

Dynamique UBS

Réservoir hydrogène type 4

Enjeux et acteurs sur le territoire

L' Hydrogène à l'UBS

- **Projets UBS**

- L'hydrogène est l'un des axes des écosystèmes d'innovation
- Chaîne complète de l'hydrogène - démonstrateur (ENSIBS), Test matériaux réservoirs (IRDL, CompositIC),...
- Implication des laboratoires et plateforme sur la thématique Hydrogène : Institut de recherche Dupuy de Lôme (IRDL), Laboratoire des sciences et techniques de l'information, de la communication et de la connaissance (LabsTICC), Laboratoire d'économie et de gestion de l'Ouest (LEGO), Lab-LEX, CompositIC

- **Formation et compétences Hydrogène**

- Du technicien à l'ingénieur : profils Bac+3 à Bac+5
- [Quatre formations proposées](#)

Application du réservoir H2 et son intégration

Applications pour des véhicules à pile à combustible ou véhicules thermiques

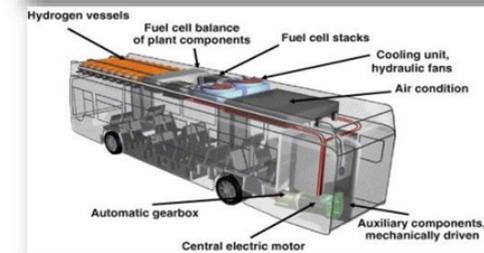
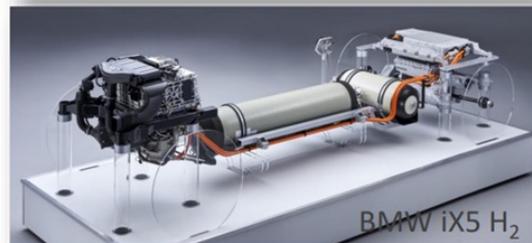
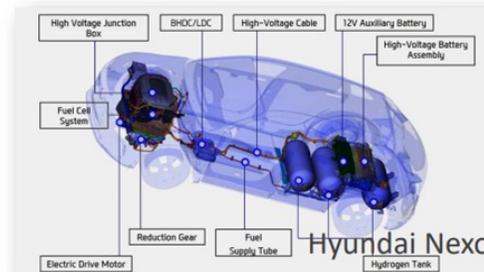
Objectif: stocker 5 à 6 kg d'H₂ pour une autonomie de 500-600 km

À 700 bars, cela représente un volume de 125L

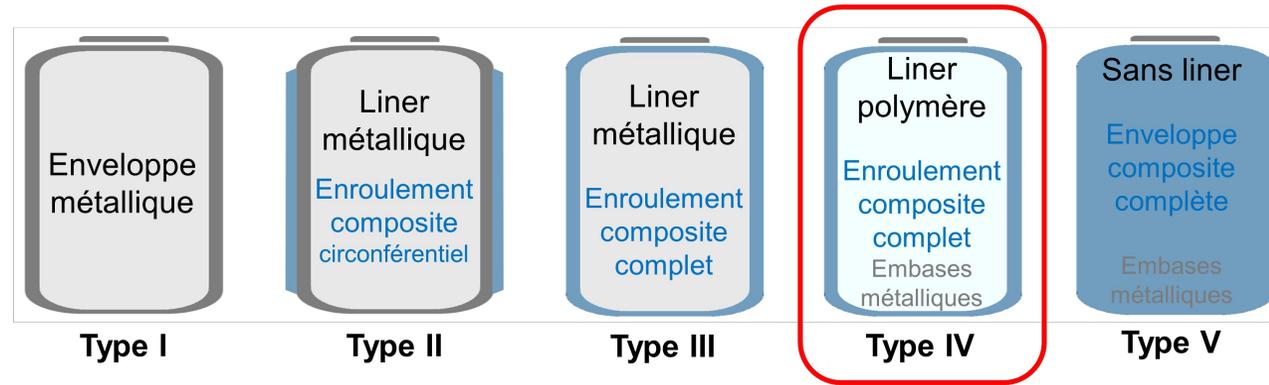
Différentes stratégies d'intégration existent

Remplissage à -40 °C et échauffement à 85°C

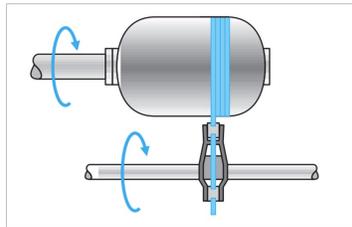
$$\text{Capacité Gravimétrique} = \text{Capacité gravimétrique de stockage} = \frac{\text{Masse H}_2}{\text{Système H}_2 + \text{Masse H}_2}$$



