



« **Projet Micro-canaux** »

Réunion du jeudi 20 juin 2024

Roman Kossakowski

Pour l'équipe :

LAPP : Pierre Delebecque, Gaël Balik, Roman Kossakowski, Stéphane Jézéquel, Thibaut Rambure, Fabrice Peltier

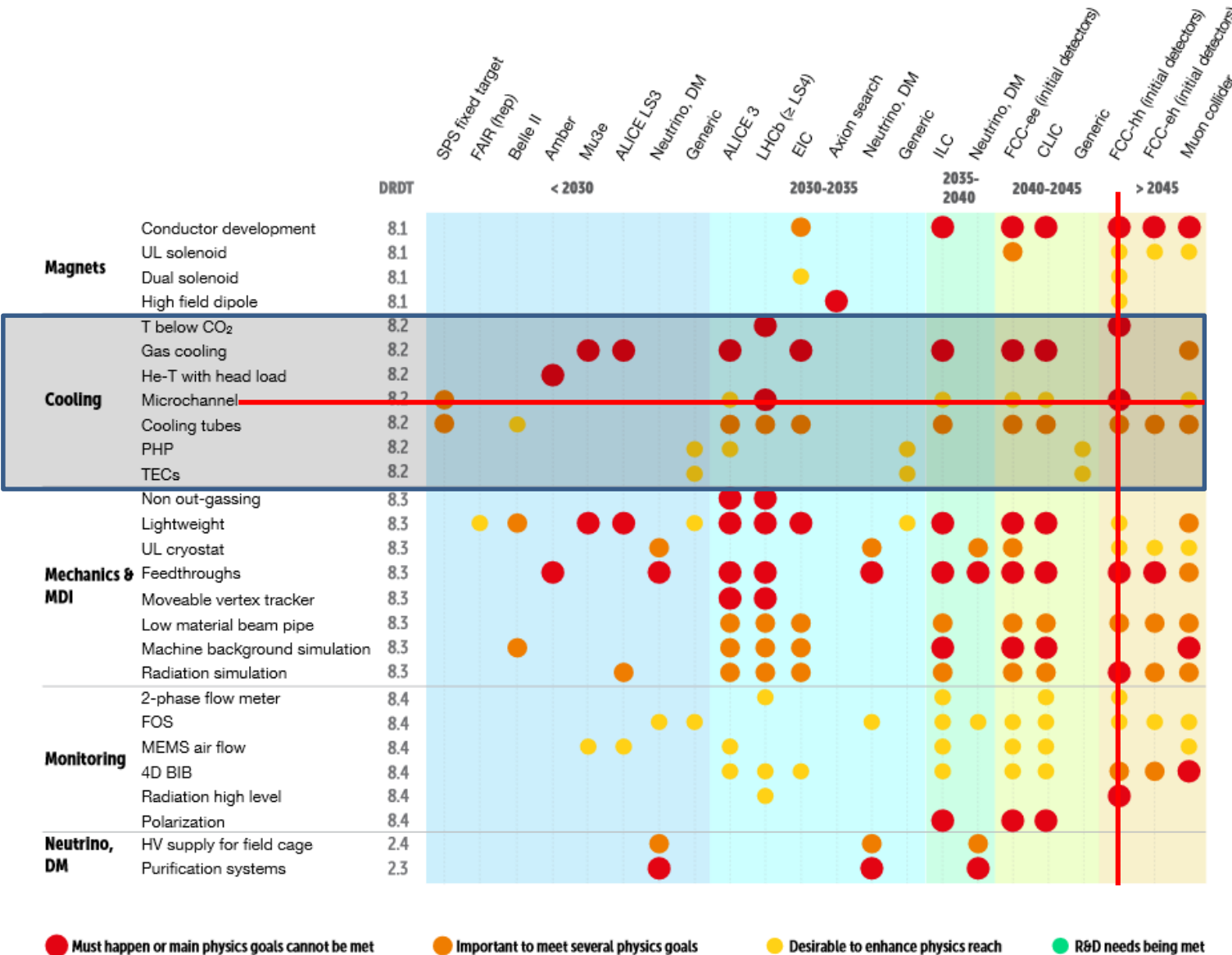
LEGI : Frédéric Ayela, Damien Colombet

Doctorant LEGI/LAPP : Maxime Vacher



THE 2021 ECFA DETECTOR RESEARCH AND DEVELOPMENT ROADMAP

The European Committee for Future Accelerators Detector R&D Roadmap Process Group



Le développement des techniques de refroidissement :

- en utilisant les micro-canaux
- avec les températures inférieures au CO₂

s'avèrent indispensables, sinon :

« **main physics goals cannot be reached** »
pour FCC-hh et upgrade LHCb

Financements, collaborations

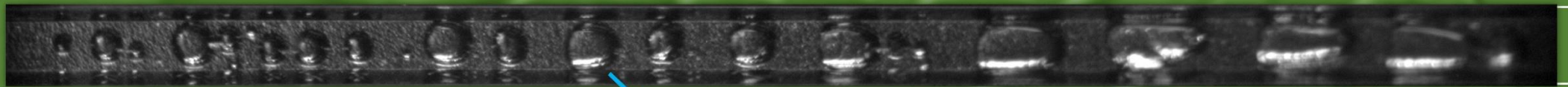
Projet possible grâce à l'expérience acquise au LAPP depuis une dizaine d'année et à la collaboration avec le LEGI

- **Financements obtenus depuis 2020 :**
 - AAP MITI CNRS : 2021 (SJ)
 - AAP USMB : 2021 (J. Leveque), 2022 (RK)
 - AAP Labex ENIGMASS : 2022 (RK), 2023 (RK)
 - AAP R&T IN2P3 : 2022 (PD) (élargissement de la collaboration à LPNHE et CPPM)
- **Supports RH obtenu :**
 - Allocation doctorale (MV) 2021-2024 de l'Ecole Doctorale IMEP2
 - Stage DUT MPH 2022 (QW) et Ecole d'Ingénieurs 2023 (QW)
- **Support du LAPP :**
 - Local dédiée
 - Support de l'administration (gestion, logistique, missions, ...)
 - Support du service mécanique et aide ponctuelle des services électronique et informatique
 - Photos par S. Lieunard

CO₂ en micro-canal :

