

CALYOS two-phase systems

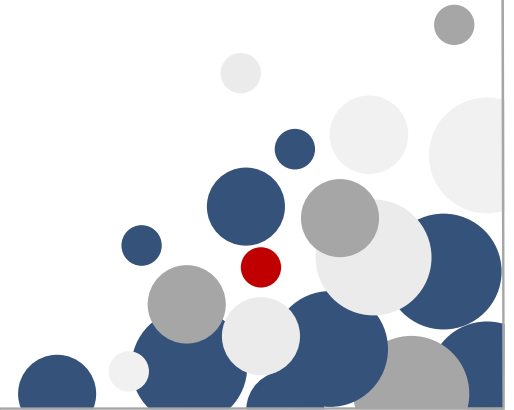
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE THERMIQUE
Groupe « Transferts en milieux polyphasiques »



Systemes diphasiques CALYOS, développements récents

Journée Thématique « Systemes diphasiques pour le contrôle thermique de l'électronique de puissance » du 29 mars 2019.

T. Nicolle et V. Dupont



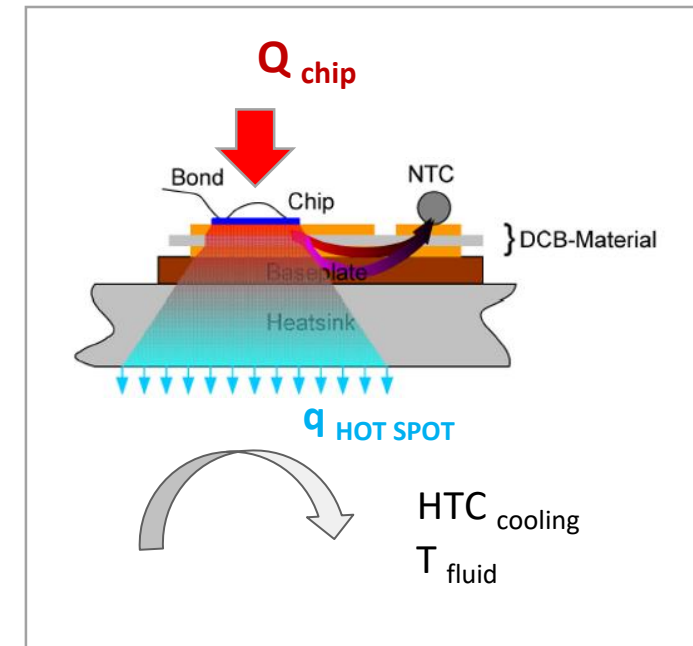
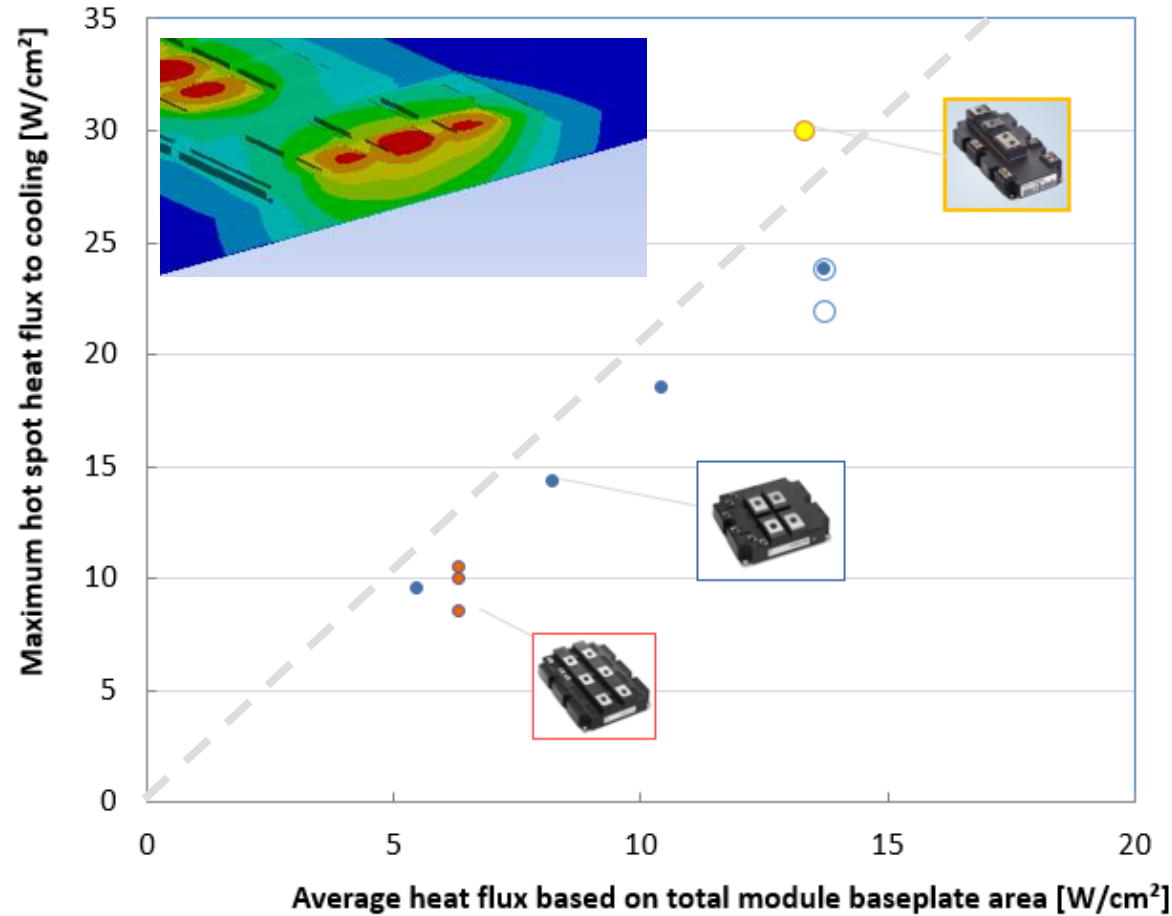
- 1. Thermosiphon Capillaire (TSC)**
2. Coefficient d'échange pour une mèche d'épaisseur 1 mm
3. Durée de vie et coefficient d'échange variable
4. Points durs

- EHP et CALYOS ont développé des boucles diphasiques CPL/CPL+ pour le refroidissement de l'électronique de puissance principalement dans les domaines ferroviaires, aéronautiques et automobiles depuis près de 14 ans



Exemple, Metro RATP Ligne n°1 à Paris

- IGBT (Si) module 3D FEM simulations pour différents profils de mission



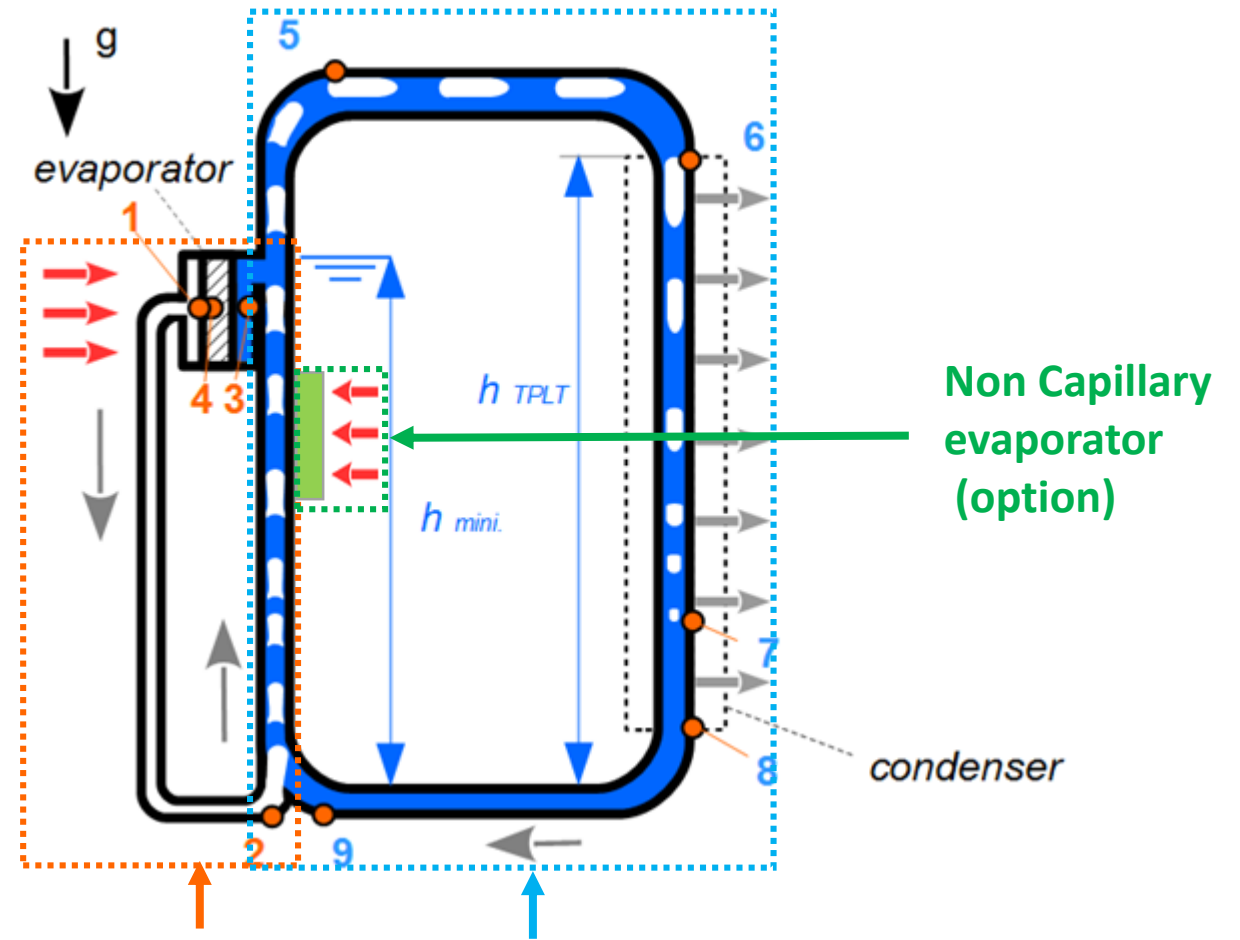
Dupont, V., Billet, C., and Nicolle, T., High Performances Passive Two-Phase Loops for Power Electronics Cooling, *Proc. PCIM*, May 10-12, Nuremberg, Germany, (2016)



En première approche la densité de flux de chaleur est environ deux fois plus importante au droit des puces par rapport à la moyenne sur la semelle du module. **A vérifier pour le SiC et le GaN.**



- Thermosiphon Capillaire (TSC)