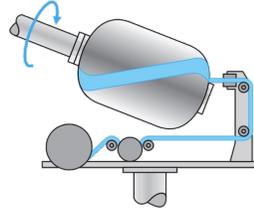
Principe des réservoirs H2



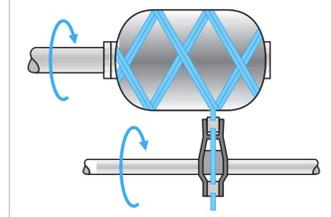
Process:
Enroulement filamenteux



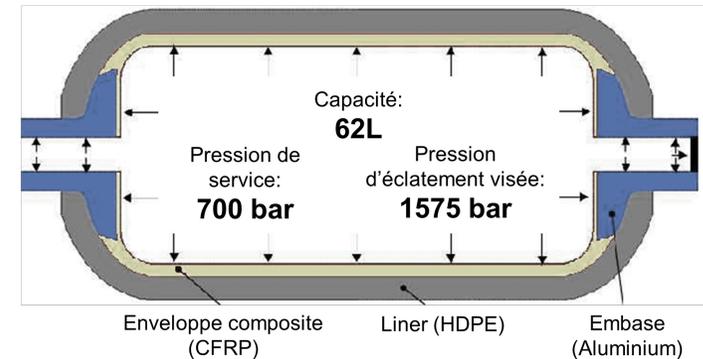
circonférentielle



Polaire



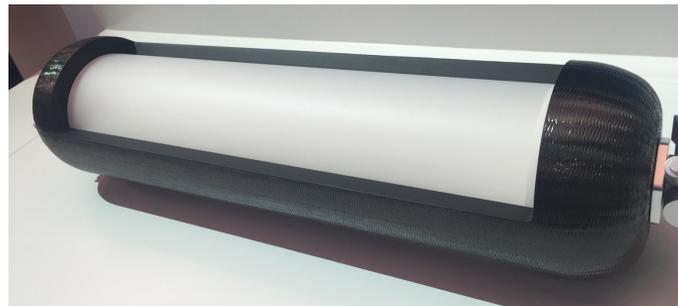
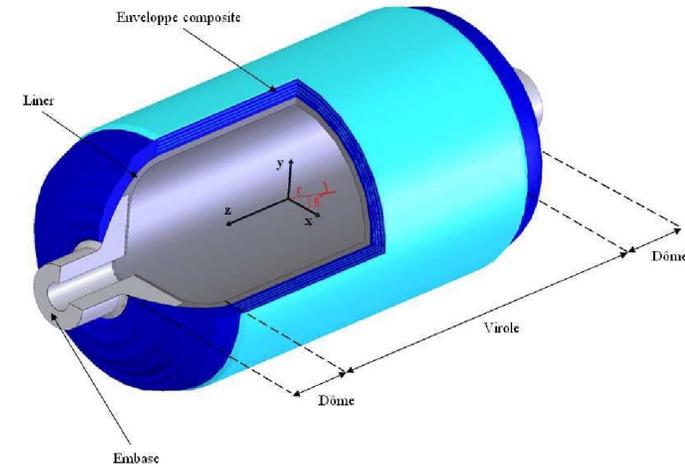
hélicoïdale



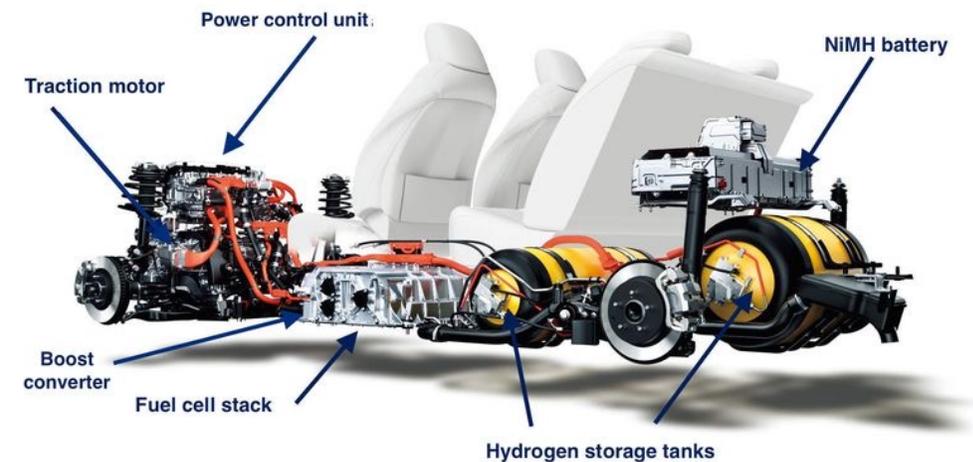
Tests de qualification des réservoirs
Norme 1981:2018

Réservoir gazeux type IV

- Enveloppe composite (enroulement filamentaire)
- Liner polymère (rotomoulage, extrusion soufflage, PE et PP)
- Embases métalliques
- Revêtement + équipement de protection



Pression standard TYPE IV : 700 bars



Enjeux réservoir type 4

- **Fabrication : productivité, fiabilité, viabilité**
 - Optimiser les paramètres process
 - ⇒ Extrusion soufflage du liner
 - ⇒ Enroulement filamentaire
 - Innover : assemblage embouts-liner (intégration in-situ extrusion soufflage, soudage, fonctionnalisation surface...)
 - Développer les matières (résistantes au milieu, adaptées à la production, à moindre impact environnementale, ...)