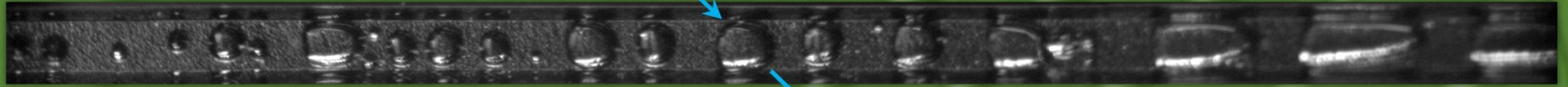
p=12 bars, T = -35°C

T=0 μs

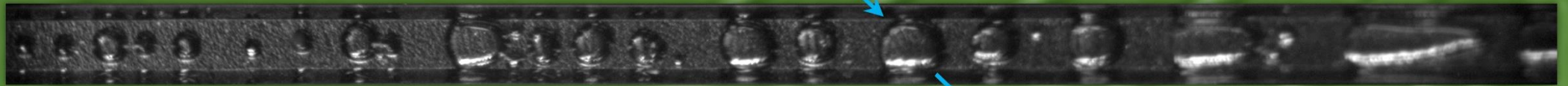


0,5 mm

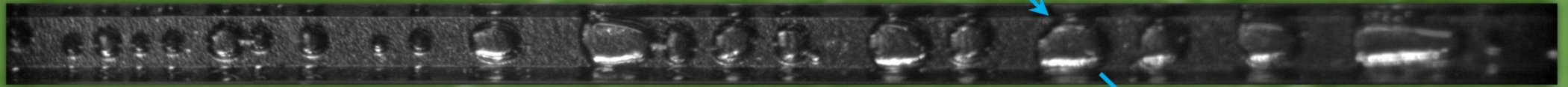
T=700 μs



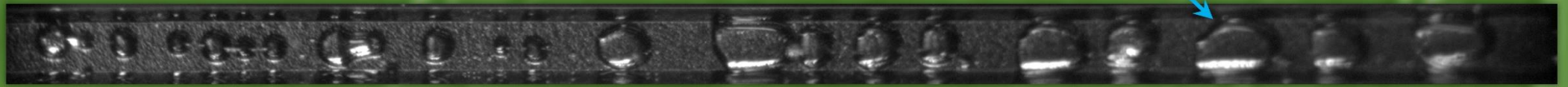
T=1 400 μs



T=2 100 μs



T=2 800 μs

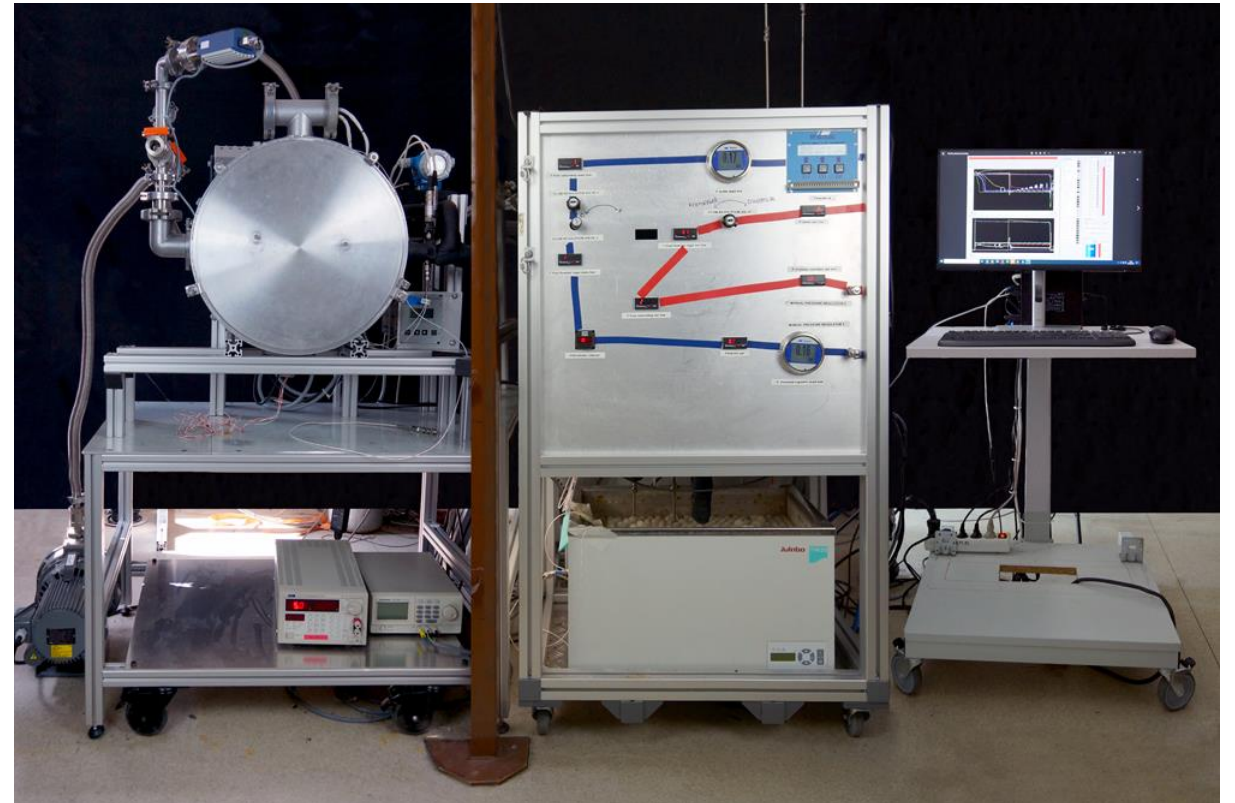
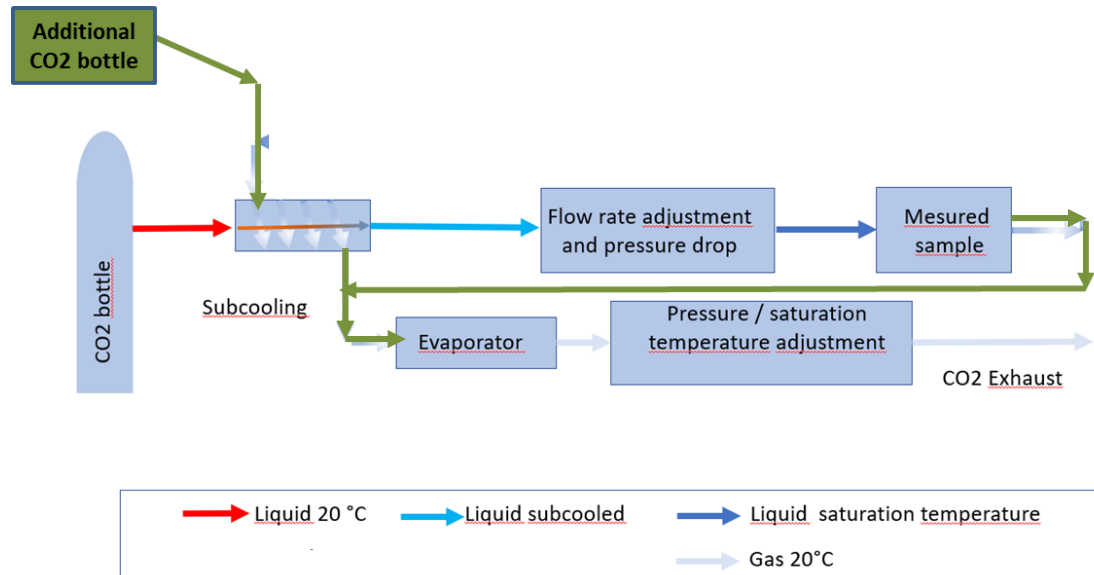


