



**HAL**  
open science

## **ATTILHA : un nouvel outil pour l'acquisition de données thermodynamiques à haute température**

A. Quaini, S. Gossé, C. Guéneau, T. Alpettaz, L. Lizon a Lugin

### ► To cite this version:

A. Quaini, S. Gossé, C. Guéneau, T. Alpettaz, L. Lizon a Lugin. ATTILHA : un nouvel outil pour l'acquisition de données thermodynamiques à haute température. GDR TherMatHT - Thermodynamique des Matériaux à Haute Température, May 2016, Odeillo, France. hal-02442245

**HAL Id: hal-02442245**

**<https://cea.hal.science/hal-02442245>**

Submitted on 16 Jan 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea den

# ATTILHA : un nouvel outil pour l'acquisition de données thermodynamiques à haute température

**A. Quaini**  
S. Gossé  
C. Guéneau  
T. Alpettaz  
E. Lizon a Lugrin

Den-Service de la Corrosion et du Comportement des Matériaux dans leur  
Environnement (SCCME), CEA, Université Paris-Saclay

**Contexte**

**Objectif**

**Montage expérimental ATTILHA**

**Résultats**

**Conclusions and perspectives**

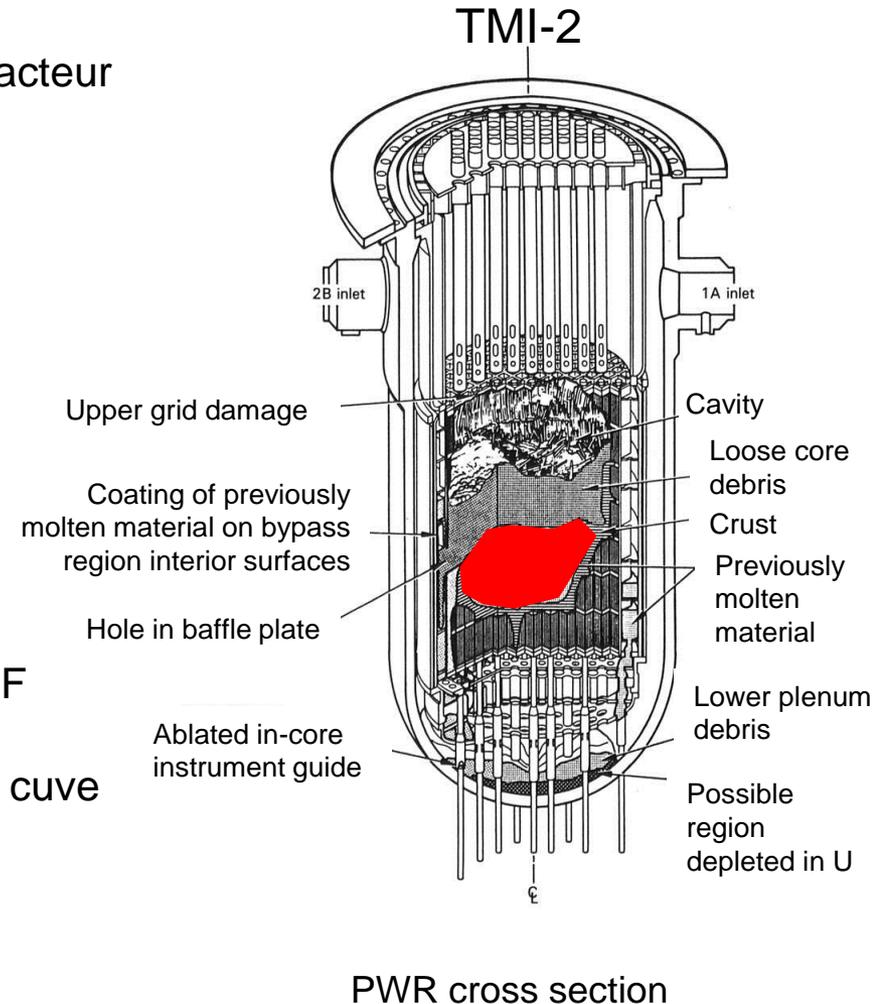
Accident grave (AG): le fonctionnement normal du réacteur n'est pas rétabli

