

## Sujet de thèse

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

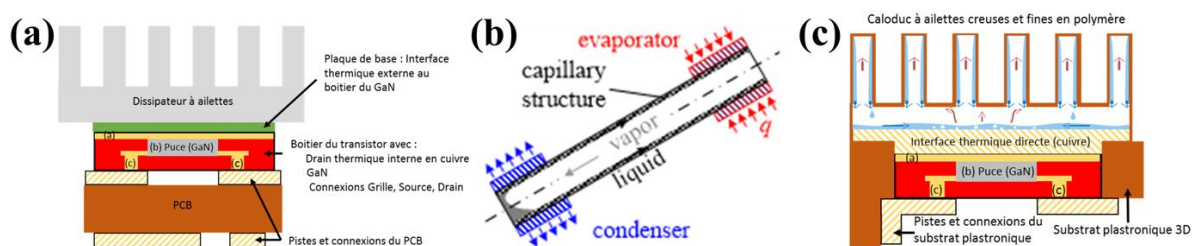
**Laboratoire :** CETHIL (INSA)

**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.

La bourse de thèse est financée par le projet ANR CAPREP.

**Date de début de la thèse**

Septembre 2023

**Contacts**

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

Jacques Jay : [jacques.jay@insa-lyon.fr](mailto:jacques.jay@insa-lyon.fr)

## PhD thesis topic

### **Intensification of heat transfer by boiling in a plastronic heat pipe with integrated hollow fins**

**Laboratory:** CETHIL (INSA)

**Supervisors:** Valérie Sartre, Jacques Jay, Serge Cioutlachtjian, Shihe Xin

**Key words:** Heat pipe, boiling, heat exchange intensification, experimentation, modelling

The transport sector is undergoing profound change as a result of the massive electrification of propulsion systems. While this electrification is helping to reduce emissions of local pollutants and, to a lesser extent, carbon dioxide into the atmosphere, it also requires the integration of high-power electronic circuits that are subject to high thermal stresses and large electrical currents. To ensure that the electronic components last long enough and are reliable, the temperature of the semiconductor junction must not exceed a certain limit. Because of the ever-increasing flux densities to be dissipated, conventional cooling devices, generally consisting of an air-cooled finned radiator (Figure 1a), are no longer sufficient. It is therefore necessary to develop more efficient devices, such as heat pipes (Figure 1b).

A heat pipe is a closed enclosure containing a two-phase fluid that evaporates on contact with the hot source (electronic component) and condenses at the cold source, where the heat is dissipated to the outside air. The plastronics techniques mastered at the AMPERE laboratory, a partner in the project, will enable conductive tracks and components to be deposited directly on a polymer substrate, which will therefore form the heat pipe's evaporator (Figure 1c). The radiator is replaced by a highly efficient hollow-fin condenser. The challenge, therefore, is to integrate the cooling system with the electronic performance device right from the design phase, which will necessarily lead to optimisation of the overall performance.

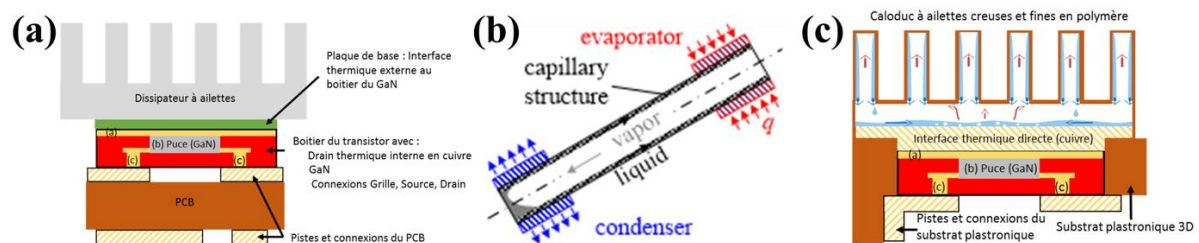


Figure 1: (a) Heat dissipation in a conventional configuration with a metal finned heat sink and external thermal interface, (b) Principle of a heat pipe, (c) Configuration proposed in this project: plastronic heat pipe with a hollow finned polymer condenser allowing direct cooling of the electronic components (scales not respected).

In the first stage, the thesis work will involve sizing the heat pipe for different heat transfer fluids. This involves determining, for an imposed heat flux and a known ambient temperature, the geometry of the heat pipe so as not to exceed the maximum permissible temperature levels for the electronic components. It is also necessary to check that the operating limits of the heat pipe, in particular the boiling limit, are not exceeded.

To carry out the experimental study, a series of test vehicles will be set up in the AMPERE laboratory. A first bench will be developed to visualise and characterise heat transfers between the heated surface and the selected fluids, in particular boiling regimes, heat exchange coefficients and critical flux density. An increase in these transfers will be sought by judicious design of the solid/fluid interface.

To achieve this, it will be possible to modify the thickness, nature or surface state of the various metal layers applied to the polymer substrate, to create meso- or microstructures, etc.

Next, a second test bench will be used to characterise the two-phase flow within the heat pipe and its thermal performance. Observations through the transparent envelope of the heat pipe will highlight the hydrodynamic phenomena limiting performance, in particular the presence of stable liquid plugs in the fins. The scientific challenge here will be to understand the origin of the formation of these plugs, so as to avoid them. This part of the thesis follows on from the work of E. Bérut, who showed that the plugs could be caused by liquid splashing from an evaporator where the fluid is too confined, or by capillary phenomena.

The thesis will be carried out at INSA Lyon and CETHIL (<https://cethyl.insa-lyon.fr>), which has a heat pipe characterisation platform. The PhD student will work closely with the AMPERE laboratory, which has a plasmatronics platform, and the IMP.

The thesis is granted by the ANR CAPREP project.

**Start date of the thesis**

September 2023

**Contacts**

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

Jacques Jay: [jacques.jay@insa-lyon.fr](mailto:jacques.jay@insa-lyon.fr)