

***Caloducs oscillants (PHP) :
influence de paramètres de
fonctionnement sur les
performances thermiques***

Introduction

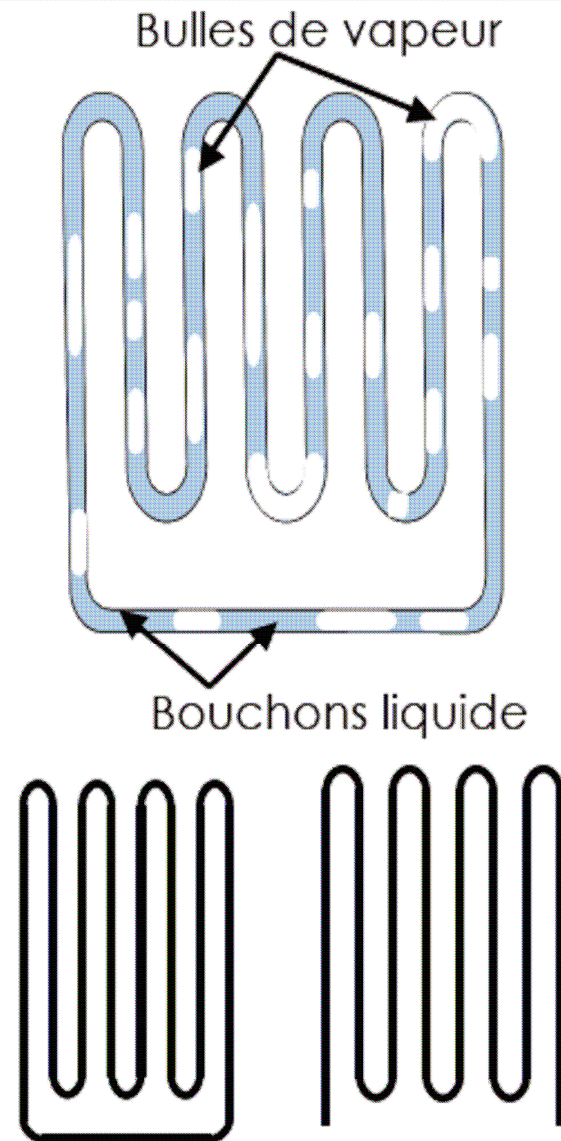
Qu'est ce qu'un PHP* ?

Géométrie simple

- ◆ Tube capillaire lisse
- ◆ Plusieurs boucles
- ◆ Deux configurations possibles

Remplissage partiel

- ◆ Fluide à l'état de saturation
- ◆ Répartition sous forme de bulles et de bouchons



*Pulsating Heat Pipe

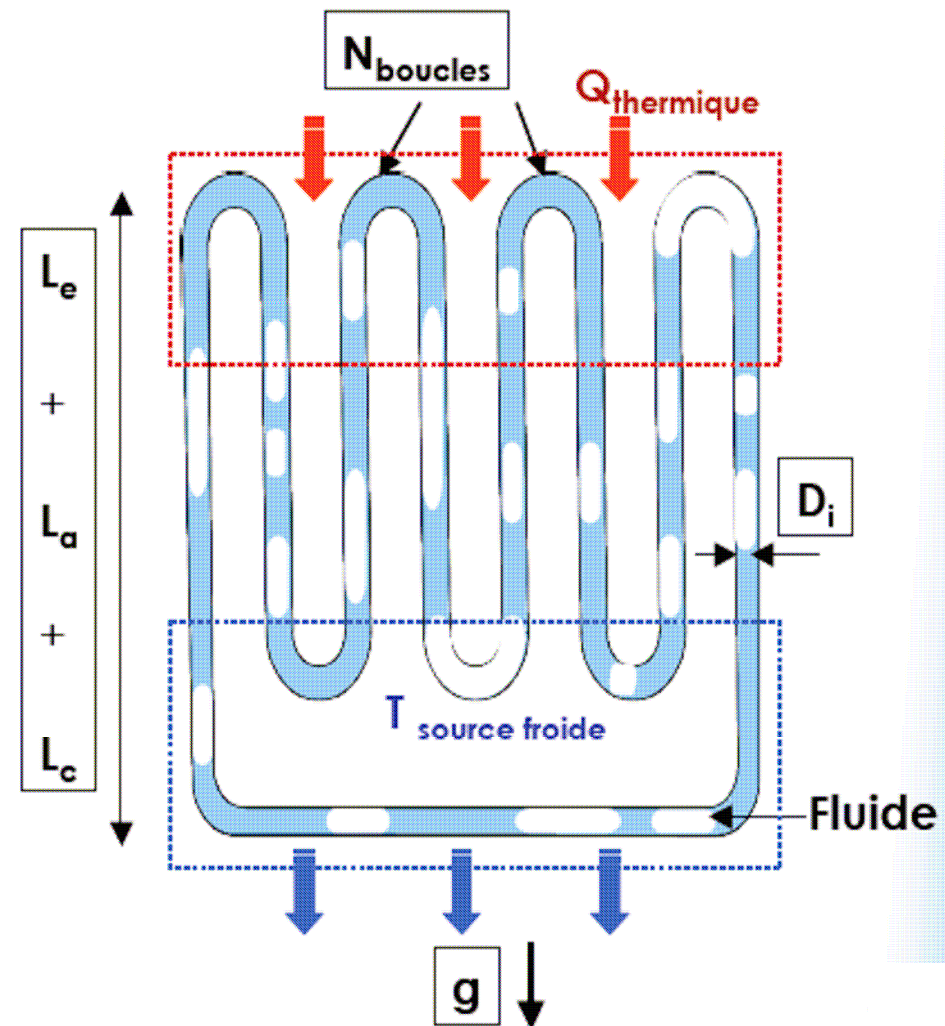
Approches théoriques existantes

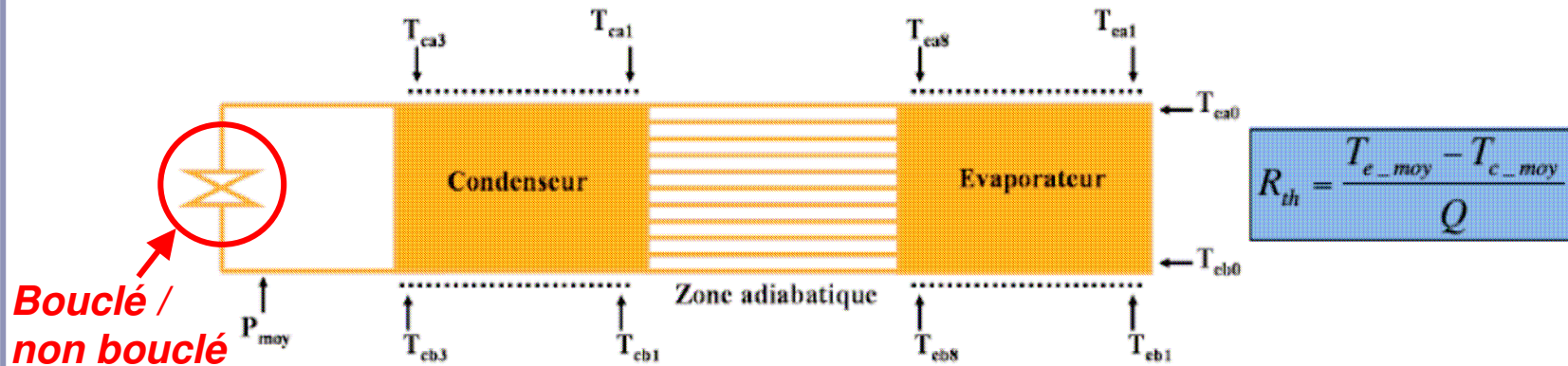
Paramètres influents identifiés:

Variables géométriques

Variables physiques
(h_{lv} , c_p , σ ...)