Banc de mesures et de caractérisation au LAPP

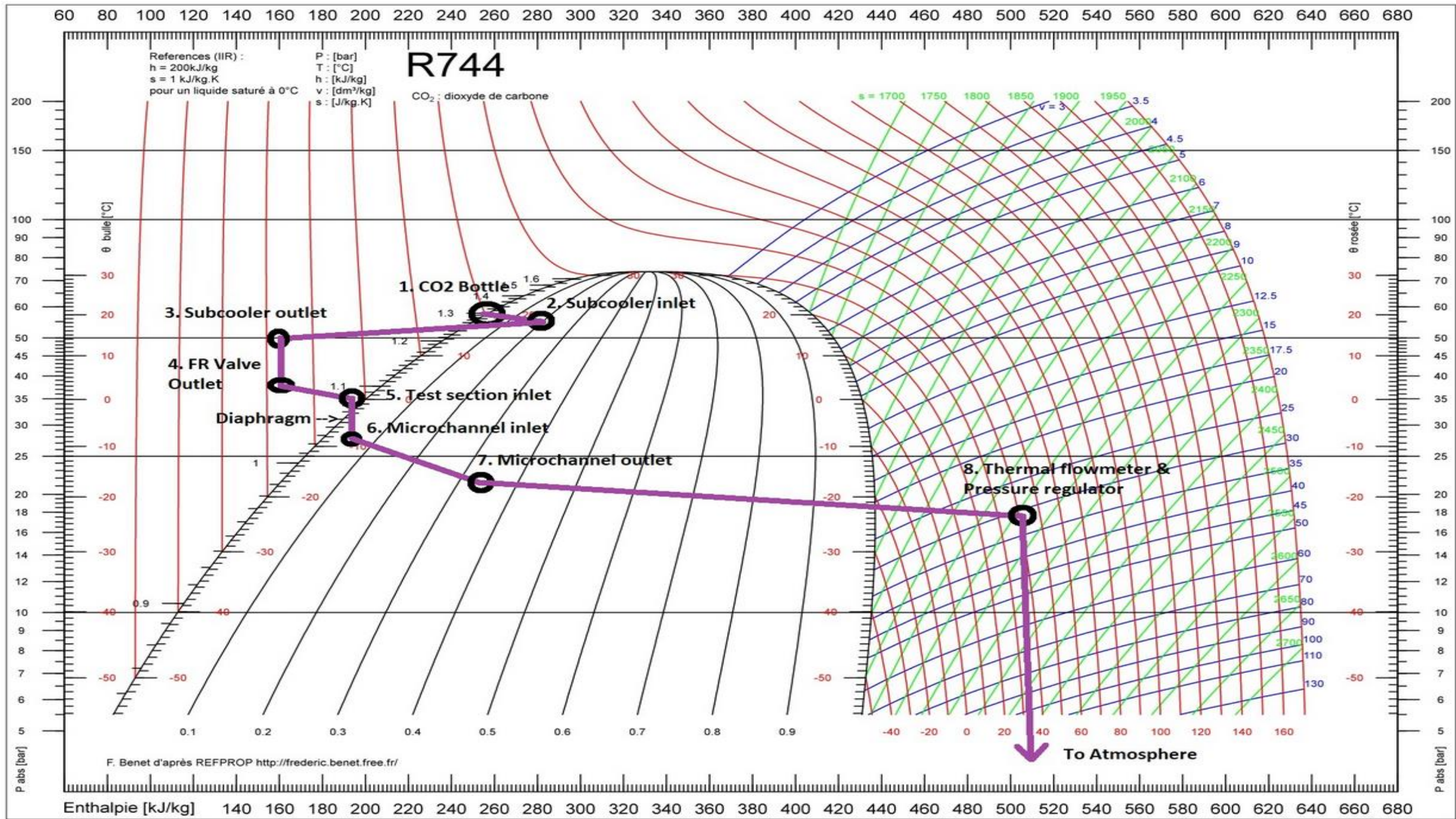
L'équipe du LAPP a déjà construit en 2011 et opéré un banc de mesure permettant d'obtenir les données expérimentales pour le projet Pixel d'ATLAS dans le cadre de la thèse de Pierre Barroca^{*)}).

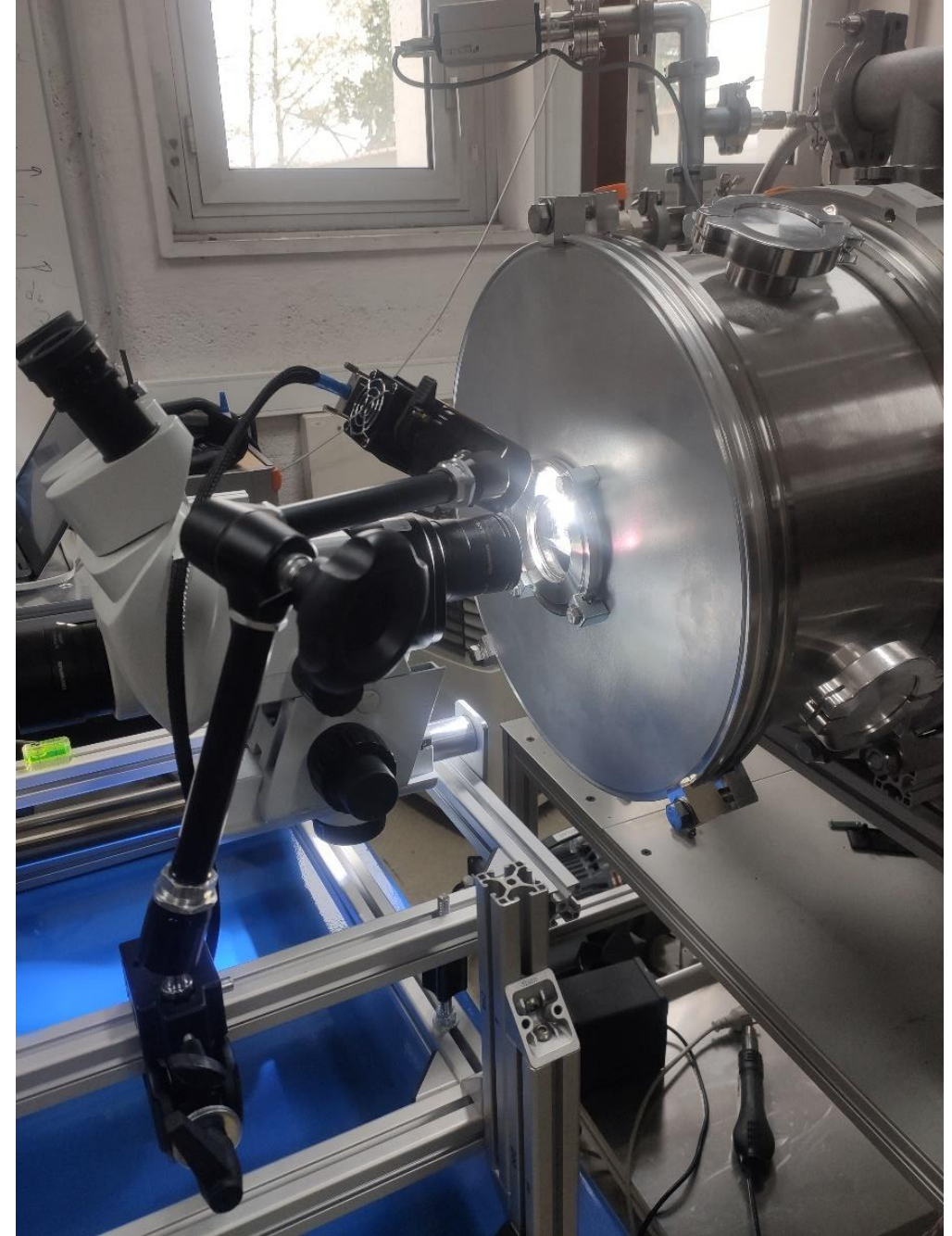
En 2022/2023 le banc a subi une transformation pour caractériser des prototypes de **micro-canaux** fonctionnant avec des petits débits ($< 1 \text{ g/s}$) :

