

Journée SFT 29/03/2018



LE CALODUC OSCILLANT (PHP) : UNE AVENTURE SPATIALE !

Institut Pprime: V. Ayel, C. Romestant, N. Chauris, Y. Bertin, ...
University of Brighton: M. Marengo, N. Miché, L. Pietrasanta, ...
Universita di Pisa: M. Mameli, S. Filippeschi, ...
Politecnico di Milano: L. Araneo, P. Marzorati, ...
Universita di Napoli: A. Cecere, R. Savino, ...



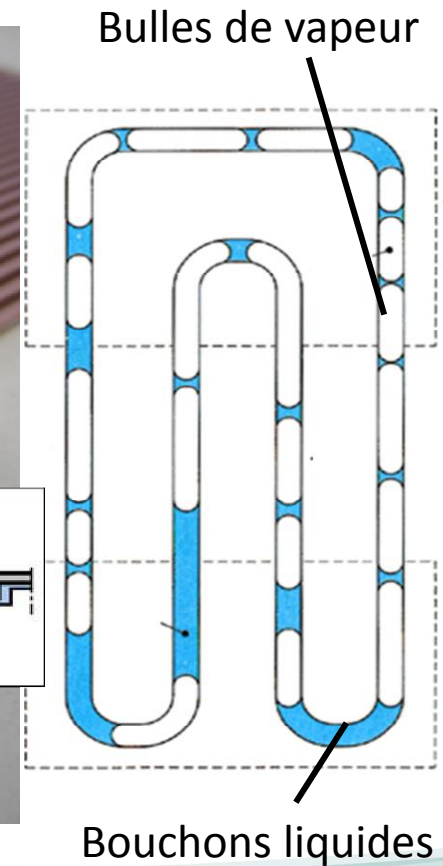
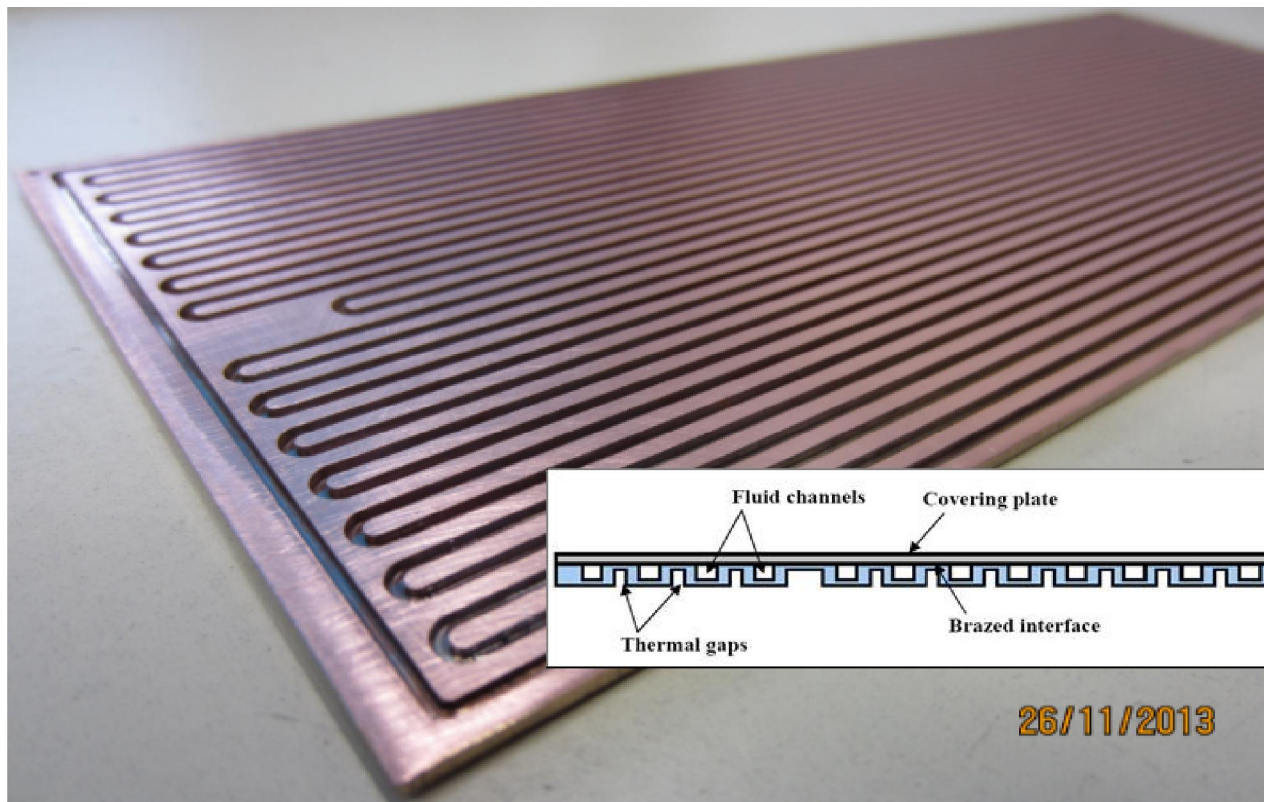
POLITECNICO
DI MILANO



University
of Brighton



- « **I**nnovative **W**ickless Heat **P**ipe Systems for Ground and Space Applications » :
- PHP tubulaires : développés par Univ. Bergame, Univ. Pise, Polytech. Milan (Italie).

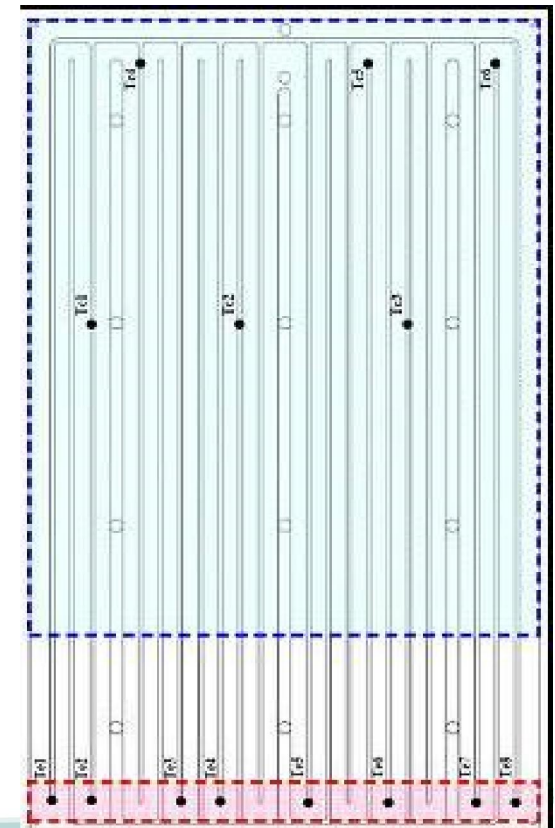
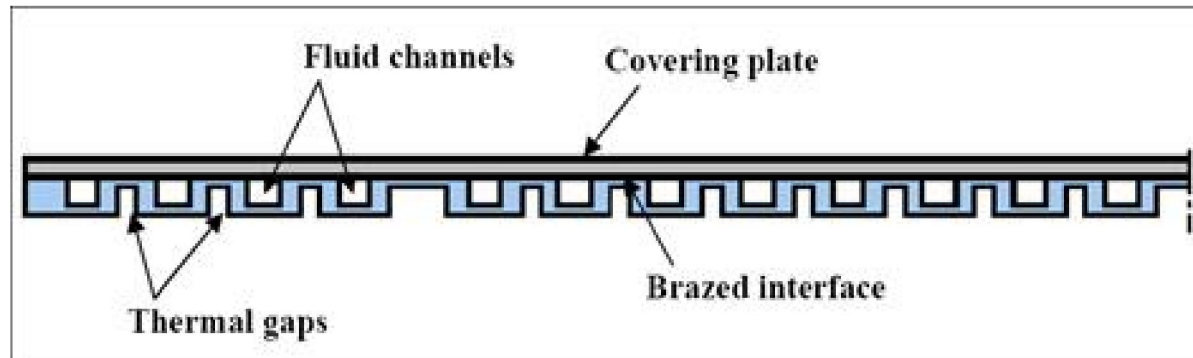


- Réponse thermique d'un FPPHP :
 - ESA PF60 / Avril 14: FPPHP en cuivre (FC72)
- Réponses thermiques et visualisations de FPPHP :
 - ESA PF62 / Juin 15: FPPHP semi-transparent (FC72)
 - ESA PF64 / Avril 16: 6 FPPHP semi-transparentes (FC72)
- Réponses thermiques et visualisations de FPPHP :
 - ESA PF65 / Octobre 16: FPPHP semi-transparent avec fluide remouillant (eau/butanol)
 - ESA PF69 / Avril 18 : 4 FPPHP semi-transparent pour la station ISS (titane/saphire, molybdène/saphire, ethanol/eau/FC72)

