux diélectriques stables à haute température (plus de 300°C), aussi neutres que possible sur le plan environnemental, et pouvant supporter des contraintes électriques élevées (forts champs électriques de plusieurs kV/mm, souvent de nature impulsionnelle à front raide).

Contenu de la thèse :

Au G2ELAB, depuis 2016, des études prospectives sont réalisées avec une approche de caractérisation diélectrique (conductivité, mécanismes de pré-claquage et claquage) menée sur plusieurs liquides candidats en fonction de la température (de l'ambient jusqu'à 350°C). Des tests sont aussi menés sous diverses conditions pertinentes aux applications visées (substrat céramique encapsulés). Ces études expérimentales ont permis en particulier d'identifier certains types de liquides intéressants pour l'encapsulation des modules de puissance à base de semi-conducteurs à grand gap. En plus de la fonction d'isolation, ces liquides peuvent également contribuer à améliorer l'évacuation du flux thermique dissipé par les semi-conducteurs. Il est donc important dans la démarche proposée ici de coupler les transferts thermiques avec la caractérisation de nouveaux matériaux fluides, ceci afin d'évaluer leur contribution au refroidissement des systèmes. Un objectif recherché dans le cadre de ce projet de thèse est typiquement d'étudier l'efficacité de refroidissement de ces liquides sous polarisation électrique et thermoconvection d'origine électro-hydrodynamique (EHD).

Au SIMAP, dans l'équipe EPM, des stratégies d'intensification des transferts thermiques sous champ électrique ont justement été lancées en utilisant des liquides diélectriques homogènes durant ces dernières années. Avec ce projet, l'objectif est de prendre en considération non plus seulement des forces diélectriques mais aussi des forces d'origine Coulombique, ceci afin de multiplier les possibilités d'optimisation des transferts de chaleur par convection pour une large gamme de fréquences AC.

Un second objectif de la thèse consiste donc à modéliser d'une part, le champ électrique en tenant compte de la charge d'espace, d'autre part les écoulements d'origine thermo-électrohydrodynamique (TEHD), sous stress électrique.

Il s'agira d'étudier la possibilité de renforcer les transferts de chaleur en utilisant des liquides diphasiques caractérisés au G2ELAB et permettant de tirer profit des forces Coulombique ou diélectrophorétique, lesquelles s'expriment simultanément ou indépendamment sur les phases en présence, selon que la fréquence d'actuation est voisine ou non de la fréquence de relaxation des charges électriques. Une modélisation TEHD déjà disponible sera enrichie avec la prise en compte du caractère diphasique du liquide diélectrique sera donc proposée à cette occasion avec une approche homogène dans un premier temps, puis une approche Eulérienne/Lagrangienne. Une autre application des liquides diphasiques est l'intensification des transferts de chaleur au sein de microsystèmes fluidiques. En effet, dans ces systèmes à taille réduite, les forces de flottabilité restent très faibles. C'est encore plus vrai pour le cas d'applications aérospatiales en présence de microgravité. Ainsi donc, les liquides utilisés pour refroidir les composants électroniques doivent être mis en circulation à l'aide de forces d'actuation externe en relai de la gravité. C'est là que la capacité de coupler les forces de Coulomb et diélectrophoretiques s'avère d'un grand intérêt. Dans ce projet, on envisagera, sur la base d'un système expérimental de micropompage TEHD en cours de développement au SIMAP de tester les liquides diphasiques caractérisés au G2ELAB.

Profil recherché :

Le candidat ou la candidate devra être titulaire d'un master 2 (ou équivalent) en physique, en matériaux ou en génie électrique. Il ou elle devra avoir une appétence pour découvrir de nouveaux domaines et faire preuve d'une grande rigueur, d'organisation, d'autonomie et d'aisance dans l'analyse et la présentation des résultats.

Email de contact: Laurent.Davoust@grenoble-inp.fr

Rachelle.Hanna@grenoble-inp.fr

Date de début de la thèse : Octobre 2024 (durée de 36 mois)

Financement : contrat doctoral, école doctorale EEATS de l'Université de Grenoble

Laboratoire d'accueil : Laboratoire de Génie Electrique de Grenoble (G2Elab) et Science et Ingénierie des MAériaux et des Procédés (SIMAP)