- Optimisation/isolation thermique du circuit CO₂
- Circuit de sous-refroidissement indépendant du circuit principal du CO₂



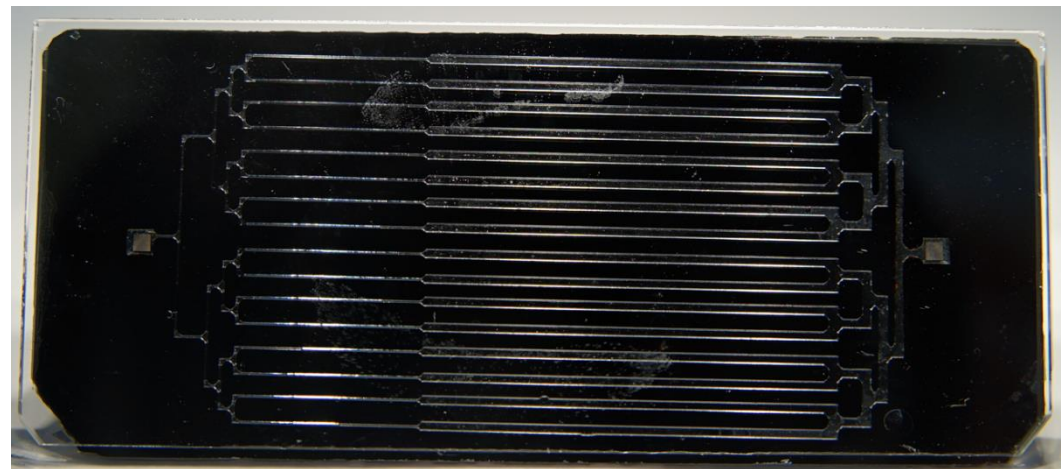
^{*)} Modelling of CO₂ cooling of the ATLAS ITk Pixel Detector', <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02956226>





Le binoculaire, la caméra et le dispositif d'éclairage (matériel du LEGI) devant l'enceinte fermé (sous vide).

Echantillon Si de 16 μ canaux : face « pyrex »

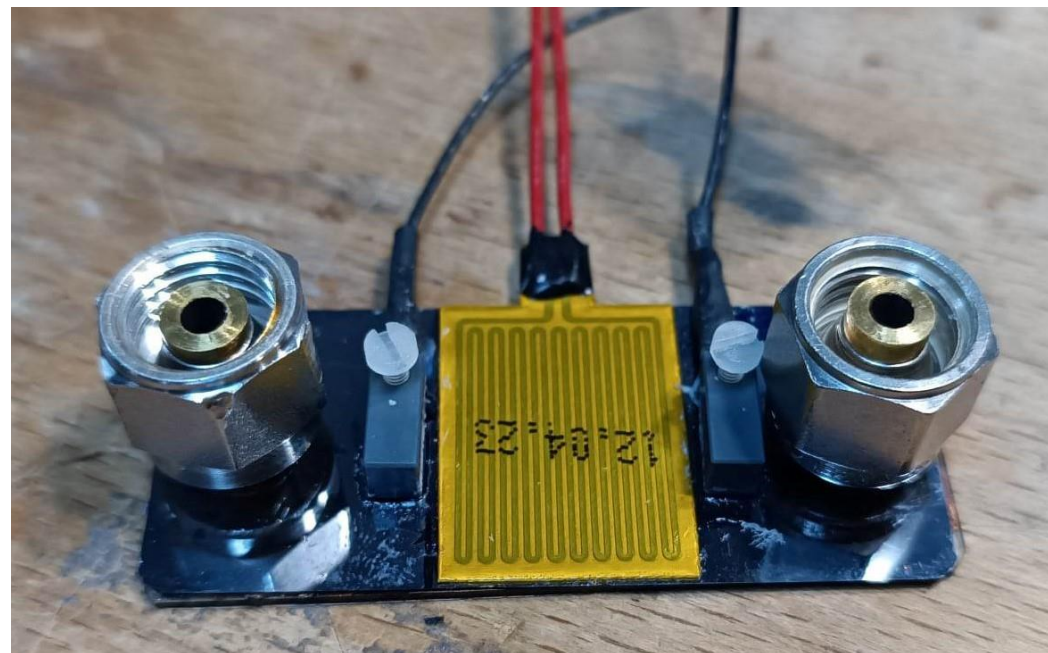


Echantillon Si de 16 μ canaux : face Si connectée au CO2 et instrumentée :