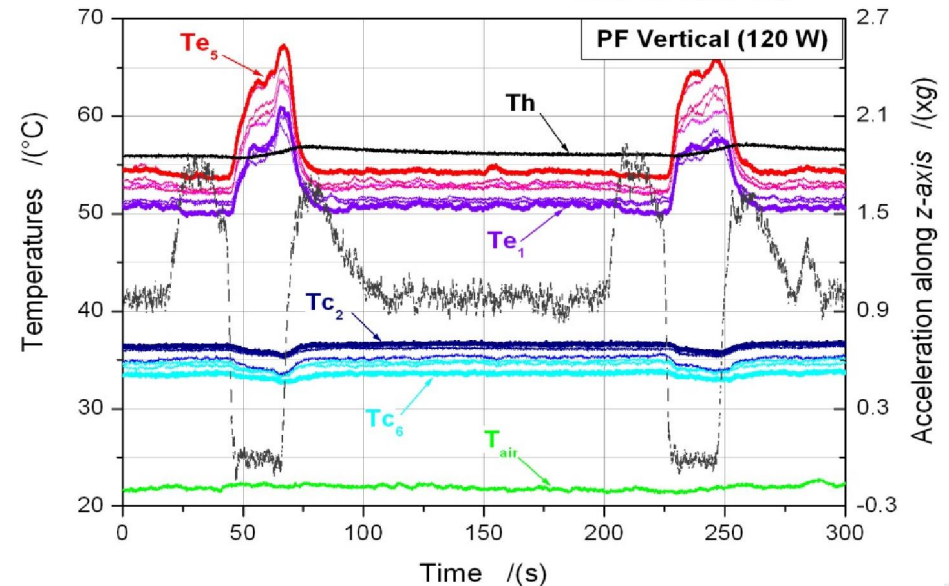
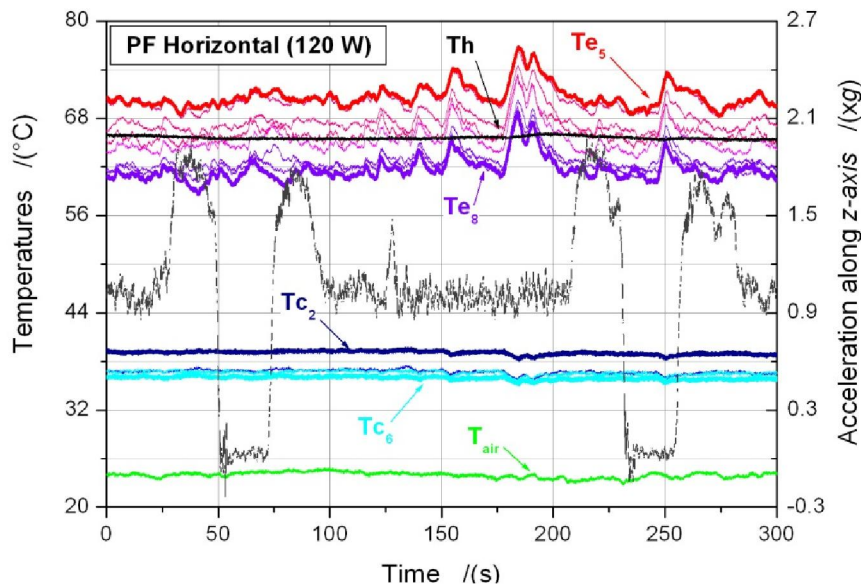
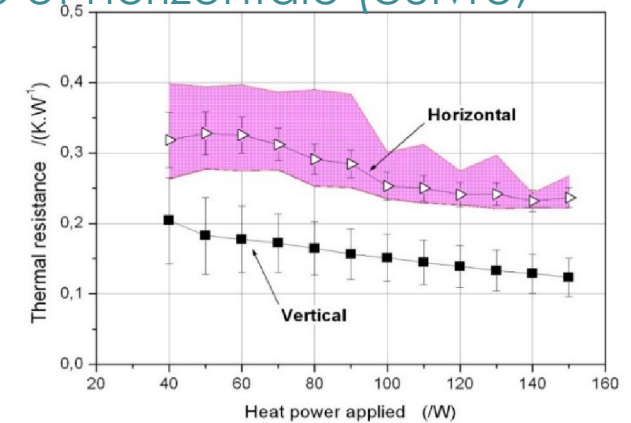
- ESA PF60 / Avril 14: Réponse thermique d'un FP-PHP:
 - FP-PHP testé en orientation verticale favorable et horizontale (cuivre, canaux: 1.6x1.7 mm², N = 12, FC72, TR = 50%)

$$D_{crit}(FC72/20^{\circ}C) \approx 1.66 \text{ mm}$$

$$Bo = [g(\rho_l - \rho_v)D_{crit}^2/\sigma]^{1/2} \leq Bo_{crit}$$

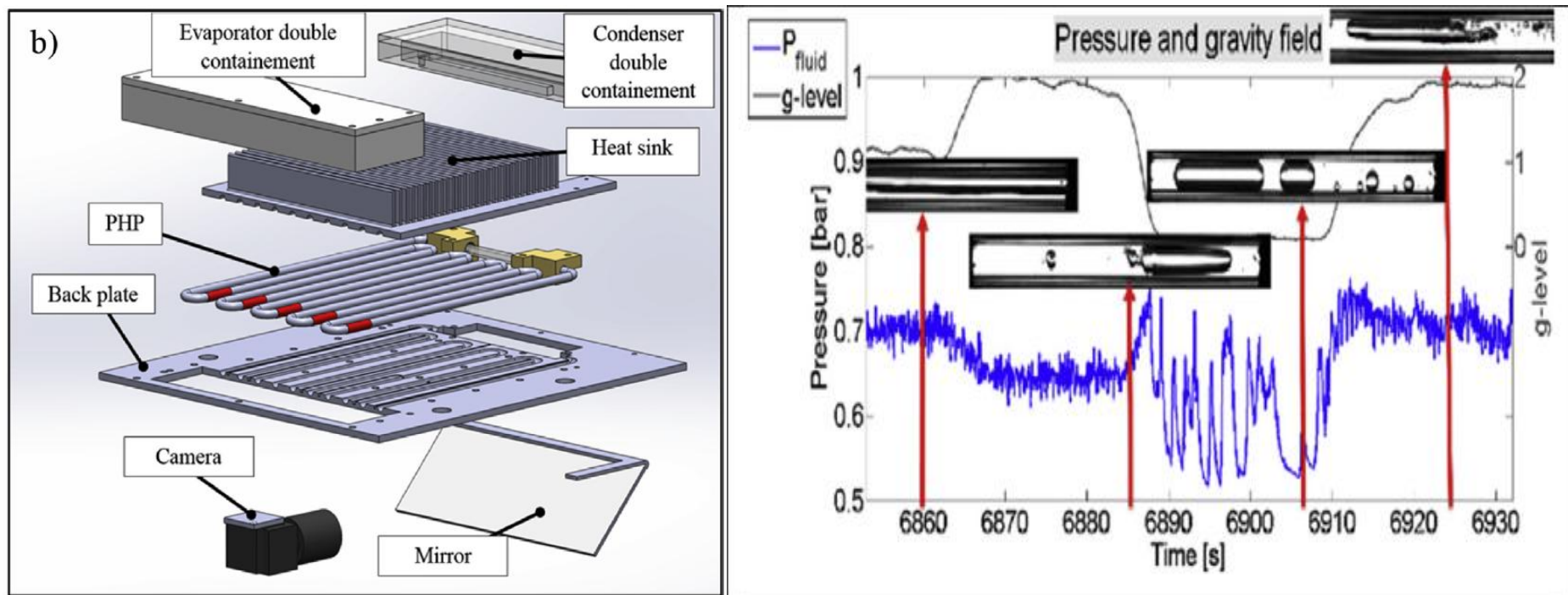


- ESA PF60 / Avril 14: Réponse thermique d'un FP-PHP:
 - FPPHP testé en orientations verticale favorable et horizontale (cuivre, canaux: $1.6 \times 1.7 \text{ mm}^2$, $N = 12$, FC72, $TR = 50\%$)
 - Tests au sol (caractérisation thermique)
 - Tests en vol parabolique



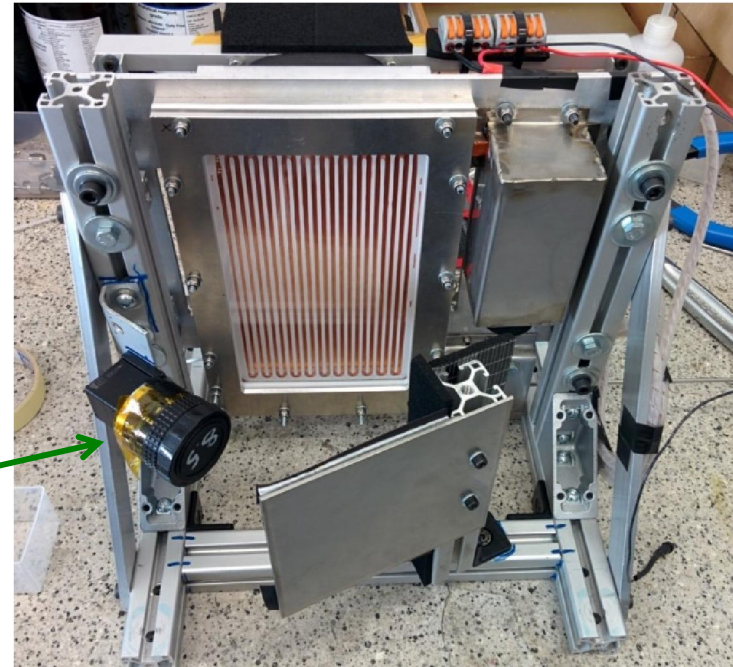
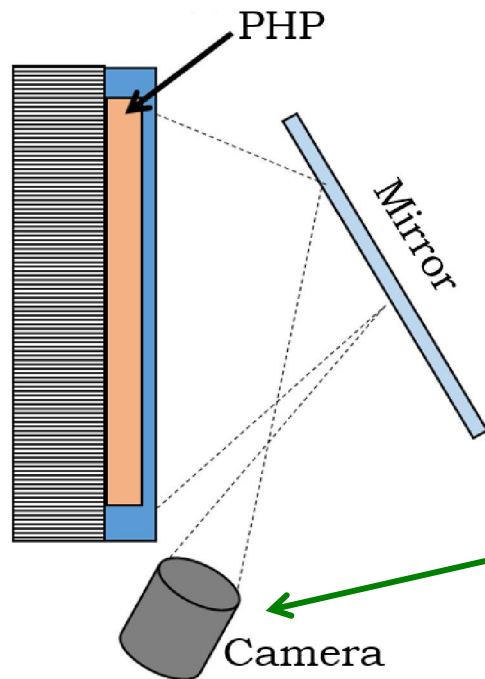
EN MEME TEMPS... (ESA PF61)