Conditions opératoires

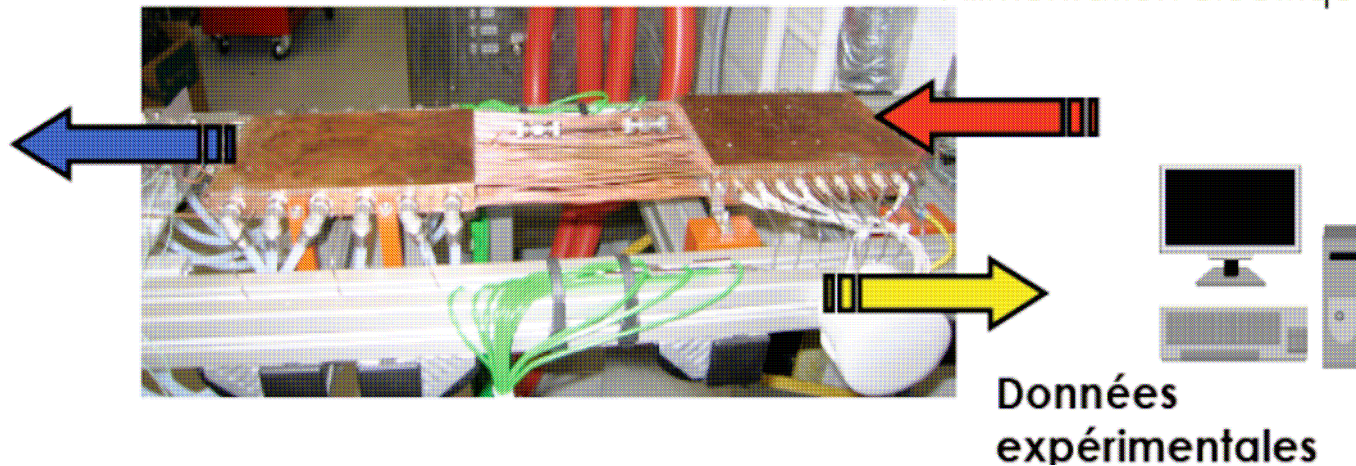




$$R_{th} = \frac{T_{e_moy} - T_{c_moy}}{Q}$$

Source froide
 • Cryothermostat

Source chaude
 • Cartouches chauffantes
 • Alimentation électrique



	PHP n°1	PHP n°2
D_i (mm)	1,2	2,5
N (boucles)	40	20
L_e (mm)	180	180
L_a (mm)	190	190
L_c (mm)	200	200
Fluide	Eau	Acétone, eau, éthanol, pentane
D_{crit} (mm) [10,100]°C	5	3

} 57 cm

R_{TH} (PHP1) # 10 [K/W]

R_{TH} (PHP2) # 5 [K/W]

- Pas de facteur de mérite a priori :
 - Equation de fonctionnement inconnue
 - Influence de $\rho_l, c_{p_l}, \mu_l, \sigma, h_{lv}$?
 - Rôle moteur de $dP/dT)_{sat}, \rho_v, \dots$?
- Tests sur :
 - Acétone
 - Eau
 - Ethanol
 - Pentane

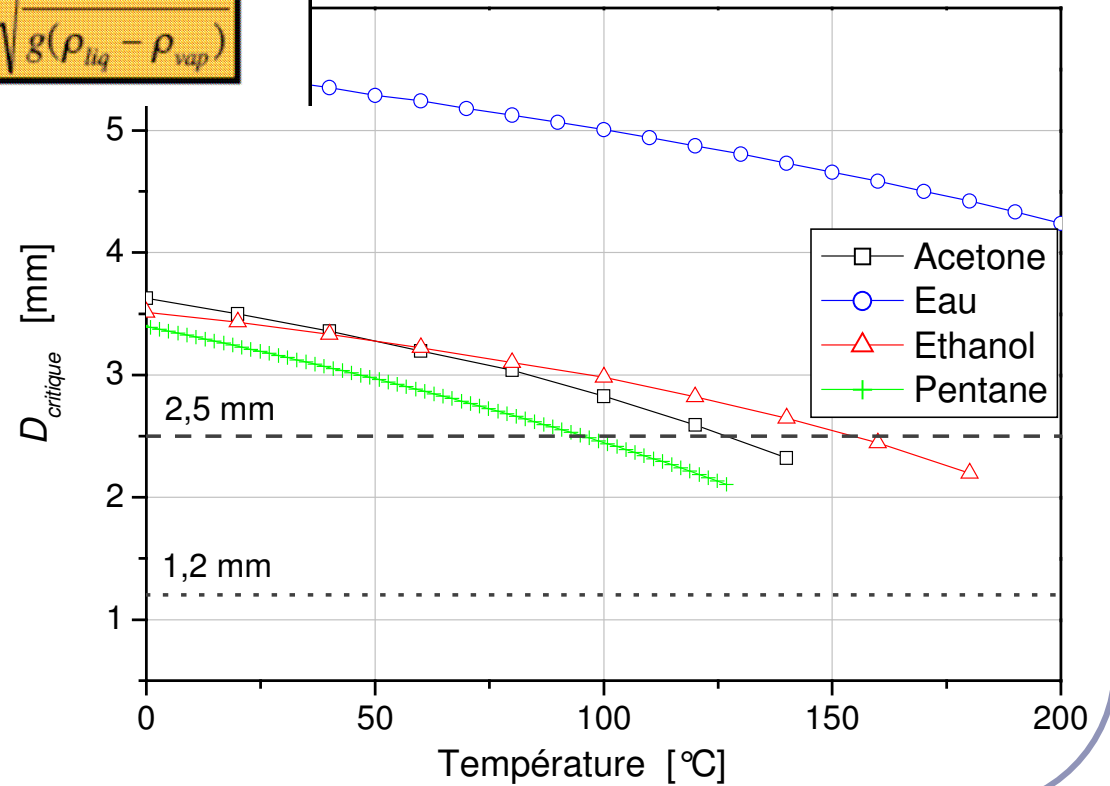
DIAMETRES CRITIQUES

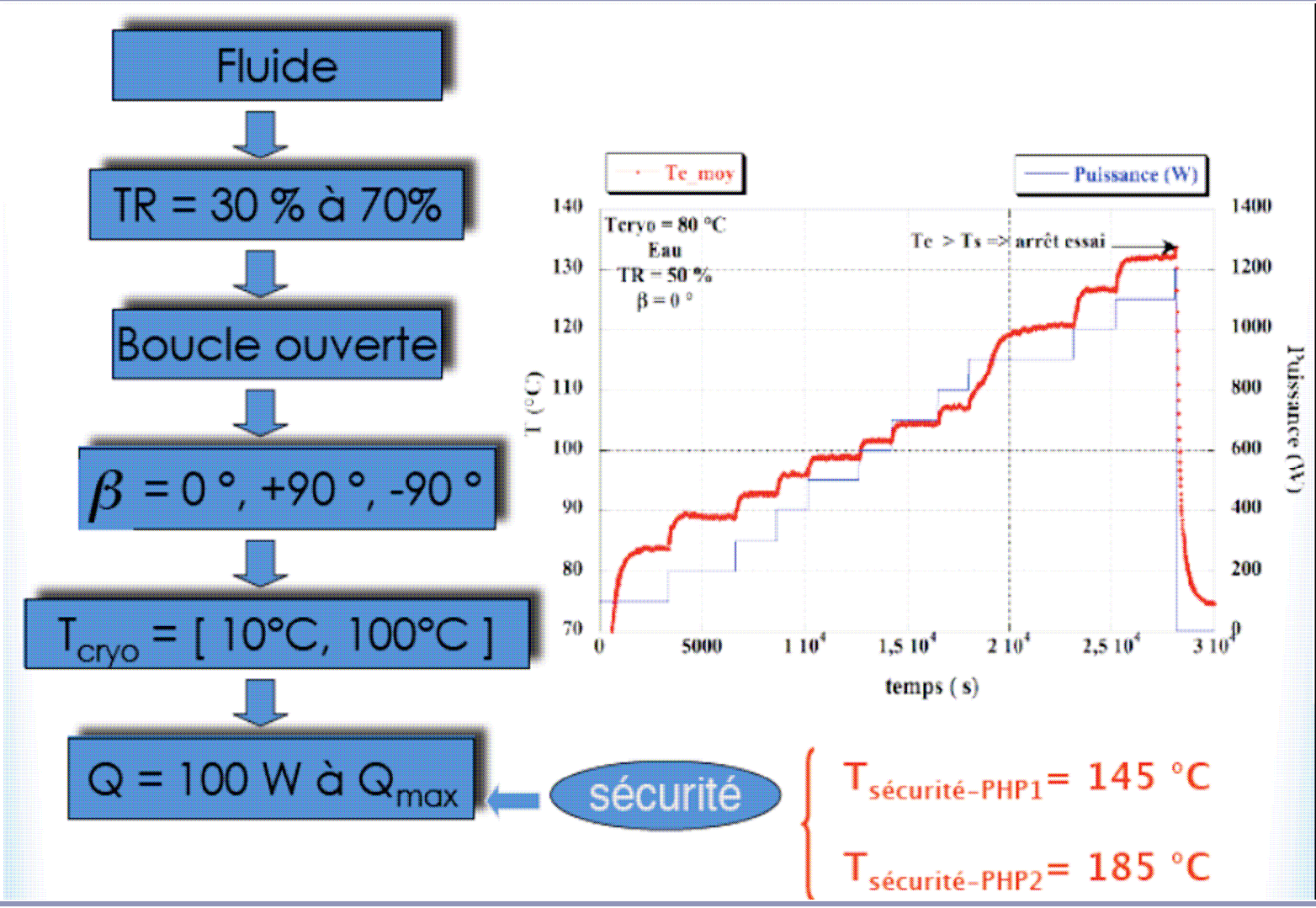
◆ Nombre de Bond

$$Bo = D \sqrt{\frac{g(\rho_{liq} - \rho_{vap})}{\sigma}}$$

◆ $Bo_{crit} \Rightarrow D_{crit}$

$$D_{crit} = 2 \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_{liq} - \rho_{vap})}}$$