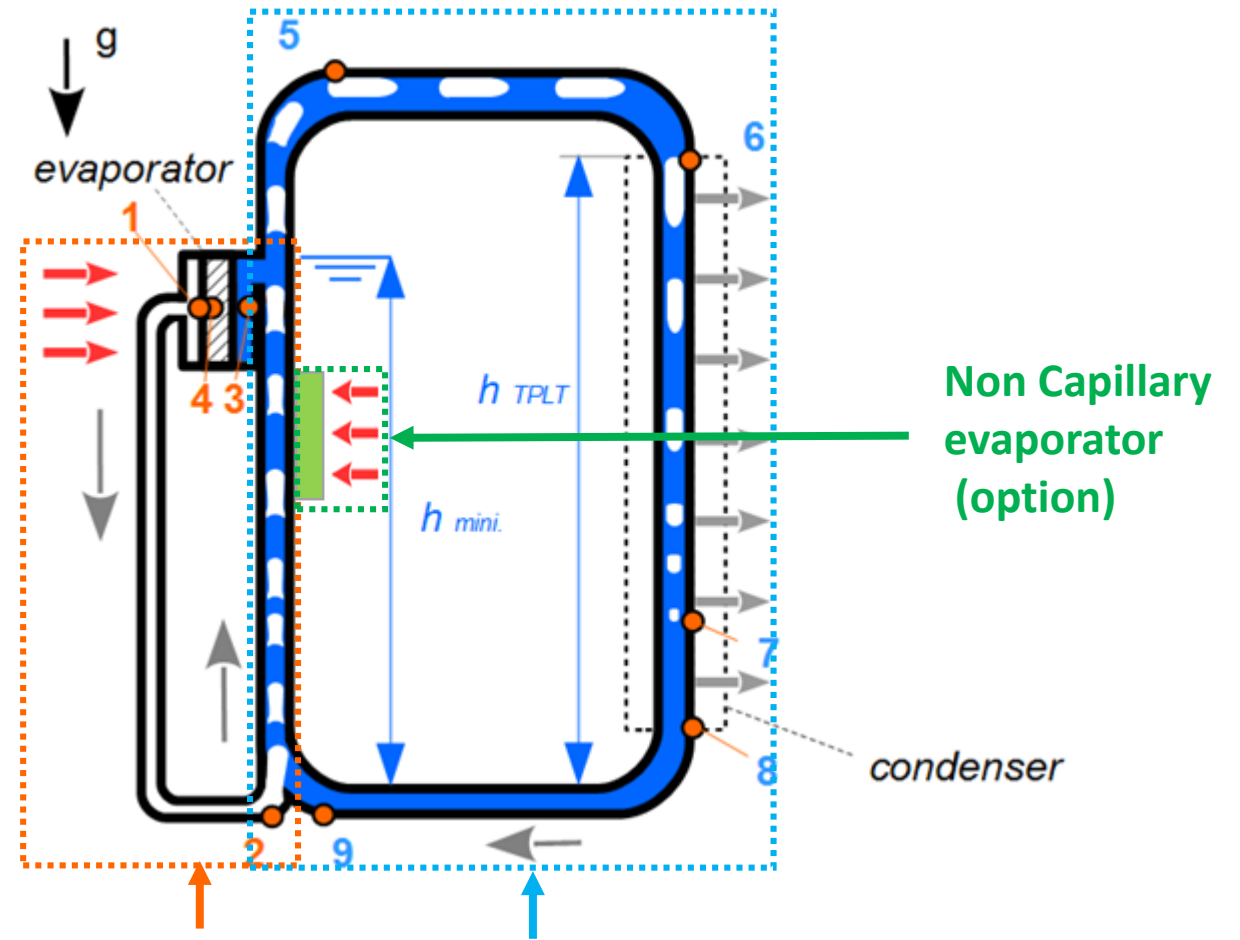


Capillary Loop + Thermosiphon diphasique en boucle

- 1. Thermosiphon Capillaire (TSC)**
2. Coefficient d'échange pour une mèche d'épaisseur 1 mm
3. Durée de vie et coefficient d'échange variable
4. Points durs



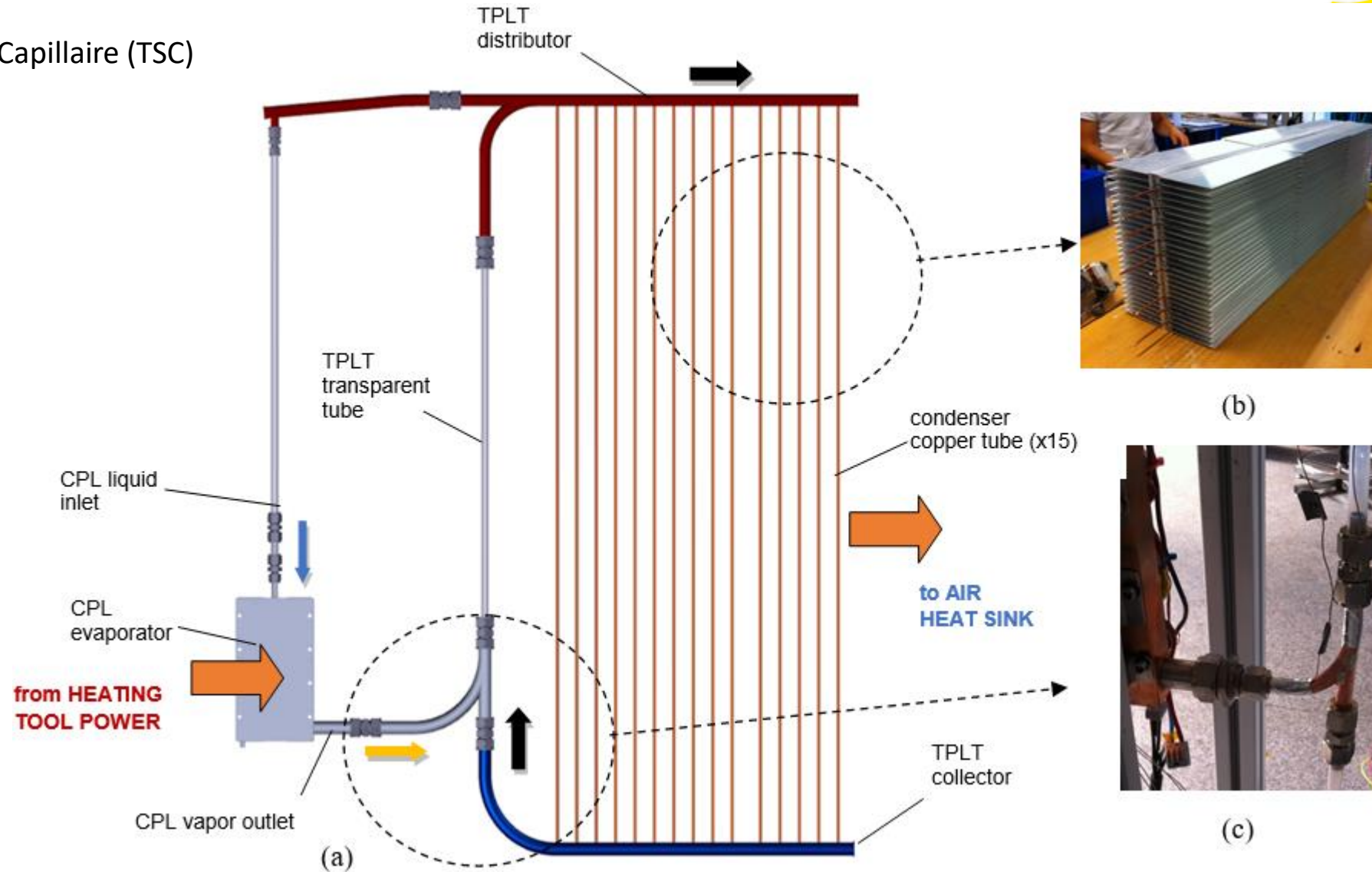
- Thermosiphon Capillaire (TSC)



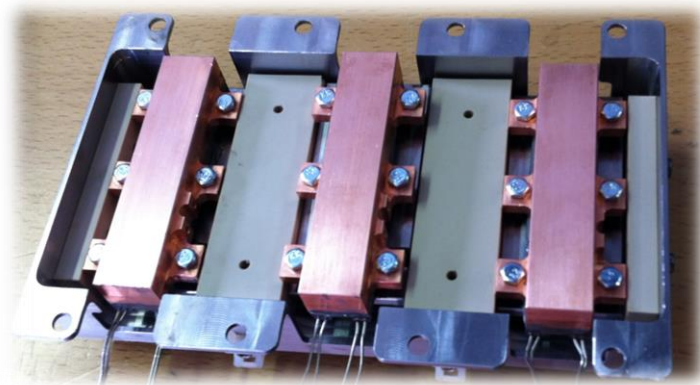
Capillary Loop + Thermosiphon diphasique en boucle



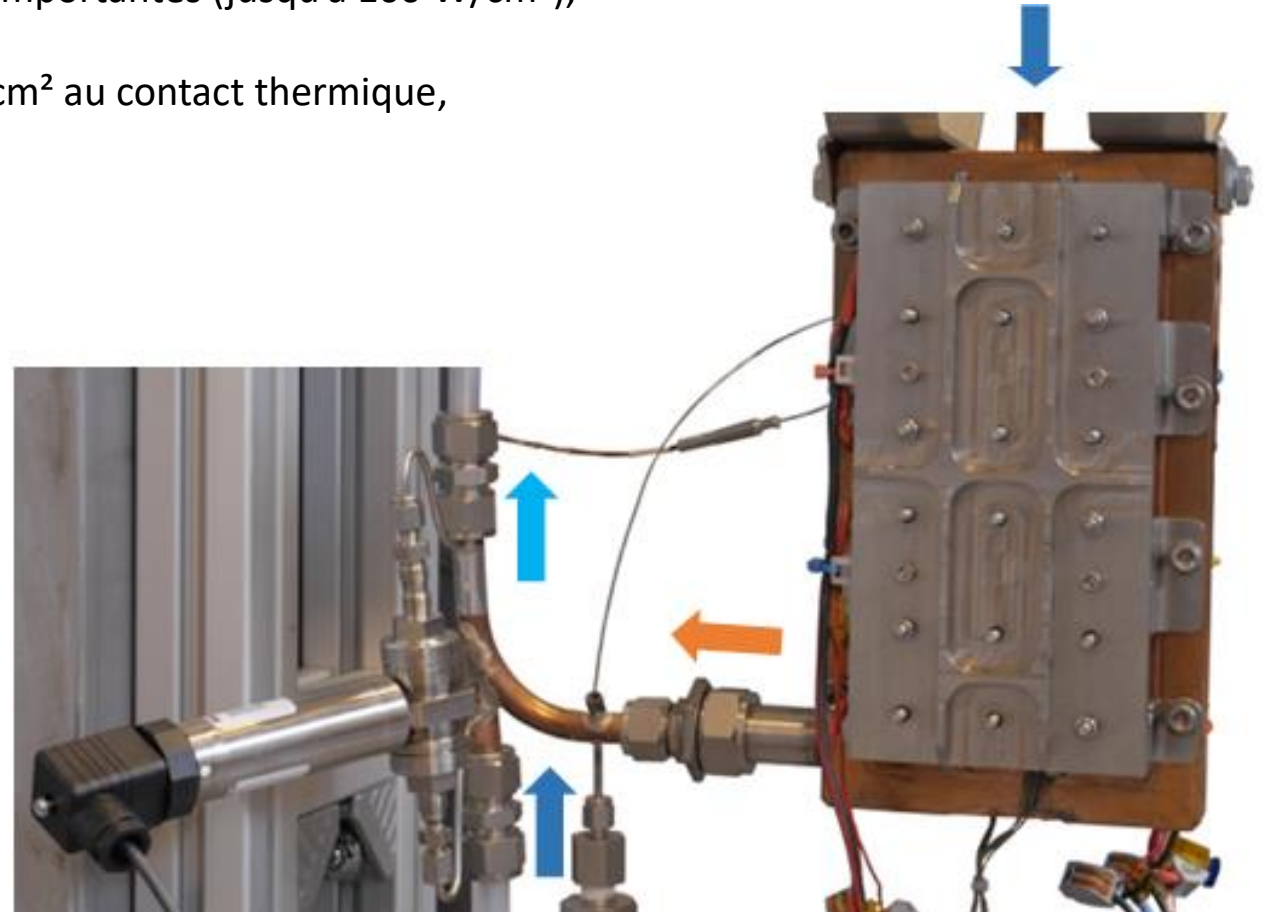
- Thermosiphon Capillaire (TSC)