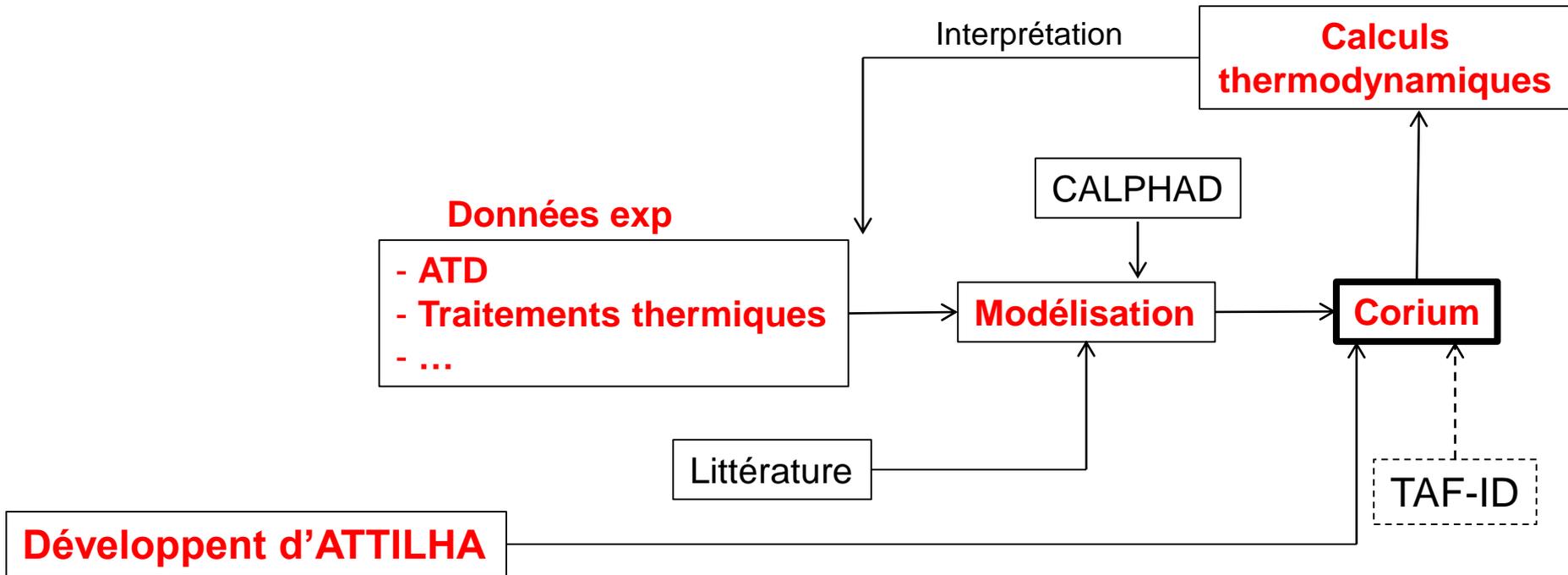


Fusion du cœur et des structures internes

→ Interaction MOx + Zircaloy + aciers + B<sub>4</sub>C + PF

U(Pu)-Zr-O-Fe-Cr-Ni-Ag-Cd-In-B-C-PF → corium en cuve





## Données expérimentales à très haute températures ( $T > 2300$ K) sont rares

Systèmes contenant U (et plus généralement des actinides)

Fortes interactions échantillon/creuset

Thermocouples inadaptés pour des mesures dans cette gamme de T

## Advanced Temperature and Thermodynamics Investigation by a Laser Heating Approach



Développement d'un montage polyvalent

ATILHA

Lévitation aérodynamique  
Mesures en auto-creuset



Données expérimentales à très haute température ( $T > 2300$  K)  
sur des systèmes complexes (par ex. corium)



Données de diagramme de phase (liquidus, solidus, invariants)  
Propriétés radiatives (émissivité)  
*Données thermo-physiques (tension de surface, densité)*

### Laser CO<sub>2</sub> Coherent® Diamond K, 250 W

Moyen de chauffage des échantillons



### Caméra thermique IR FLIR® SC7500

320x256 pixels 5-300 Hz

Objectifs 50mm et G1 (macro)

Images thermiques des échantillons

Etalonnages délivrés par FLIR®



### Détecteur infrarouge HgCdTe Hamamatsu P5274-01

Réponse spectrale: 2-22 μm

Refroidi à 77 K (N<sub>2</sub> liquide)



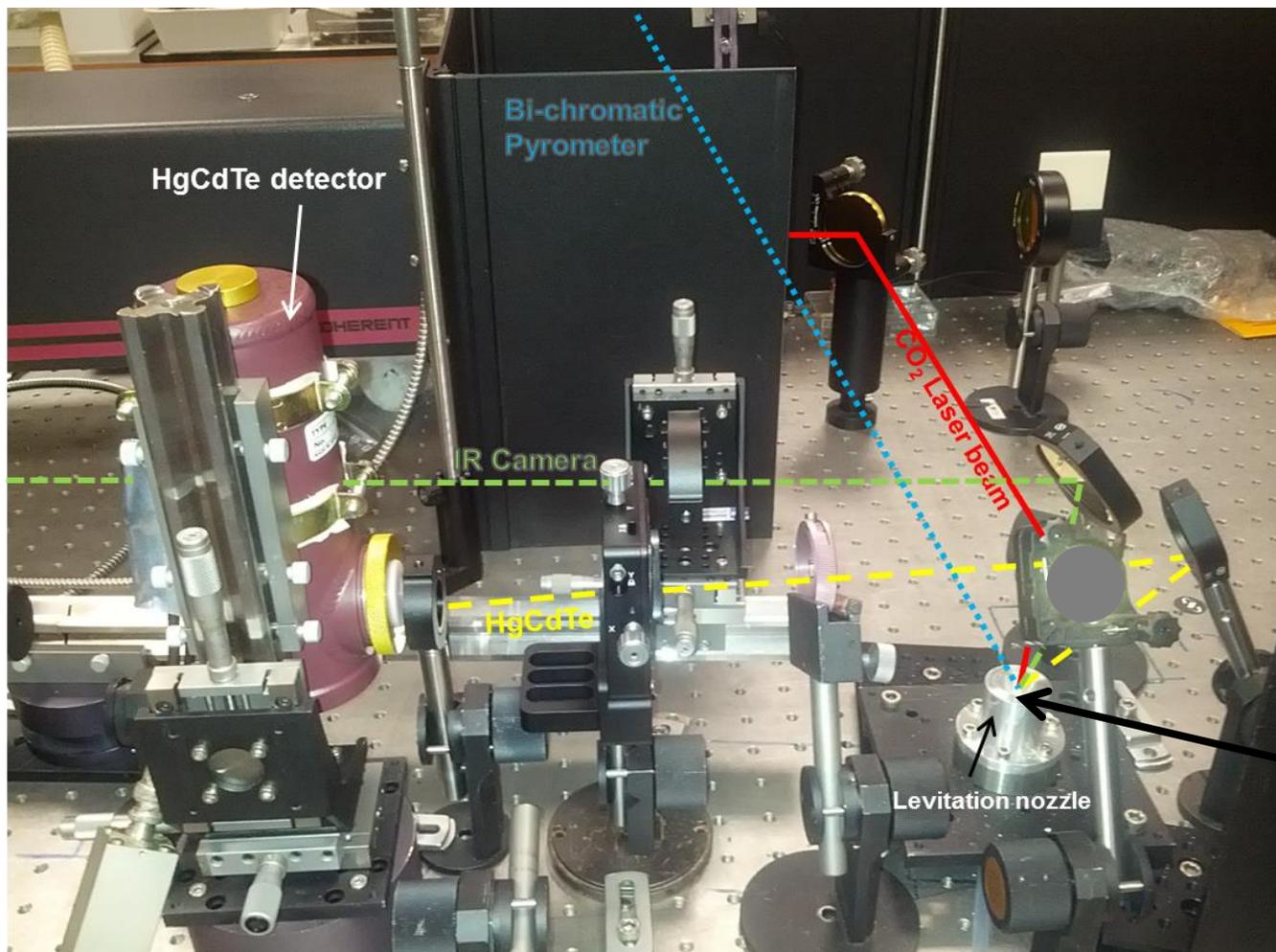
### Pyromètre bi-chromatique IMPAC ISR 12-LO

