



**Addendum aux actes du colloque 2021  
du GDR CNRS MFA 2799**





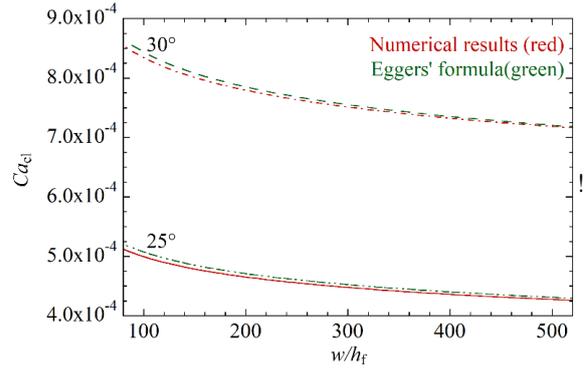
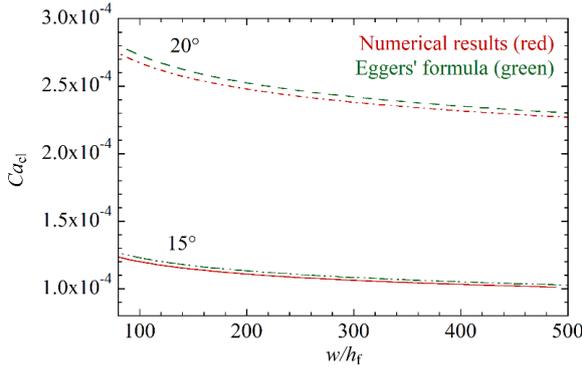








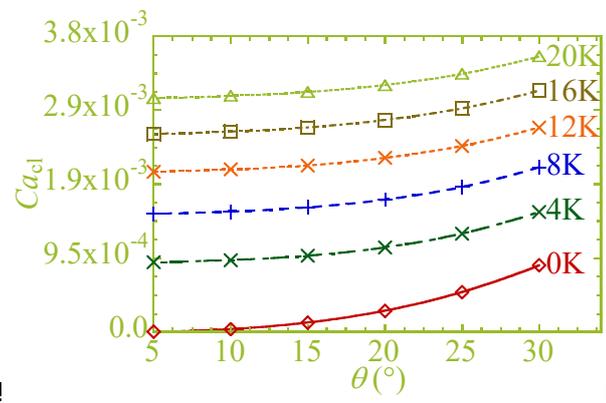
! "### \$%&' ( ) )%#\*'+, -. / ( '0122'3'40'5%'46'7"8&9: ;&'040<'3! 5; ;=>?&>- ""%&@



"#\$%?!L, +7/4/#, 8!) (18, 34\*3-9/93!7, -4!. (1B/3!3/83!\*5/7, 4/9#, 8!(9!./E, 4+-.(1/3=+79, 9MM- (!) (N8, (#(4!P!Q\$\$ (43! 0: <=3%> (5%Q! ?&@! 7, -4!. (3!/8\$. (3!) (1B, 89/B9!) #E\*4 (893% (18, +24(1B/7#. /#4 (! (39! 74\*3 (89\*! (8!E, 8B9#, 8!) -! 4/77, 49!) (!./!./4\$ (-4! "!) -!2, -44.(9!) (!)\*+, -#./\$(! (9!.D\*7/#33(-4#!!) -!E#. +%#

7" @; &'': T&H@G' &A@H&D& ) \* ) \* #B@% \* C& ; #R&GG&@ \* & #B85D" ; 5@(" ) Q' 7" %A' 58" ) A' AC9% #B'H&H5A' &@@" %8B' #5'8C@AA&' \* & \* B9" %C##5J&'& ) 'G" ) H@(" ) \* & #5) J#&' \* & 'H" ) @5H@&@#5'A%; GHE5%GG&! # \* & #5'D5; "Q'"