- Thermosiphon Capillaire (TSC)
 - outillage pour l'étude des densités de flux importantes (jusqu'à 100 W/cm²),
 - 3 x (20 x 95 mm²) zones de chauffe i.e. 57 cm² au contact thermique,
 - deux faces actives,
 - methanol

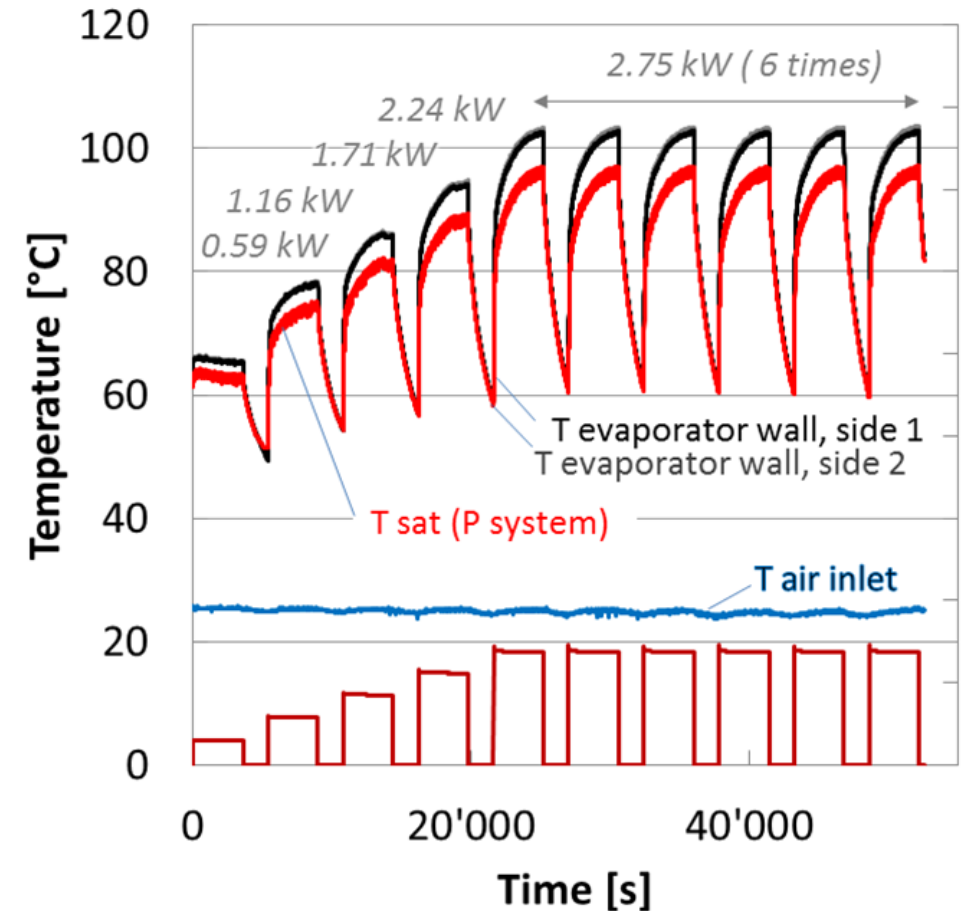


(x 2)

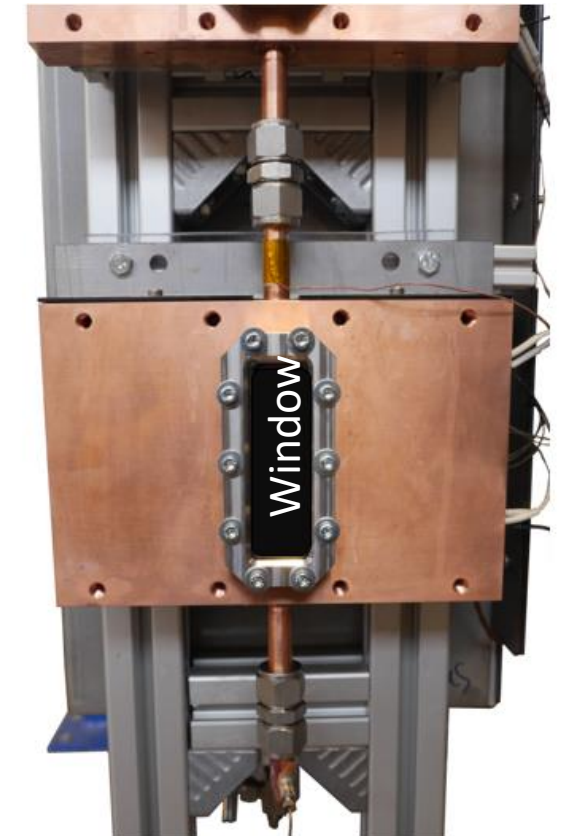
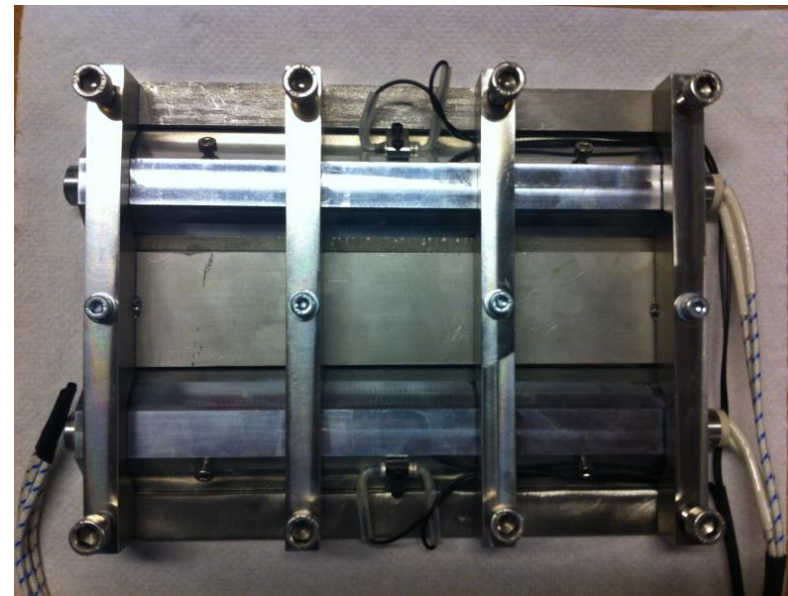
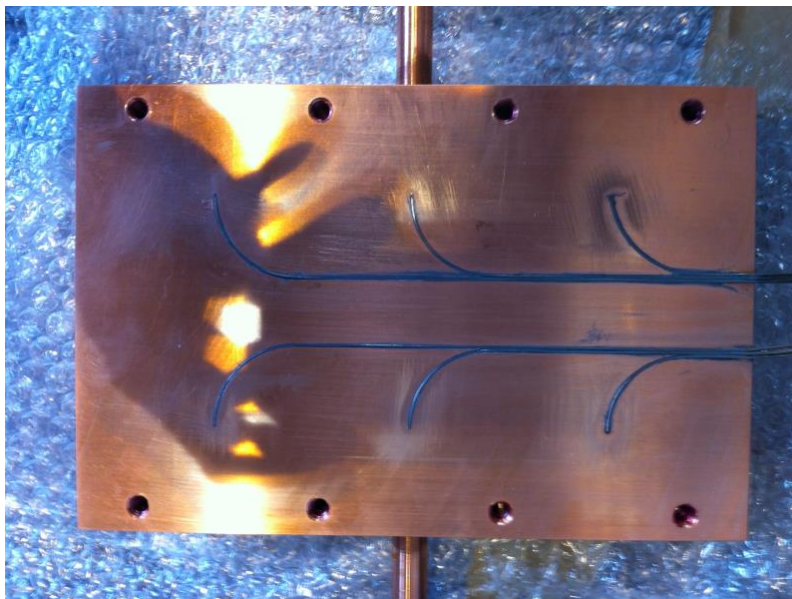
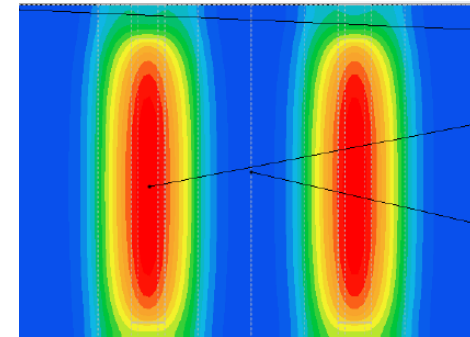


- Thermosiphon Capillaire (TSC): tests de démarrage à température ambiante
 - pas de désamorçage jusqu'au 24 W/cm² tests à température ambiante
 - pas de clapet anti-retour ou de pressurisation NCG nécessaire,
 - cette année des **essais réalisés à -40°C** en chambre climatique (**non communicables**) ont montré un comportement identiques aux très basses températures.
 - le **refroidissement d'une source annexe** sur la conduite diphasique est également **validé**.