- Tests au sol (caractérisation d'un PHP tubulaire):
 - 1 pour Bergame/Pise: PHP testé en orientations verticale favorable et horizontale (aluminium, $D_i = 3$ mm, $N = 5$, FC72)
- Campagne de vol parabolique (ESA PF61):



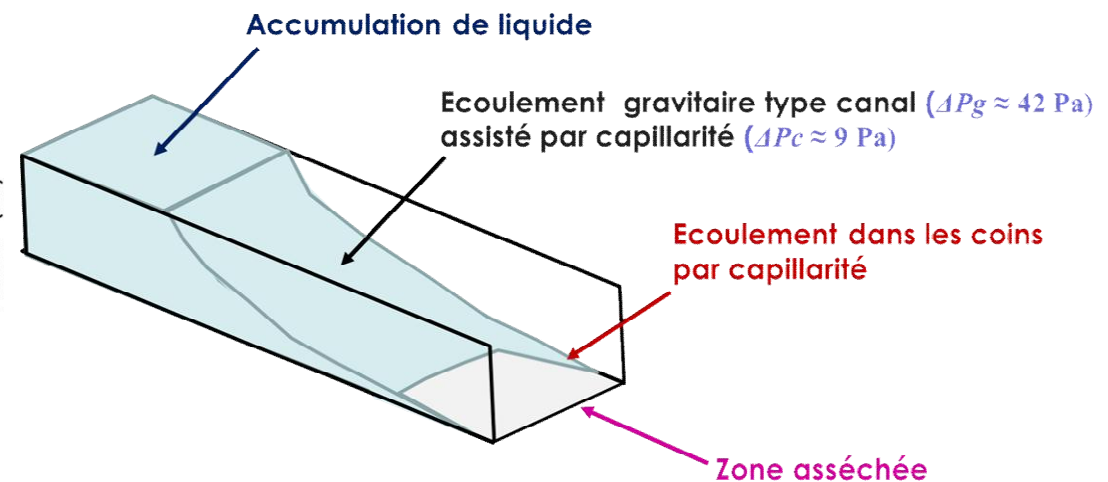
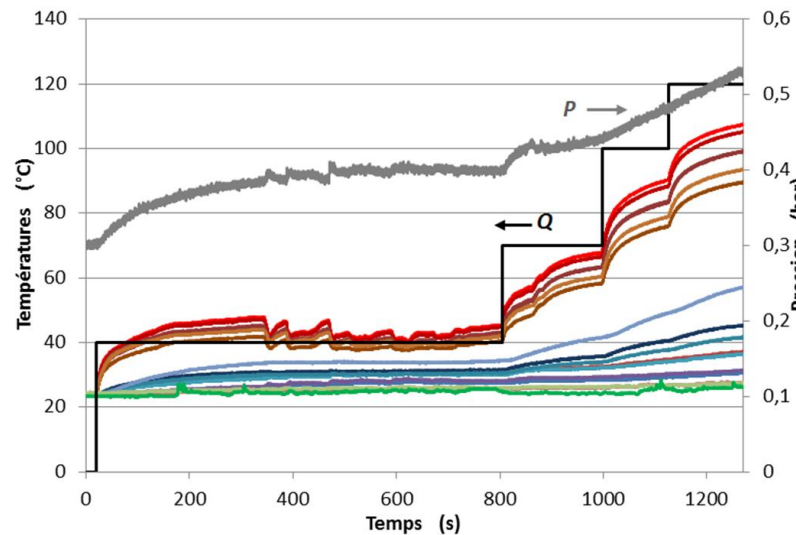
- ESA PF62 / Juin15: **Visualisations d'écoulements** dans un FPPHP:
 - FPPHP semi-transparent vertical (cuivre/borosilicate, canaux: 2.5x2.5 mm², $N = 11$, FC72, $TR = 50\%$)

$D_{crit}(FC72/20^{\circ}C) \approx 1.66 \text{ mm}$



- Tests au sol:
 - Vertical
 - Régime avec ébullition en vase (sur les côtés) et annulaire (au centre)
 - horizontal
 - Ecoulement en canal à surface libre (avec assistance gravitaire et capillaire)

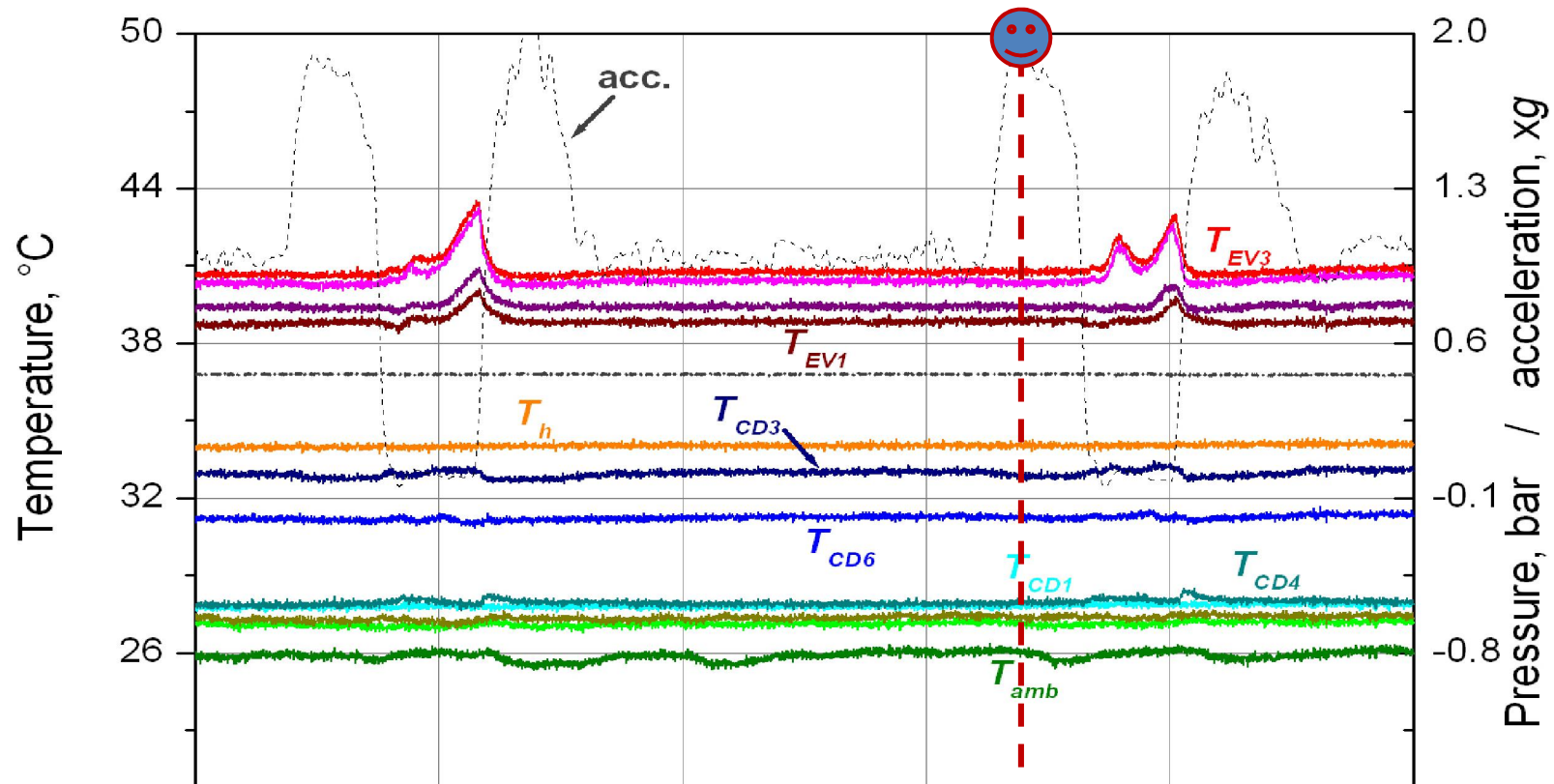
$$D_{crit}(FC72/20^{\circ}C) \approx 1.66 \text{ mm}$$



- Conclusion sur les tests au sol :
 - Diamètre hydraulique > diamètre critique ! => thermosiphons interconnectés



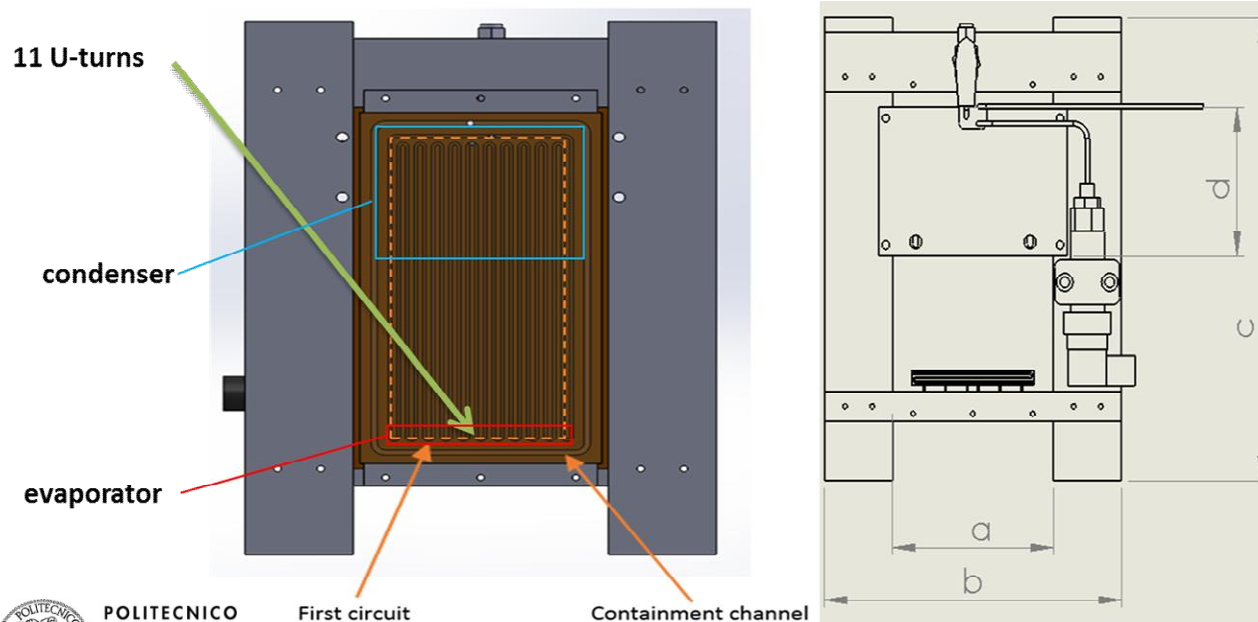
- ESA PF62 / juin 15: visualisations des écoulements dans un FPPHP:
 - $Q = 30 \text{ W}$