?&' \* B9" %C##5J&' AR5HHB#F; &'58&H' #5'A%; HE5%GG&' / CJO' [N' 'H5%A&' \* & \* %&\_ '&GG&@A' DE=AC\$%&AQ', R5: " ; \*K' C#AR5JC@ \* & #5) J#&' \* & 'H" ) @5H@5DD5; & ) @ \$%C' 5%J9& ) @&' 58&H' #5'A%; HE5%GG&Q' ! R&A@#5) J#&' \* & 'H" ) @5H@5DD5; & ) @ \$%C' \* BGC) ( @#5'8C@AA&'K' &@ " ) 'D5A' #5) J#&' 9CH; " AH" DC\$%&Q' ! " 99&' #5'8C@AA&' 5%J9& ) @&' 58&H' #5) J#&' K' H' #5' 9F) &' ' #5'H; " CAA5) H&' 58&H' #5'A%; HE5%GG&Q' ?&' \* & \* %&\_ CF9&' &GG&@A@#5'D& ; @&' \* & #5' 95@F; &' #C\$%C' \* &' ' #5' #CJ) &' @ CD#&' ' 'H5%A&' \* & #B85D" ; 5@(" ) (C) @& ) A&Q' 7" @; &'': T&H@G' &A@H&D& ) \* & #5; 5H@B; CA& ; H&' DEB) " 9F) &' D" %; 'B#5: " ; & ; %' 9" \* F#&' ) C8& ; A&# \$%C'D" %; ; 5'AR% @CA& ; 'D" %; ' #5' 9" \* B#A5@(" ) \* & #5' #5' %H' " AH#5) @'"



!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

"#\$%R! /!5#9(33(!) (!)\*+, -#./\$(! (8!E, 8B9#, 8!) (!.D/8\$. (!) (1B, 89/B9!(9!./!5/ (-4!) (!./!3-4EB</-EE(!" \$!) (!./!7/4, # 7, -4!. (1B/3!) (17 (89/8 (S!&@&T: /%!

! "\$ "\$ "% & " ' ( ) \* )+(

! "# \$%&' ( ) \* +, # . "# / "# Physical principles and state-of-the-art of modeling of the pulsating heat pipe: A review-#011("#23+45 "#678"-#9: 9!#, ' ("#! ; <#! !=!!! "# 9# 0>+ ) -# ? "# ? ) 5+(%# ? "# \$%&' ( ) \* +, # . "# @#A%11+BC3%# / "# Experimental validation of a pulsating heat pipe transient model during the start-up in micro-gravity environment-#D4' C" #E' %7F#9: F3#67F" #H+ ) F#D#1+# I ' 7J" # 7K# ! LF3#67F" #H+ ) F#D#1+# / \* 5 1"-#M+(+7KN3%&-#OPBB%) -#2021"# Q# R3) 78-#S" @# \$%&' ( ) \* +, # . "# / "# Liquid film dynamics during meniscus oscillation-#D4' C" #E' %7F#9: F3#67F" #H+ ) F#D#1+# I ' 7J" # 7K# ! LF3#67F" #H+ ) F#D#1+# / \* 5 1"-#M+(+7KN3%&-#OPBB%) -#9: 9! "# L# R3) 78-#S" @# \$%&' ( ) \* +, # . "# / "# Liquid film dynamics with immobile contact line during meniscus oscillation-#E" #A(P)K# ?+C3"-#9: 9! #, ' ("# ; 9Q-#OL"# <# \$%&' ( ) \* +, # . "# / "# #A' P4C) K+ #A' \$ "# A model of stable functioning of the single branch pulsating heat pipe-#D4' C" #E' %7F#9: F3#67F" #H+ ) F#D#1+# I ' 7J" # 7K# ! LF3#67F" #H+ ) F#D#1+# / \* 5 1"-#M+(+7KN3%&-#OPBB%) -#2021"# #

## Expérience de Référence et Analyse Multi échelle de l'Ébullition Nucléée : ERAMEN

Lounès Tadrist<sup>1</sup>, Fedor Ronshin<sup>1,2</sup>, Maxime Chinaud<sup>1</sup>, Oleg Kabov<sup>2</sup>, Irina Martin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Aix-Marseille Université – IUSTI UMR 7343 – Marseille, France

<sup>2</sup> Kutateladze Institute of Thermophysics, 630090 Novosibirsk, Russia

Le projet Eramen vise à une meilleure compréhension des phénomènes mis en jeu lors de l'ébullition en vase. La démarche proposée consiste à réaliser des expériences pour accéder aux différentes échelles qui conditionnent les phénomènes physiques mis en jeu. Les résultats expérimentaux obtenus permettront de développer une analyse théorique pour prédire les lois de transferts de chaleur prenant en compte le niveau de gravité. En l'état actuel des connaissances, il n'existe pas de relation capable de prédire les transferts de chaleur en ébullition nucléée selon le niveau de gravité [1].