Extrémités : plots de connexion CO2

Centre : chaufferette permettant de simuler l'activité du futur détecteur

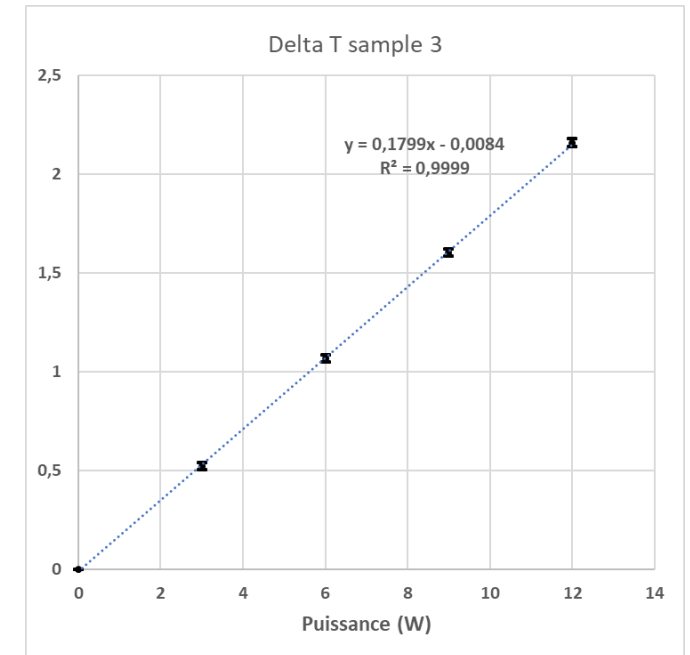
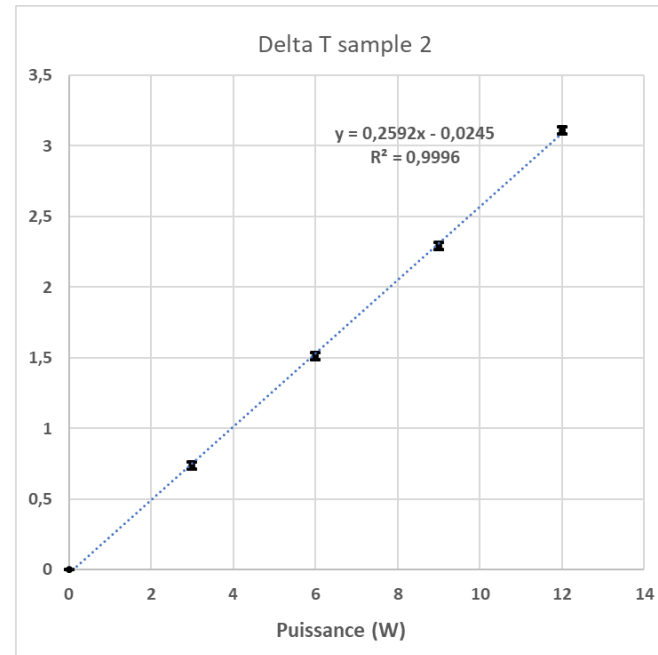
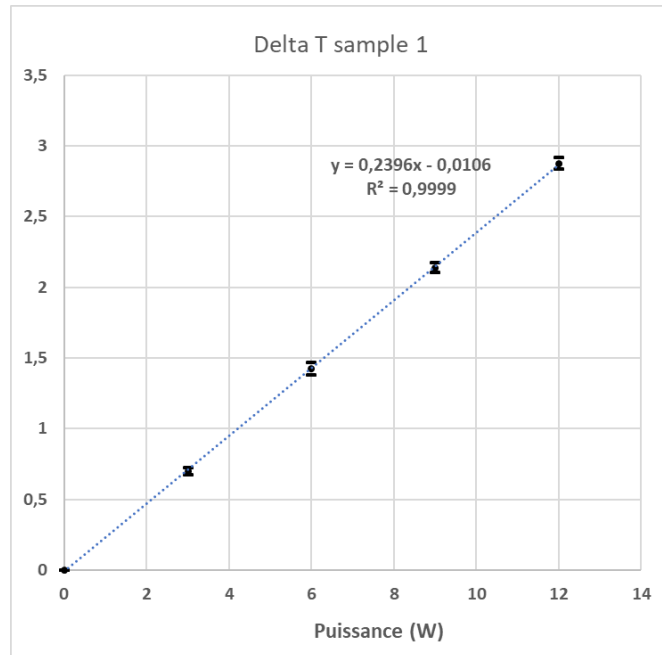
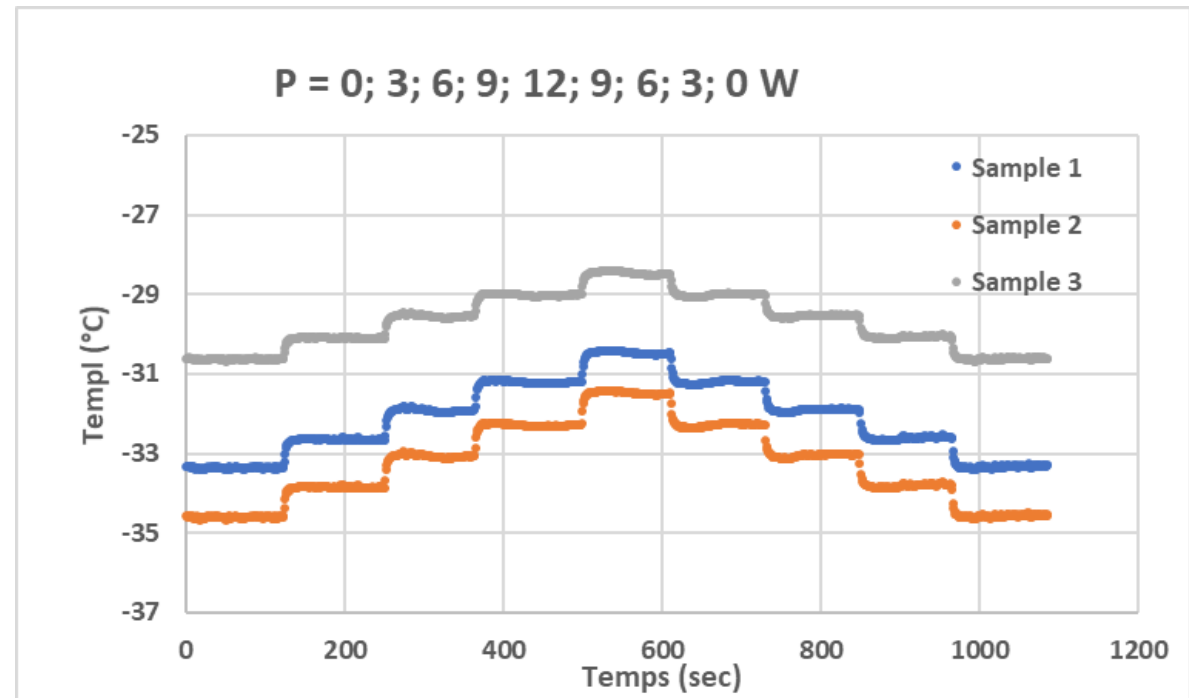
Entre : les sondes de température PT-100