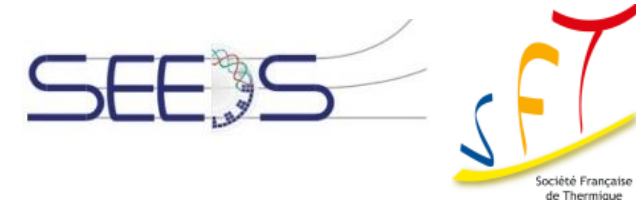
TRL-1: 2013
 TRL-4: 2015
TRL-6: 2018
TRL-7: 2019



- Thermosiphon Capillaire (TSC): outillage de chauffe représentatif de l'électronique de puissance
 - une seule face active (mur froid)
 - densité de flux de chaleur et constante de temps correspondant à un pack standard 140 x 190 mm²



- Thermosiphon Capillaire (TSC): avantages principaux
 - la source chaude peut-être placée n'importe où sur la hauteur,
 - interactions limité entre les fonctions vaporisation et transport,
 - compact: pas de reservoir,
 - maximise l'efficacité du volume dédié à l'échange avec l'air,
 - moins couteux que la CPL/CPL+,
 - évaporateurs en parallèle i.e. une "T sat unique",
 - pas besoin de pressurisation pour opérer à basse température,
 - évaporateurs non-capillaires utilisables en sortie d'injecteur.

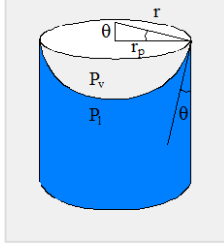



1. Thermosiphon Capillaire (TSC)
2. Coefficient d'échange pour une mèche d'épaisseur 1 mm
3. Durée de vie et coefficient d'échange variable
4. Points durs

- Test de caractérisation d'une mèche d'épaisseur 1 mm

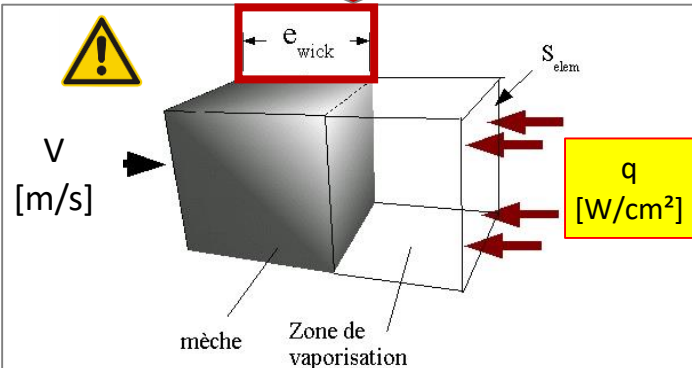
DP capillary

Young-Laplace :



$$\Delta P_{cap} = \frac{2\sigma}{r_p} \cos \theta$$


Capillary wick




DP wick

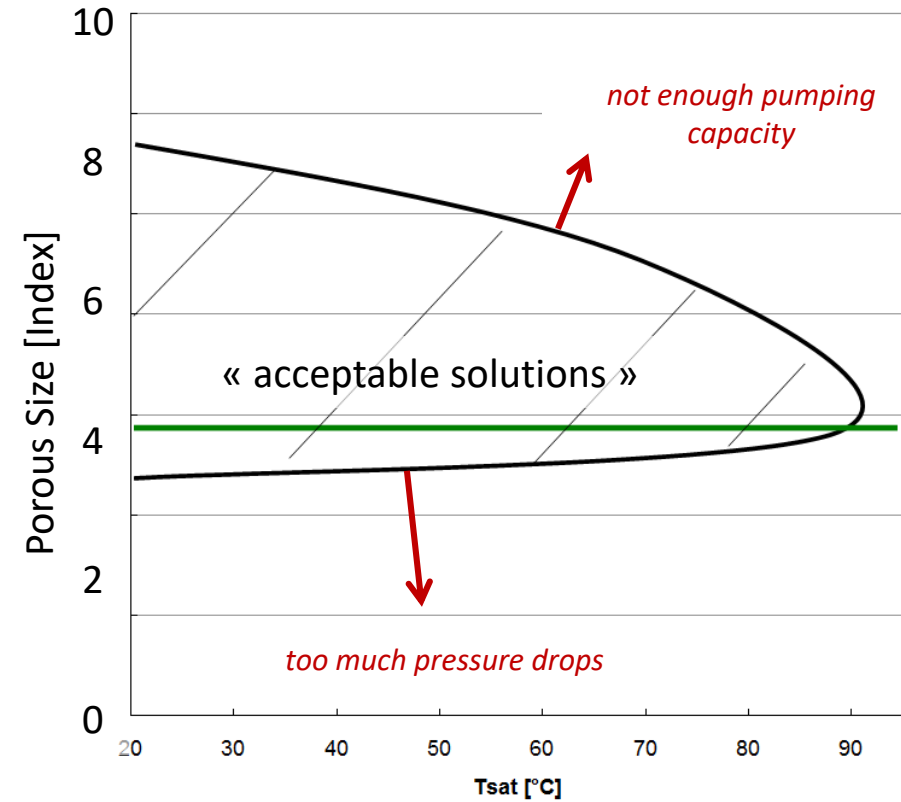
Darcy :

$$\Delta P_{wick} = - \frac{\mu_L V e_{wick}}{\kappa}$$

dynamic viscosity
[Pa.s]

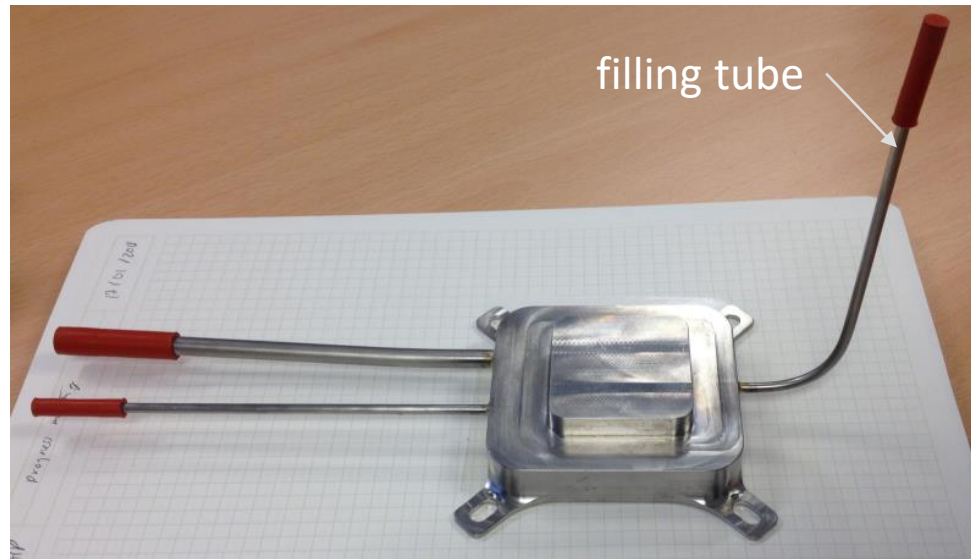
permeability
[m²]





La réduction de l'épaisseur de la mèche est une façon de mieux gérer la densité de flux. Passage de 2 à 1 mm ?

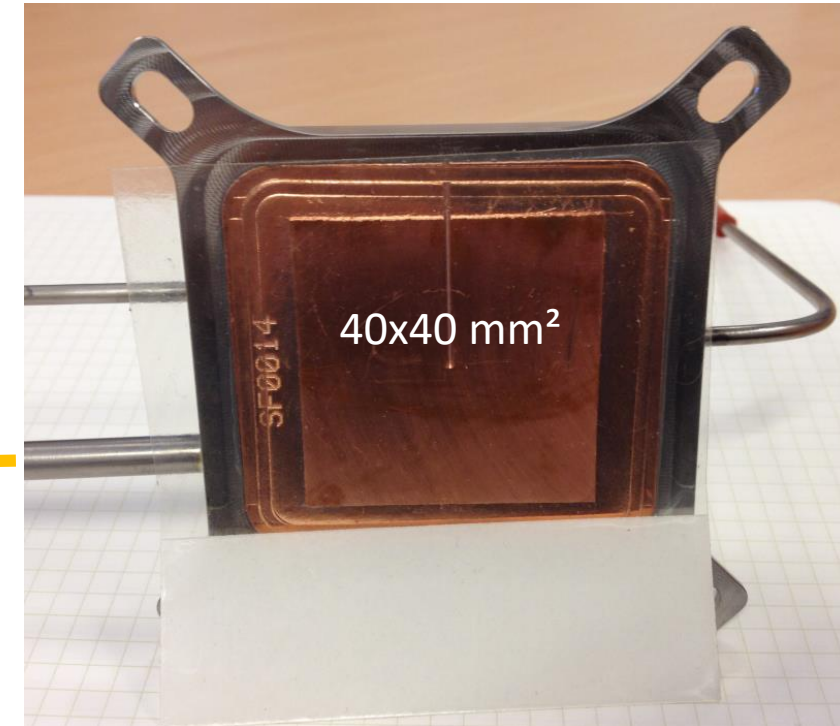
- Test de caractérisation d'une mèche d'épaisseur 1 mm



liquid



vapor



- surface active de l'évaporateur standard CALYOS: 40x40 mm²
- température de saturation: +55°C contrôlée par un reservoir externe (mode CPL)

- Test de caractérisation d'une mèche d'épaisseur 1 mm

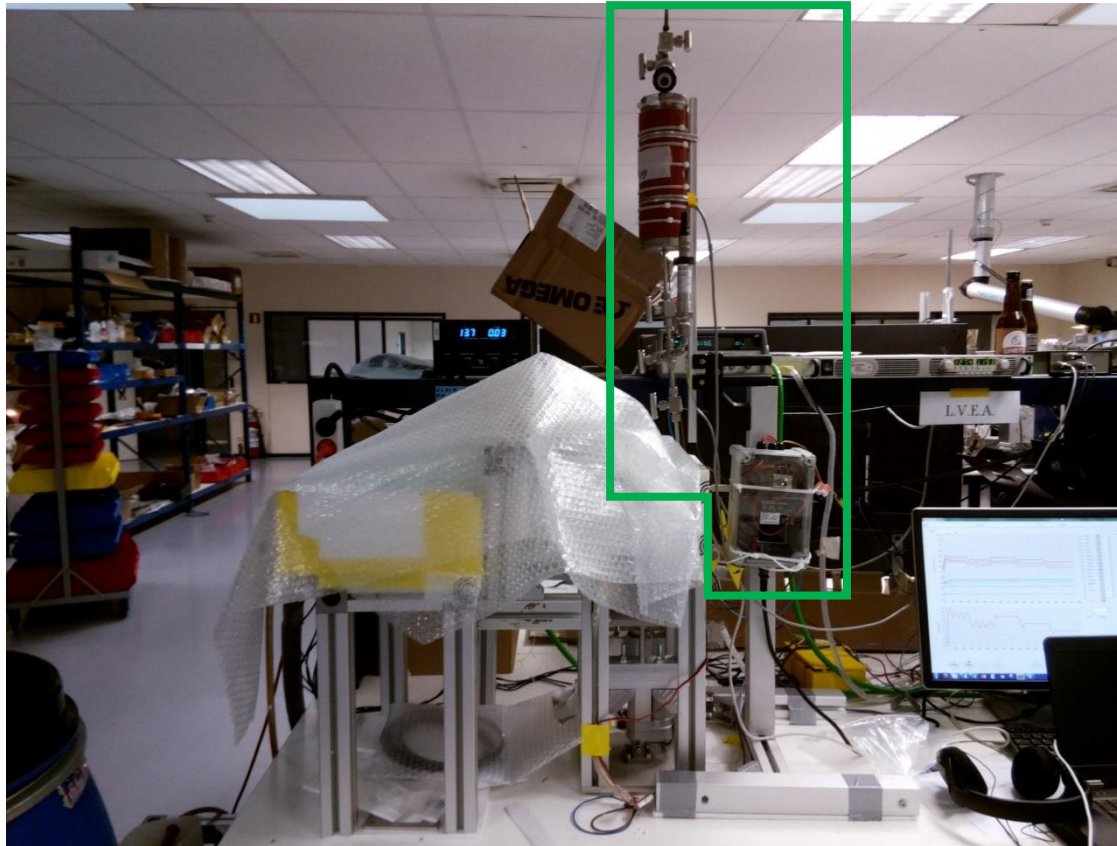


évaporateur

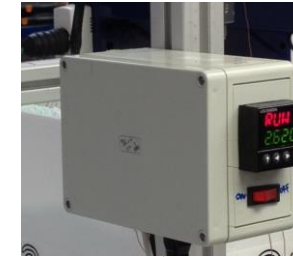
lignes flexibles (inox)