Un dispositif expérimental pour l'étude de l'ébullition multi-bulles est au stade du dimensionnement. Il s'appuie sur l'expérience acquise des travaux antérieurs [2][3]. En parallèle à ces travaux expérimentaux nous avons exploité les résultats expérimentaux de RUBI [4][5]. Ils portent sur l'ébullition sur site isolé.

Dans ce résumé, nous allons présenter Les travaux réalisés au cours de l'année 2020-2021.

### Travaux réalisés

Ebullition sur site isolé : Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du projet RUBI en collaboration avec l'équipe scientifique du projet [4]. L'expérience RUBI a été créée pour étudier le processus d'ébullition sous sa forme la plus élémentaire, site unique (absence d'interaction entre bulles) dans trois situations distinctes : nucléation-croissance d'une bulle de vapeur dans un liquide pur dans des conditions bien contrôlées (absence de convection thermo-gravitationnelle à grande échelle). L'expérience RUBI intègre l'ébullition nucléée, l'ébullition convective forcée et l'ébullition en présence d'un champ électrique. Ces trois situations sont étudiées par différentes équipes de recherche européennes associées à ce projet de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) [5][6]

Pour ce qui nous concerne nous nous intéressons à l'ébullition nucléée. Il s'agit d'étudier la relation entre la dynamique macroscopique d'une bulle (nucléation, croissance, détachement) en combinaison avec les phénomènes microscopiques dans les films minces et les microcouches liquides sous les bulles. Pour cela nous avons développé une technique d'analyse d'images pour étudier l'évolution de la croissance d'une bulle depuis son apparition jusqu'à son détachement. L'algorithme analyse la forme de la bulle, son diamètre équivalent, le diamètre de la ligne et de l'angle contact. L'analyse comprend les étapes de binarisation, de recherche de la ligne de base, de détermination du contour de la bulle et de détermination de ses paramètres caractéristiques en utilisant des approximations pertinentes. Dans le cas de la configuration d'ébullition nucléée (absence de forces extérieures) la bulle est quasi sphérique quelle que soit sa taille. L'hypothèse d'une forme circulaire est adoptée sur les images ce qui facilite l'exploitation des images [7].

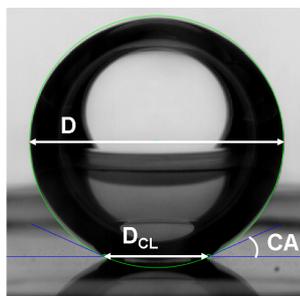


Figure 1 : Méthode de détermination des paramètres caractéristiques d'une bulle de vapeur (FC72)  
Conditions expérimentales :  $P = 600$  mbar;  $T_{\text{sub}} = 1^\circ\text{C}$ ;  $q = 0.5$  W/cm<sup>2</sup>;  $t_{\text{wait}} = 5$  s.

La figure (2) ci-dessous montre un exemple de résultats de croissance de la bulle : diamètre de la bulle, diamètre de la ligne de contact et de l'angle de contact en fonction du temps.

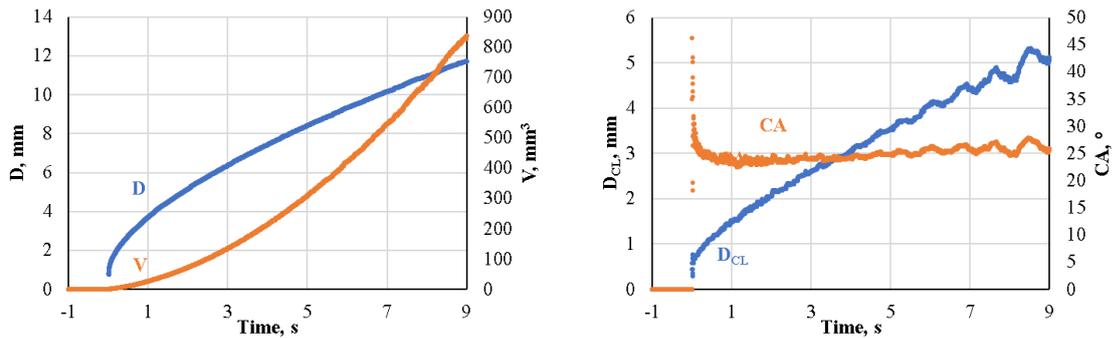
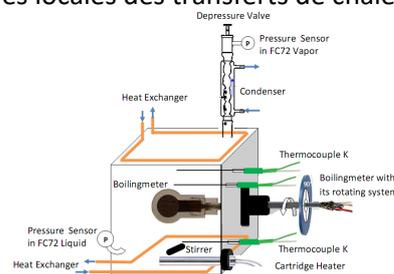