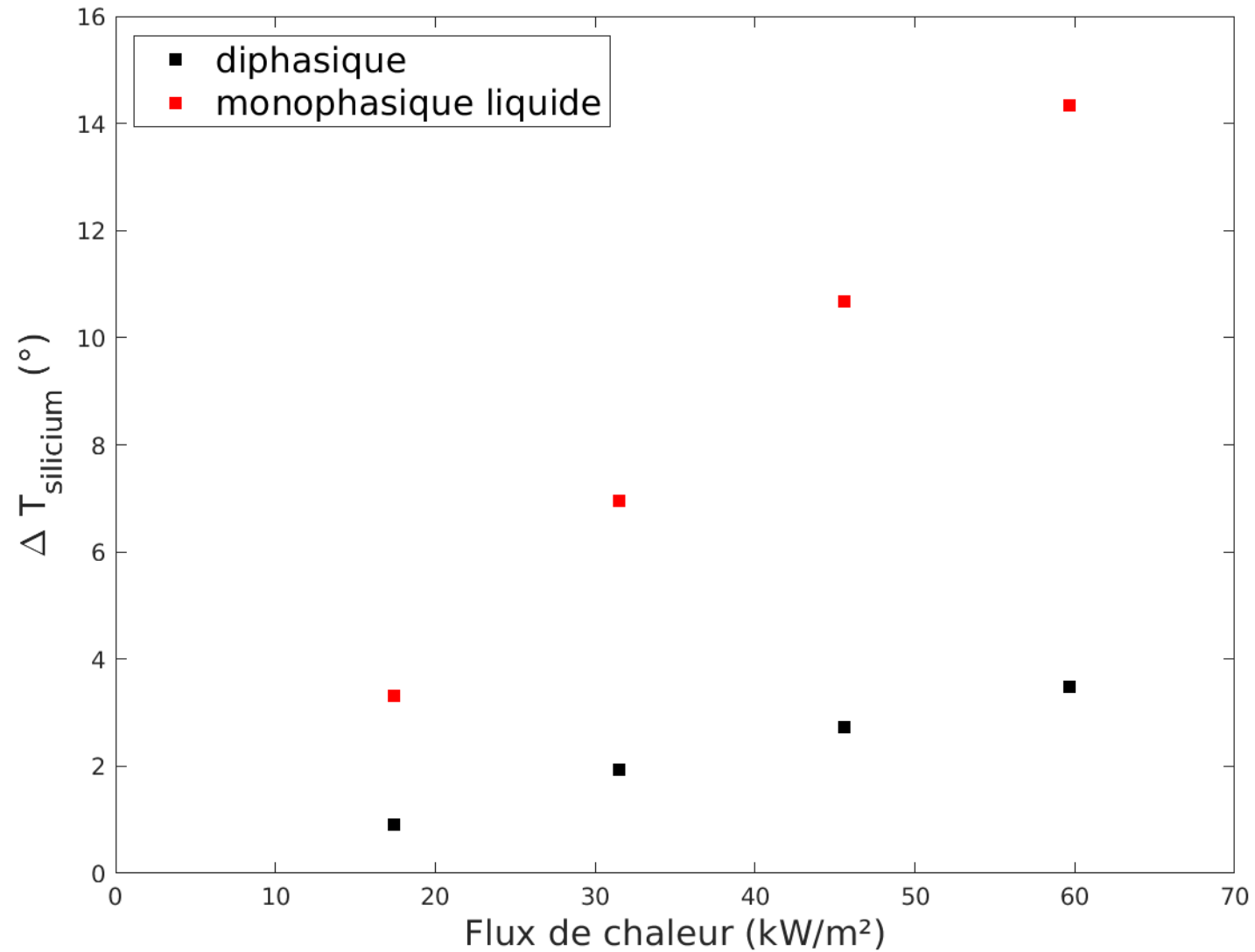
Grande fragilité des échantillons : environ 40 produits, 3 mesurés (pertes à la production, à la manipulation, fuites de pression, bouchage des canaux, ...)

Exemple de mesures effectuées

Plusieurs cycles de montée et descente de puissance de chauffe effectués sur l'échantillon de 16 μ canaux



Comparaison de l'élévation de température de l'échantillon en écoulement CO2 liquide et diphasique (extrait du manuscrit de thèse de Maxime Vacher)



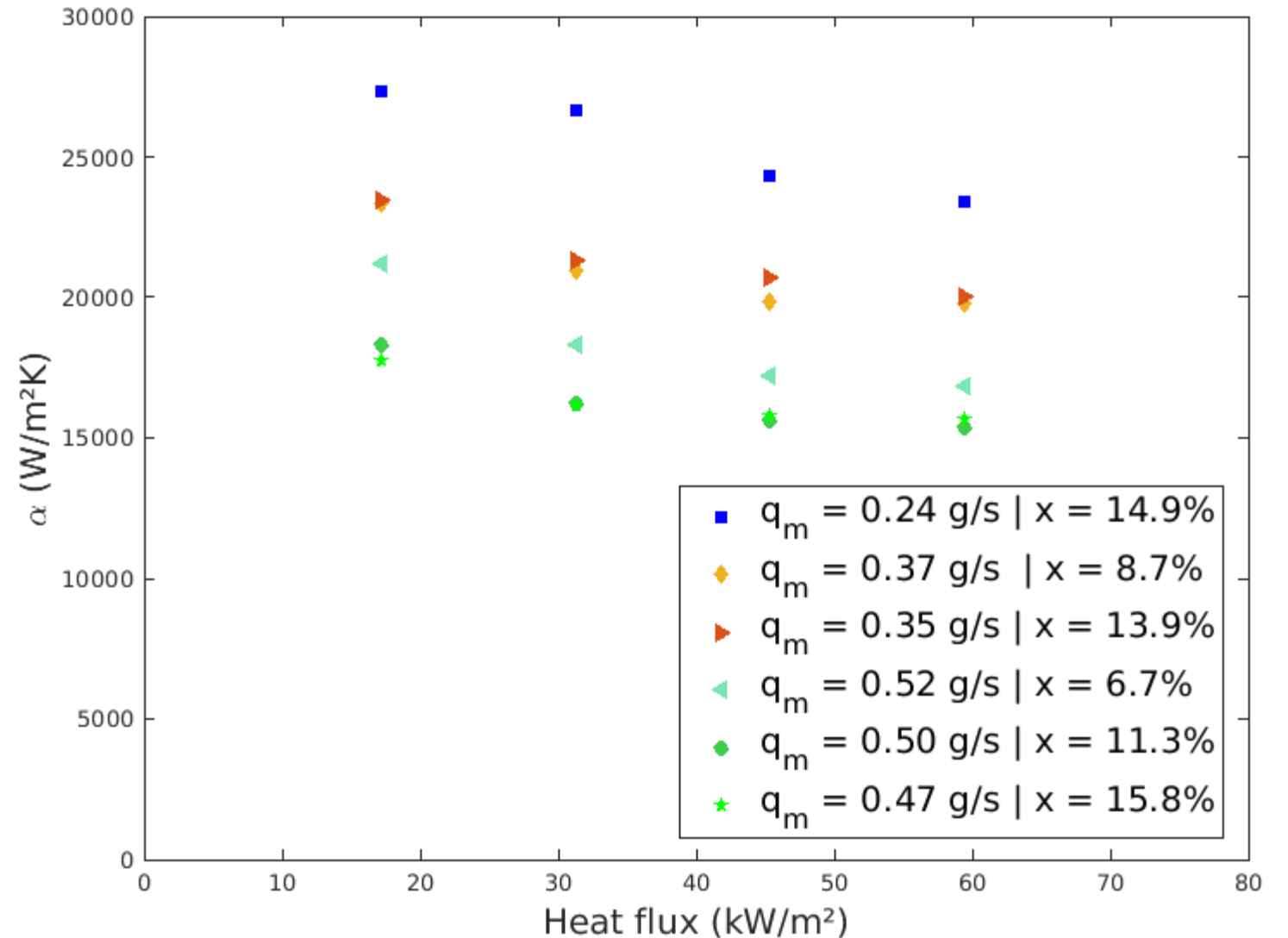
Mesure du paramètre HTC (Heat Transfer Coefficient) (extrait du manuscrit de thèse de Maxime Vacher)