$\lambda_1=0.8 \mu\text{m}$ ,  $\lambda_2=1.05 \mu\text{m}$

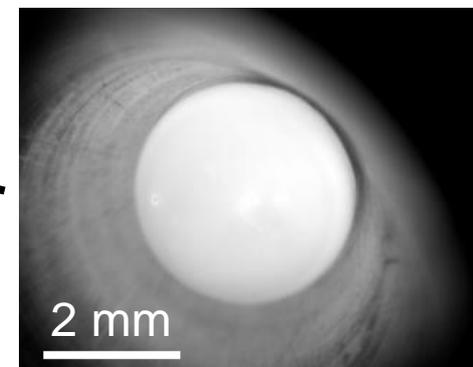
1273-3273 K



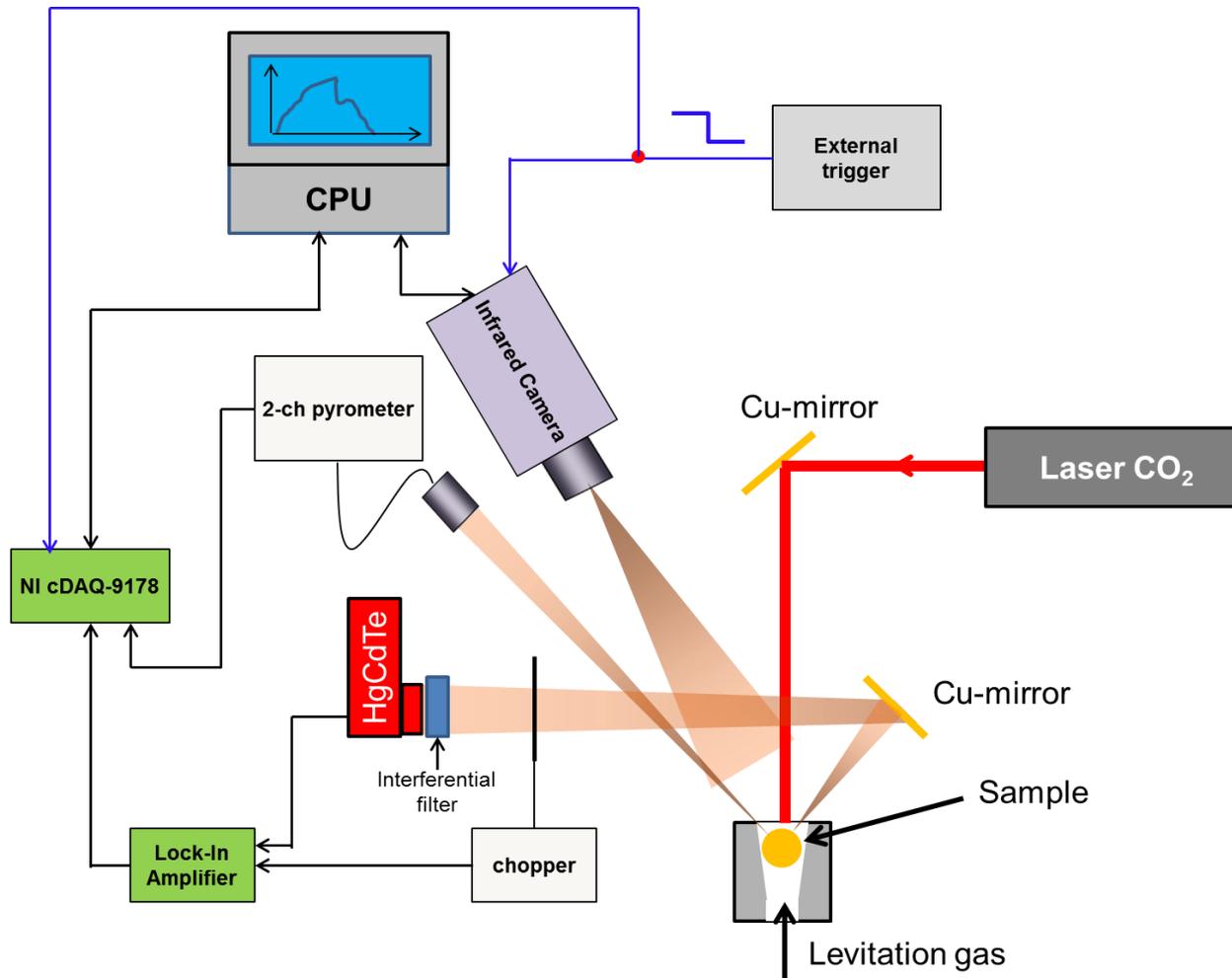
# ATTILHA CONFIGURATION « LÉVITATION AÉRODYNAMIQUE »



Échantillon d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en  
lévitation dans la buse  
d'Al