Enjeux réservoir type 4

- **Suivi santé : instrumentation**

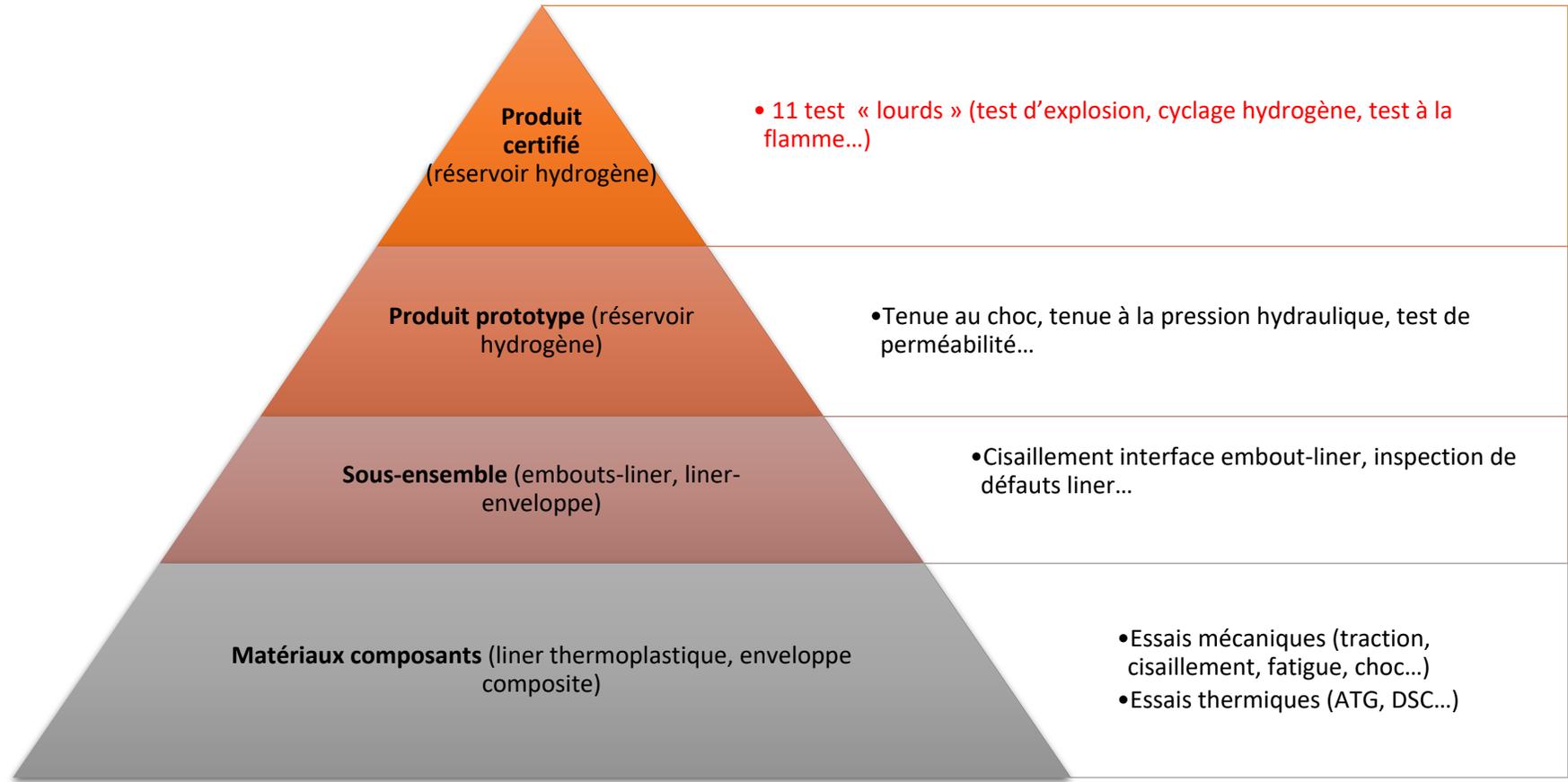
- Implantation in-situ de capteurs dans l'enveloppe composites
- Acquisition déformations/température du réservoir :
 - ⇒ Suivi de caractérisation
 - ⇒ Suivi à l'utilisation (contrôle et signalisation d'une anomalie en temps réel)
 - ⇒ Réservoir connecté IOT, jumeau numérique pour sécurisation, assurances