condenseur sur plaque froide

- Test de caractérisation d'une mèche d'épaisseur 1 mm: banc



RESERVOIR to control the saturation temperature



PiD regulator

thermal switch

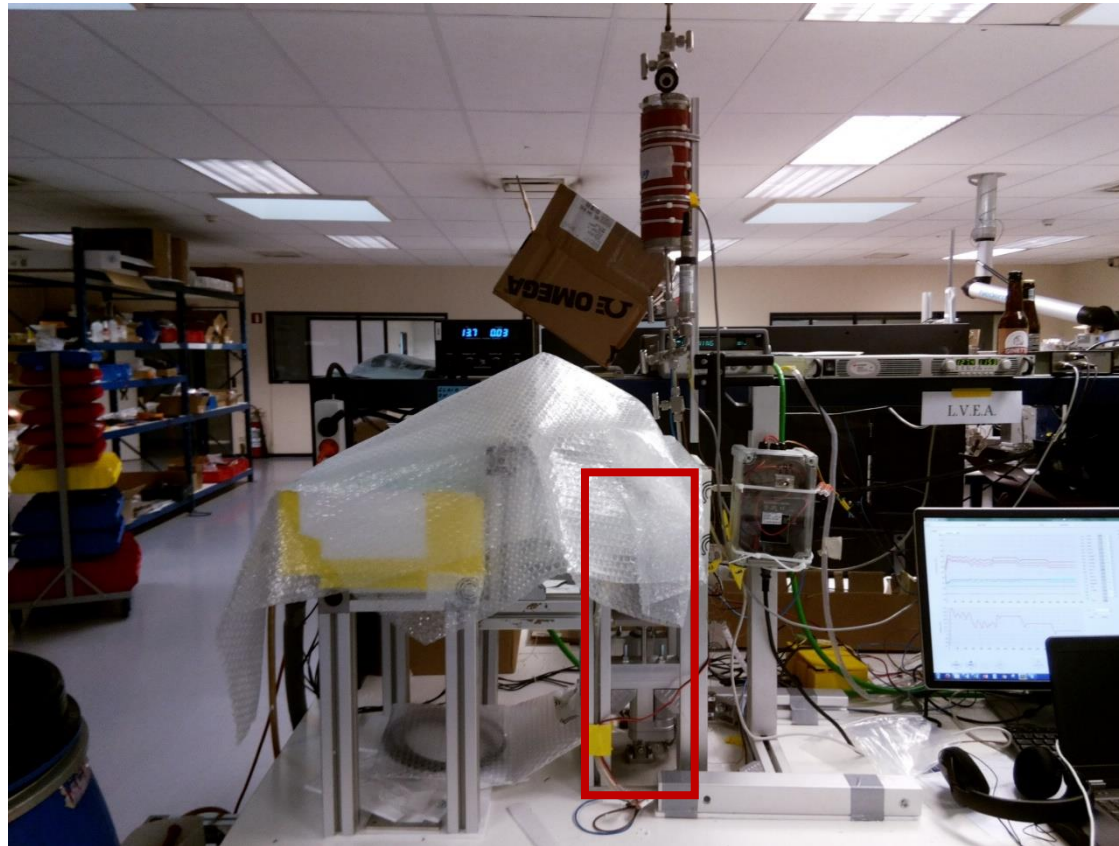
heating element

valve to switch from CPL to LHP

pressure transducer

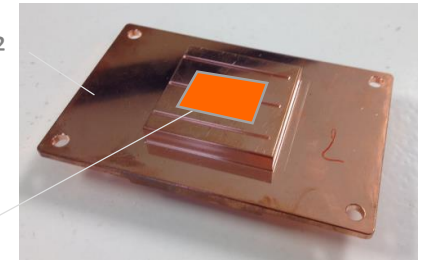


- Test de caractérisation d'une mèche d'épaisseur 1 mm: banc



EVAPORATOR

Copper block
Cartridge 40 x40 mm²
heater (x3)