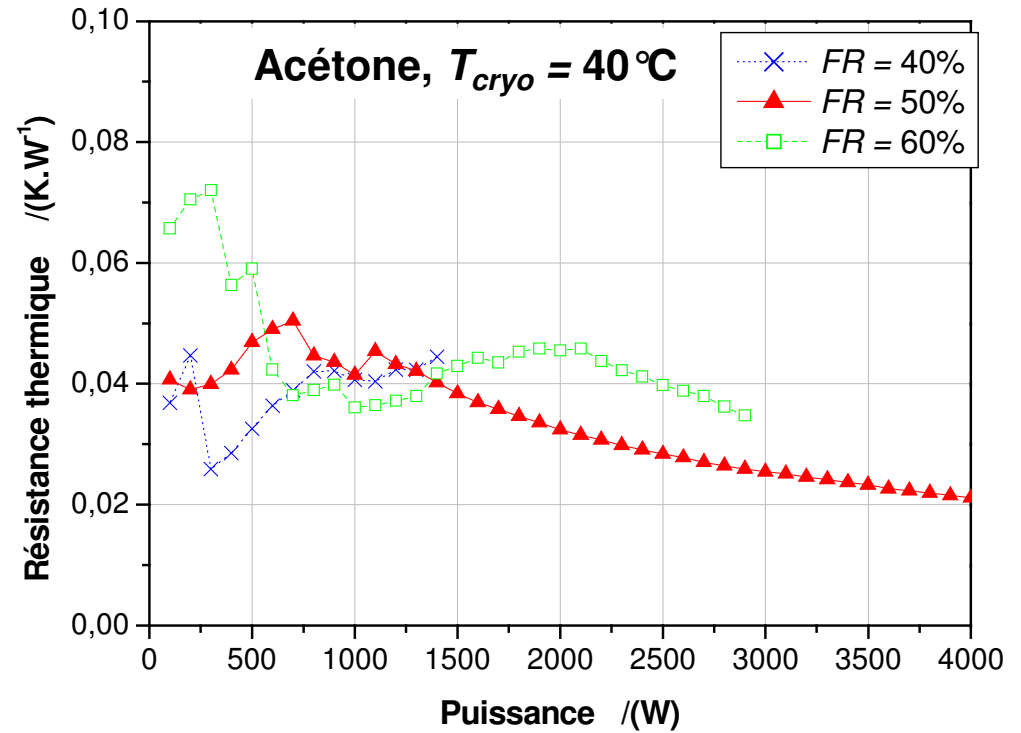




- Choix de $TR = 50\%$

$R_{TH} (PHP1) = 10 \text{ [K/W]}$

$R_{TH} (PHP2) = 5 \text{ [K/W]}$



PHP1 (1,2 mm)

TR (%)	30	40	50	60	70
Q_{max} (W)	-	-	1900	1300	300

$R_{th} > 0,65 \text{ K/W}$

PHP2 (2,5 mm)

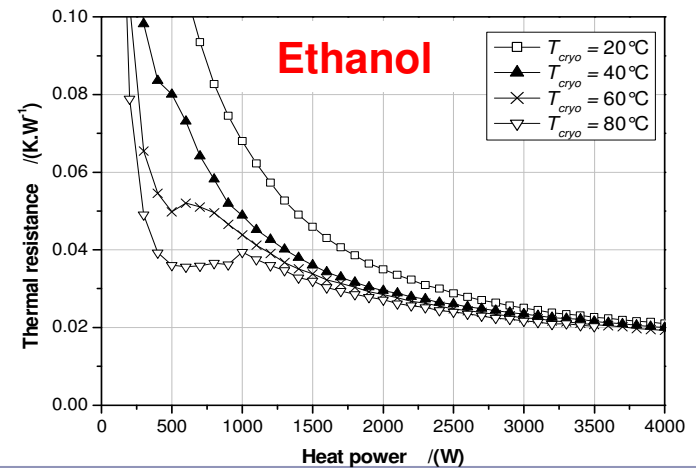
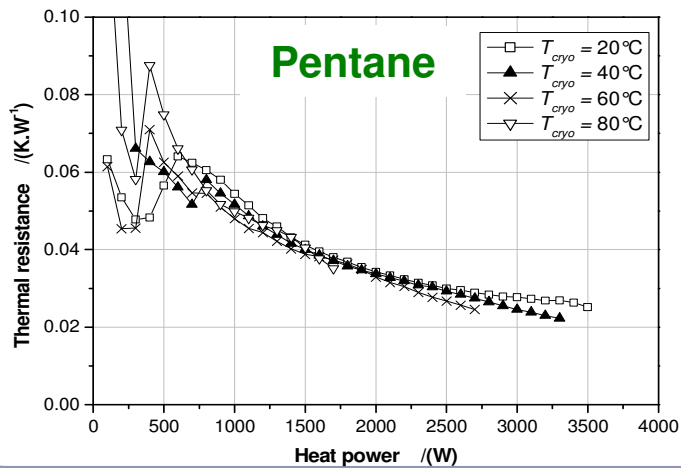
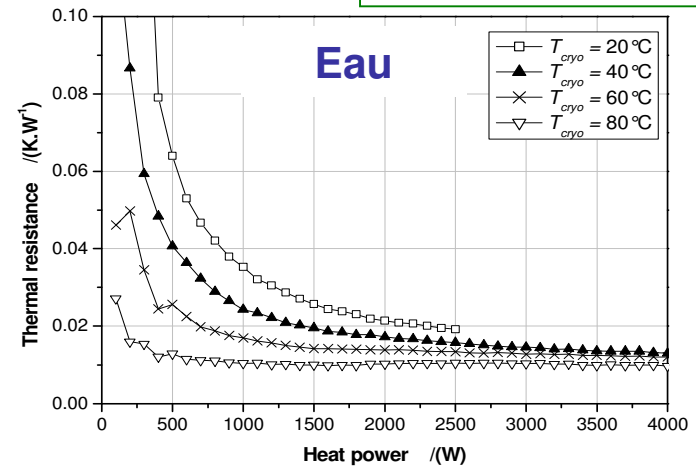
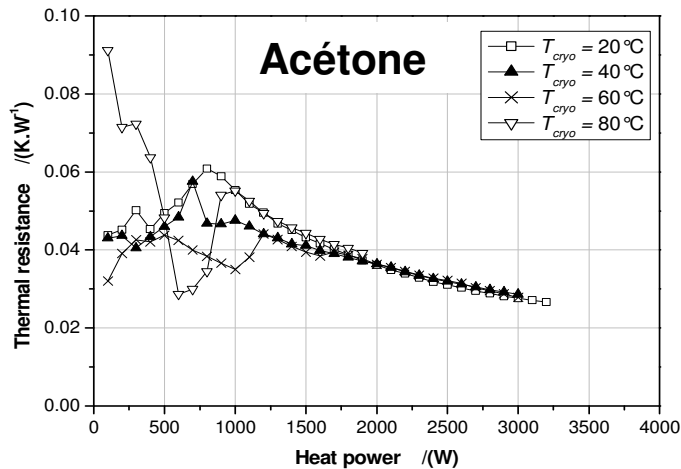
TR (%)	30	40	50	60	70
Q_{max} (W)	?	1400	4300	2900	?



- Influence du fluide de travail
 - Quelques réflexions sur les propriétés des fluides
- Influence du diamètre intérieur
- Influence de la position / gravité
- Influence du bouclage