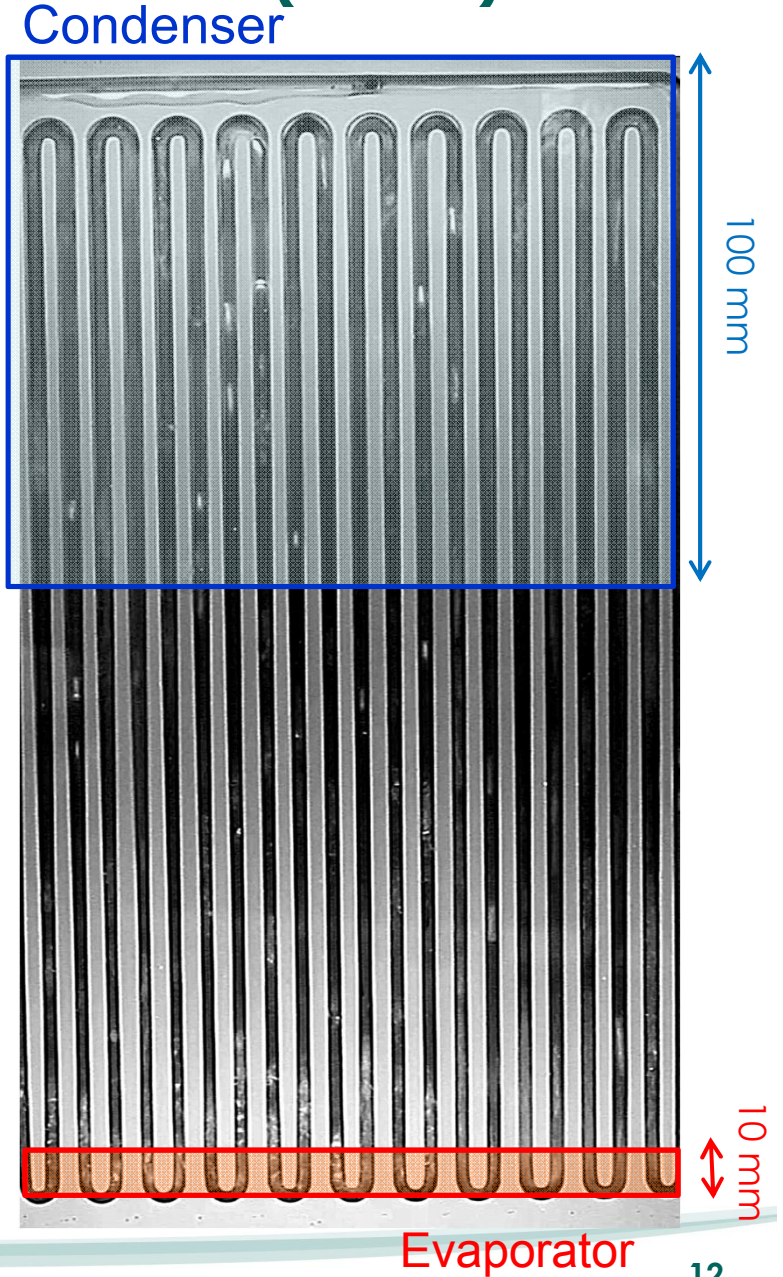
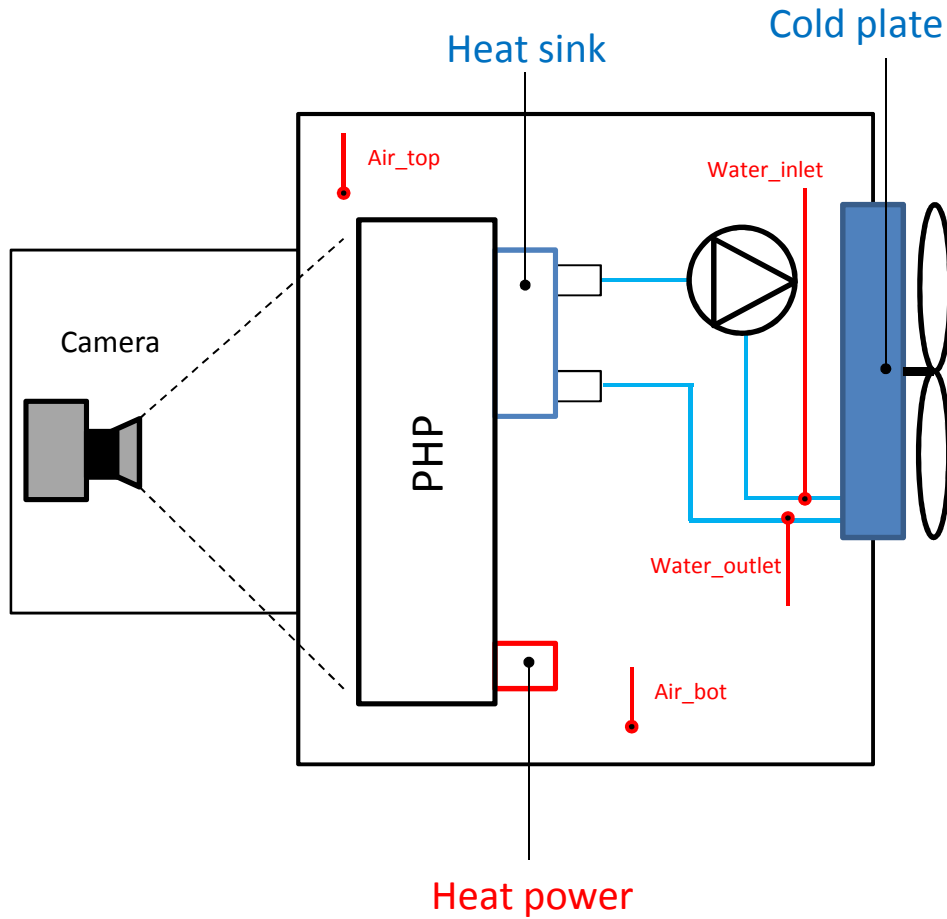


- Transition du régime d'ébullition en vase (1g / 1.8g) au régime bulle-bouchons (μg)
- Tendance à l'assèchement de l'évaporateur avec périodes de redémarrage (instabilités)

