

# Composites dans les systèmes à hydrogène

**Institut Clément Ader (ICA) - CNRS UMR 5312**

**Groupe Matériaux et Structures Composites \***

**Rédouane ZITOUNE (responsable groupe MSC)**

**Thierry CUTARD (co-responsable groupe MSC)**

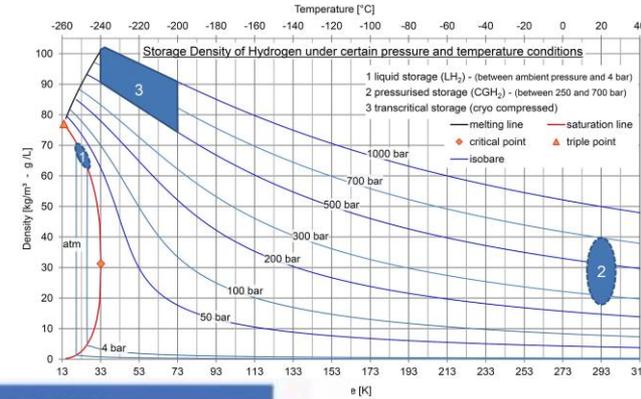
**28 septembre 2021**

\* *Contacts : [redouane.zitoune@iut-tlse3.fr](mailto:redouane.zitoune@iut-tlse3.fr), [thierry.cutard@mines-albi.fr](mailto:thierry.cutard@mines-albi.fr)*

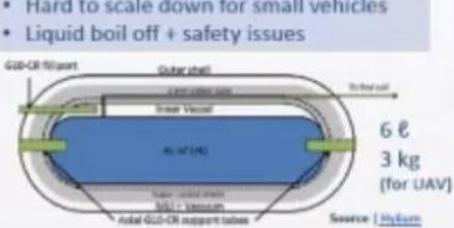
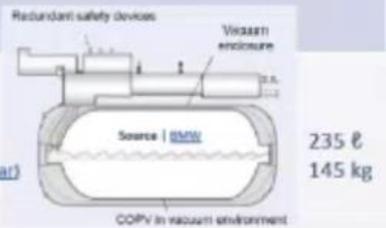
# Groupe Matériaux et Structures Composites : organisation et activités

- Activités de l'ICA : **mécanique des matériaux, procédés, structures et systèmes**
- Le groupe Matériaux et Structures Composites est **organisé en deux axes** de recherche:
  - l'axe **Matériaux-Procédés-Propriétés**
  - l'axe **Structures-Impact-Modélisation-Usinage**
- et compte **27 enseignants-chercheurs permanents** et **45 doctorants**
- Recherches sur **l'élaboration, l'usinage et le comportement des matériaux et structures composites** et sur **un large spectre d'échelles**.
- **Identifications expérimentales fines des phénoménologies** que ce soit pour les problématiques **d'élaboration ou d'endommagement**.
- A partir de la compréhension des scénarios, proposition **de stratégies de modélisations originales**.
- Approches **validées** sur des problématiques structurales, souvent proches des considérations industrielles.
- Compétences et culture en développement **d'essais originaux, compréhension des phénoménologies des composites, identification de paramètres, stratégies de modélisations et validations de modèles**.

- Différents défis suivant les architectures des réservoirs de stockage
- H2, un gaz léger nécessitant des systèmes de stockage compacts:
  - sous état gazeux, haute pression, 700bars (petits volumes type automobile)
  - sous état liquide par cryogénie (gros volumes type bateaux, avions, camions)
  - sous état gazeux par cryo-compression, 350bars.