$$HTC = \frac{P}{S\Delta T}$$

P – puissance appliquée

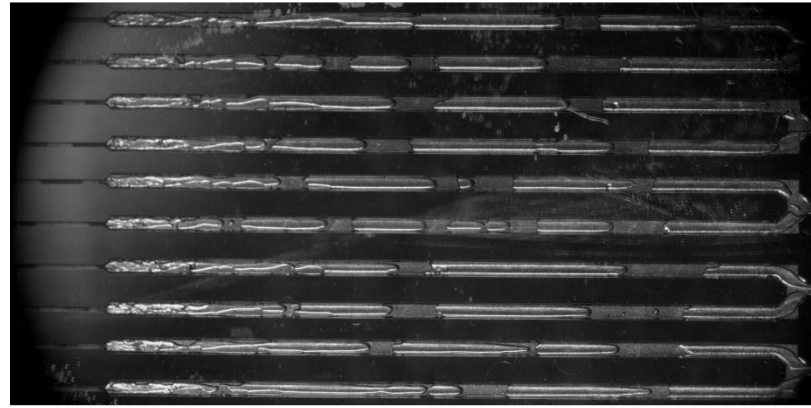
S – surface de contact Si – CO₂

ΔT – élévation de température du Si

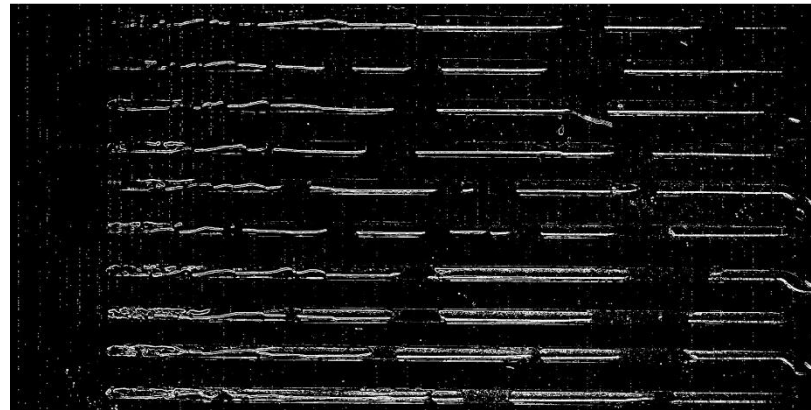


Traitement des images de l'écoulement du CO₂ dans les μ canaux (extrait du manuscrit de thèse de Maxime Vacher, logiciel du LEGI)