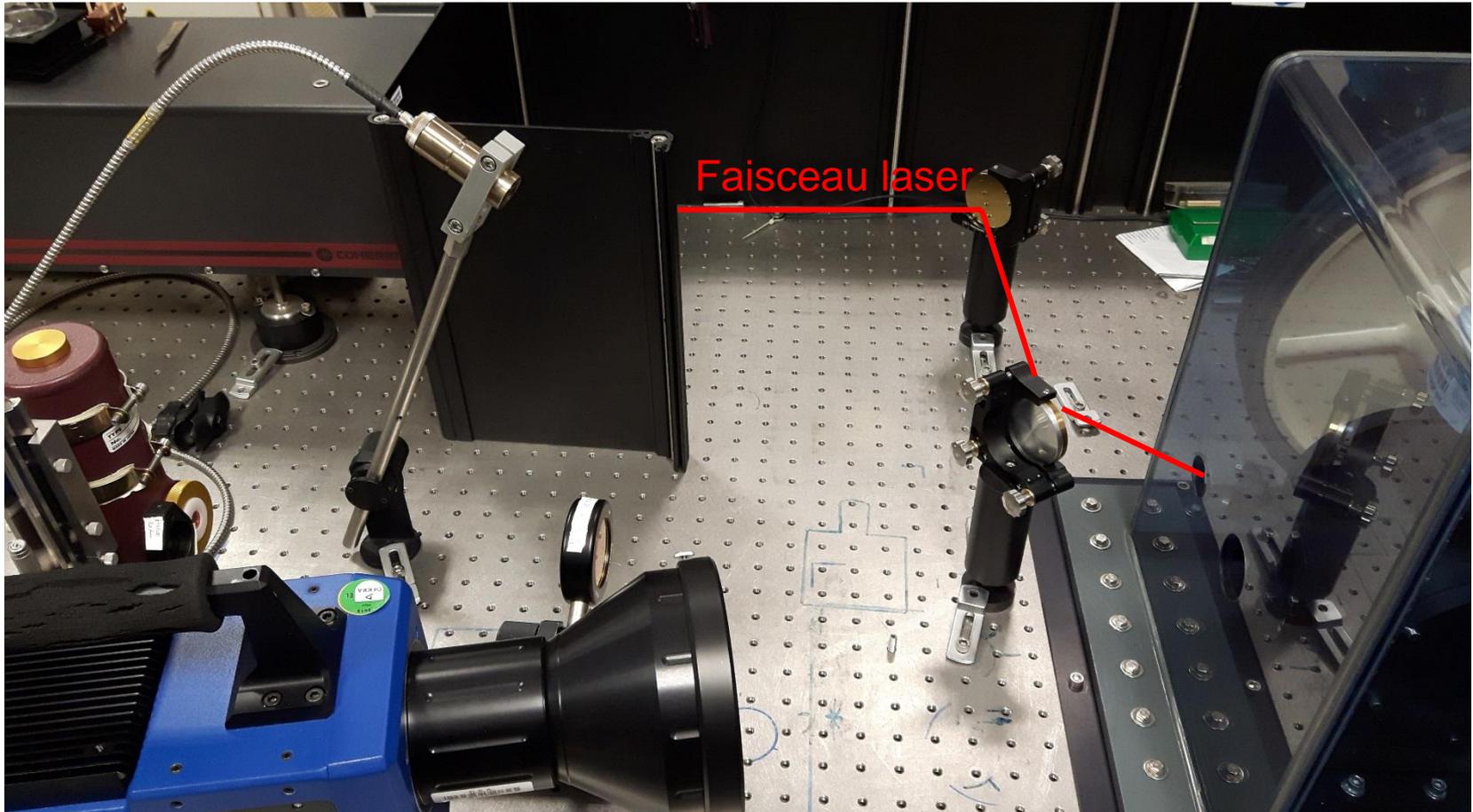


# ATTILHA CONFIGURATION « LÉVITATION AÉRODYNAMIQUE »



Pyromètre

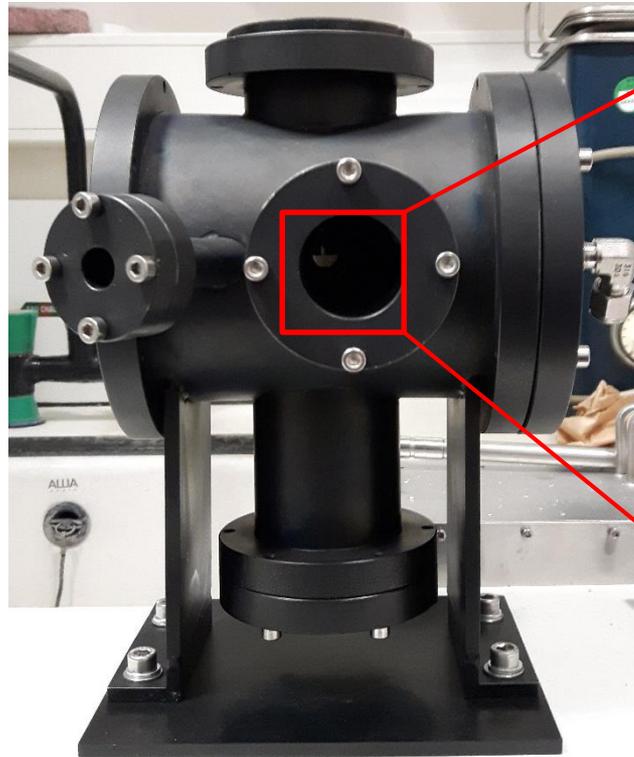
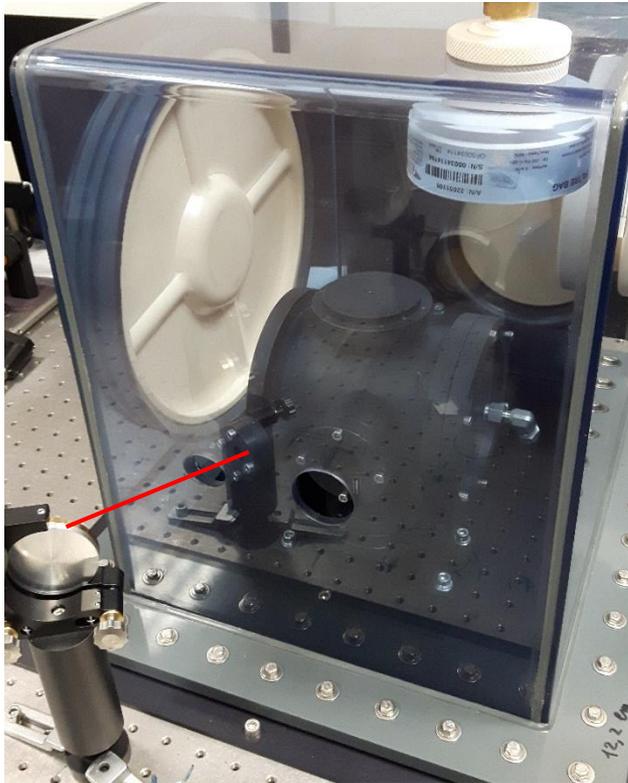
Détecteur HgCdTe