Spécifications de qualification des réservoirs

Essais multi-échelle selon la norme ISO 19881

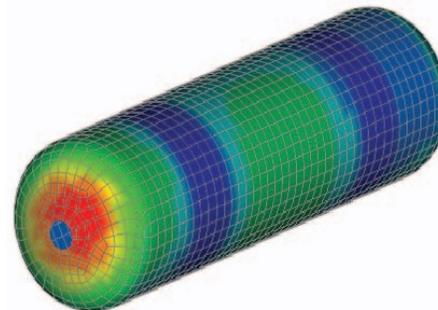
[2022-06-30-AA-
PRESENTATION RESERVOIR HYDROGENE CAHIER
DES CHARGES.pptx](#)



15/04/2024

Phase exploratoire à envisager dans la recherche

- Cycle de de vie et recyclabilité
- Autre architecture et type de réservoir (TYPE V)
- Autre matériaux : Thermoplastique, Autre composites,...
- Hybridation des process et architecture du réservoir associée (mix AFP/ enroulement)
- Géométrie: réservoirs tubulaires, optimisation des trajectoires...
- Optimisation : dimensionnement pour les 11 tests normatifs
 - ⇒ Réduction de la masse et des coûts
 - ⇒ Réservoirs de type V (sans liner, où l'étanchéité serait assurée par le composite)



ComposiTIC

Engagement de la plateforme de l'Université Bretagne sud dans le développement des réservoirs hydrogènes de Type IV

Mise à disposition d'une chaîne de valeur complète de développement et de validation pré-étude à partir des spécifications jusqu'aux premiers tests (burst test, cyclage).

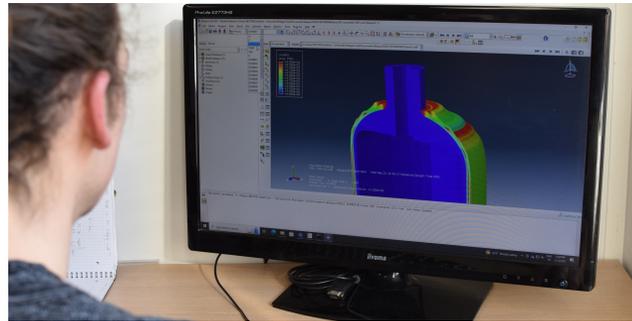
Combinaison innovante matériaux, procédés, design



Essais Nol Test



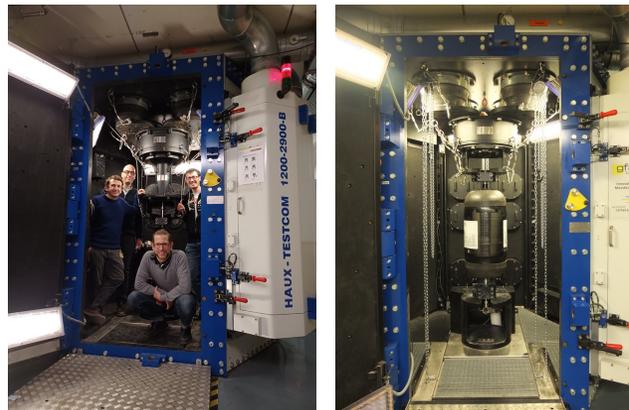
Enroulement matériaux thermodur. Et thermoplastique