Figure 2. Evolution du diamètre ( $D$ ), du volume ( $V$ ) du diamètre de la ligne de contact ( $D_{CL}$ ) et de l'angle de contact de la bulle. Conditions:  $P = 600$  mbar;  $T_{sub} = 1^\circ\text{C}$ ;  $q = 0.5$  W/cm<sup>2</sup>;  $t_{wait} = 5$  s.

### Expérience d'ébullition multi-bulles :

Cette expérience s'appuie sur les travaux antérieurs et collaborations et en collaboration avec d'autres laboratoires nous développons des capteurs de mesures locales des transferts de chaleur.

La figure ci-contre représente le schéma de principe du dispositif expérimental en cours de dimensionnement pour l'ébullition multi sites pour étudier l'influence de la gravité sur le comportement des bulles et les transferts de chaleur à la paroi associés.



### Perspectives

L'analyse des expériences RUBI pour l'ébullition nucléée se poursuit. Les données obtenues sont exploitées afin de comprendre le comportement d'une bulle de vapeur dès sa nucléation sur une surface chauffée. Nous analyserons l'influence des paramètres physiques sur son comportement en s'appuyant sur la simulation numérique et des expériences sur les écoulements diphasiques. L'analyse des données expérimentales nous permettra d'accéder aux lois de croissance de bulles et de transfert de chaleur à la paroi dans des conditions de microgravité.

Le nouveau dispositif expérimental ERAMEN en cours de dimensionnement sera réalisé dans le courant de l'année prochaine. Nous entreprendrons les tests préliminaires pour valider le contrôle des conditions opératoires avant d'envisager les premières expériences multi sites pour différents niveaux de gravité. Ce dispositif sera conçu pour permettre la réalisation d'expériences en vols paraboliques.

### References 2020-2021

- [1] Tadrist L., Ronshin F., O. Kabov A review on vapour bubble nucleation and growth on a boiling surface (To be submitted)
- [2] Zamoum M. (2014) Etude expérimentale de l'ébullition mono et multi-sites en régime d'ébullition nucléée : analyse de la nucléation et de la dynamique des bulles associées aux transferts de chaleur, Université M'Hamed Bougara, Boumerdes, Algérie.
- [3] Tadrist, L., Combeau, H., Zamoum, M., & Kessal, M. (2020). Experimental study of heat transfer at the transition regime between the natural convection and nucleate boiling: Influence of the heated wall tilt angle on the onset of nucleate boiling (ONB) and natural convection (ONC). *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 151, 119388.
- [4] Sielaff A, Mangini D, Kabov O, Raza M Q, Garivalish A I, Zupancic M, Evgenidis S, Jakobs C, v. Hoof D, Oikonomidou O, Zabulis X, Karamaounas P, Bender A, Ronshin F, Schinnerl M, Sebilleau J, Colin C, Di Marco P, Karapantsios T, Golobic I, Stephan P, Tadrist L The Multiscale Boiling Investigation on-board the International Space Station: An overview *Applied thermal engineering* to be published
- [5] ESR AO-2004-111: BOILING, AO-1999-110: EVAPORATION, AO-2004-096: CONDENSATION
- [6] Sielaff, Axel, et al. "Videos for" The Multiscale Boiling Investigation on-board the International Space Station: An overview" (2021).
- [7] Ronshin F, Sielaff A, Tadrist L, Stephan P, Kabov O Dynamics of bubble growth during boiling at microgravity *Journal of Physics: Conference Series*, to be published (2021)

**Remerciements :** Les auteurs expriment leur gratitude au CNES pour l'aide apportée au projet ERAMEN et aux travaux d'exploitation des données de RUBI installée dans l'ISS.