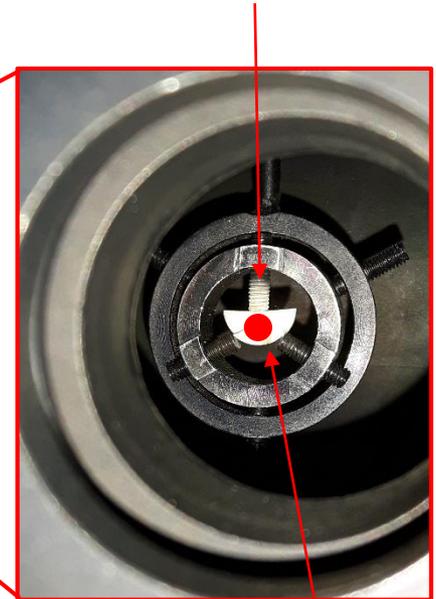
Camera infrarouge

# ATTILHA CONFIGURATION « AUTO-CREUSET »

Boite de confinement



Porte échantillon



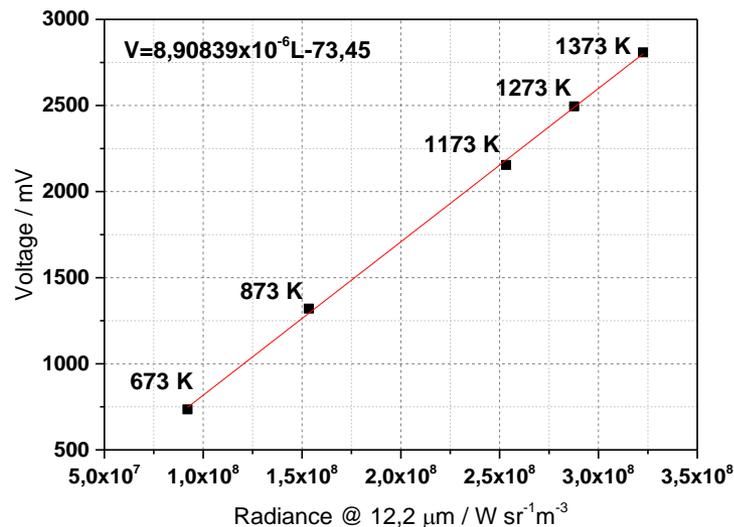
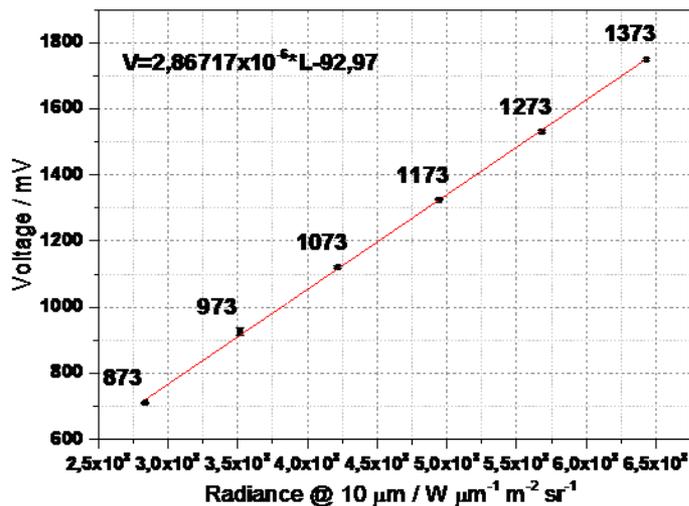
Tache laser

→ Optimisation de la position des instruments sur la table optique

Laser CO<sub>2</sub> – détecteur HgCdTe – caméra infrarouge – pyromètre bi-chromatique

→ Etalonnage à 10 μm et 12.2 μm

→ Points de Christiansen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 10 μm; ZrO<sub>2</sub>: 12.7 μm  
@ 10 μm @ 12,2 μm



→ Analyse d'erreur (collaboration avec l'Institut de Mathématiques de Toulouse)

→ Optimisation de la position des instruments sur la table optique

Laser CO<sub>2</sub> – détecteur HgCdTe – caméra infrarouge – pyromètre bi-chromatique

→ Vérification des étalonnages en usine FLIR sur une cavité corps noir

→ Estimation de l'émissivité par un programme de traitement d'image en langage Python (IMT-Toulouse)

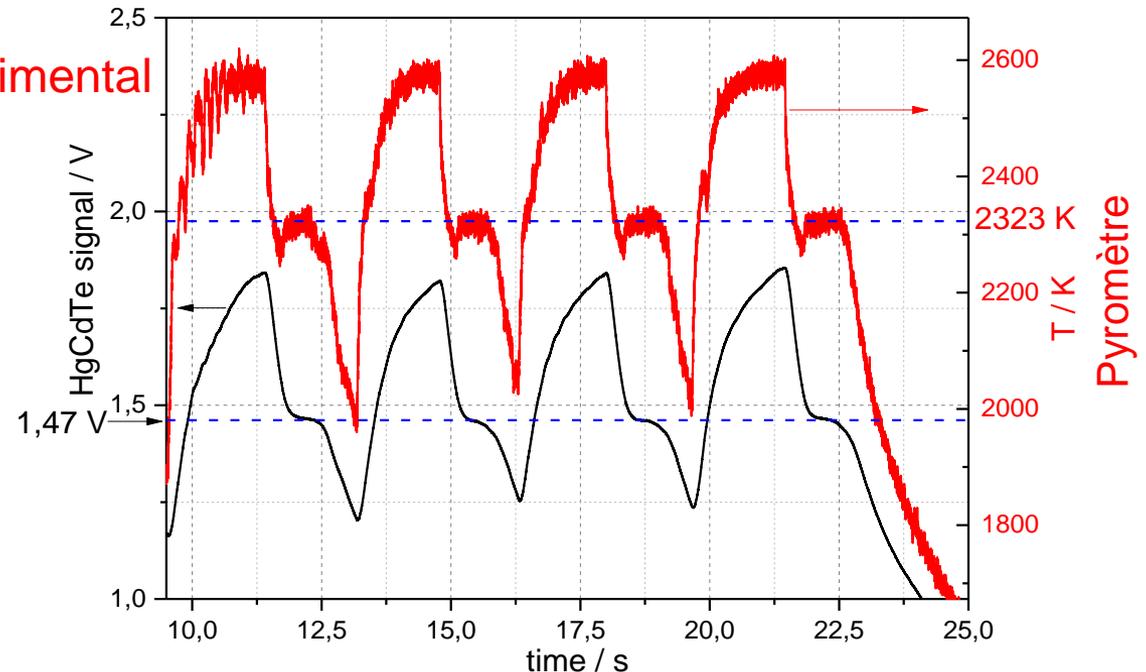
→ Optimisation de la position des instruments sur la table optique

Laser CO<sub>2</sub> – détecteur HgCdTe – caméra infrarouge – pyromètre bi-chromatique