Modélisation produit (woundsim) et process

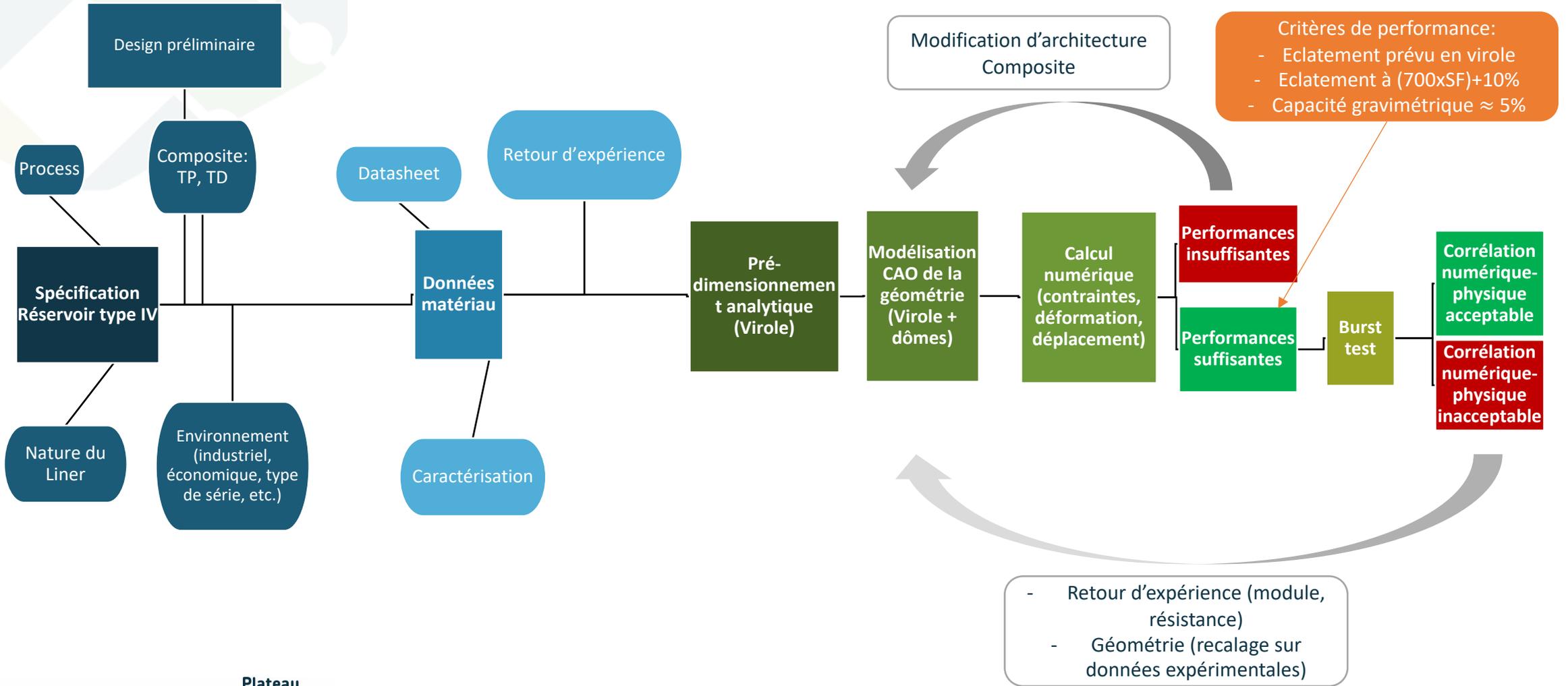


Enroulement filamentaire MFTech (Coriolis group)



Banc burst test

Conception d'un réservoir Hydrogène type IV



15/04/2024

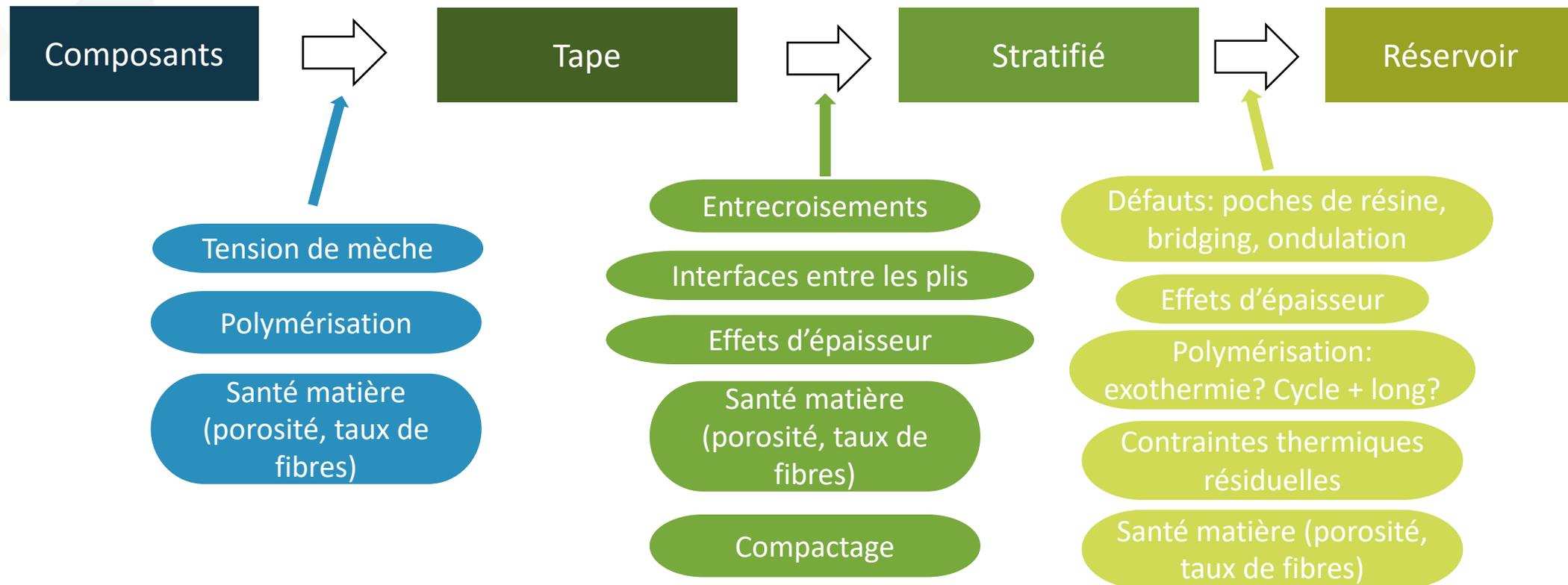
Procédés et matériaux : choix et impacts

