

Sujet de thèse

Intensification des transferts thermiques par ébullition au sein d'un caloduc plastronique à ailettes creuses intégrées

Laboratoire : CETHIL (INSA)

Encadrants : Valérie Sartre, Jacques Jay, Serge Cioutlachtjian, Shihe Xin

Mots-clés : Caloduc, ébullition, intensification des échanges thermiques, expérimentation, modélisation

Le domaine des transports est en train de subir une mutation profonde en raison de l'électrification massive des systèmes de propulsion. Si cette électrification permet une réduction des rejets de polluants locaux, et, dans une moindre mesure, ceux de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, elle nécessite l'intégration de circuits électroniques haute puissance soumis à des contraintes thermiques élevées ainsi qu'à des passages de courants électriques importants. Afin de garantir une durée de vie suffisante et une bonne fiabilité des composants électroniques, la température de la jonction des semi-conducteurs ne doit pas excéder une valeur limite. A cause des densités de flux à dissiper de plus en plus importantes, les dispositifs de refroidissement classiques, généralement constitués d'un radiateur à ailettes refroidi par air (figure 1a), ne suffisent plus. Il est alors nécessaire de développer des dispositifs plus performants, tels que le caloduc (figure 1b).

Un caloduc est une enceinte fermée, contenant un fluide diphasique, qui s'évapore au contact de la source chaude (composant électronique) et se condense au niveau de la source froide, où la chaleur est évacuée vers l'air extérieur. Les techniques de plastronique maîtrisées au laboratoire AMPERE, partenaire du projet, permettront de déposer des pistes conductrices et des composants directement sur un substrat en polymère, qui constituera donc l'évaporateur du caloduc (figure 1c). Le radiateur est remplacé par un condenseur à ailettes creuses très efficace. Le défi est donc finalement d'intégrer dès la phase de conception le système de refroidissement au dispositif électronique, ce qui va nécessairement conduire à une optimisation des performances de l'ensemble.

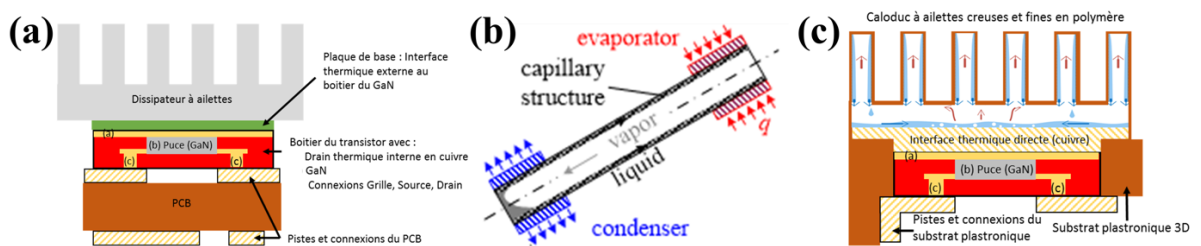


Figure 1 : (a) Dissipation de chaleur en configuration classique avec radiateur à ailettes en métal et interface thermique externe, (b) Principe d'un caloduc, (c) Configuration proposée dans ce projet : caloduc plastronique avec un condenseur en polymères à ailettes creuses permettant un refroidissement direct des composants électroniques (échelles non respectées).

Dans une première étape, le travail de thèse consistera à dimensionner le caloduc pour différents fluides caloporteurs. Cela consiste à déterminer, pour un flux thermique imposé, une température ambiante connue, la géométrie du caloduc permettant de ne pas excéder les niveaux de température maximum admissibles pour les composants électroniques. Il faut également vérifier que les limites de fonctionnement du caloduc, en particulier la limite d'ébullition, ne soient pas dépassées.

Pour mener à bien l'étude expérimentale, une succession de véhicules de test sera réalisée au laboratoire AMPERE. Un premier banc sera développé pour visualiser et caractériser les transferts de chaleur entre la surface chauffée et les fluides sélectionnés, en particulier les régimes d'ébullition, les coefficients d'échange thermiques et la densité de flux critique. Un accroissement de ces transferts sera recherché, par une conception judicieuse de l'interface solide / fluide. Pour ce faire, il sera possible de modifier l'épaisseur, la nature ou l'état de surface des différentes couches métalliques appliquées sur le substrat en polymère, de créer des méso ou microstructures, etc.

Ensuite, il convient de caractériser les écoulements diphasiques au sein du caloduc et ses performances thermiques au moyen d'un second banc d'essais. Les observations à travers l'enveloppe transparente du caloduc mettront en évidence les phénomènes hydrodynamiques limitant les performances, notamment la présence de bouchons de liquide stables dans les ailettes. L'enjeu scientifique consistera ici à comprendre l'origine de la formation de ces bouchons, de façon à les éviter. Cette partie de la thèse fait suite aux travaux d'E. Bérut, qui ont montré que les bouchons pourraient provenir de projections de liquide issues d'un évaporateur où le fluide serait trop confiné, ou de phénomènes capillaires.

La thèse se déroulera à l'INSA de Lyon au sein et du CETHIL (<https://cethyl.insa-lyon.fr>), qui dispose d'une plateforme de caractérisation des caloducs. Le doctorant travaillera en étroite collaboration avec le laboratoire AMPERE, qui possède une plateforme plastronique, et l'IMP.

Condition

La bourse de thèse est conditionnée à l'obtention du financement du projet ANR CAPREP.

Date de début de la thèse

Septembre 2023

Contacts

Valérie Sartre : valerie.sartre@insa-lyon.fr ; +33 (0)4 72 43 75 50

Jacques Jay : jacques.jay@insa-lyon.fr