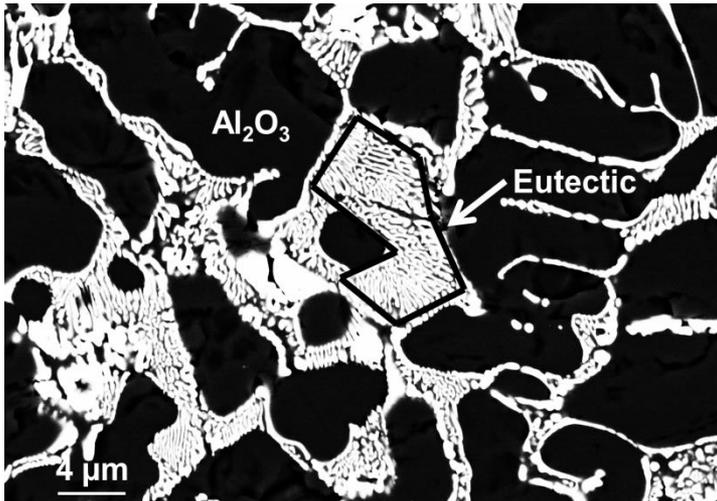
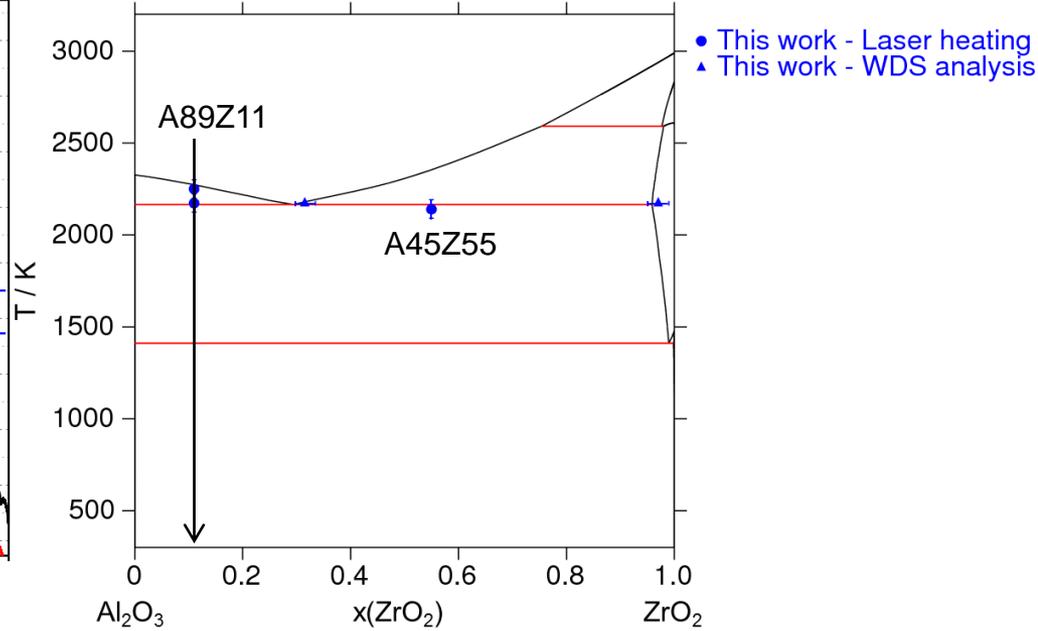
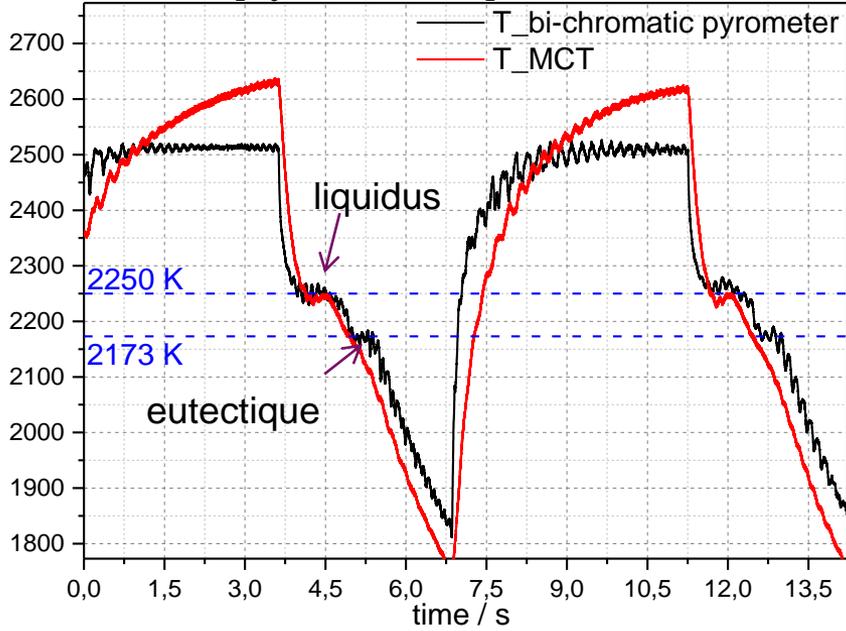
4 cycles chauffage/refroidissement

→ Validation du montage expérimental

→ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (T=2323±25 K)