Fabrication possibles pour les réservoirs TYPE IV

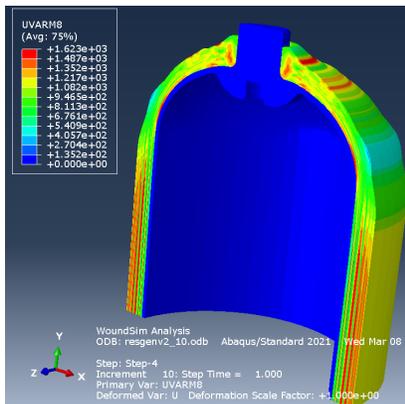
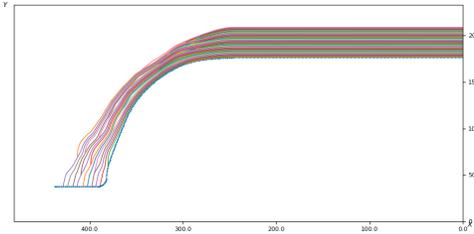
- Procédés :
 - Enroulement filamentaire robotisé - MFtech (Queven)
 - Placement de fibres - Coriolis (Queven)
- Composites :
 - thermoplastique
 - thermodurcissable préimprégné
 - thermodurcissable voie humide
 - thermodurcissable imprégné en ligne



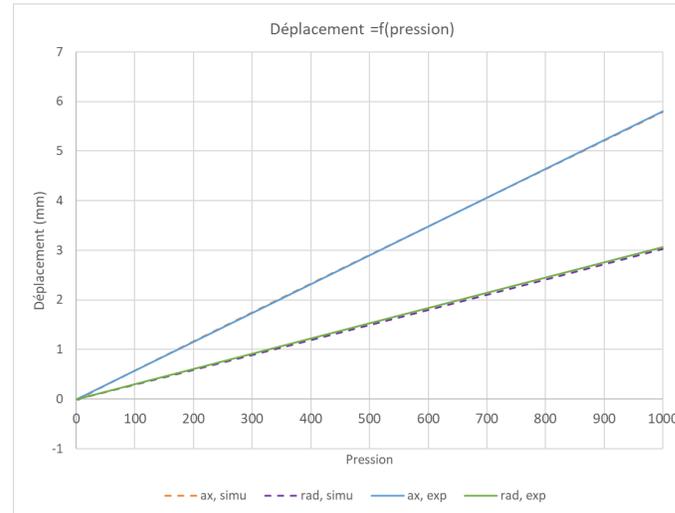
Origine des variations de propriété matériau d'une échelle à l'autre



Moyens de conception



✓ Abaqus, Woundsim



✓ Corrélation numérique - physique



✓ Essais semi structurel
NOL
Objectif – Propriété matériaux ou stratifié

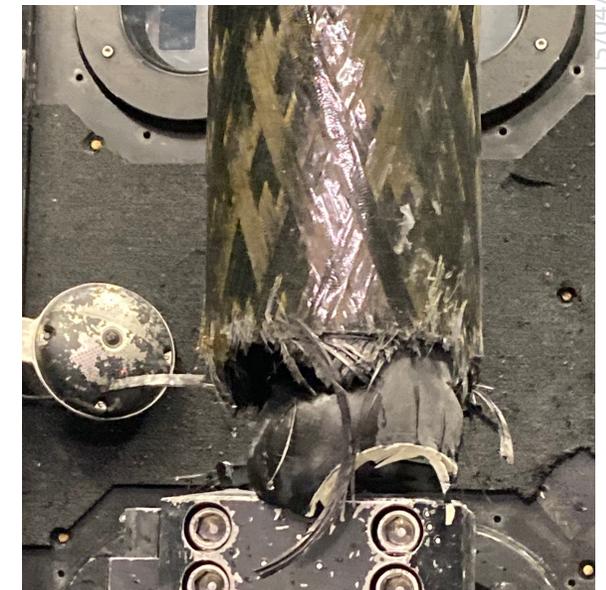
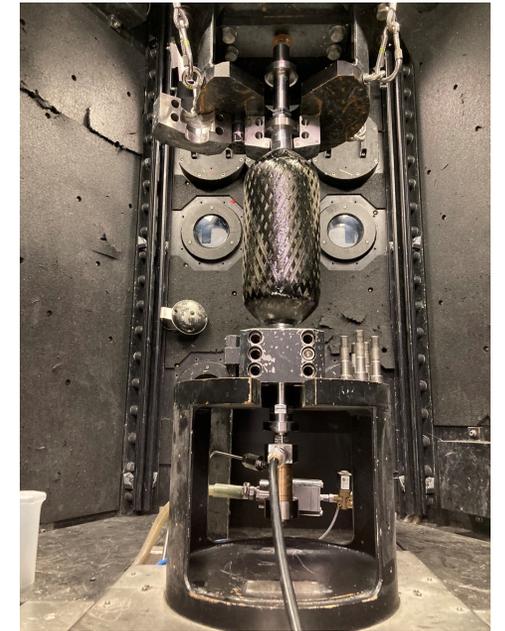