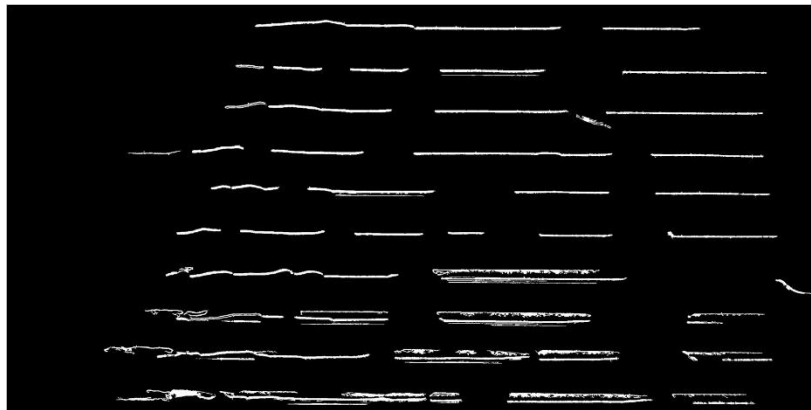
Image brute



Gradient du blanc



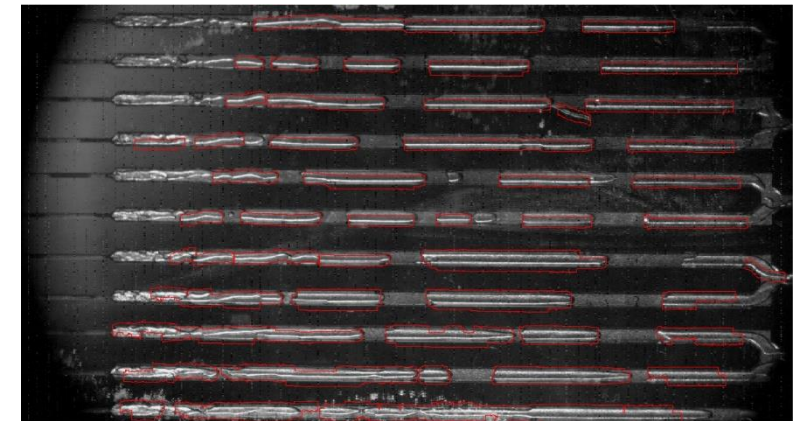
Elimination bruit



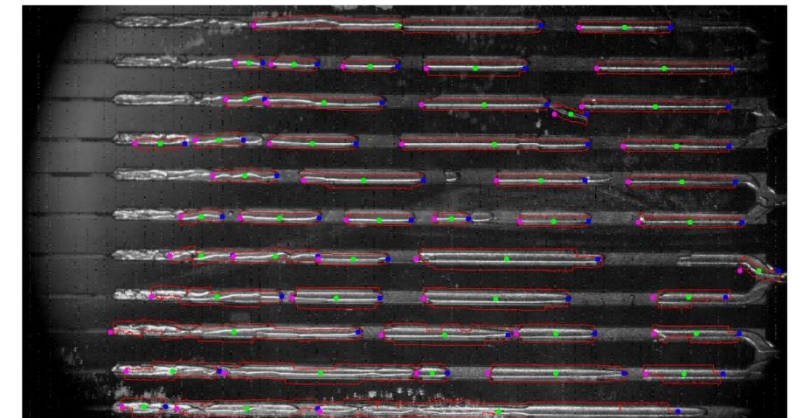
translation



Détection contours bulles

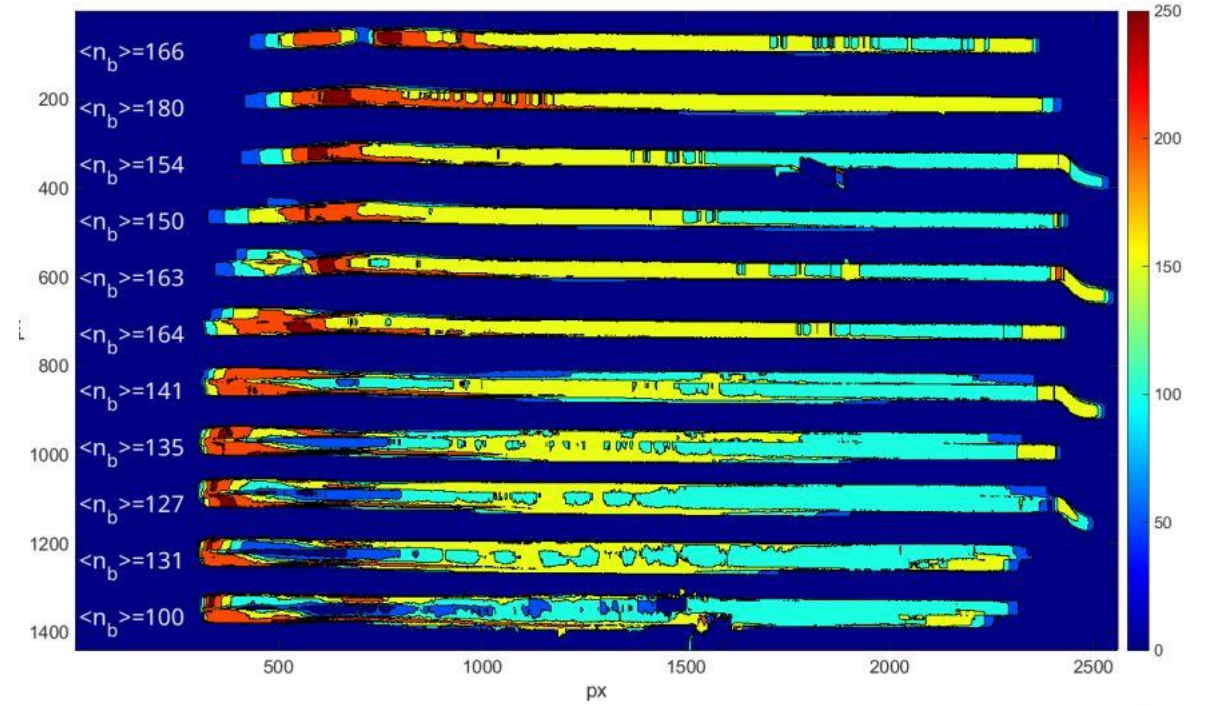


Détection début, fin et centre bulles

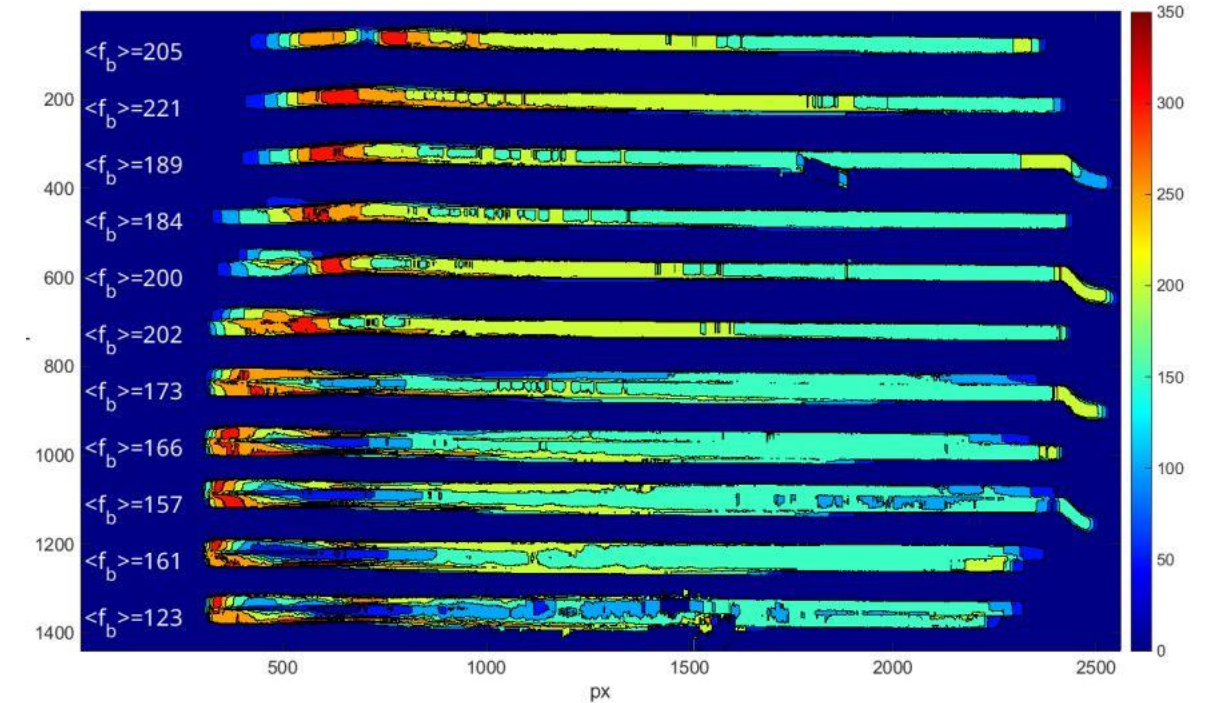


Exemple des résultats (extrait du manuscrit de la thèse de Maxime Vacher)

Nombre de bulles



Fréquence de bullage



Simulations des écoulements du CO2 (travail en cours de la thèse de Maxime Vacher)

La soutenance est prévue fin septembre 2024



Conclusions, prospectives

Les premiers résultats des mesures de la circulation du CO2 froid dans les micro-canaux gravés dans les Si ont été acquis sur le banc du LAPP adapté pour cette nouvelle configuration

Le traitement des résultats (notamment la simulation) est en cours dans le travail de thèse de Maxime Vacher (soutenance prévue fin septembre 2024)

La participation du LAPP au projet sera fortement réduite à partir de 2025 :

- Pierre Delebecque part au LPSC cet été et le banc sera également transféré au LPSC**
- Roman Kossakowski part à la retraite le 3 octobre 2024 (éméritat prévu)**

L'activité sera poursuivie (essentiellement LEGI et LPSC), poursuite des simulations, nouveaux échantillons, amélioration du banc), une nouvelle thèse à partir de la rentrée 2024 au LEGI/LPSC