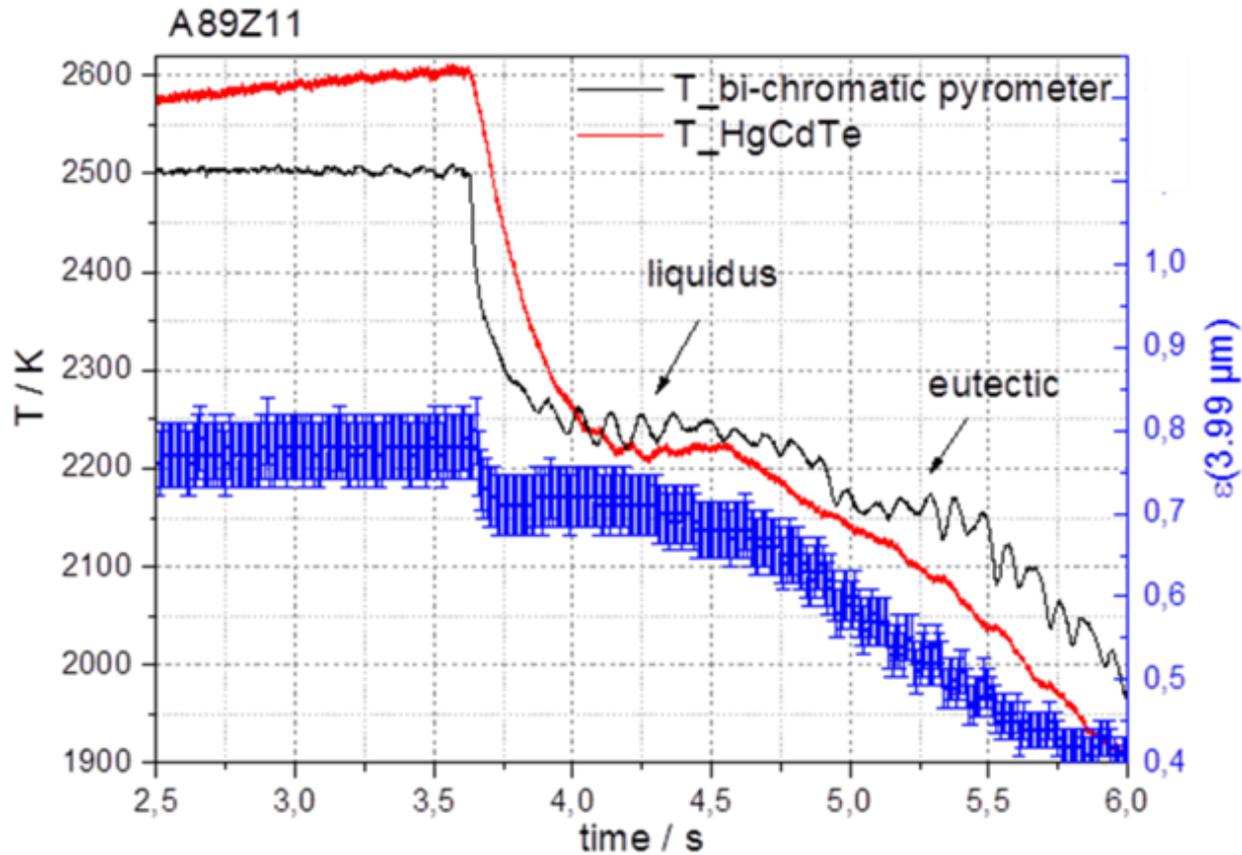
89 mol% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 11 mol% ZrO<sub>2</sub>

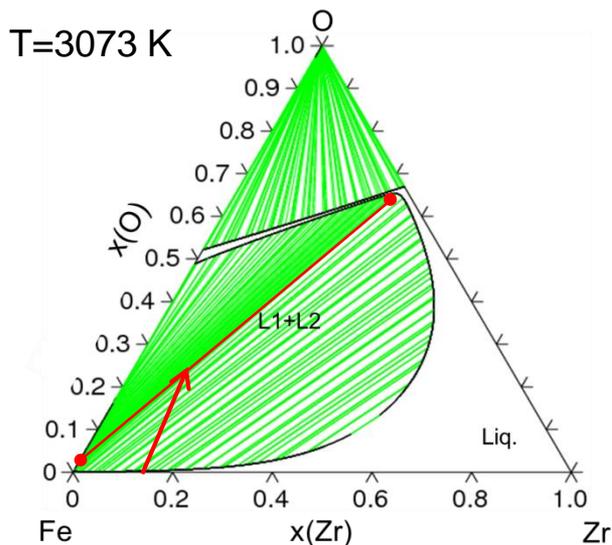


$T_{\text{liquidus}} + T_{\text{eutectique}} \rightarrow$  bon accord avec la littérature

Composition eutectique  $\rightarrow$  bon accord avec la littérature

	A89Z11		A45Z55	
	Eutectique	Dendrites	Eutectique	Dendrites
at% Al	31.0	40.0	30.0	2.0
at% Zr	7.0	/	7.0	34.0
at% O	62.0	60.0	63.0	64.0





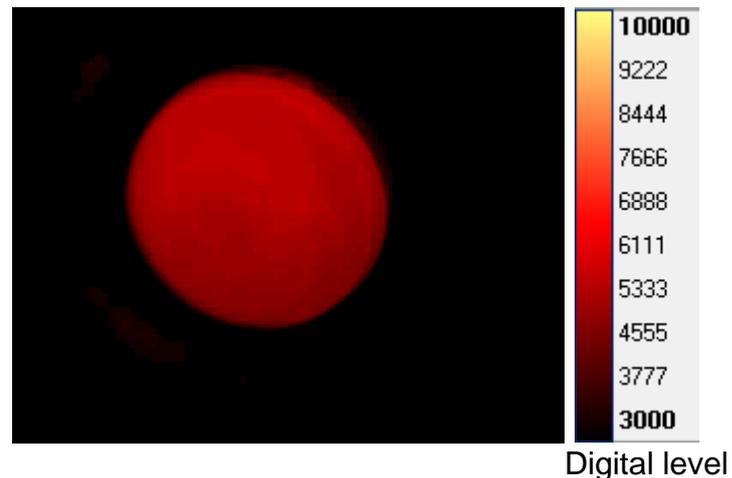
Composition initiale :  $\text{Fe}_{0.85}\text{Zr}_{0.15}$

↓ Gaz: He

La composition finale évolue dans le système Fe-Zr-O

Conode:  $\text{Fe}_{0.97}\text{O}_{0.03} - \text{Fe}_{0.05}\text{Zr}_{0.32}\text{O}_{0.63}$