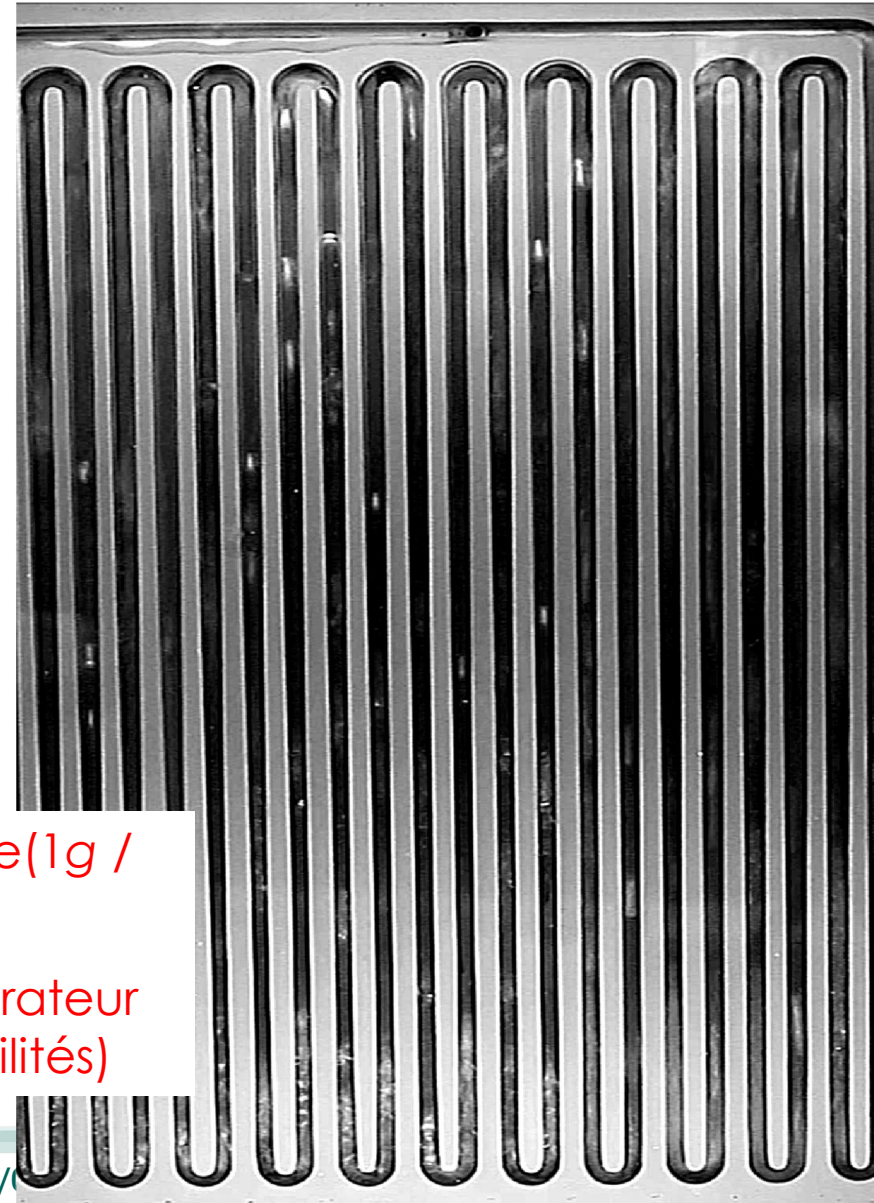
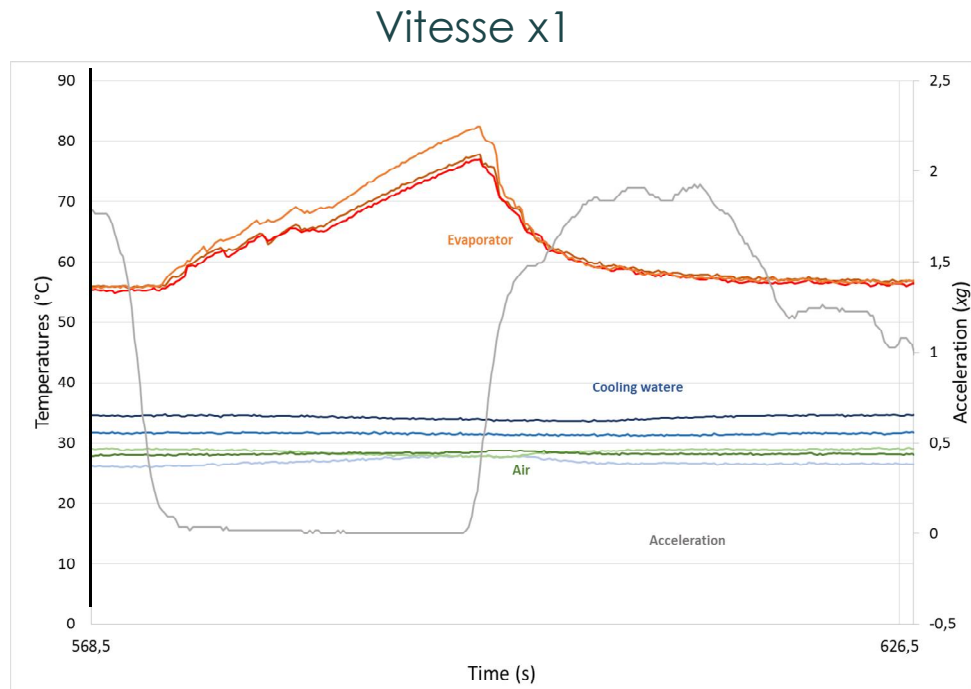
- ESA PF64 / Avril 16: **Visualisations d'écoulements** dans 6 FPPHP:
 - FPPHP semi-transparent vertical (cuivre/borosilicate, $N = 11$, FC72, $TR = 50\%$)

PHP	Width channel (mm)	Condenser length (d)(mm)	Width PHP a (mm)	Width Assembly b (mm)	Length Assembly c (mm)
1	1.5	100	118	218	310
2	2		129	229	
3	3				
4	2.5	50	140	240	
5		100			
6		150			



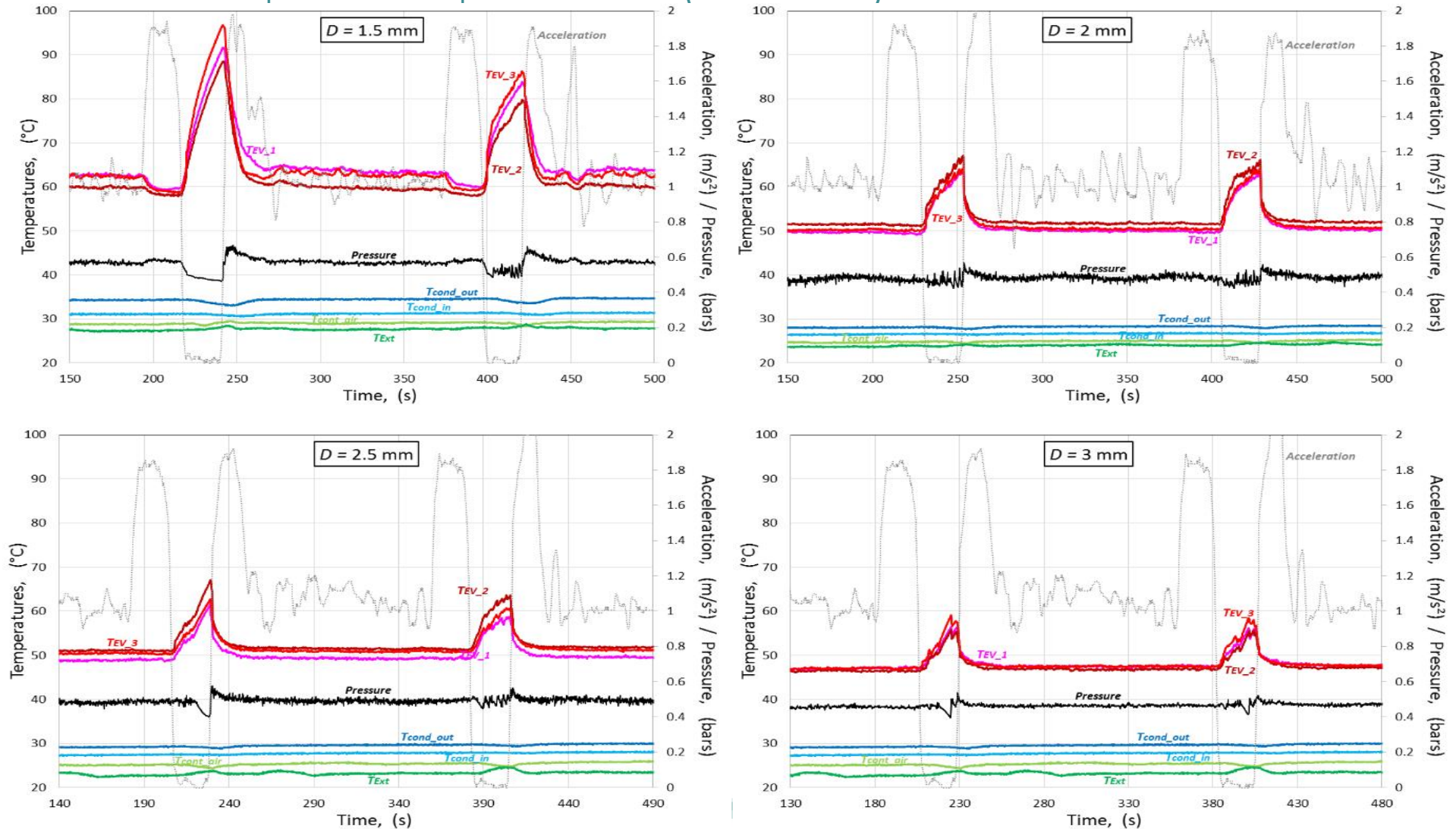


- ESA PF64 / Avril 16: Visualisations d'écoulements dans 6 FPPHP :
 - $D = 3 \text{ mm} / Q = 150 \text{ W}$

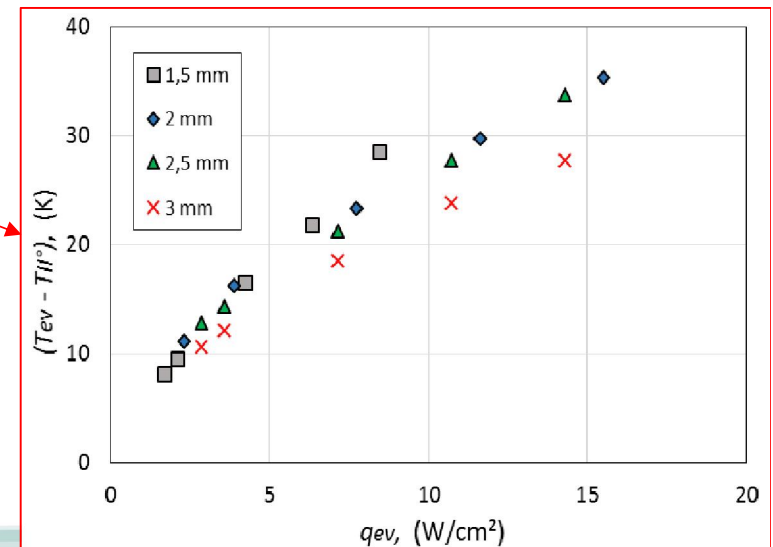
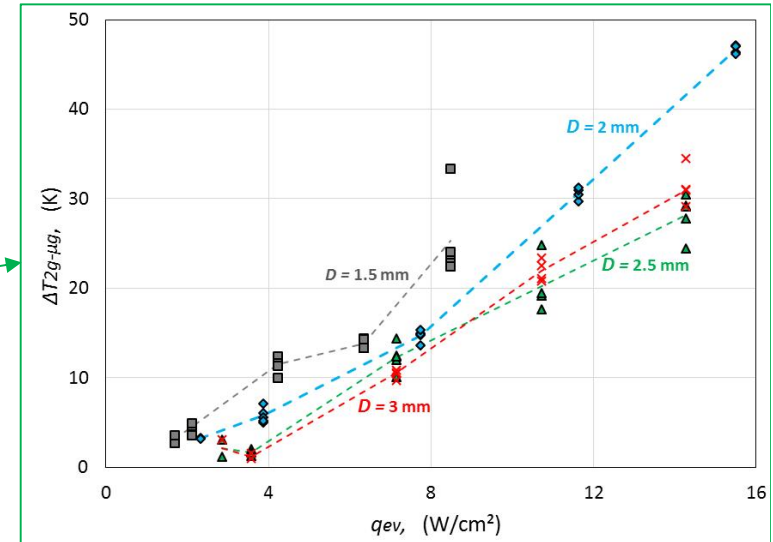
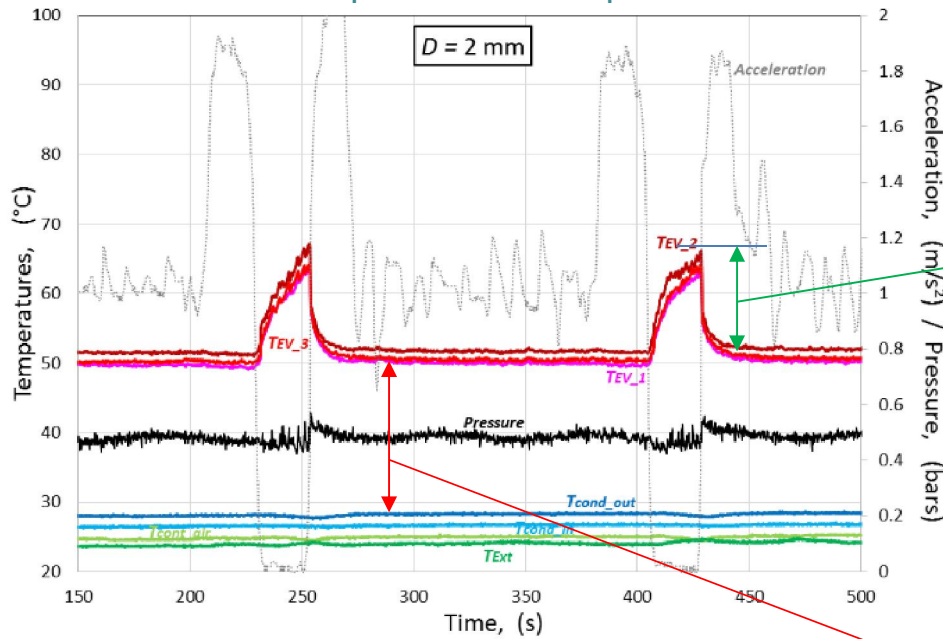