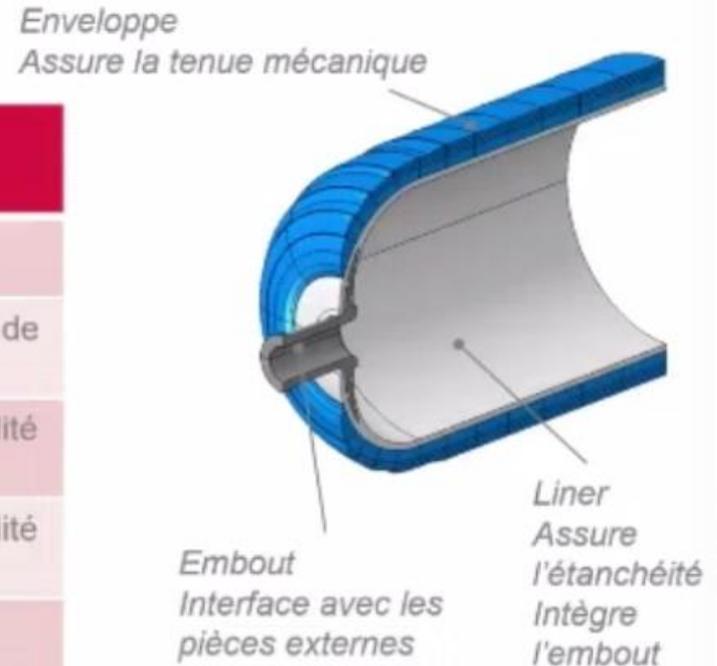
	Compressed Gas H2	Cryo-compressed H2	Liquid H2
<b>Pressure</b>	350 - 1,000 bar	up to 350 bar	Atmospheric pressure
<b>Temperature</b>	Room temp	64 K/-203°C	20.4 K/-253°C
<b>Common tank</b>	Type IV plastic/CF overwrap composite pressure vessel	Type III metal/CF overwrap super-insulated cryogenic pressure vessel	Metal tank w/ perlite insulation super-insulated, low-pressure cryotank
<b>Advantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Most mature</li> <li>• Proven safety record</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Higher density/less space required</li> <li>• No boil off vs. LH<sub>2</sub></li> <li>• More safety/redundancy vs. LH<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Higher density/less space required</li> </ul>
<b>Disadvantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• More space required due to low density</li> <li>• Most carbon fiber required</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Not mature</li> <li>• More complex, heavy and expensive</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 40% loss to compress H<sub>2</sub> liquid</li> <li>• High insulation + cryo temp issues</li> <li>• Hard to scale down for small vehicles</li> <li>• Liquid boil off + safety issues</li> </ul>



Source: CW Composites in Hydrogen Storage

- Les technologies pour le stockage par pression

Type de réservoir	Liner	Enveloppe
Type I	-	Equipement entièrement métallique
Type II	Métallique	Renfort en composite fretté au niveau de la partie cylindrique uniquement
Type III	Métallique	Renfort en composite fretté sur la totalité de l'équipement
Type IV	Non structural (ex : plastique)	Renfort en composite fretté sur la totalité de l'équipement
Type V	-	Equipement entièrement composite



source : CETIM – Techniques de l'ingénieur

- Les défis actuels des réservoirs de stockage H2
  - Conception et dimensionnement
  - Maitrise de la fabrication et du lien produit/procédé
  - Evaluation de la conformité
  - Suivi en service

- Positionnement des matériaux composites
  - composites performants
    - en raideur spécifique
    - en contrainte spécifique
  - Métaux performants en coûts, raideur, résistance mais masse volumique importante
  - Composites performants sur des pièces complexes ou sur des pièces avec intégration de fonctions

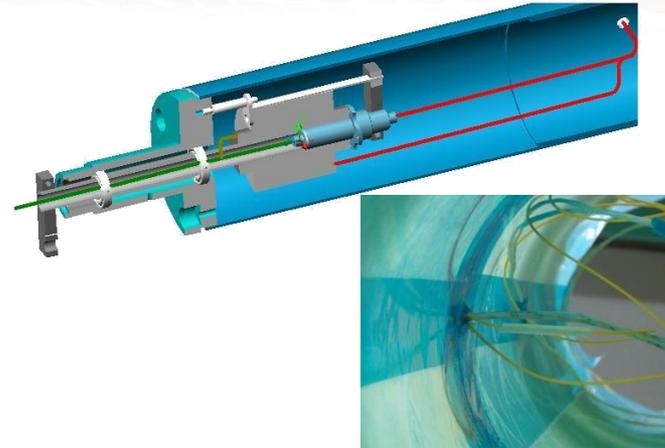
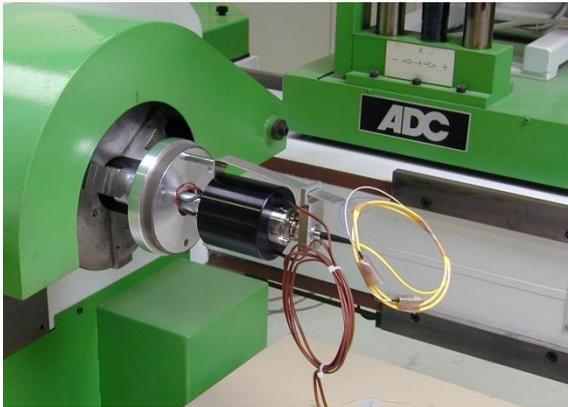
## Points forts des composites

- gain de masse
- bonne tenue en fatigue
- absence de corrosion
- tenue aux agents chimiques
- intégration de fonctions