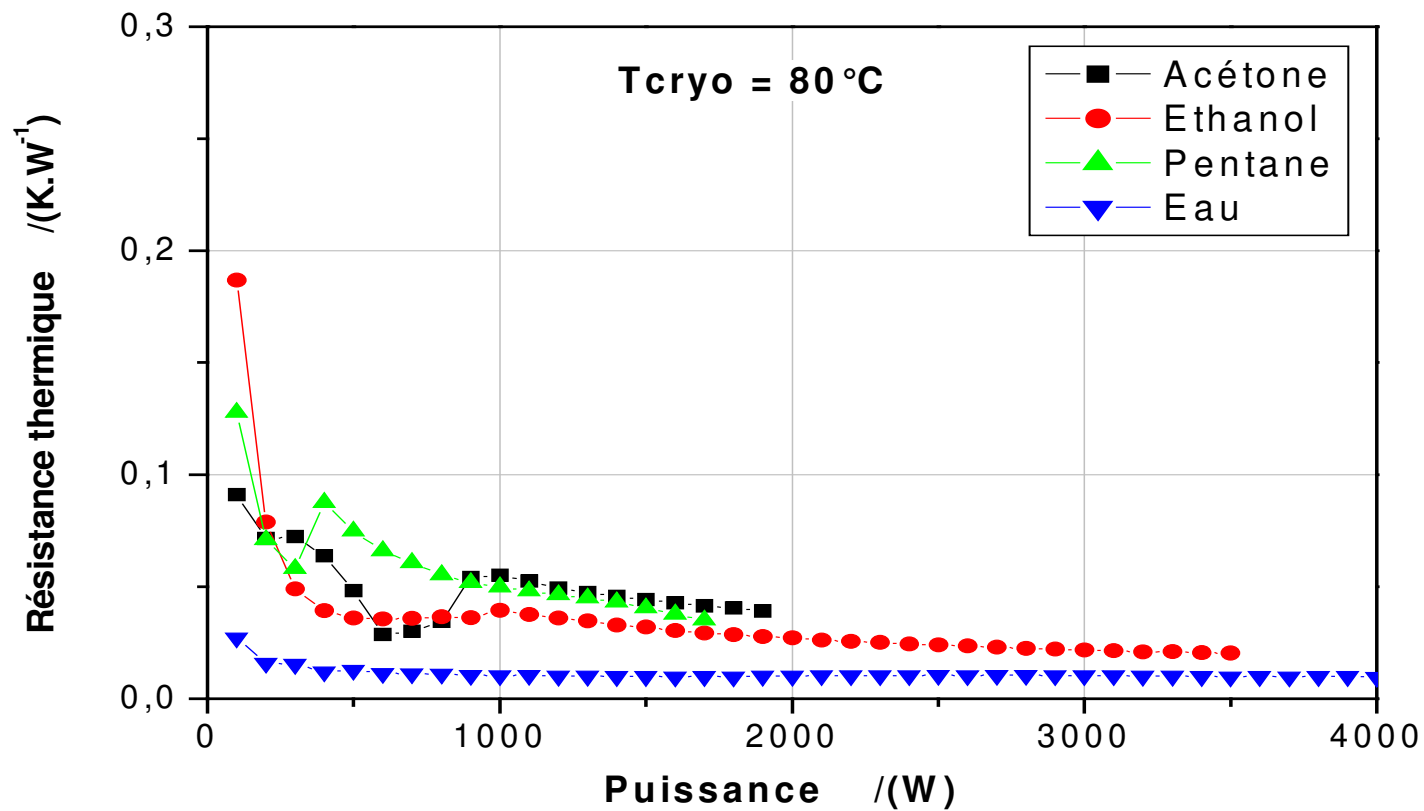
PHP2 (2,5 mm),
horizontal

● Influence du fluide de travail :



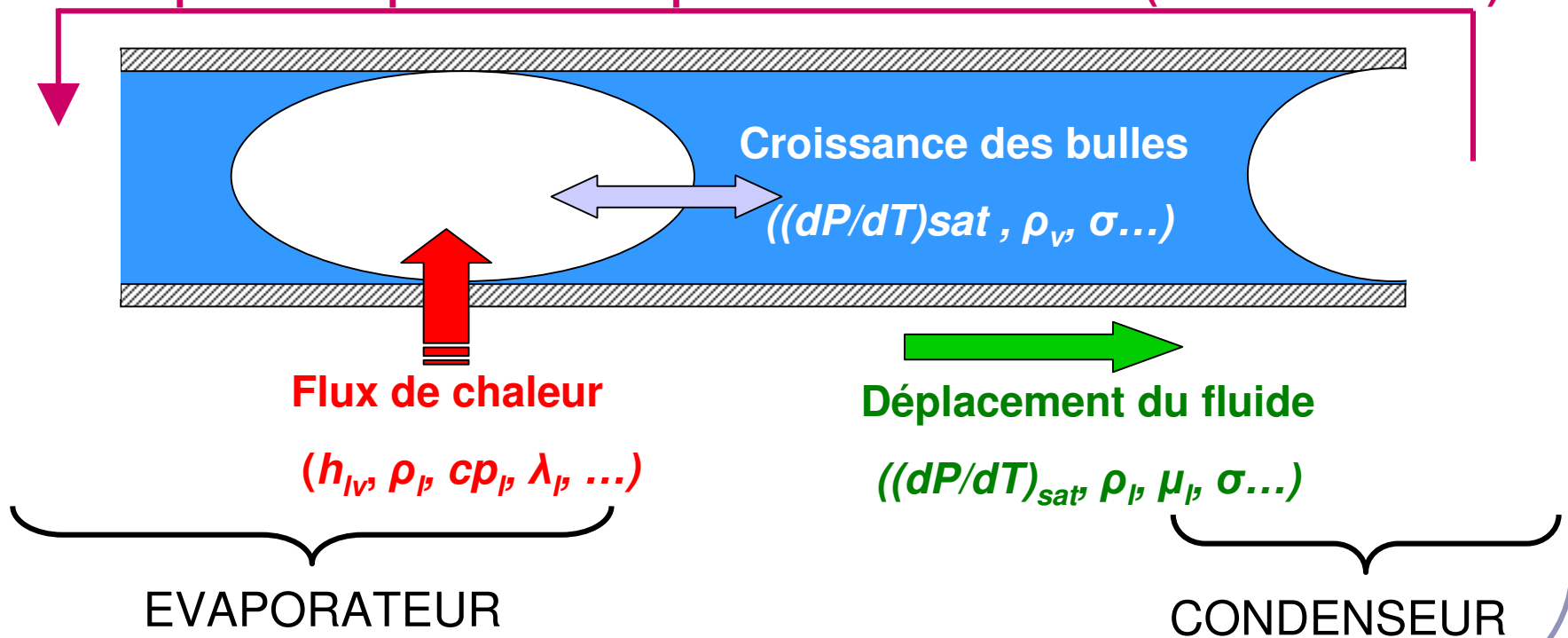
- Influence du fluide de travail :

PHP2 (2,5 mm),
horizontal

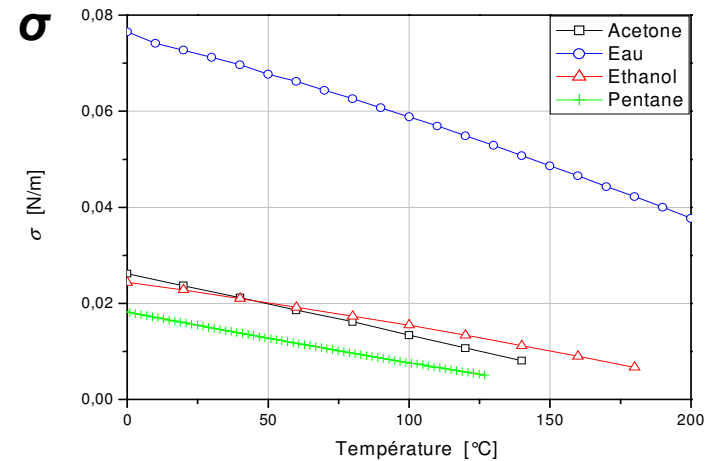
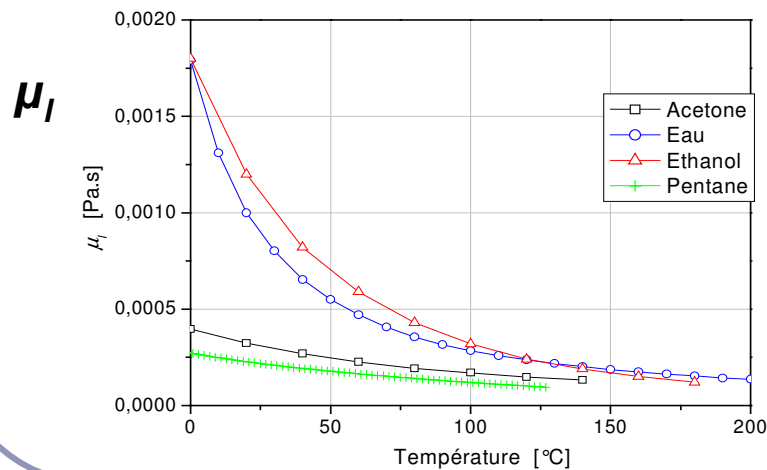
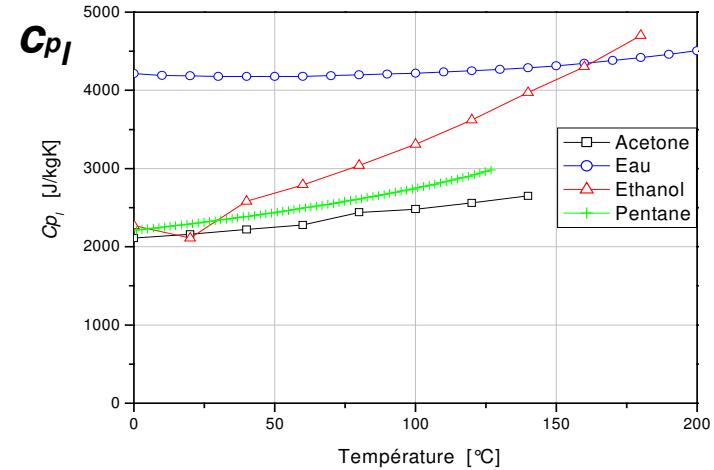
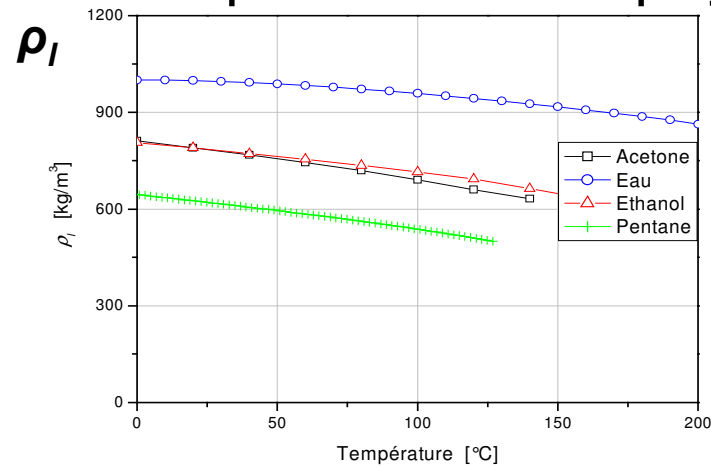