- Transition du régime d'ébullition en vase (1g / 1.8g) au régime bulle-bouchons (μg)
- Tendance à l'assèchement de l'évaporateur avec périodes de redémarrage (instabilités)

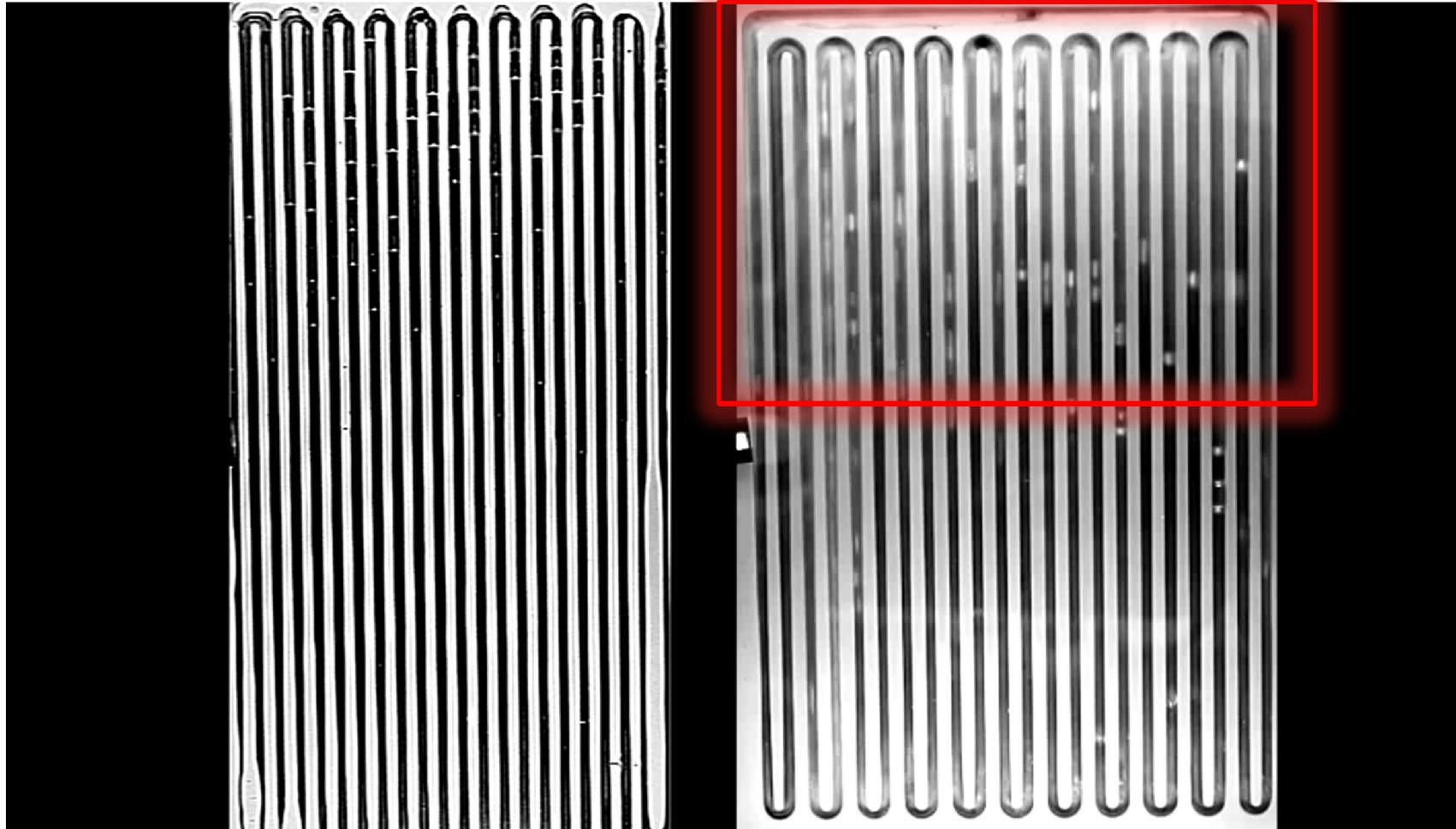
- ESA PF64 / April 16: Visualisations d'écoulements dans 6 FPPHP :
 - Comparaisons quantitatives ($Q = 100 \text{ W}$)



- ESA PF64 / April 16: Visualisations d'écoulements dans 6 FPPHP :
 - Comparaisons quantitatives



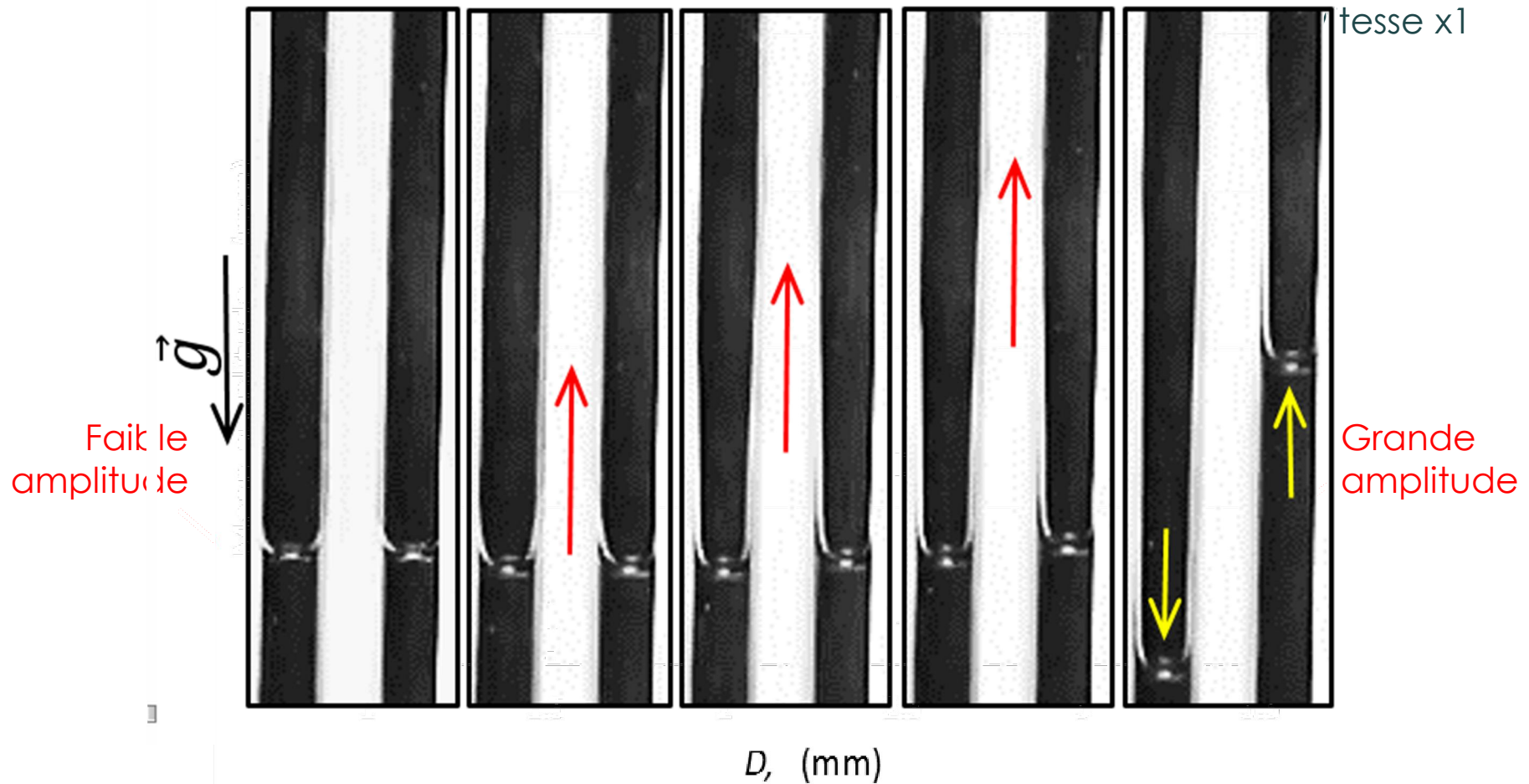
- ESA PF64 / April 16: Visualisations d'écoulements dans 6 FPPHP :
 - Comparaison entre $D = 1.5$ mm and 3 mm ($Q = 100$ W)