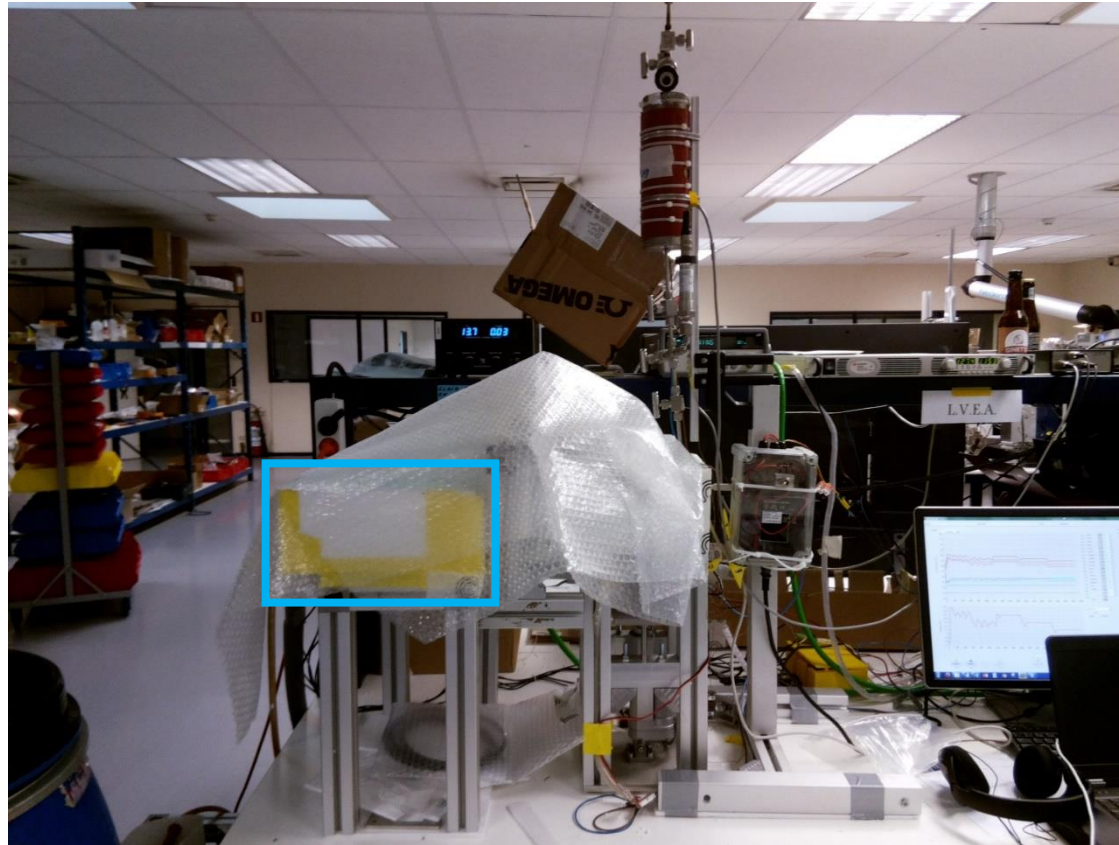
TiM graphite
25 x 25 mm²
i.e. 6.25 cm²

force
transducer

hydraulic
cylinder



- Test de caractérisation d'une mèche d'épaisseur 1 mm: banc



CONDENSER

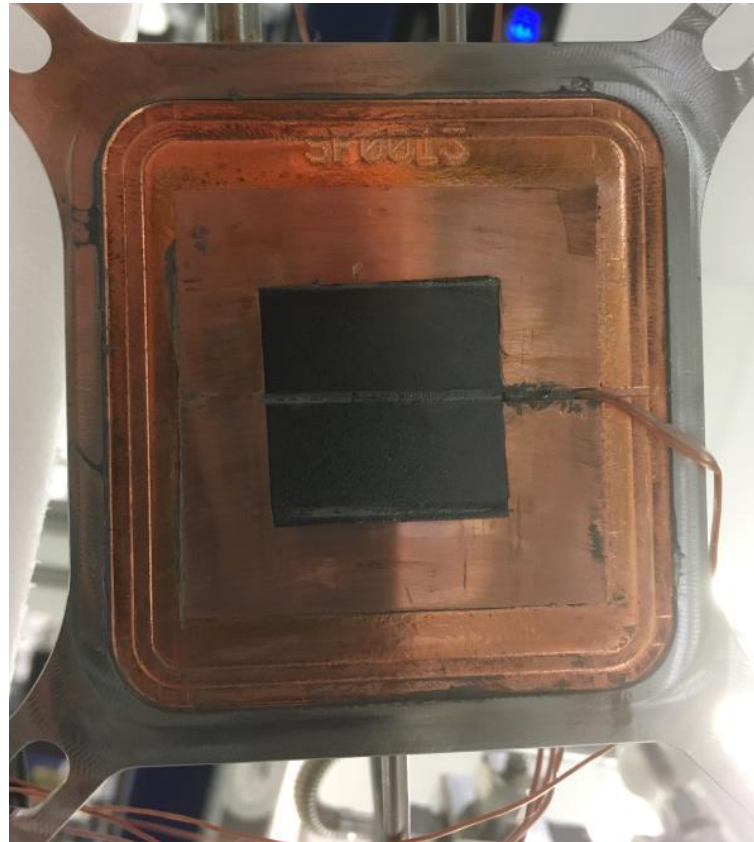
Condenser length
L = 450 mm

Aluminum cold plate

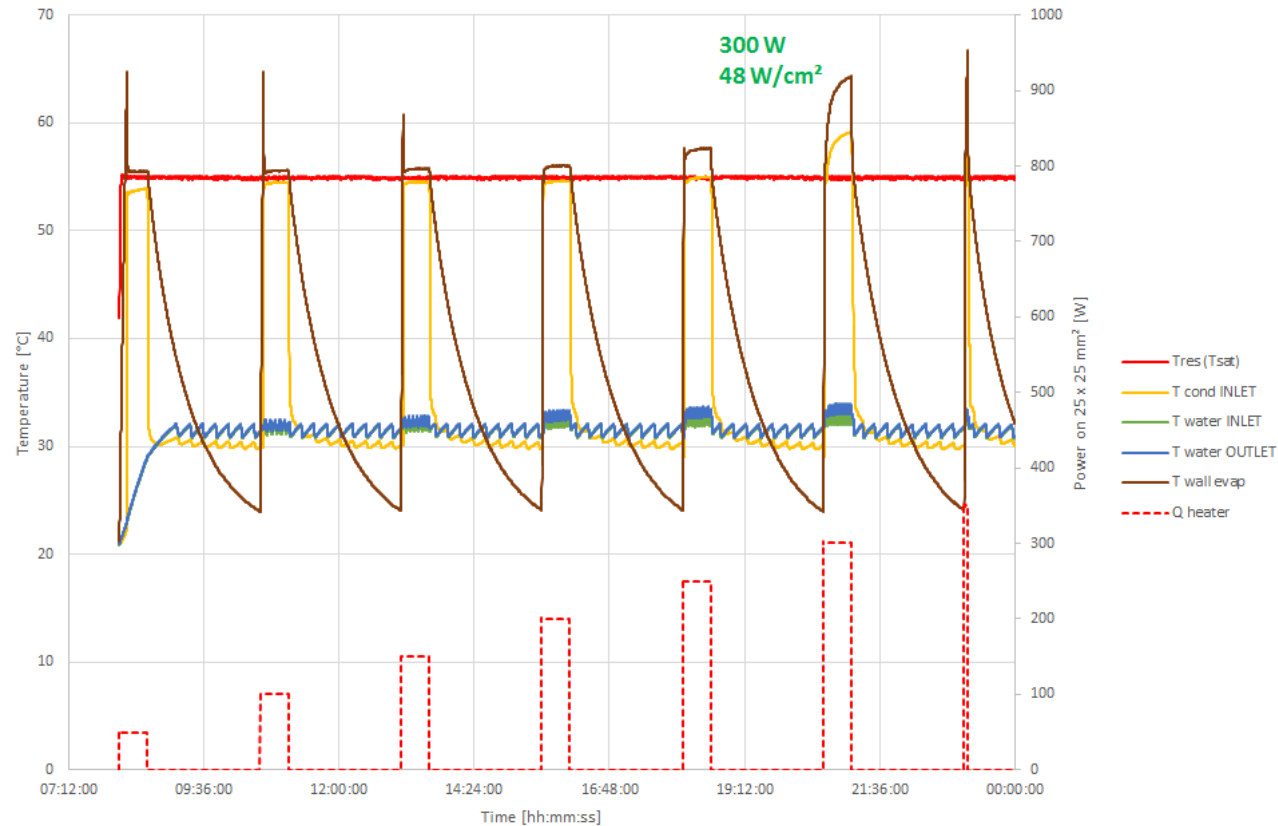
thermostatic bath
+5°C/+40°C



- Test de caractérisation d'une mèche d'épaisseur 1 mm: TiM graphite pour faire varier la surface de contact



- Test de caractérisation d'une mèche d'épaisseur 1 mm: test de démarrage

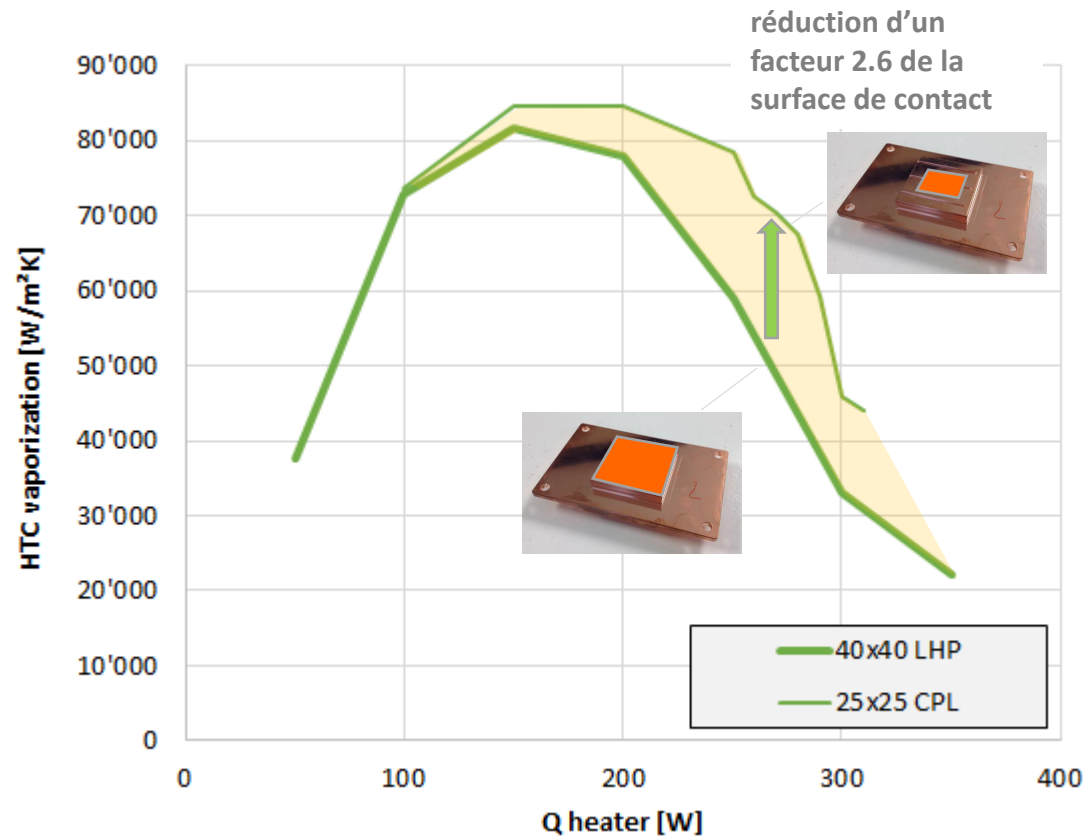


- operating temperature: 55°C
- fluide: R1233zd(E) réfrigérant diélectrique avec GWP = 1



- la **fabricabilité** des mèches d'épaisseur 1 mm **est prouvée**
- une **optimisation** du diamètre de pore est **nécessaire** sur base des densités de flux de chaleur, de la température d'opération et du fluide choisi.

- Test de caractérisation d'une mèche d'épaisseur 1 mm: impact de la surface de contact



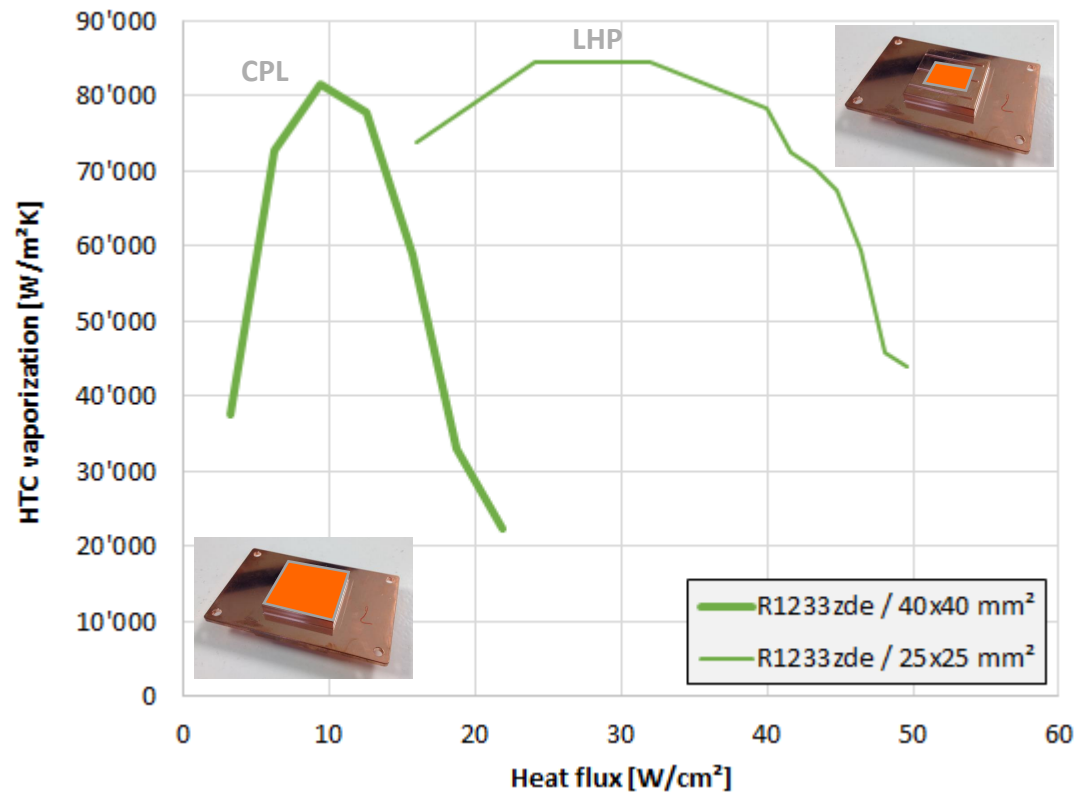
$$HTC_{evap} = Q_{heater} / S_{contact} \cdot (T_{evap\ wall} - T_{sat})$$

$$Rth_{evap} = 1 / HTC_{evap} \cdot S_{contact}$$



la diffusion thermique dans la paroi de l'évaporateur permet d'améliorer la performance au-delà de 150W.