✓ Essais structurel
Burst Test
Objectif - Rupture en virole: « safe mode »

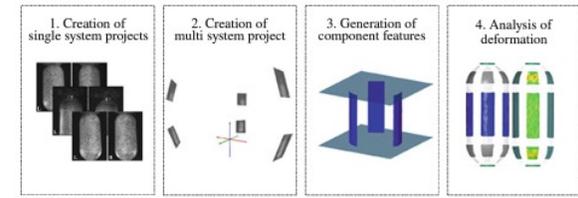
Moyens de qualification – Burst test

Machine de caractérisation en Burst test et cyclage

- Mise sous pression par la partie inférieure
- Pression interne hydraulique maximale 2000 bars
- Possibilité de programmation de cyclage des réservoirs



Moyens de qualification – Burst test



Predefined and semi-automated process using GOM Scripting (~15 mins)

Fig. 3.6 Overview of individual steps for the DIC postprocessing workflow

Equipements présents :

- 3 faces équipées et 3 rangées / face composées de 2 caméras de corrélation d'images + projecteur
- Fréquence d'image : 1-10 Hz
- Résolution caméra : 1624 x 1234 px²



Plateau technique

- Script de reconstitution du réservoir avec les images des caméras et analyse des déformations

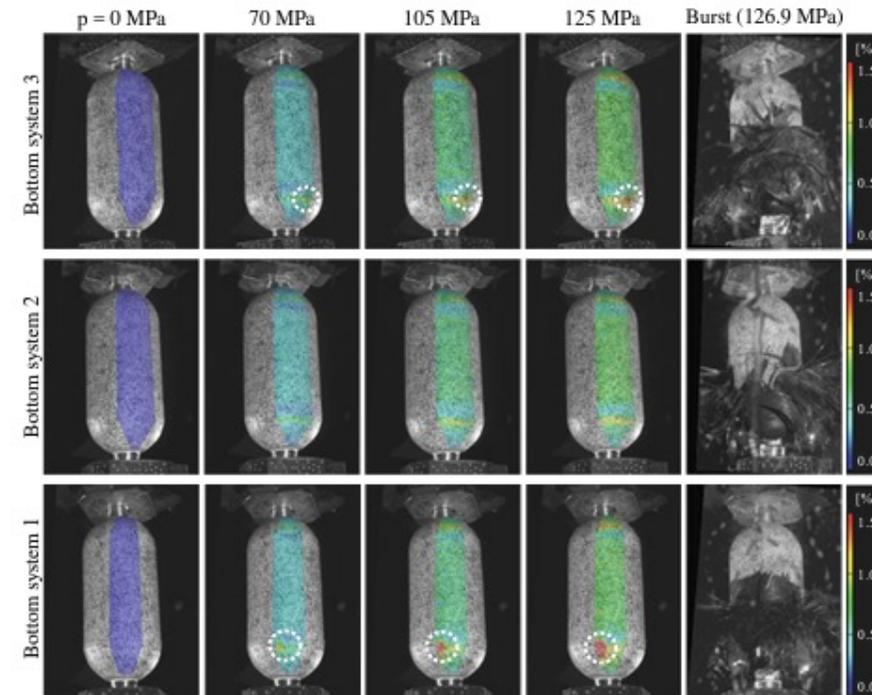


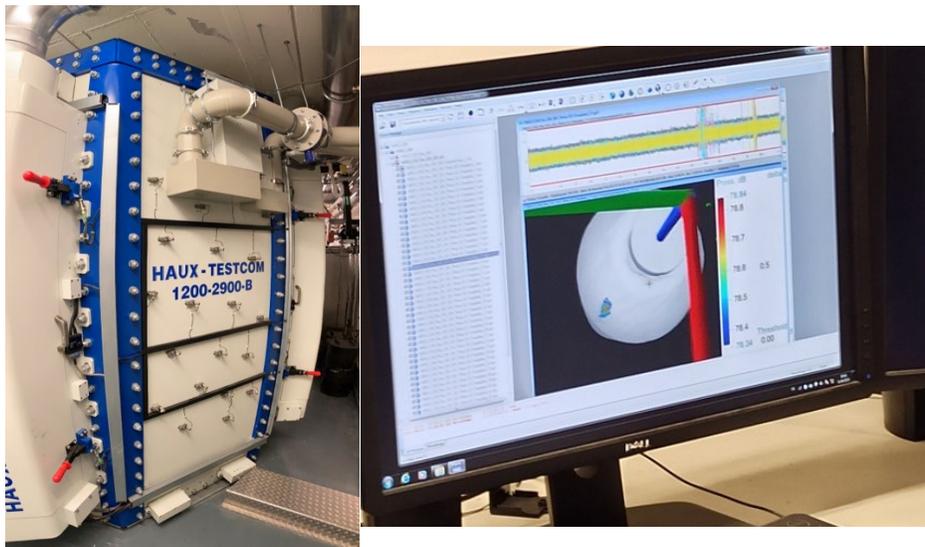
Fig. 4.7 Meridional strain fields during a burst experiment shown from three different circumferential positions

Nebe, M (2022). *In Situ Characterization methodology for the design and analyses of composite pressure vessels* [Thèse de doctorat]

Moyens de qualification – Burst test

Equipements présents :

- 120 capteurs acoustiques répartis sur toutes les faces de la chambre
- Seuillage des signaux acoustiques pour l'identification des mécanismes d'endommagement sur le réservoir 3D



Plateau technique