- Instabilités provoquées par la migration de bouchons liquides isolés
 - Tests sous microgravité (FC72 / $D = 3 \text{ mm}$ / $Q = 100 \text{ W}$)

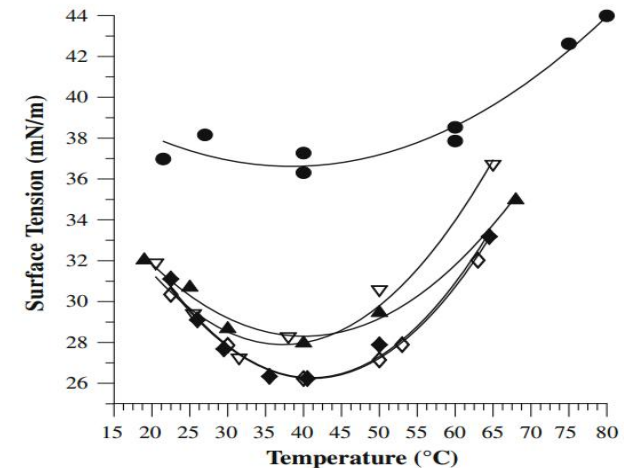


- Instabilités provoquées par la migration de bouchons liquides isolés
 - Tests sous microgravité (FC72 / $D = 3 \text{ mm}$ / $Q = 0 \text{ W}$)



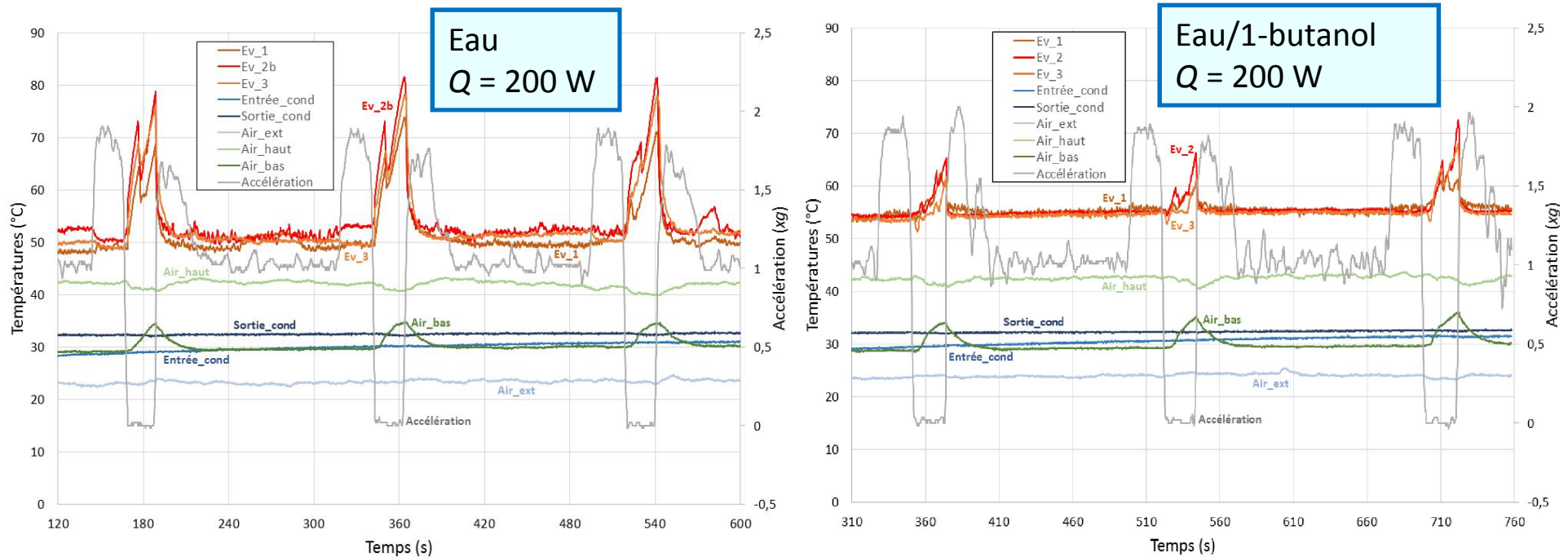
COMMENT FAVORISER L'ÉCOULEMENT DE BOUCHONS LIQUIDES ?

- Grâce à des forces de tension superficielle favorables ?
 - Utilisation de fluide remouillant (ESA PF 65)



- Grâce à des forces externes ?
 - Forces électro-Hydro-Dynamiques(ANR EDYPHICE)

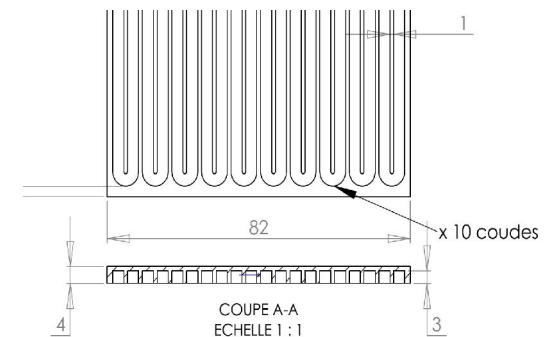
- Visualisation d'un FPPHP avec une **fluide remouillant** (ESA PF65 / Oct. 16):
 - FPPHP Semi-transparent vertical (cuivre/borosilicate, canaux: $3 \times 3 \text{ mm}^2$, $N = 11$, eau/eau-1-butanol mixture, $TR = 50\%$)



➤ La mouillabilité joue un rôle majeur dans les transferts de masse en régime bulle/bouchon (microgravité) !

- ESA PF (Avril 18): Space FPPHP pour l'ISS ?
 - Couplage visualisations visible/infrarouge => fenêtre Sapphire
=> géométrie 1D monocouche

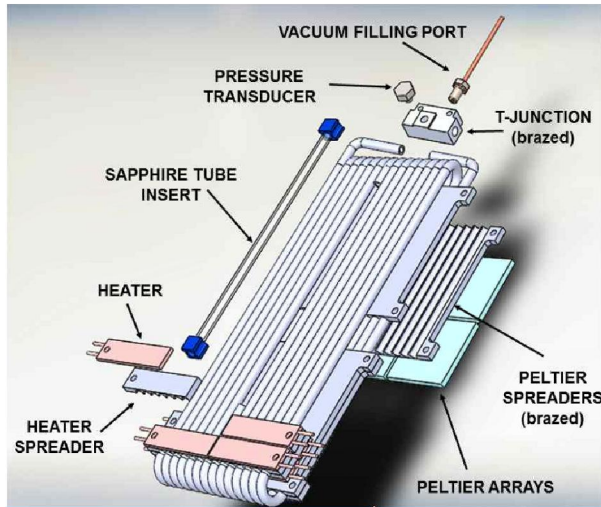
- Colle époxy (parfaitement étanche mais rigide)
- Plaque métallique avec coefficient de dilatation identique
 - Titane, molybdène,...



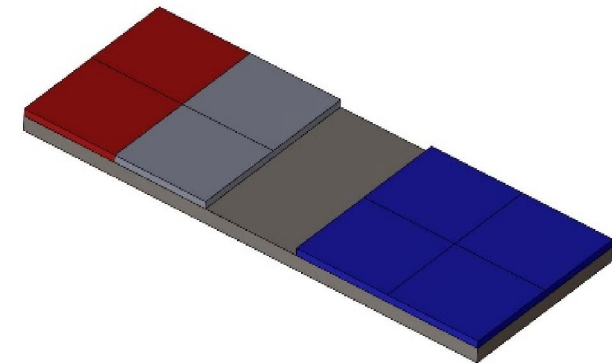
	Titane	Molybdène	Cuivre	Aluminium	Sapphire
Exp. Coeff (*10 ⁻⁶ K ⁻¹)	8.6	4.9	17	23	6.7 (par.) 5 (perp.)
λ (W/mK)	20	138	390	200	40
ρ (kg/m ³)	4500	10220	8900	2700	3980
C _p (J/kgK)	520	250	385	897	180-760 ??

- Fluides ?
 - Ethanol (IR), eau, FC72...

