



## Contexte et problématiques

### L'aéronautique et le spatial:

- Stockage et transport de LH<sub>2</sub> (T°C ≈ 20K / -253°C)
- Des sollicitations et des critères différents entre l'aérien et le spatial pour les réservoirs de LH<sub>2</sub>
- Cyclage thermique relatif au remplissage/vidange et durabilité des matériaux

Quid de l'intégrité mécanique et thermique des composants aux températures cryogéniques? Quid de l'insertion d'hydrogène?

## Objectifs

**Objectif technique :** Développer 2 modules cryogéniques pour réaliser des essais micromécaniques *in-situ* et *ex-situ* sous microscope électronique à balayage (MEB) et microscope optique (MO), l'un à l'aide d'une régulation en boucle fermée et l'autre via une régulation boucle ouverte.

**Objectif académique :** Etudier le comportement mécanique macroscopique, mésoscopique et microscopique des matériaux utilisés pour le stockage et le transport de l'hydrogène à température cryogénique.

## CRYOSEM permettra :

### 2 nouveaux systèmes :

⊗ **Platine d'essais thermomécaniques *in-situ* et *ex-situ*** compatible avec les mesures de champ de déformations aux fines échelles (MEB et MO)

- ⊗ Boucle ouverte jusqu'à 77 K
- ⊗ Boucle fermée jusqu'à 20 K

⊗ **Platine de cyclage thermique cryogénique *in-situ* et *ex-situ*** aux températures cryogéniques (jusqu'à 20K, i.e. -253° C) compatible avec l'observation à fort grossissement

- ⊗ Boucle ouverte jusqu'à 77 K
- ⊗ Boucle fermée jusqu'à 20 K

### Avec les caractéristiques suivantes :

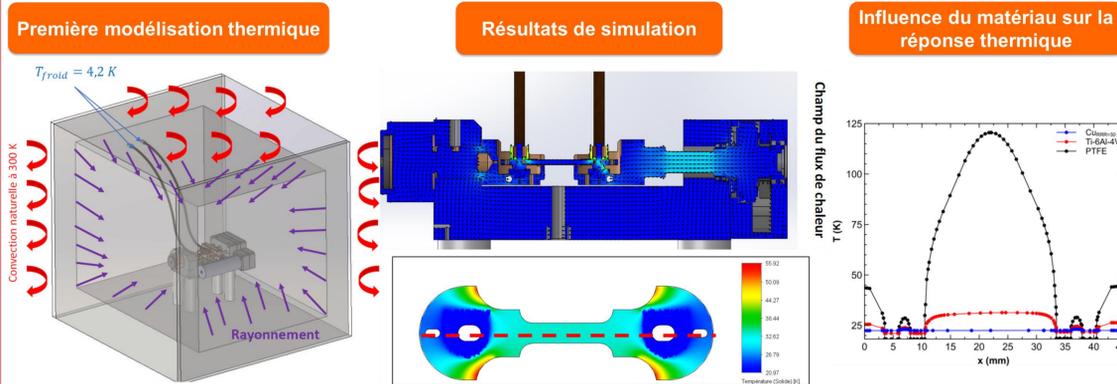
- ⊗ des températures d'essais jusqu'à 20 K (i.e. -253° C)
- ⊗ des essais sur de longues durées pour de faibles coûts opérationnels (boucle fermée)
- ⊗ des essais thermomécaniques simples et non dangereux (risques d'anoxie, brûlures, etc.)
- ⊗ des essais avec cycles thermiques et/ou mécaniques complexes
- ⊗ une stabilité d'images pour la photomécanique à différentes échelles (du macro au micro)
- ⊗ une adaptation à la plupart des MEBs existant sur le marché

**Essais à forte valeur ajoutée !**

## Schéma de principe

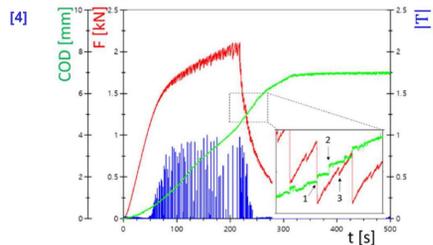


## Simulations numériques



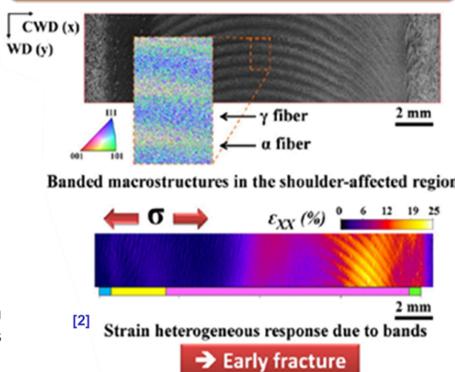
## Matériaux et Caractérisations

### Comportement macro + température

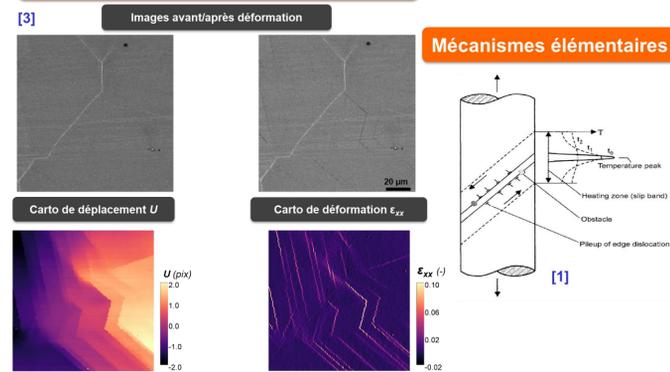


Avec l'abaissement des températures, les matériaux métalliques présentent un phénomène de plasticité discontinue similaire au PLC accompagnée de sauts de températures et d'oscillations de déformations dans le domaine plastique.

### Comportement mésoscopique avec DIC + EBSD



### Comportement microscopique avec DIC + EBSD



## Conclusions et perspectives

- Développement d'une plateforme d'essais innovante avec de nouvelles méthodologies de pointes pour étudier les matériaux en ambiance cryogénique sous microscope optique et électronique
- Validation des modélisations par des mesures expérimentales sur les 2 solutions boucle ouverte et fermée
- Fabrication des premiers prototypes et réalisation des essais sous microscope

## Références

- [1] : Pustovalov, *Low Temperature Physics*, (2008)
- [2] : Texier et al., *Materials and Design* 108 (2016)
- [3] : Liu et al., *Acta. Mater.* 169 (2019)
- [4] : J. Tabin. *Mechanics of Materials*, 163, 104090. (2021)

## Remerciements

Région Occitanie, IMT Mines Albi, CNRS (INSIS) et AIRBUS pour leur support financier et leur accompagnement scientifique.