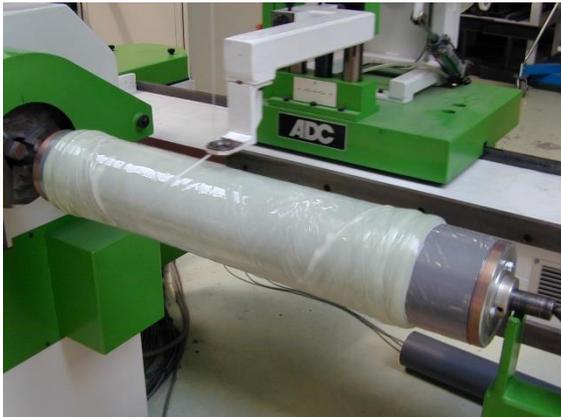
## Points faibles des composites

- sensibilité au vieillissement (eau, UV)
- souplesse par rapport aux aciers
- tenue en température
- comportement au feu
- coût matière

# 7 Tubes par enroulement filamentaire : fabrication et caractérisation



Fabrication et instrumentation à cœur par fibres optique à réseaux de Bragg



Enroulement

Cuisson

Extraction mandrin

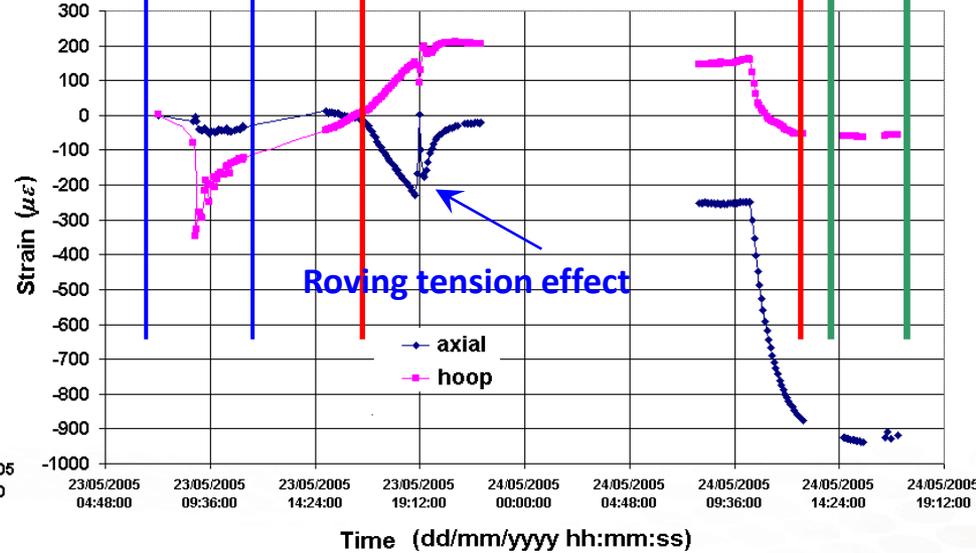
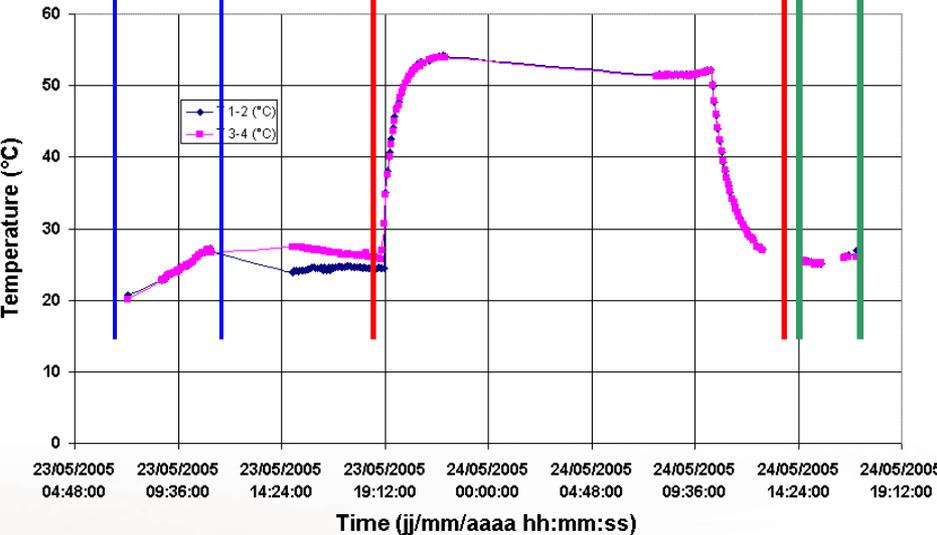
Enroulement