Tube-PHP pour ISS



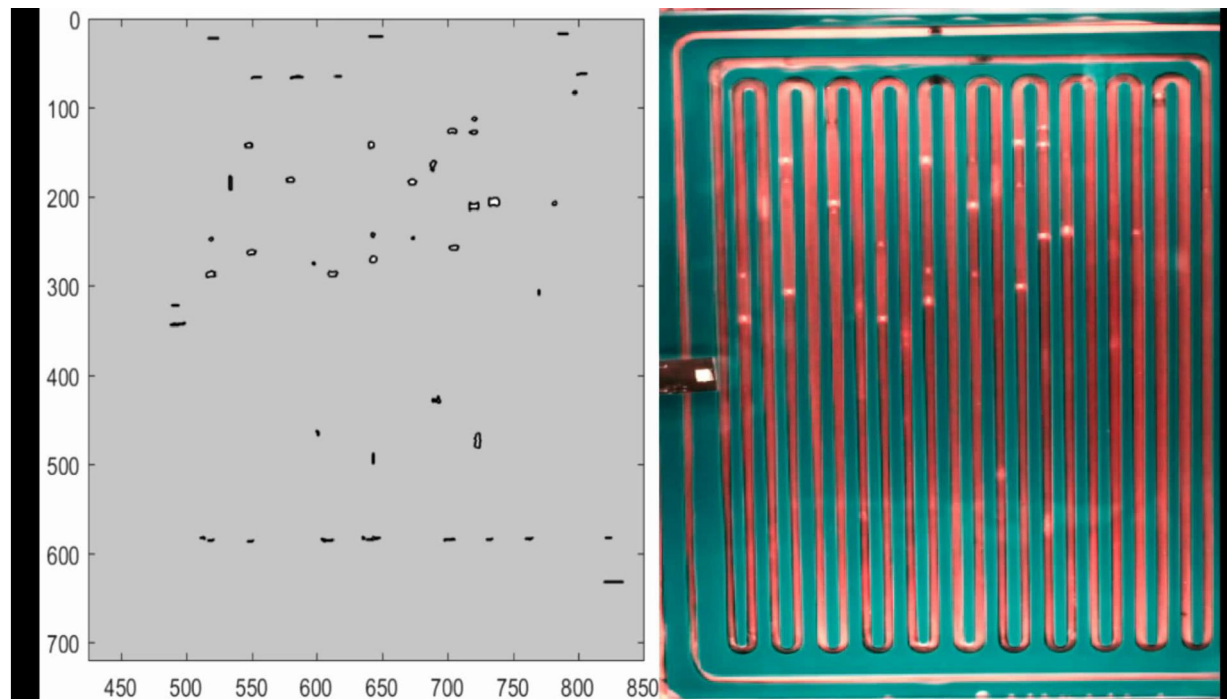
FPPHP pour ISS



POLITECNICO DI MILANO

VERS UN NOUVEAU MAP ESA ?

- Instabilities in PHPs from isolated liquid plug motions
 - Towards a video post-processing...



DISPOSITIF EXPERIMENTAL (VP62)

- Caloduc oscillant plat (FP-PHP) semi-transparent :



Condenseur

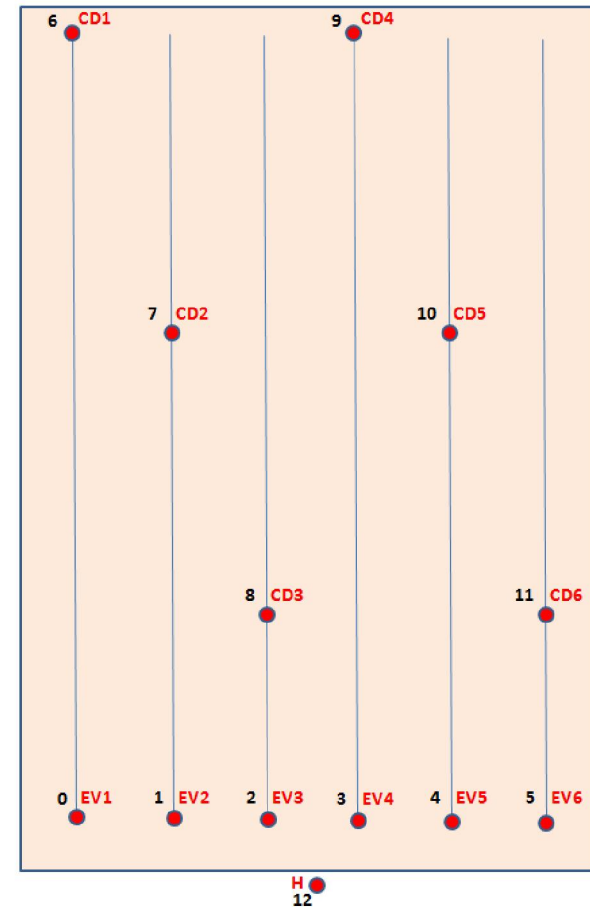
Evaporateur

- Dimensions extérieures : 204 mm X 124 mm
- Nombre de coudes : 11
- Dimensions canaux : 2,5 mm X 2,5 mm
- Fluide de travail : FC72
- Diamètre critique à 20° C : 1,66 mm
- Volume intérieur total : 26,65 cm³
- Taux de remplissage : ~ 50%

- FP-PHP en cuivre usiné : 2,5 mm d'épaisseur
- Verre Borosilicate : 5 mm d'épaisseur
- Colle Silicon : NUSIL_CV7-2289-1P

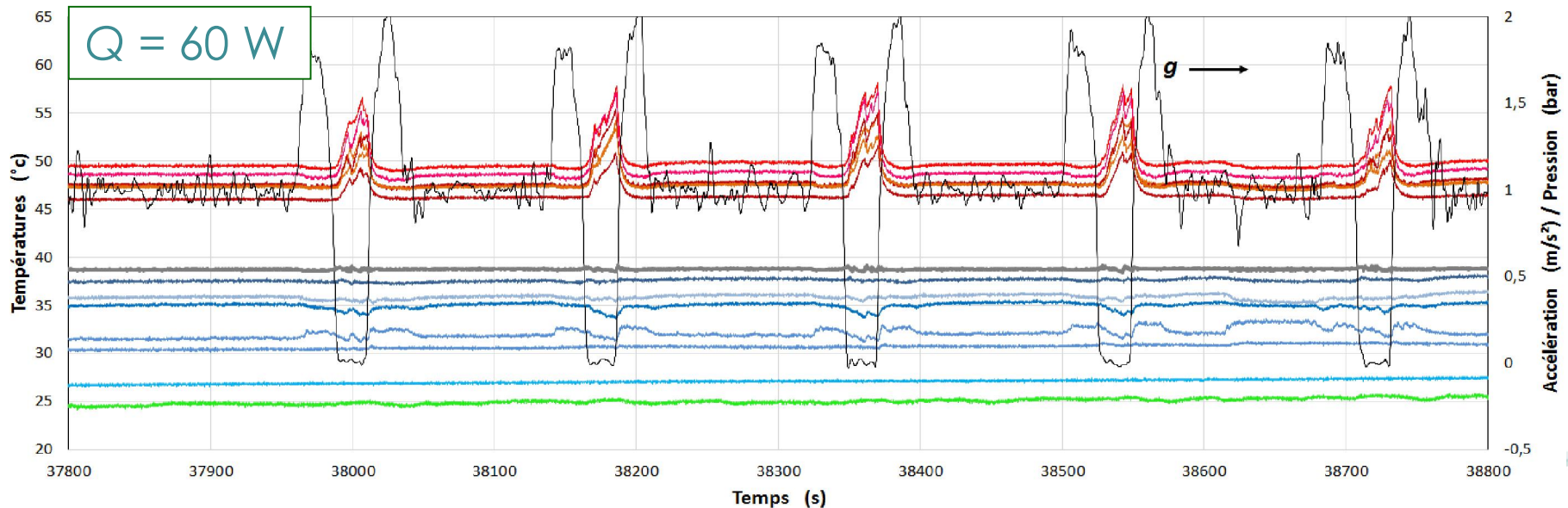
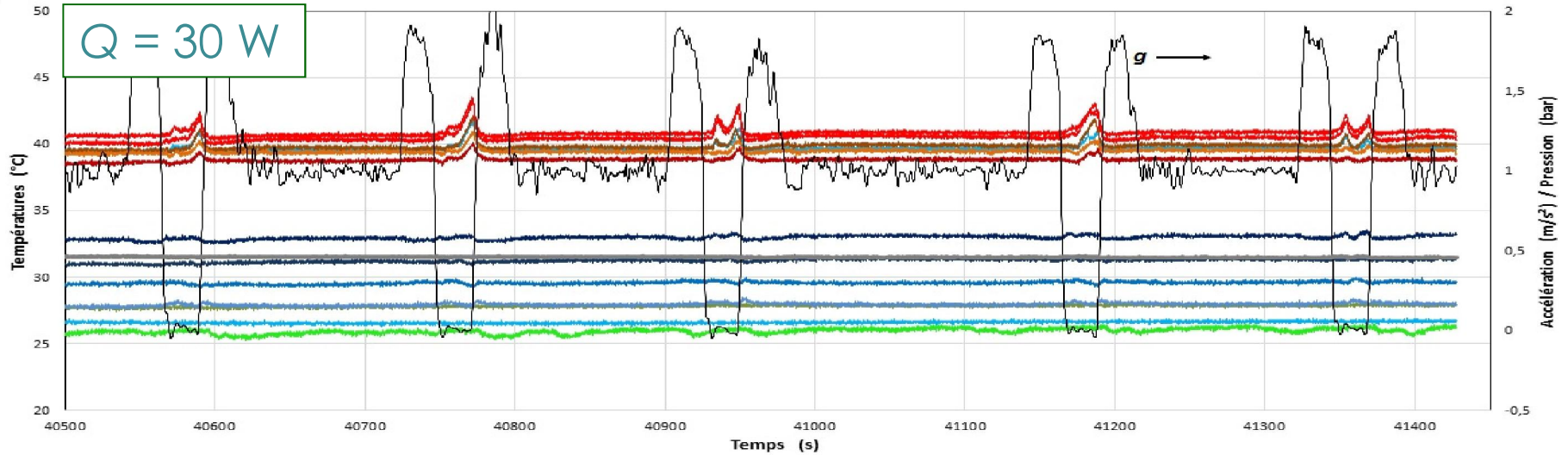
- Réchauffeur : Thermocoax 3,8 Ω
- Source froide : Radiateur aluminium
+ 2 ventilateurs / microprocesseur

- Instrumentation :
 - 16 TC type T
 - 1 capteur de pression
(GE PTX5076-TA-A3-CA-H0-PS, 5 bars absolute)



RESULTATS EXPERIMENTAUX

- Campagne de vols paraboliques :



- Campagne de vols paraboliques :