- Réservoir mis sous pression à une valeur sélectionnée : comparaison des événements acoustiques sur le modèle numérique avec le réservoir physique

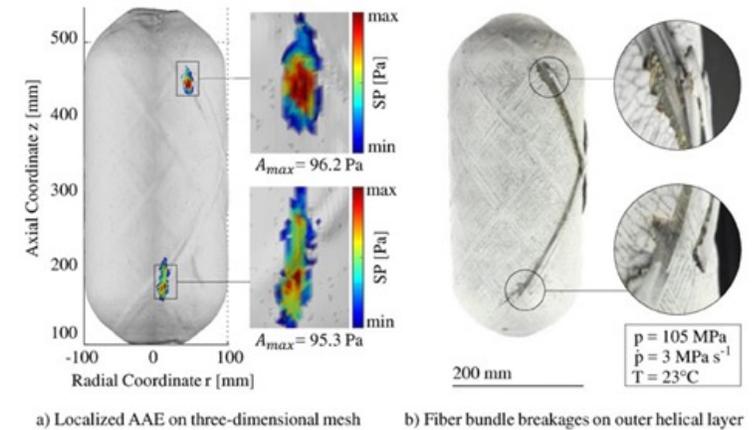
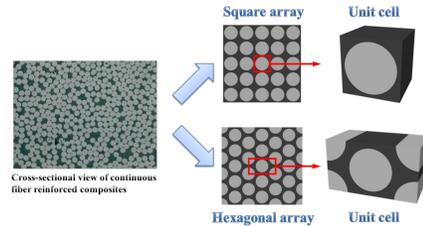
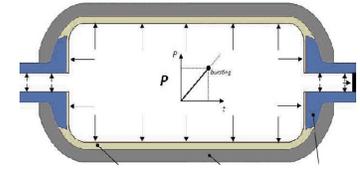


Fig. 4.22 Comparison of emission localization on three-dimensional mesh to the positions of fiber bundle breakages on the outermost helical layer

Nebe, M (2022). *In Situ Characterization methodology for the design and analyses of composite pressure vessels* [Thèse de doctorat]

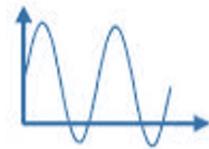
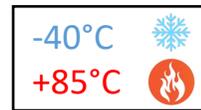
Enjeux scientifiques

Comprendre le comportement d'un stratifié épais soumis à une pression interne (élasticité, rupture)



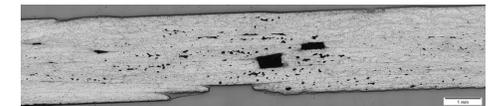
Etablir des modèles et des lois d'homogénéisation et de localisation adaptés à l'enroulement filamentaire

Créer des dispositifs d'essais semi-structuraux sur une éprouvette composite mise en œuvre par enroulement filamentaire, pour obtenir ses propriétés dans le plan et hors plan



Développer des essais pour comprendre le comportement des matériaux et des interfaces en cyclage, et à des températures extrêmes

Intégrer les paramètres de fabrication dans des modèles numériques (porosité, taux de fibres, contraintes thermomécaniques résiduelles)



Optimisation des trajectoires des fibres



Evaluer l'impact environnemental liées à un matériau et un procédé