- Phénomènes mis en jeu ?
 - Ecoulements « slug flow »

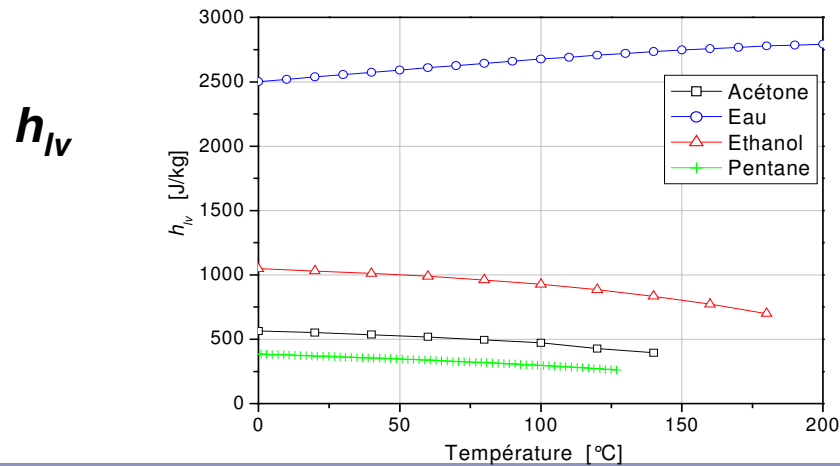
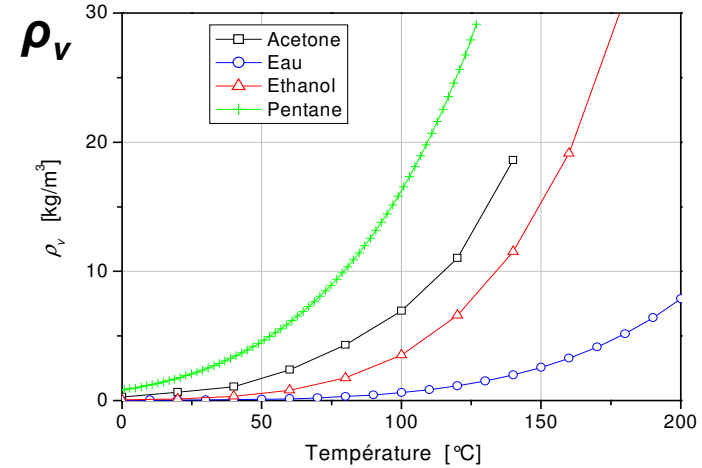
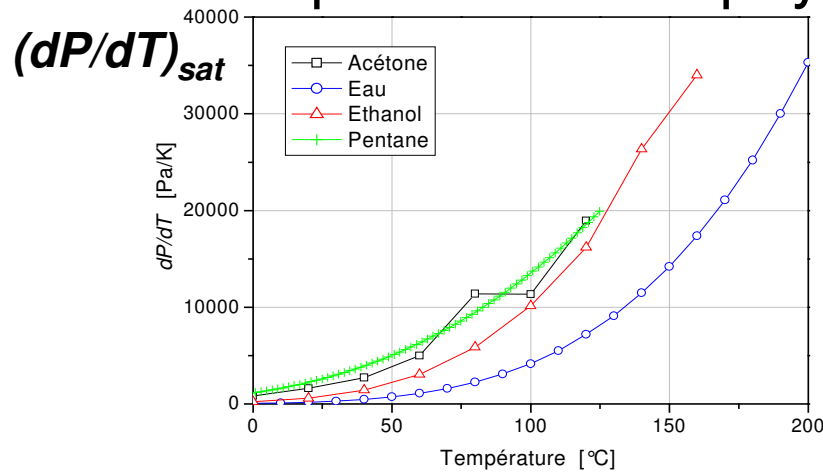
Déséquilibre de pressions évaporateur – condenseur (interconnexions)



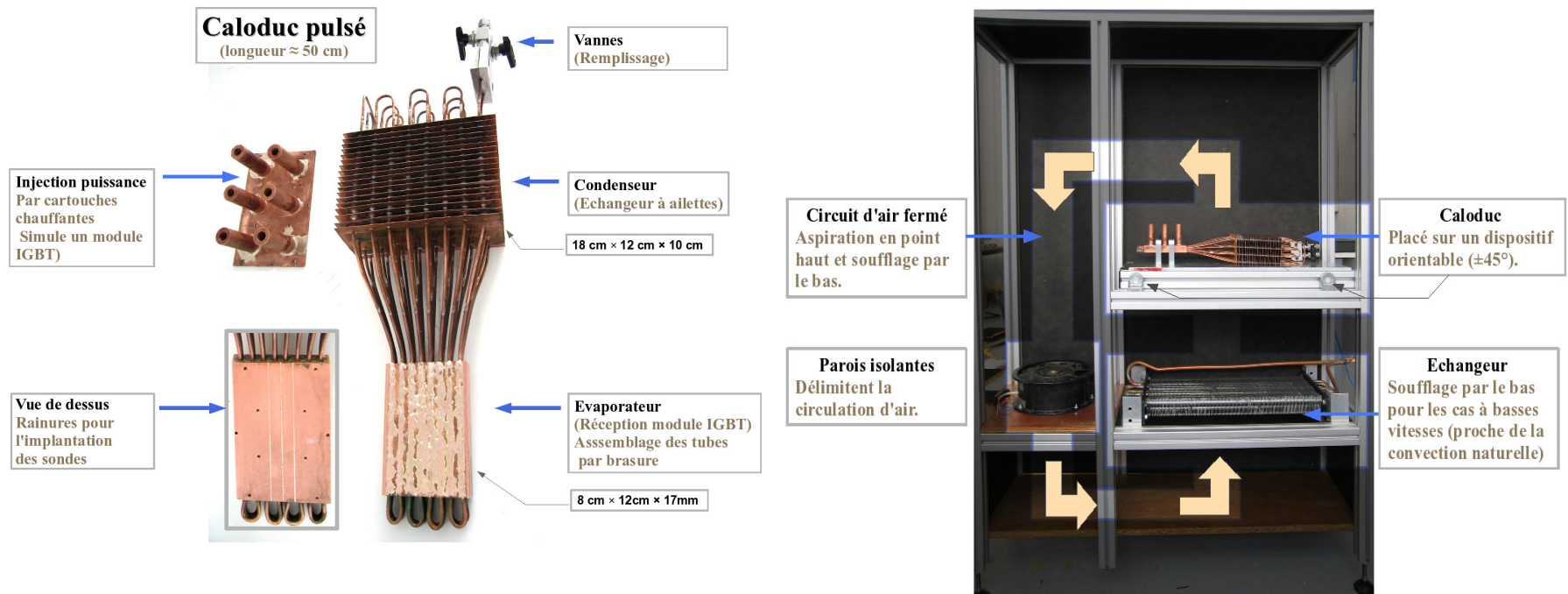
● Propriétés thermophysiques des fluides :



● Propriétés thermophysiques des fluides :

