

Les transferts thermiques et le contrôle de la température jouent un rôle central dans de nombreux procédés industriels. Ainsi, de nombreux dispositifs d'intensification ont été développés en optimisant par exemple les paramètres géométriques des échangeurs de chaleur afin de modifier et contrôler l'écoulement du fluide caloporteur. Cependant, suite aux avancées technologiques dans de multiples domaines, les densités de flux de chaleur à évacuer ou à apporter sont de plus en plus importantes et nécessitent, par conséquent, l'émergence de nouvelles techniques d'intensification des transferts thermiques.

L'intensification des transferts de chaleur par convection forcée en mode monophasique ou diphasique est un axe de recherche pérenne de l'équipe Energétique. Le partenariat historique avec le CEA Grenoble s'est enrichi d'une nouvelle collaboration avec le Service des Basses Températures de l'INAC. Une collaboration récurrente nous lie également avec le G2Elab sur le thème du refroidissement de l'électronique de puissance ainsi qu'avec le Laboratoire de Rhéologie et Procédés (LRP) sur le thème de l'intensification des transferts thermiques avec l'usage d'ondes ultrasonores.

### Refroidissement Diphasique

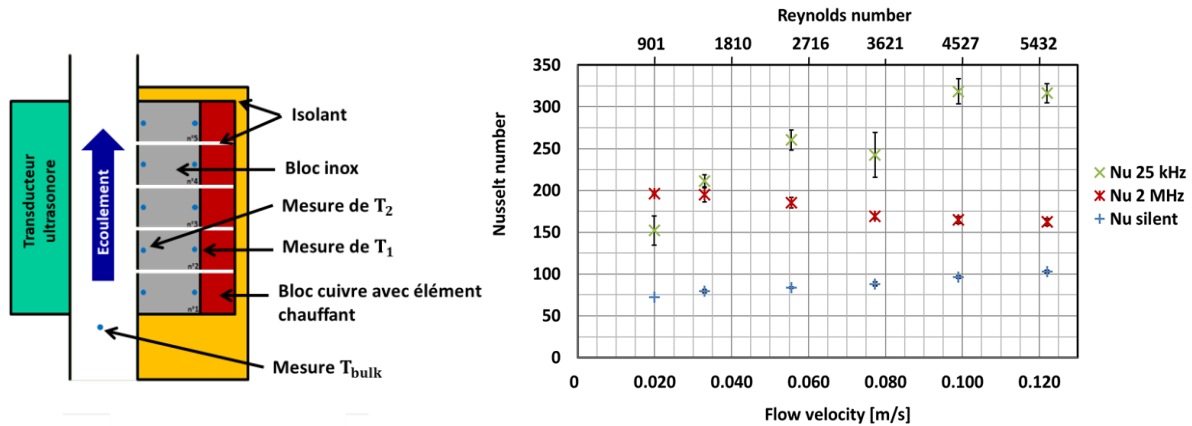
Les véhicules électriques utilisent des packs de batteries de plus en plus puissants. Ceci peut induire un risque d'incendie catastrophique suite à l'emballement thermique d'une ou deux cellules isolées qui le constituent. L'objectif de ce projet initié en 2018 est d'introduire des fluides diélectriques capables d'entrer en ébullition et donc de mieux évacuer les flux importants de chaleur. Ce projet initié s'inscrit dans un programme d'études plus générales sur l'augmentation des transferts thermiques faites au LEGI en lien avec le CEA, avec des applications envisagées en électronique de puissance. Ceci inclut l'utilisation de surfaces micro-structurées, d'ultrasons et d'effets magnétiques, ou des sprays. Cette dernière technique avait fait l'objet d'un Innovation Award 2016 de la société MBDA.



### Usage d'ondes ultrasonores pour l'intensification des transferts thermiques convectifs

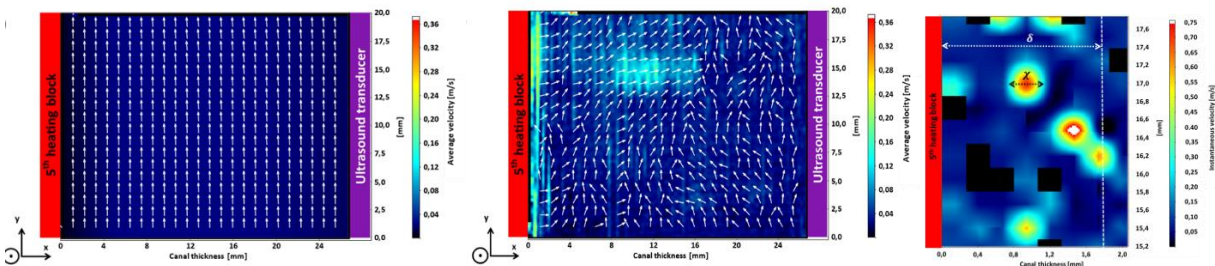
L'application d'une onde acoustique ultrasonore au sein de l'écoulement d'un fluide a démontré son efficacité dans l'intensification des transferts de chaleur [Bulliard Sauret et al. 2017]. Les essais réalisés ont suivi deux approches distinctes mais parfaitement complémentaires : une approche thermique permettant d'accéder à des grandeurs caractéristiques du transfert de chaleur (coefficients locaux

d'échange convectif) et une approche hydrodynamique par PIV permettant d'établir le lien avec la turbulence observée au sein de l'écoulement



**Schéma de principe de la section d'essais (à gauche) et Nombre de Nusselt en fonction de la vitesse débitante ou du nombre de Reynolds dans des conditions silencieuse et ultrasonore (25 kHz et 2 MHz) (à droite)**

Les courants acoustiques générés à haute fréquence (2 MHz) ont une influence significative sur la perturbation hydrodynamique de l'écoulement à une échelle macroscopique. Pour une fréquence d'excitation à basse fréquence (25 kHz) de la cavitation acoustique apparaît et l'implosion des bulles de vapeur perturbe l'hydrodynamique de l'écoulement à une échelle plus fine, de l'ordre du millimètre. Cette perturbation a un impact sur la couche limite thermique lorsque les tailles caractéristiques de la couche limite et de la zone d'influence de la cavitation sont du même ordre de grandeur intensifiant ainsi les transferts thermiques convectifs.



**Champ de vitesse en face d'un bloc chauffant sous condition silencieuse (à gauche) et sous ultrason à 2 MHz (au milieu) et 25 kHz en proche paroi (à droite)**

Les résultats obtenus ont donc permis une meilleure compréhension des mécanismes d'action des ondes ultrasonores au niveau de la couche limite hydrodynamique et thermique et ce travail se poursuit dans le cadre de la thèse de C. Poncet (2017-2020) par une étude iso-Reynolds et une étude bi-fréquence. L'objectif à terme est d'aboutir à la conception d'un nouveau type d'échangeur – réacteur intégrant une technologie ultrasonore, capable entre autres de réduire également les problèmes d'encrassement.