## Caméra infrarouge

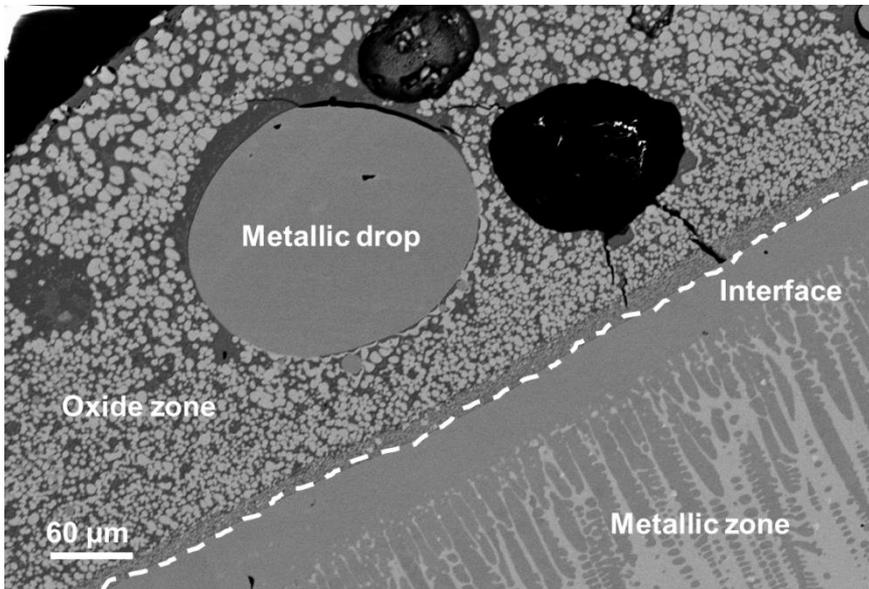


Acquisition 200 Hz  
Video player 12.5 Hz

→ Formation de 2 liquides in-situ

Évaluation du rapport des émissivités des deux liquides @  $4\mu\text{m}$

→  $\epsilon_{\text{oxyde}} \sim 2\epsilon_{\text{métallique}}$



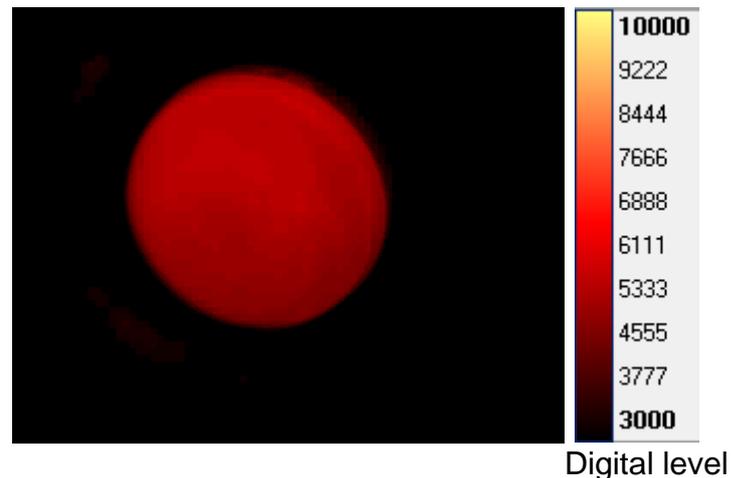
Composition initiale :  $\text{Fe}_{0.85}\text{Zr}_{0.15}$

↓ Gaz: He

La composition finale évolue dans le système Fe-Zr-O

Conode:  $\text{Fe}_{0.97}\text{O}_{0.03} - \text{Fe}_{0.05}\text{Zr}_{0.32}\text{O}_{0.63}$

Caméra infrarouge



Acquisition 200 Hz

Video player 12.5 Hz

→ Formation de 2 liquides in-situ

Évaluation du rapport des émissivités des deux liquides @ 4μm

→  $\epsilon_{\text{oxyde}} \sim 2\epsilon_{\text{métallique}}$

Validation du montage sur  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Essais de lévitation aérodynamique sur  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$

Essais de lévitation aérodynamique sur le système Fe-Zr-O → **Observation *in-situ* de la formation d'une lacune de miscibilité à l'état liquide**

Programme Python pour l'estimation de l'émissivité (collaboration IMT Toulouse)

Calcul rigoureux de la propagation des erreurs (collaboration IMT Toulouse)

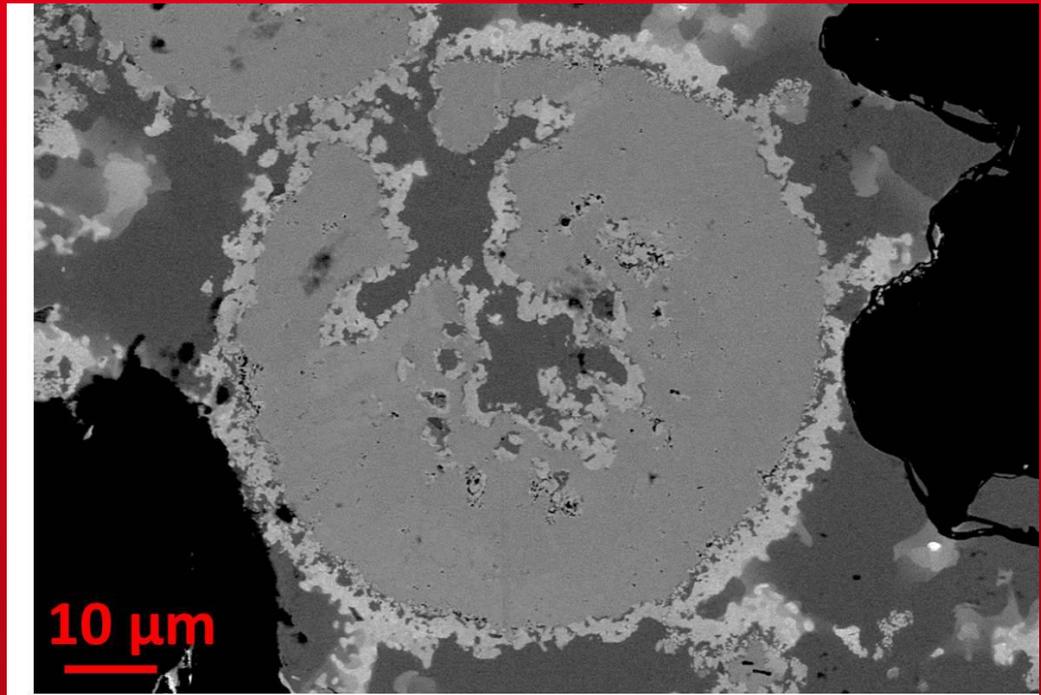
**Nucléarisation du montage** → Boite de confinement OK

→ Systèmes chimiques contenant U: au cours de 2016

## Perspectives

➡ Caméra visible ultra rapide (5 kHz) → mesures de densité et de tension de surface

# THANK YOU FOR YOUR ATTENTION



Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives  
Centre de Saclay | 91191 Gif-sur-Yvette Cedex  
T. +33 (0)1 69 08 21 70 | F. +33 (0)1 69 08 92 21

Etablissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775 685 019

Direction de l'Energie Nucléaire  
Département de Physico-Chimie  
SCCME  
Laboratoire de Modélisation  
Thermodynamique et Thermochimie  
CEA de Saclay