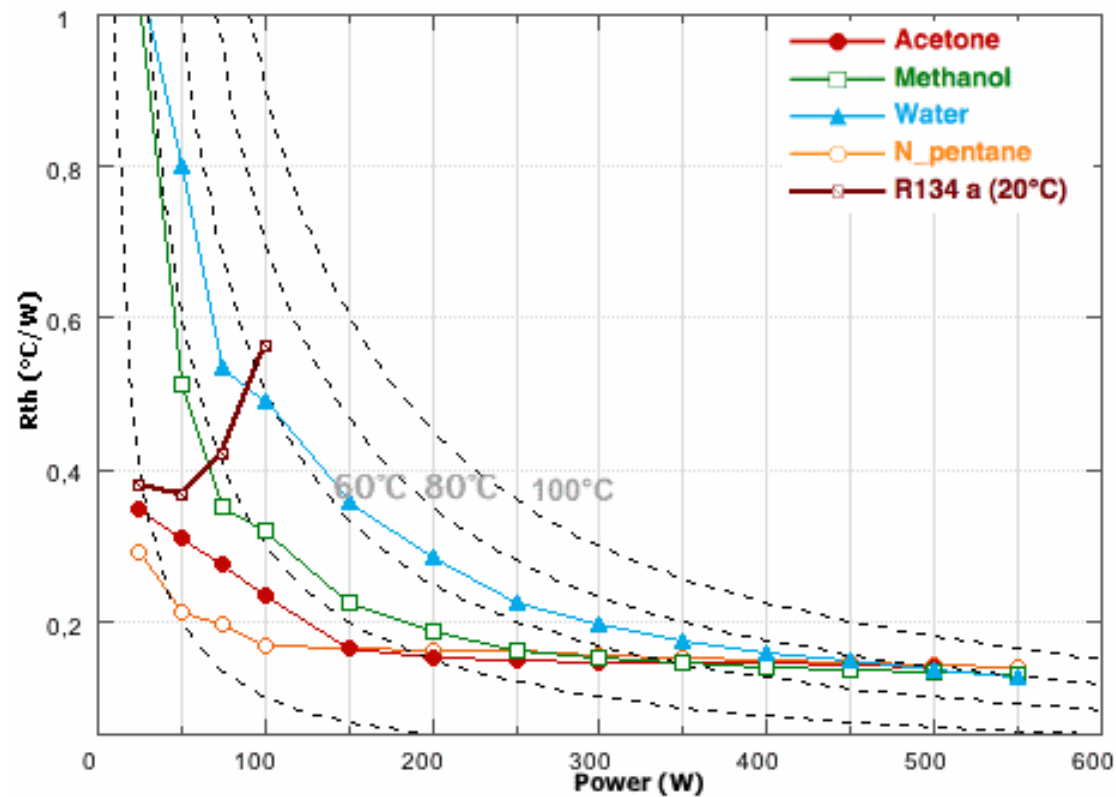


- Autre étude expérimentale (Projet EPO) :

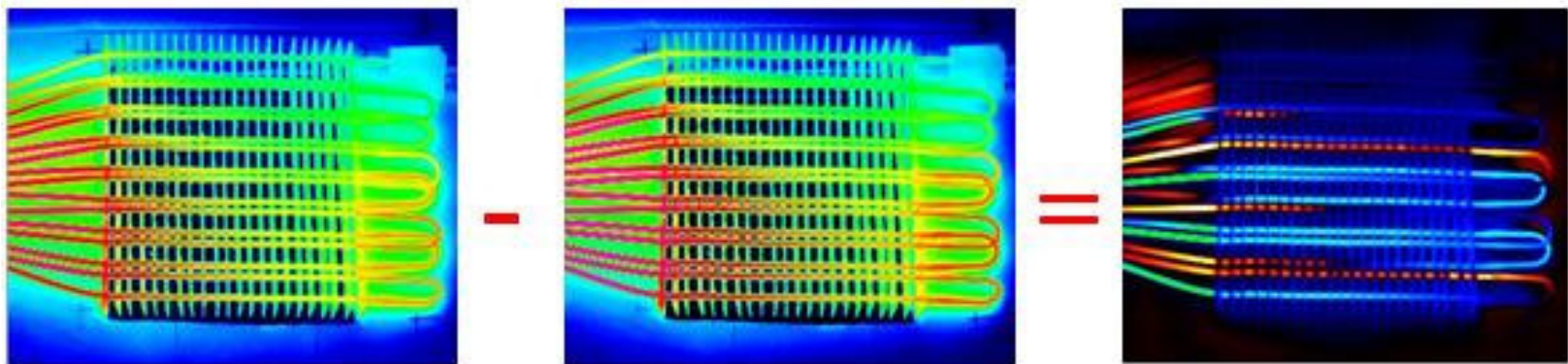


- Réponse thermique d'un caloduc oscillant dans un environnement automobile

- Autre étude expérimentale (Projet EPO) :



- Visualisations infrarouges :



- La réponse en fréquence à une impulsion sur la paroi interne du tube est élevée du fait de la faible épaisseur (0.3 mm) et de la grande diffusivité du cuivre

- Visualisations infrarouges :

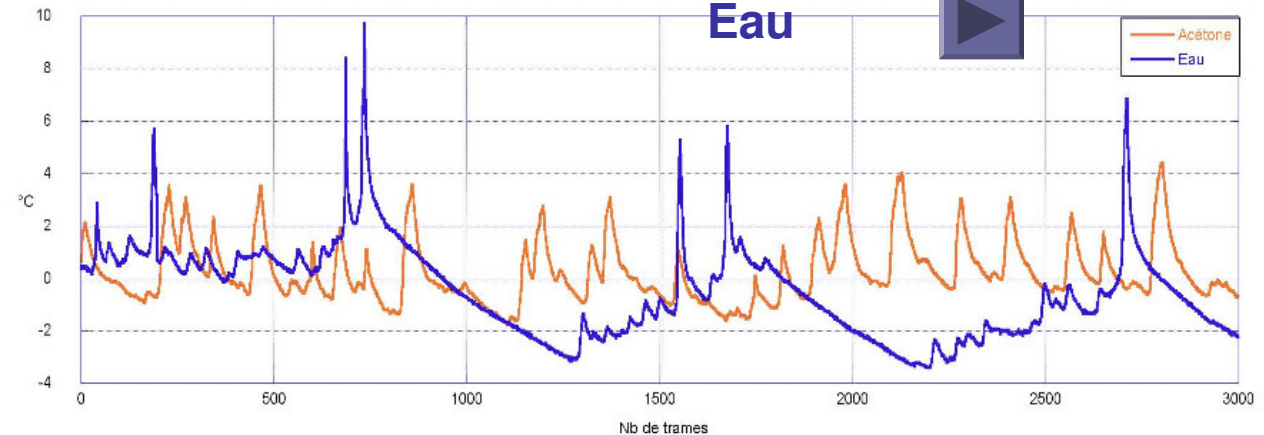
Acétone



Eau



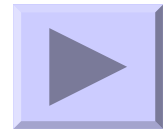
Puissance 250 W



- Différence de comportement / Amplitude des fluctuations de température
 - Acétone : 4 °C
 - Eau : 10 °C
- Vitesse maximale de déplacement des fronts
 - Acétone : 0,1 m/s
 - Eau : 1m/s

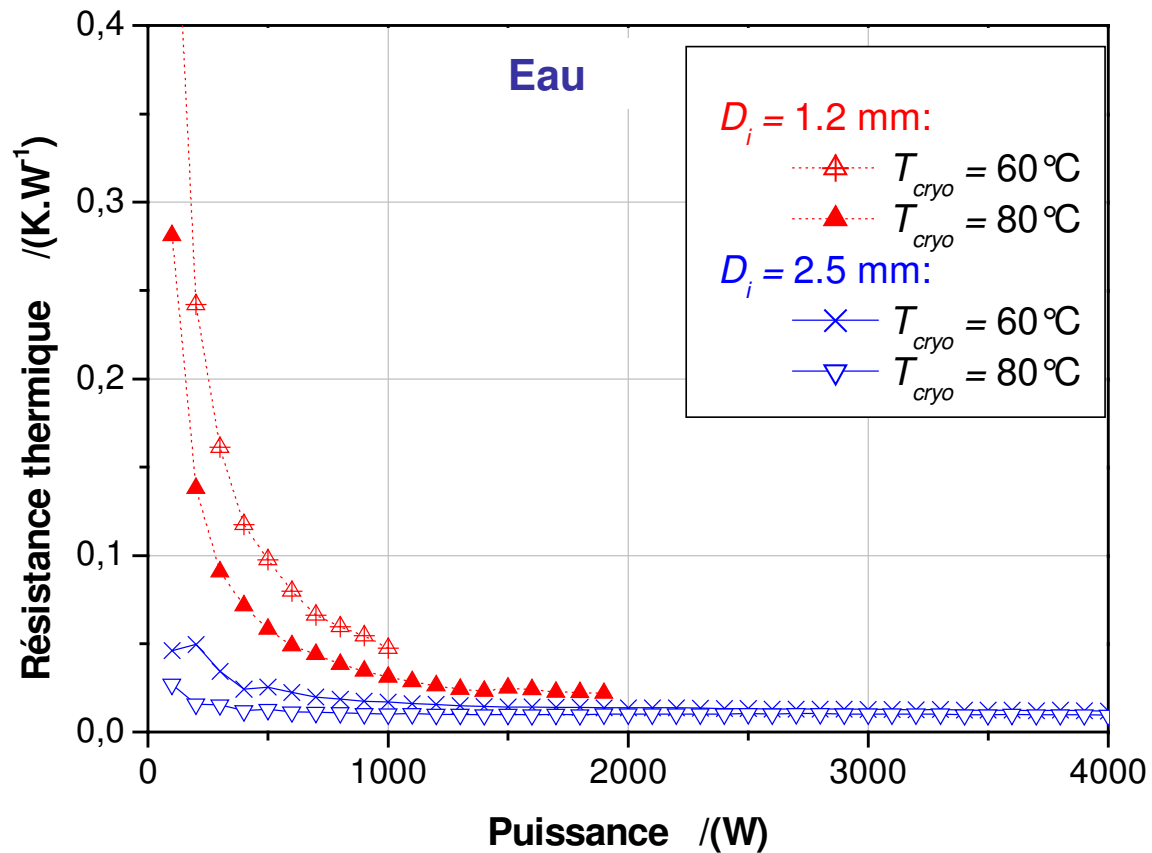
- Mélange eau-pentane :