- Test de caractérisation d'une mèche d'épaisseur 1 mm: impact de la surface de contact



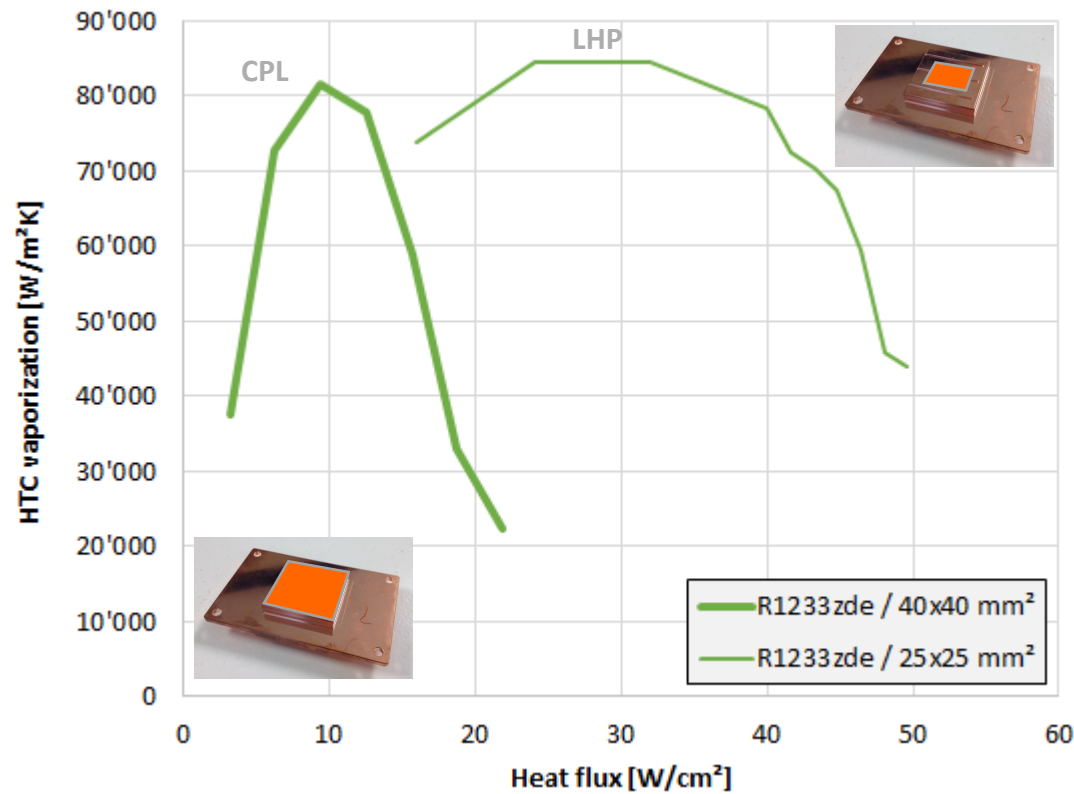
$$HTC_{evap} = Q_{heater} / S_{contact} \cdot (T_{evap\ wall} - T_{sat})$$

$$R_{th\ evap} = 1 / HTC_{evap} \cdot S_{contact}$$



la densité de flux optimale au contact augmente lorsque l'on réduit la taille de la source chaude

- Test de caractérisation d'une mèche d'épaisseur 1 mm: impact de la surface de contact



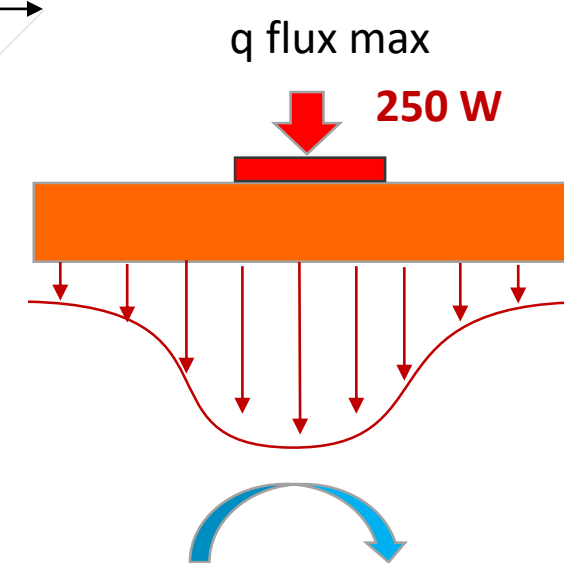
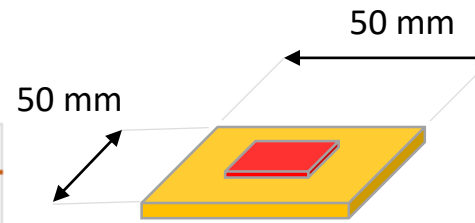
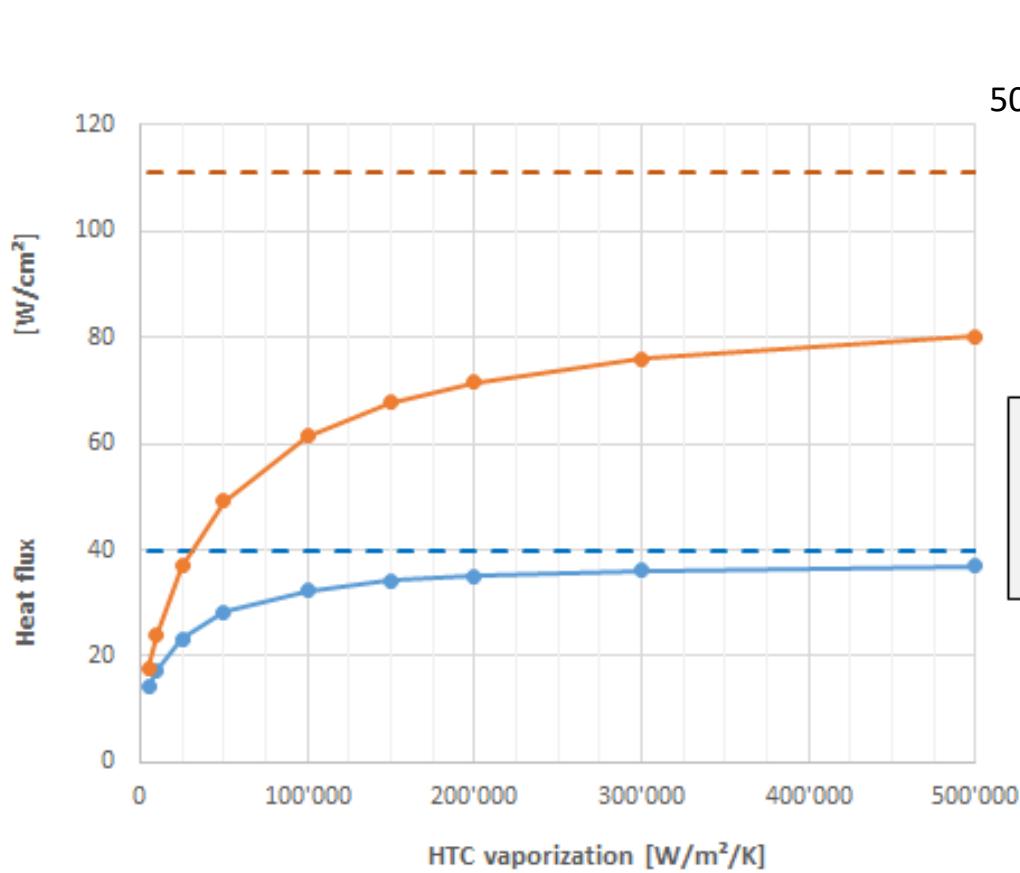
$$HTC_{evap} = Q_{heater} / S_{contact} \cdot (T_{evap\ wall} - T_{sat})$$

$$R_{th\ evap} = 1 / HTC_{evap} \cdot S_{contact}$$



la densité de flux optimale au contact augmente lorsque l'on réduit la taille de la source chaude

- Test de caractérisation d'une mèche d'épaisseur 1 mm: flux vaporisé pour 5 mm de cuivre



➡ aspect itératif

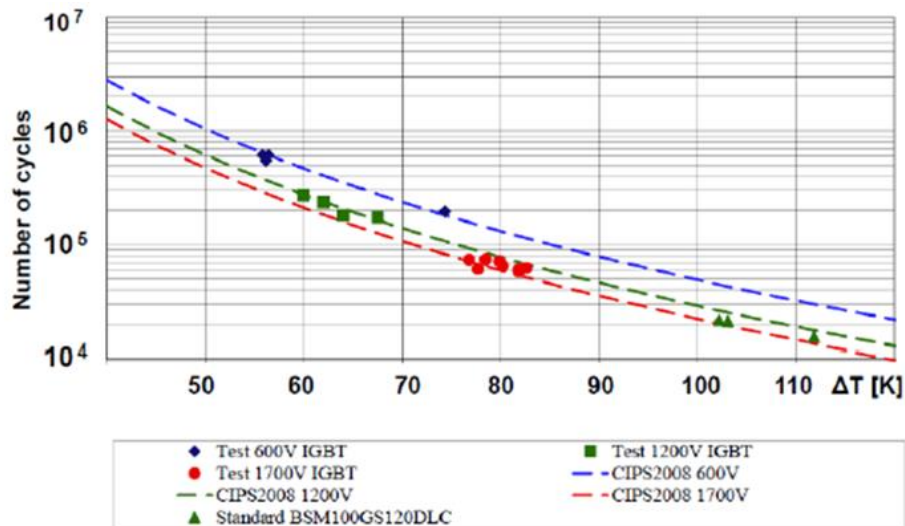
1. Thermosiphon Capillaire (TSC)
2. Coefficient d'échange pour une mèche d'épaisseur 1 mm
- 3. Durée de vie et coefficient d'échange variable**
4. Points durs

- Power module failure model: **CIPS2008** method based on a Coffin-Mason law

$$N_f = K \cdot \Delta T_{junction}^{\beta_1} \cdot e^{\frac{\beta_2}{T_{junction}}} \cdot t_{ON}^{\beta_3} \cdot V^{\beta_4} \cdot I^{\beta_5} \cdot D^{\beta_6}$$



EconoDUAL™ 3 module.



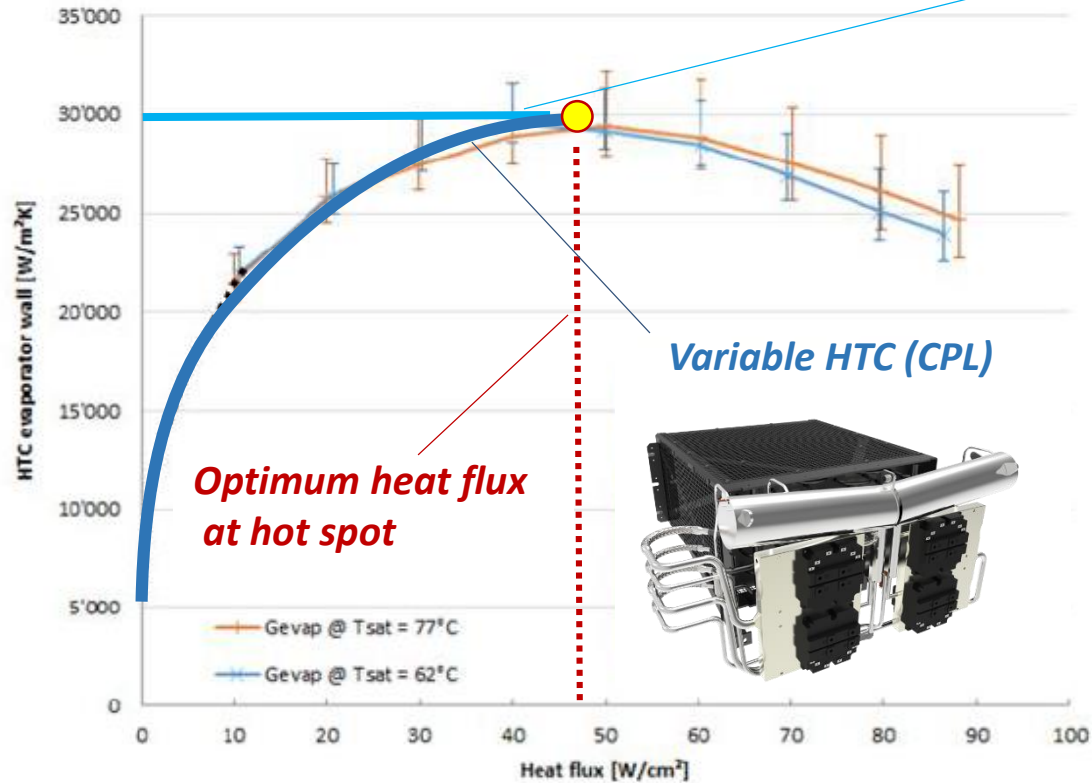
Parameter	Value	Parameter	Value
K	9.3E+14	V	12 x 100 V
β₁	-4.416	I	10 A
β₂	1285	D	400 microns
β₃	-0.463	cycles per year	2'750
β₄	-0.716		
β₅	-0.761		
β₆	-0.5		

Baumann, M., Lutz, J., and Wondrak, W., Liquid cooling methods for power electronics in an automotive environment, Proceedings 14th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE 2011).

