



Sujet de thèse

Dispositifs diphasiques intégrés par plastronique et cératronique pour le refroidissement d'un circuit électronique de puissance.

Laboratoires : CETHIL (INSA), Ampère (INSA)

Encadrants : Valérie Sartre (CETHIL), Vincent Semet (AMPERE), Michel Cabrera (Ampère), Bruno Allard (Ampère)

Mots-clés : Caloduc, cératronique, plastronique, thermique, électronique de puissance, intégration

Le domaine des transports subit actuellement 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, de dioxyde de carbone, elle nécessite la mise en œuvre de circuits électroniques (circuits imprimés) avec des composants passifs (inductances, etc.), ainsi que des composants actifs de puissance comportant des semi-conducteurs de nouvelle génération (nitride de gallium, carbure de silicium)

Ceux-ci sont soumis à des contraintes thermiques élevées ainsi qu'à des passages de courants électriques importants : il est indispensable que la température de jonction n'excède pas une valeur limite afin de garantir une durée de vie suffisante et une bonne fiabilité.

Pour ce faire, il est nécessaire de dissiper le flux de chaleur émis par les circuits électroniques à haute puissance. Or les densités de flux à dissiper sont de plus en plus importants et les dispositifs de refroidissement classiques, généralement constitués d'un radiateur à ailettes refroidi par air, ne suffisent plus. Il est donc nécessaire de développer des dispositifs de refroidissement plus performants, tels que le caloduc.

L'une des limitations actuelles est que les circuits électroniques de puissance sont le plus souvent élaborés sur des supports imprimés plans du type FR4, qui sont des époxydes thermodurcissables avec comme charge des fibres de verre. Les dispositifs de refroidissement sont alors ajoutés sur les composants de puissance actifs et passifs par empilement et collage.

Or, les procédés d'impression 3D par fabrication additive, permettent d'envisager de fabriquer des supports non plans, comportant des parties fluidiques facilitant le refroidissement. Par ailleurs, les nouveaux procédés de fabrication plastronique permettent de disposer les interconnexions électriques sur la surface de ces supports 3D.

L'objet de la thèse sera d'étudier les possibilités offertes par la plastronique et l'impression 3D pour améliorer le refroidissement des circuits électroniques de puissance.

Pour ce faire, la stratégie de recherche consiste à remplacer les époxydes, non imprimables en 3D, par des matériaux susceptibles d'être mis en forme par impression 3D et d'être métallisés par plastronique. En l'occurrence deux types de matériaux seront mis en œuvre dans la thèse :

- des polymères thermoplastiques techniques (du type PEEK PolyEtherEtherCétone avec une température de service élevée d'environ 250°C)
- des céramiques avec une température de service encore plus élevée et qui ont de plus une bonne conductivité thermique.

Dans les deux cas, on notera qu'il s'agit de matériaux aisément recyclables.

La thèse a pour objectif de développer une nouvelle architecture de support 3D intégrant un dispositif de refroidissement, conçue en polymère technique ou en céramique et réalisée par fabrication additive. Le dispositif fonctionnera selon le principe d'un caloduc (Figure 1) : il comporte 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 permettront de déposer des pistes conductrices et de braser de composants directement sur le substrat en polymère ou en céramique, qui constituera donc l'évaporateur du caloduc (la Figure 2 montre un exemple préliminaire avec des résultats très prometteurs). Le défi est donc finalement d'intégrer dès la phase de conception, le système de refroidissement au dispositif électronique, ce qui devrait conduire à une optimisation des performances de l'ensemble. L'utilisation de caloducs intégrant un circuit électronique 3D avec composants de puissance reportés est un sujet particulièrement innovant.