- Fluide moteur : pentane ? $(dP/dT)_{sat}$ élevé
- Fluide caloporteur : eau ? (ρ_l, cp_l, h_{lv}) élevés
- Vitesse maximale de déplacement des fronts : 3 m/s
- Amplitude de fluctuation de température : 10°C

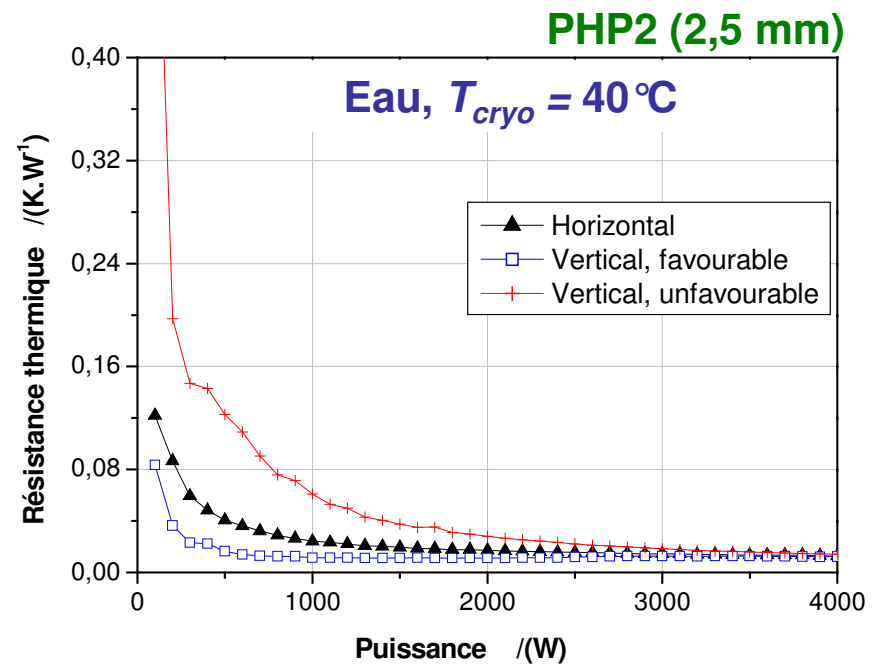
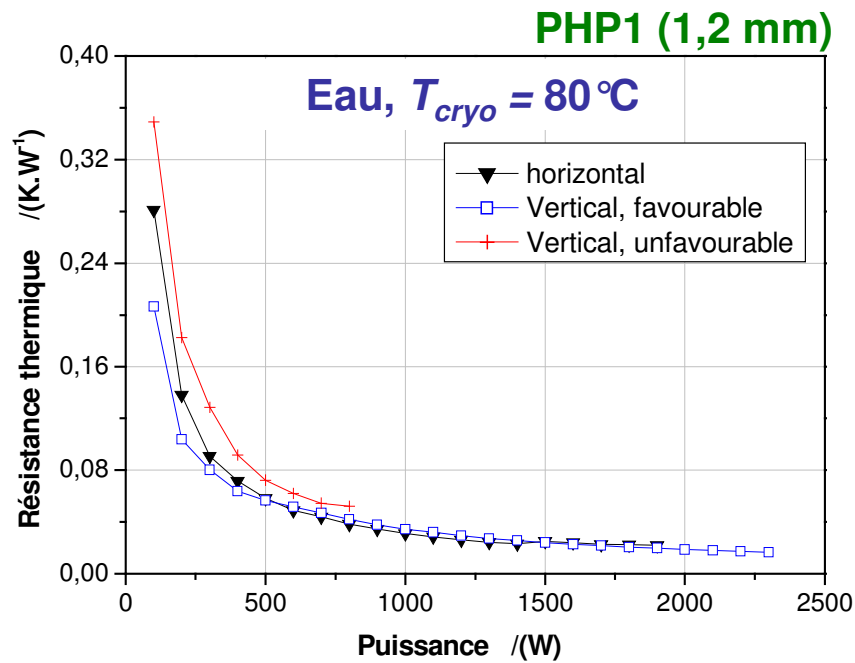


Horizontal

- Influence du diamètre intérieur :

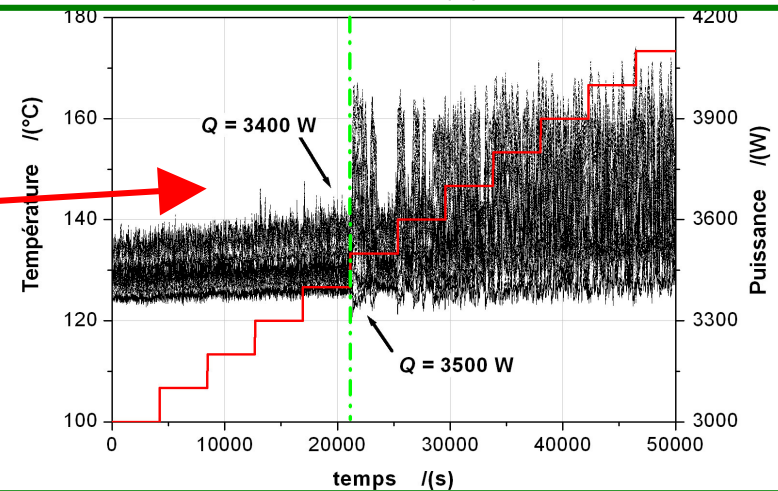
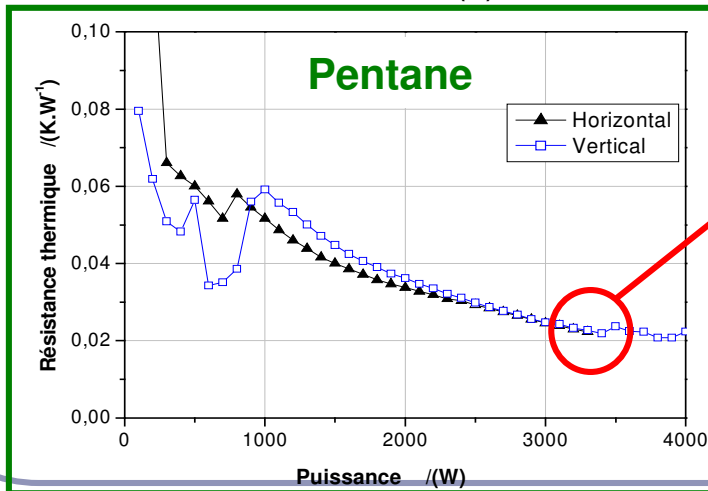
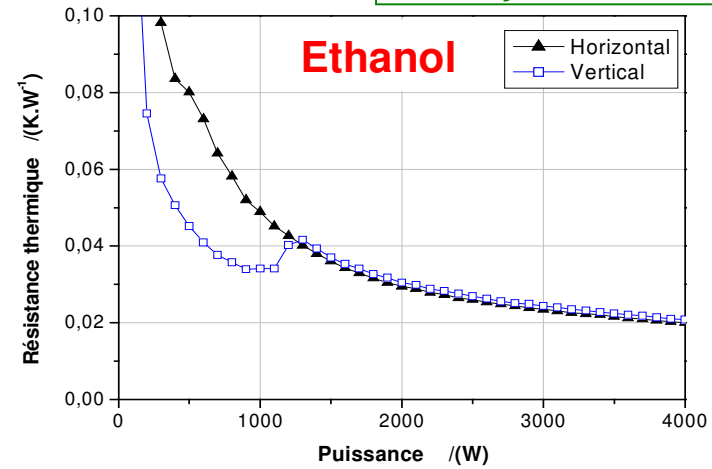
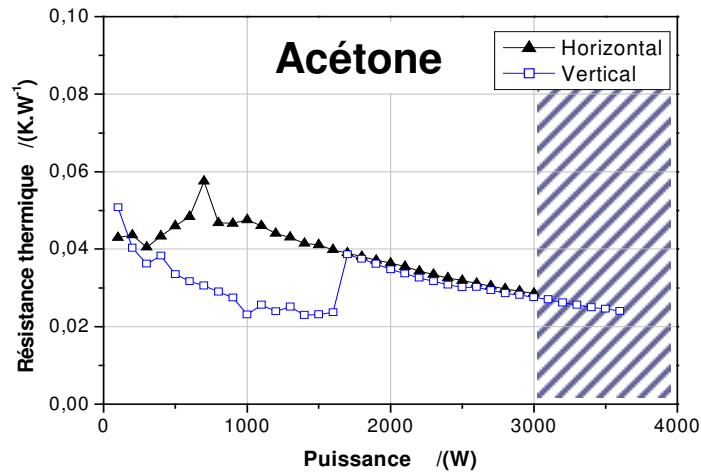