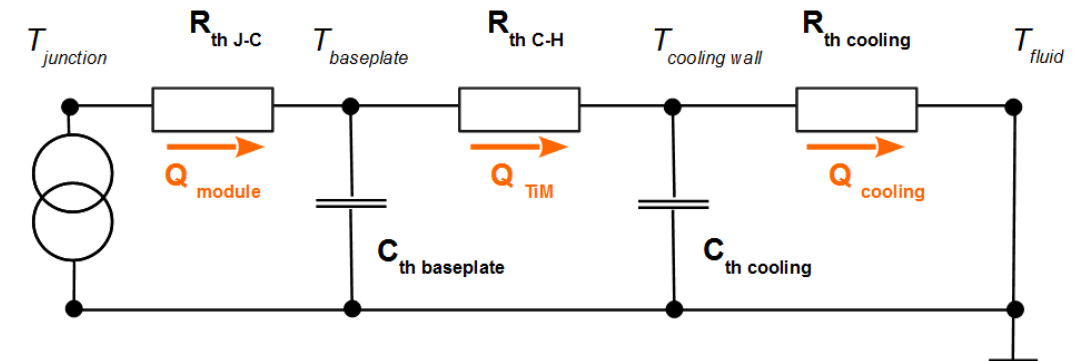
Lutz, J., Packaging and reliability of power modules, CIPS 2014, February, 25 – 27 Nuremberg, Germany (2014).



- « Thermal swing »: comparaison entre un refroidissement liquide et un évaporateur capillaire à iso température de fluide

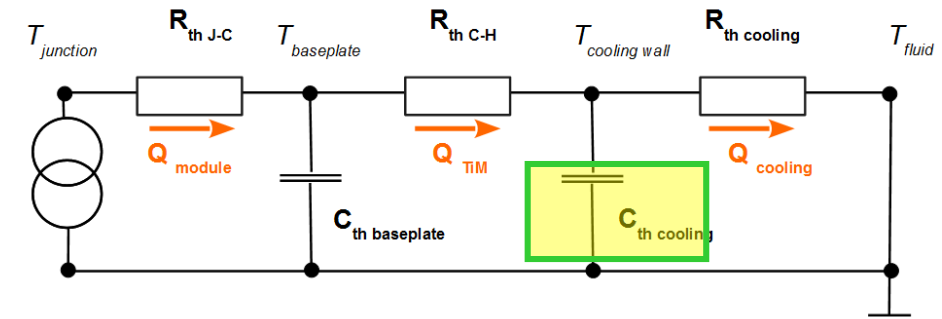
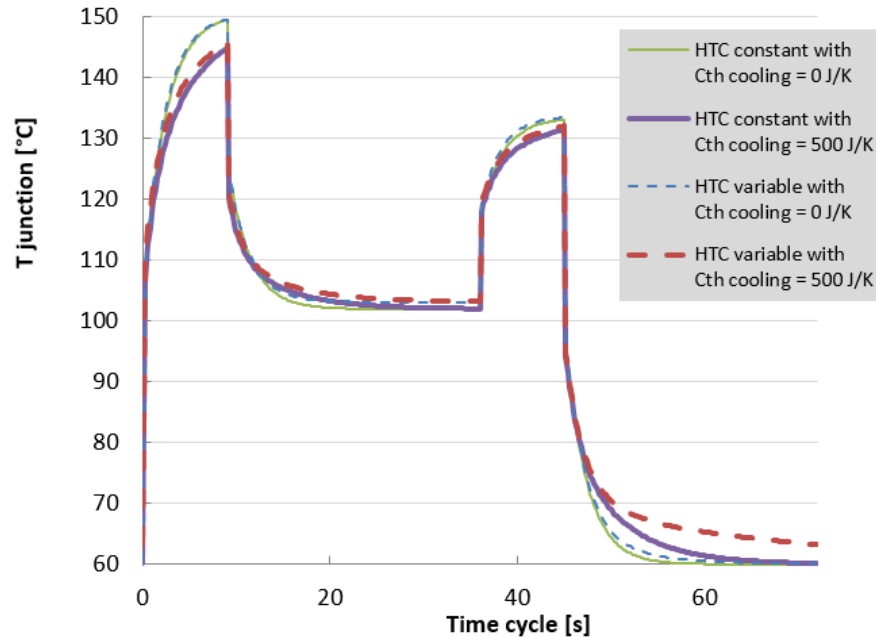


Constant
HTC = 30'000 W/m²K

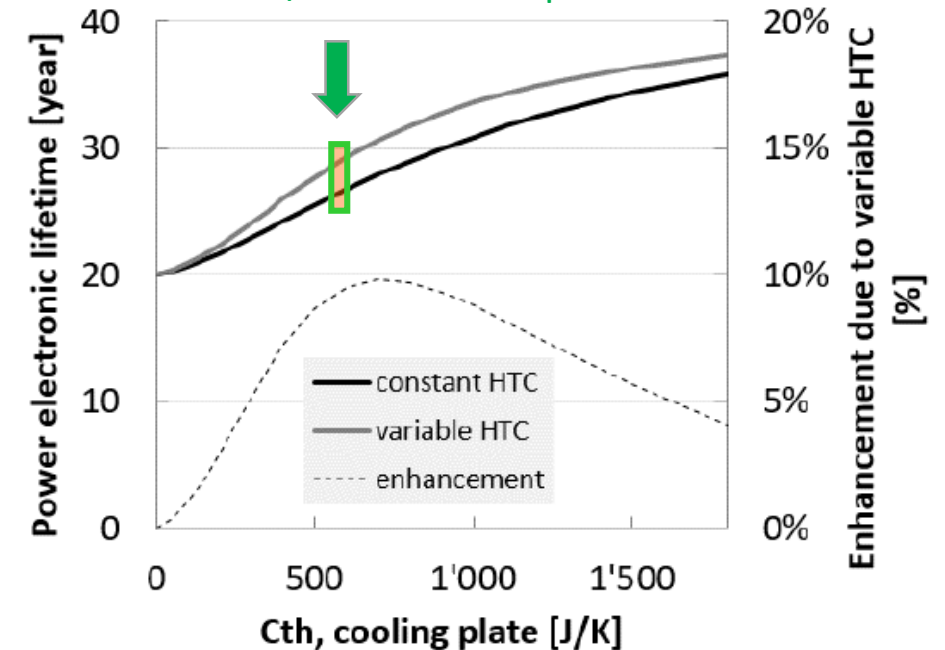


Dupont et al., Temperature Swing Issue, How a Passive Two-Phase Cooling Loop Can Improve the Power Electronic Lifetime, *Proc. PCIM*, May 10-12, Nuremberg, Germany, (2017)

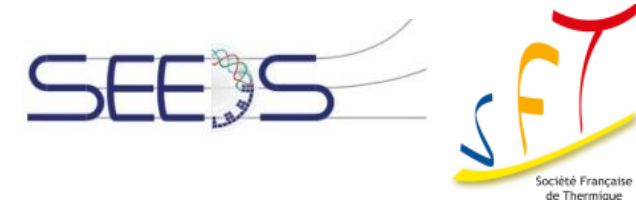
- « Thermal swing »: comparaison entre un refroidissement liquide et un évaporateur capillaire à iso température de fluide



500 J/K used in comparison

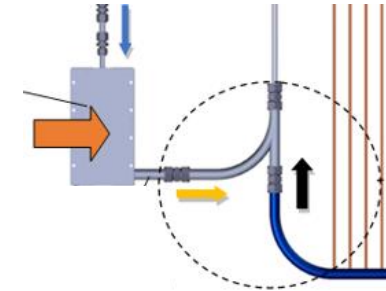


- les phases sans puissance maximisent l'effet du HTC variable
- il existe un optimum pour l'inertie thermique du refroidissement
- quelques K peuvent avoir un effet significatif sur la durée de vie de l'électronique de puissance

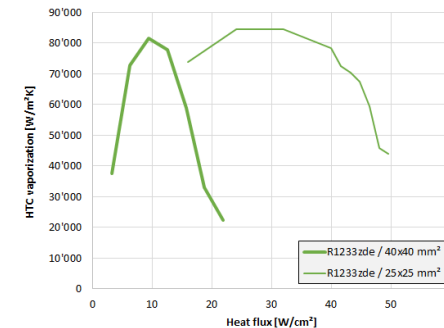
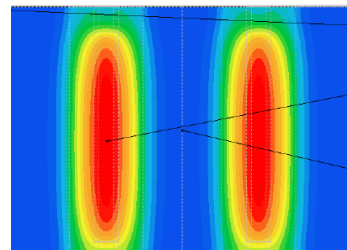


1. Thermosiphon Capillaire (TSC)
2. Coefficient d'échange pour une mèche d'épaisseur 1 mm
3. Durée de vie et coefficient d'échange variable
4. **Points durs**

- Points durs sur le plan scientifique
 - a. Thermosiphon capillaire: modèle de dimensionnement des pertes de charge entre un écoulement de liquide sous-refroidi (ou à saturation) et une **injection de vapeur dans un tube**.



- b. Interface de vaporisation: **modèle de prédiction du coefficient d'échange** apparent en fonction des caractéristiques de la mèche poreuse et de la topologie des puces et impact sur la durée de vie.



- c. Mèches fines; **descendre sous 1 mm** d'épaisseur pour adresser les densités de flux des nouveaux composants GaN ?



www.calyos-tm.com



info@calyos-tm.com



support@calyos-tm.com



sales@calyos-tm.com