Cuisson

Extraction mandrin

Temperature evolution

Axial and hoop strain monitoring during fabrication

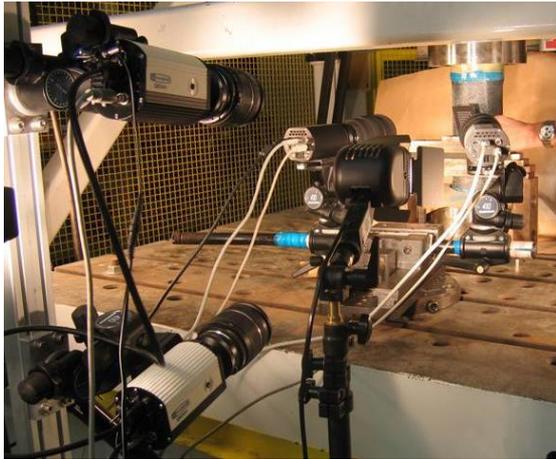


Epaisseur : 5 mm, déformation axiale and déformation tangentielle

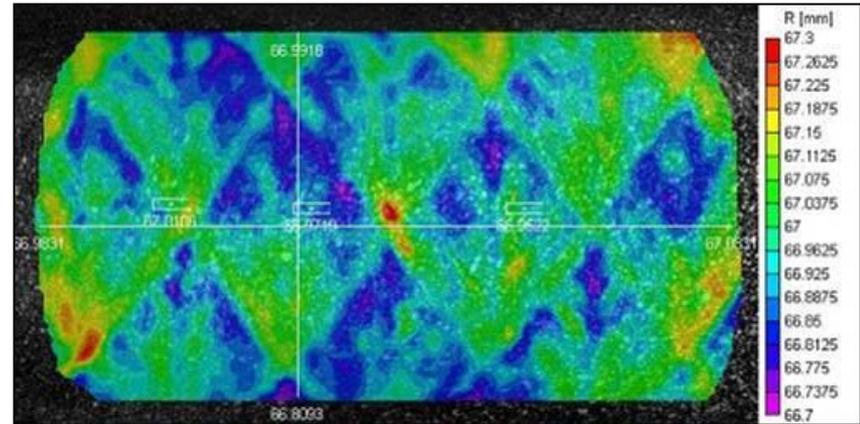
Localisation du réseau de Bragg : entre 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> plis, au centre du tube

Déformations résiduelles en fin d'élaboration :