- Influence de la position / gravité :



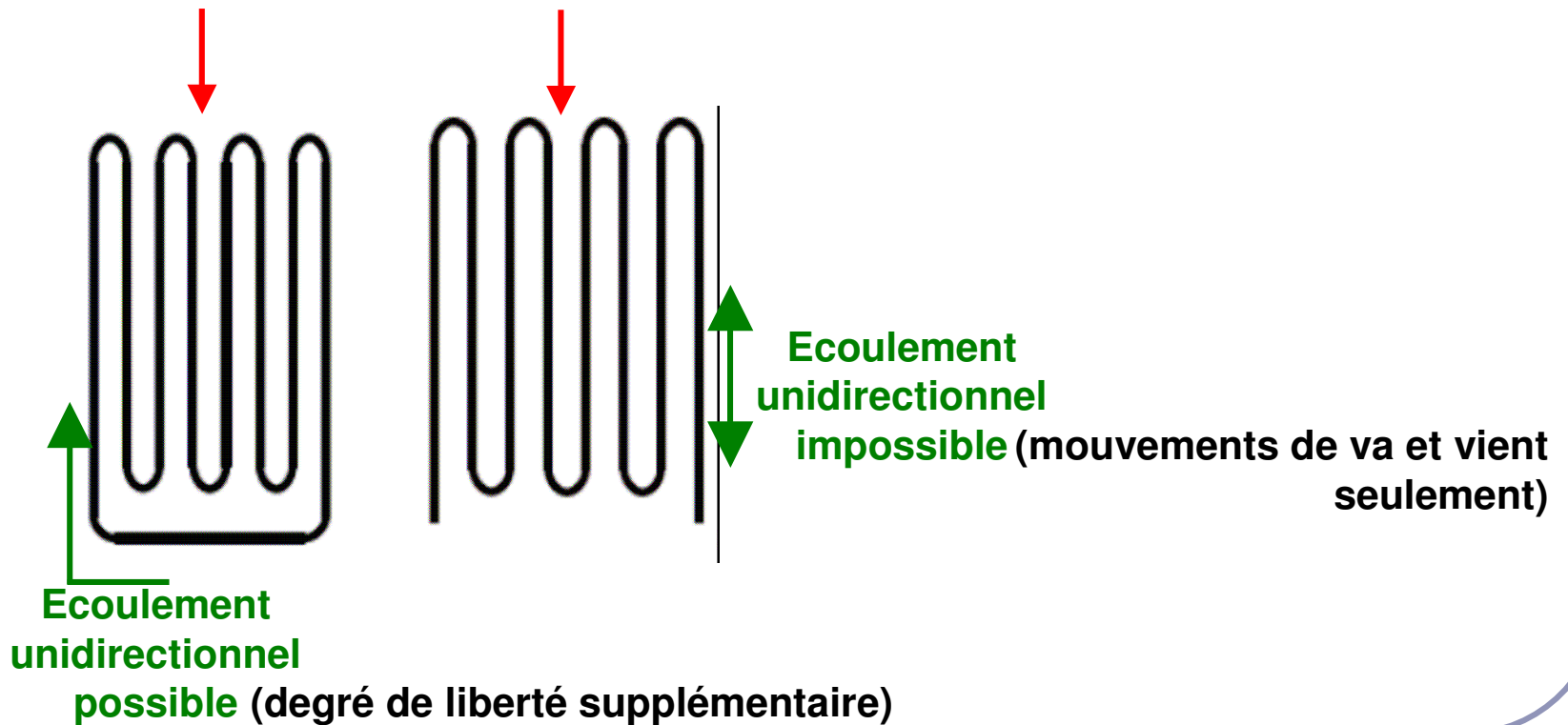
- Influence de la position / gravité :

**PHP2 (2,5 mm),
 $T_{cryo} = 40\text{ °C}$**



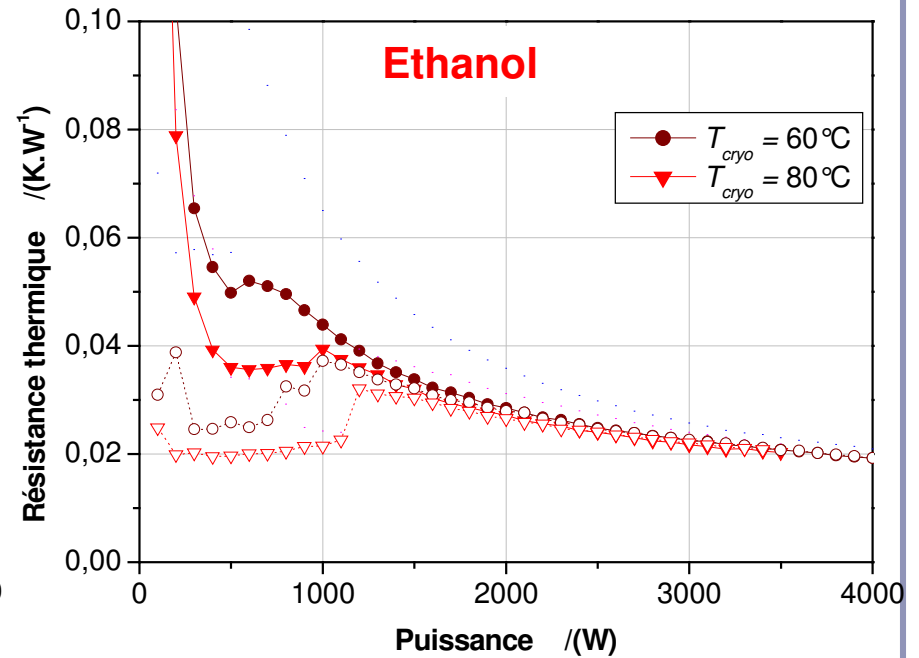
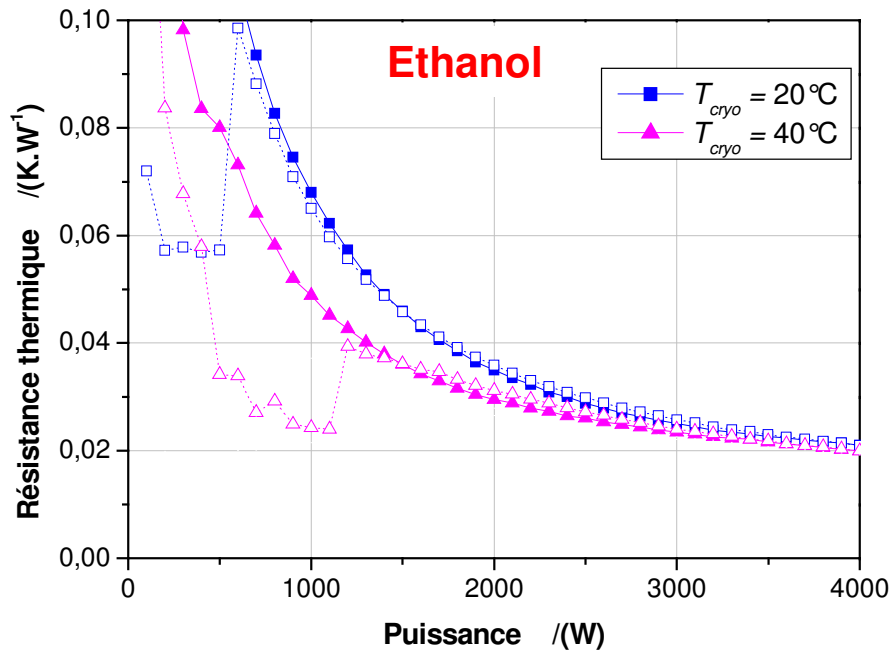
- Influence du bouclage :

- Bouclé ou non bouclé ?



PHP2 (2,5 mm),
horizontal

- Influence du bouclage :



- Performances thermiques intéressantes
R_{th} / R_{cond} → qq 100
- Bouclage favorable à faible puissance
- Influence gravité modérée
- Classement fluide délicat
- Fonctionnement à R_{th} ou T_e-T_c constant
- Fonctionnement à deux fluides
- ...
- À suivre