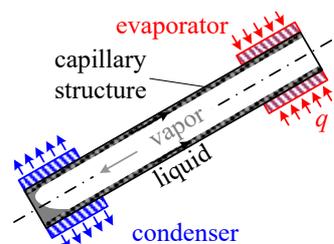


Figure 1 : Schéma de principe d'un caloduc

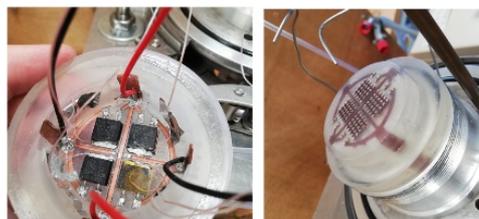


Figure 2 : Evaporateur plastronique sur support imprimés en 3D

Traditionnellement, la céramique est utilisée pour la fabrication d'échangeurs thermiques à haute température, contrairement aux polymères. Les deux matériaux sont capables de résister à la corrosion lorsque des fluides agressifs sont transportés. Il s'avère toutefois que les pièces en céramique ont une faible résistance à la fissuration, ce qui représente un frein à leur utilisation contrairement aux polymères. Ainsi, plusieurs verrous technologiques et scientifiques restent à lever pour aboutir à des systèmes pleinement fonctionnels.

L'enveloppe d'un caloduc doit répondre à des contraintes d'étanchéité et de stabilité dans le temps particulièrement exigeantes sous peine d'introduire des gaz incondensables au sein du caloduc et d'en détériorer les performances thermiques. Un caloduc est aussi soumis à des variations de pression interne importantes pouvant aller du vide secondaire lors du remplissage du système à une surpression de l'ordre de 1 bar lorsque sa température de saturation augmente. Cela conduit à des épaisseurs de parois importantes. Cela est en opposition avec la nécessité de maintenir les parois les plus fines possibles dans les zones d'évaporation et de condensation pour limiter l'augmentation excessive des résistances thermiques de conduction au sein du système. Enfin, le comportement même du fluide de travail au sein du caloduc se révèle délicat à prédire, en particulier les coefficients d'échange thermique lors du changement de phase du fluide à l'intérieur du caloduc.

Dans une première étape, le travail de thèse consistera, à partir d'un jeu de spécifications sur les conditions de fonctionnement du dispositif, à effectuer le choix du ou des matériau(x) céramique ou polymère le(s) mieux adapté(s). Le dimensionnement du caloduc sera effectué à partir de modèles existants au CETHIL.

Pour mener à bien l'étude expérimentale, des maquettes simples seront réalisées et leurs performances thermiques mesurées sur un banc d'essais qu'il faudra concevoir et réaliser. Cette approche permettra dans un premier temps de découpler les problématiques, puis d'étudier l'interaction et le couplage entre les différents phénomènes préalablement isolés. L'ensemble des solutions sera mise en œuvre dans un prototype final afin de démontrer la validité du concept imaginé. L'étude comparative de deux dispositifs, l'un en polymère et l'autre en céramique, permettra d'estimer leurs performances et leurs limites.

La thèse se déroulera à l'INSA de Lyon au sein du CETHIL (<https://cethyl.insa-lyon.fr>), qui dispose d'une plateforme de caractérisation des caloducs et du laboratoire Ampère (www.ampere-lab.fr) qui possède une plateforme plastronique.



Profil

L'obtention de la bourse de thèse est conditionnée à la réussite au concours de l'école doctorale MEGA. Les candidats doivent avoir un très bon dossier scolaire, et avoir effectué un stage ou projet de fin d'études dans un laboratoire de recherche.

Nous recherchons un candidat avec un profil généraliste et/ou un profil de thermicien, mais avec d'excellentes qualités d'expérimentateur. Le doctorant travaillera au sein d'une équipe interdisciplinaire. L'encadrement fournira la formation nécessaire pour les parties concernant l'impression 3D, les matériaux, la plastronique et l'électronique de puissance.

Date de début de la thèse

Septembre 2022

Contacts

CETHIL : Valérie Sartre (valerie.sartre@insa-lyon.fr ; +33 (0)4 72 43 81 66)

AMPERE : Vincent Semet (vincent.semet@univ-lyon1.fr), Michel Cabrera (michel.cabrera@insa-lyon.fr), Bruno Allard (bruno.allard@insa-lyon.fr).