- axiale :  $- 400 \cdot 10^{-6}$
- tangentielle :  $- 50 \cdot 10^{-6}$

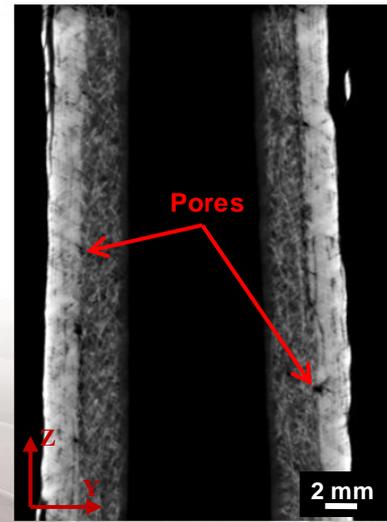
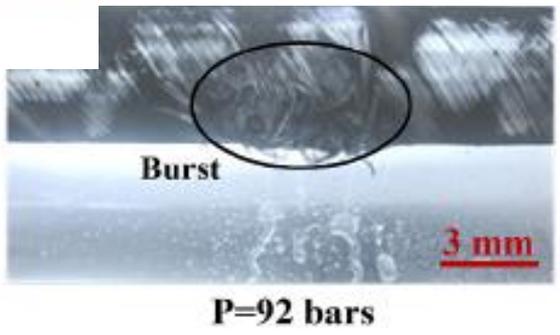
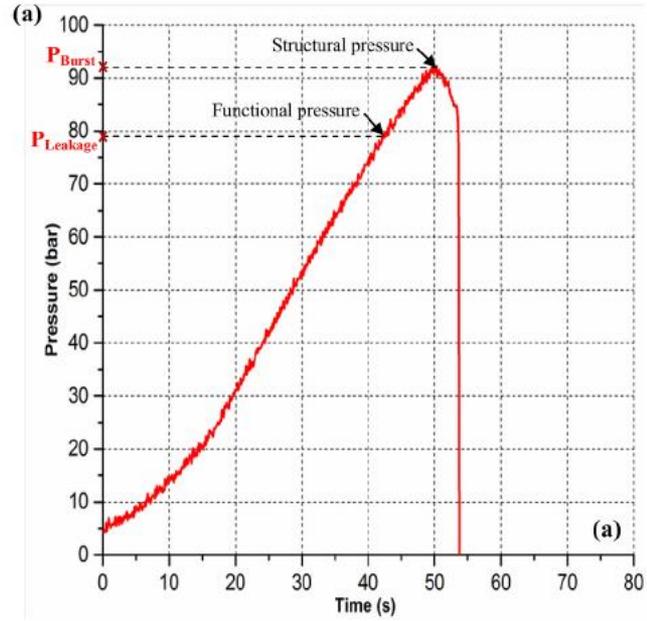
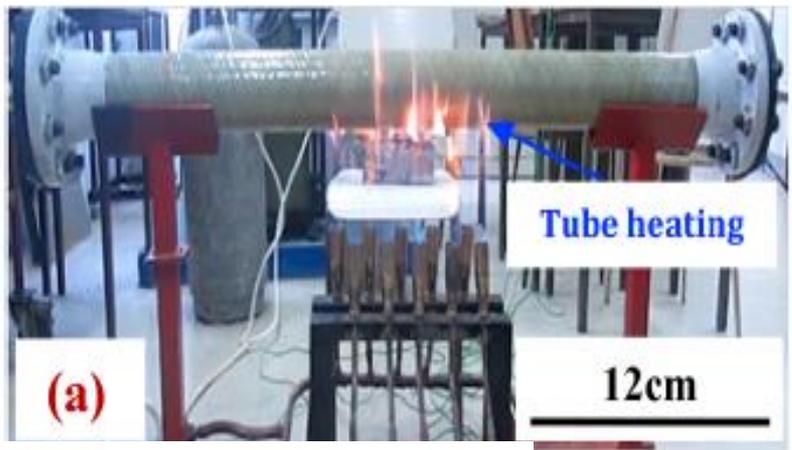


Essais multi-axes et banc de stéréovision + stéréocorrélation.



Identification de champs de propriétés mécaniques de structures composites à partir de mesures de champs de déplacement

# Comportement au feu de tubes composites sous pression

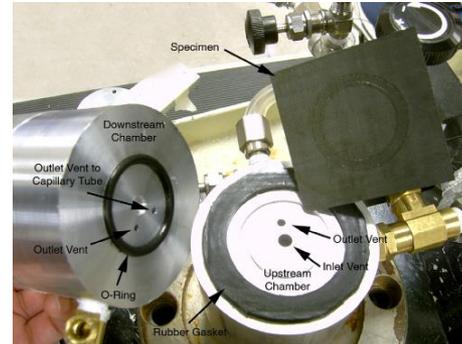


## Perméabilité à l'hydrogène des composites à matrices organiques aux températures cryogéniques

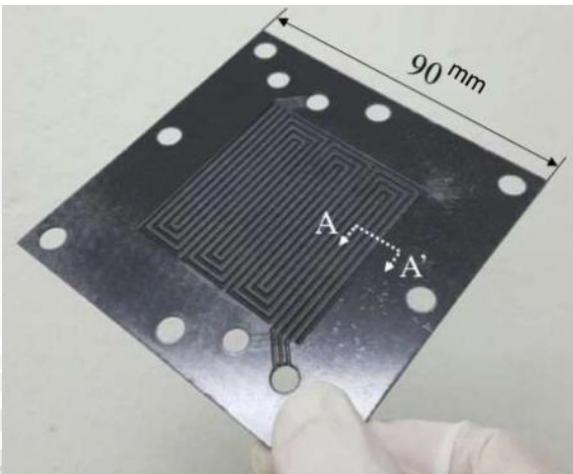
(financement dans le cadre du Défi Clé H2)

Problématiques scientifiques:

- Développement d'un équipement de mesure de perméabilité à basse température
- Perméabilité des polymères et des composites en fonction de la température
- Rôle des porosités, de l'endommagement et des interfaces sur la perméabilité



Choi & Sankar. Composites: Part B 39 (2008) 782–791



## Etude du procédé de thermocompression de composites thermoplastiques pour la fabrication de plaques bipolaires

Modélisation de la consolidation et relation avec la perméabilité aux gaz



Problématiques scientifiques:

- Consolidation de composites TP de qq 100µm (approche expérimentale et numérique)
- lien entre la microstructure, le niveau de porosités, la perméabilité aux gaz et les propriétés électriques

Merci de votre attention