

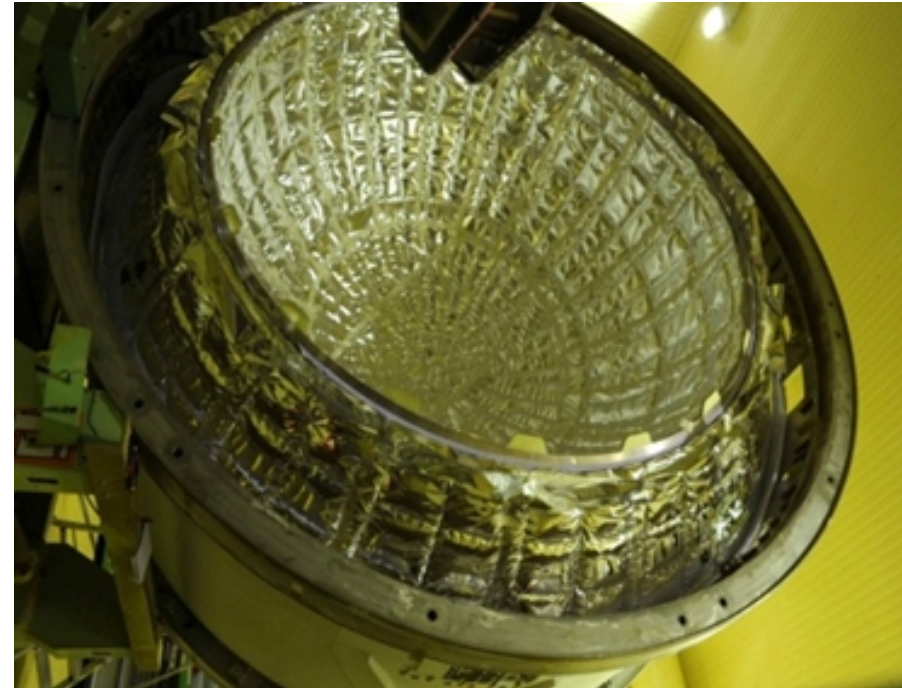
# Recherche et développement chez EuroCryospace



## Sommaire

- EuroCryospace
- Le Contexte Spatial
- La R&T chez EuroCryospace
- Les problématiques associées aux réservoirs cryotechniques
- Développements possibles
- Conclusion

## La Société : EuroCryospace



2012 :

170 personnes dont 35 dédiés aux études

2 sites : Les Mureaux (France) et Brème (Allemagne)

2016 :

150 personnes dont 8 personnes aux études

site des Mureaux



## La Société : EuroCryospace



- G.I.E entre **AIR LIQUIDE** (55%) & **AIRBUS DS** (45%) depuis 1988.

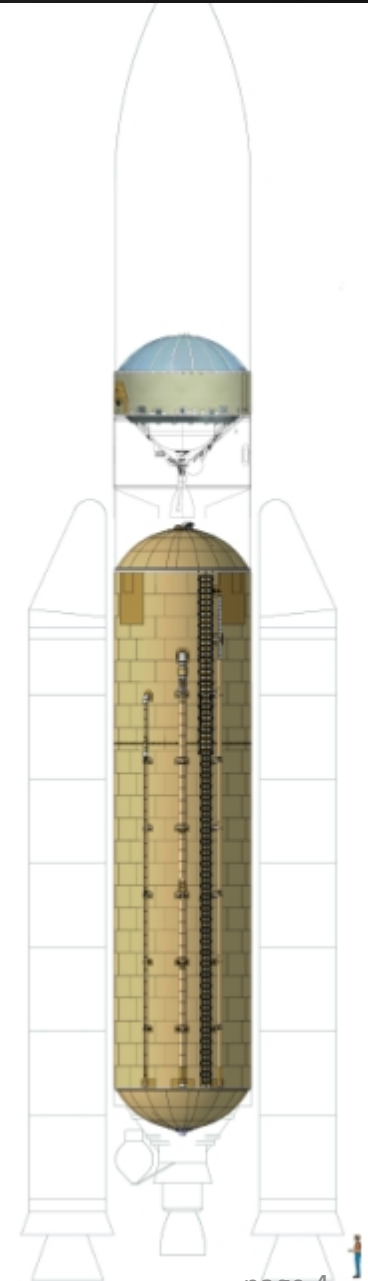


- 1 Mission : Ariane 5

- Etage Principal Cryotechnique EPC (x90 depuis 1988)
- Etage Secondaire Cryotechnique ESC (x60 depuis 2002)

- 2 problématiques principales:

- Soudage
- Isolation



## La Société : Produits

### - ESC

- **Réservoirs Oxygène et Hydrogène**

Structure: 2T ; O<sub>2</sub>: 16T (90°K) ; H<sub>2</sub>: 2,7T (20°K)

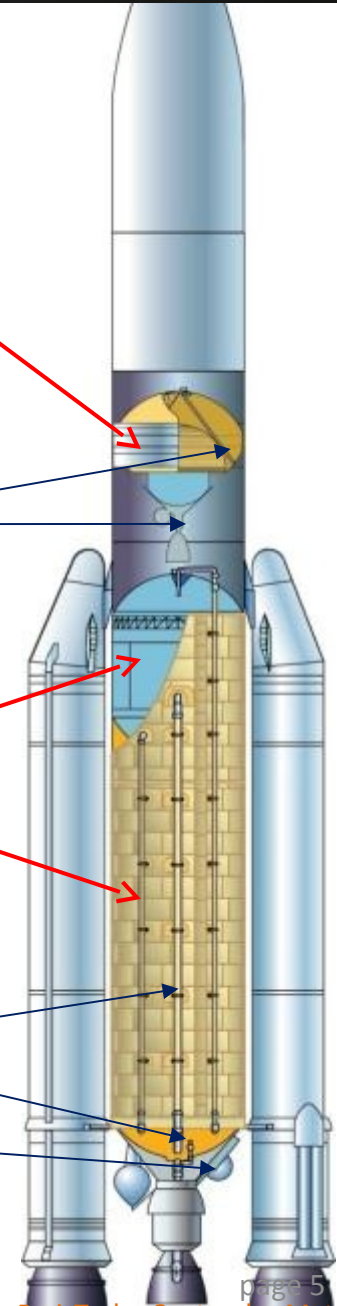
Lignes Cryotechniques

### - EPC

- **Réservoirs Oxygène et Hydrogène**

Structure: 5,9T ; O<sub>2</sub>: 150T (90°K) ; H<sub>2</sub>: 25T (20°K)

Lignes Cryotechniques



EPC isolé et équipé

RLO2 : 6m de long  
90°K

23m de long  
Épaisseur : 1,3 à 15 mm

RLH2 : 17m de long,  
20°K

Dôme commun  
isolé

Isolation externe  
Panneaux rapportés

Support  
électrique

Lignes d'alimentation  
Ligne de pressurisation

## EPC isolé et équipé

### Le Soudage

Procédé :

→ TIG

**Tungsten Inert Gas Welding**

2 Matériaux :

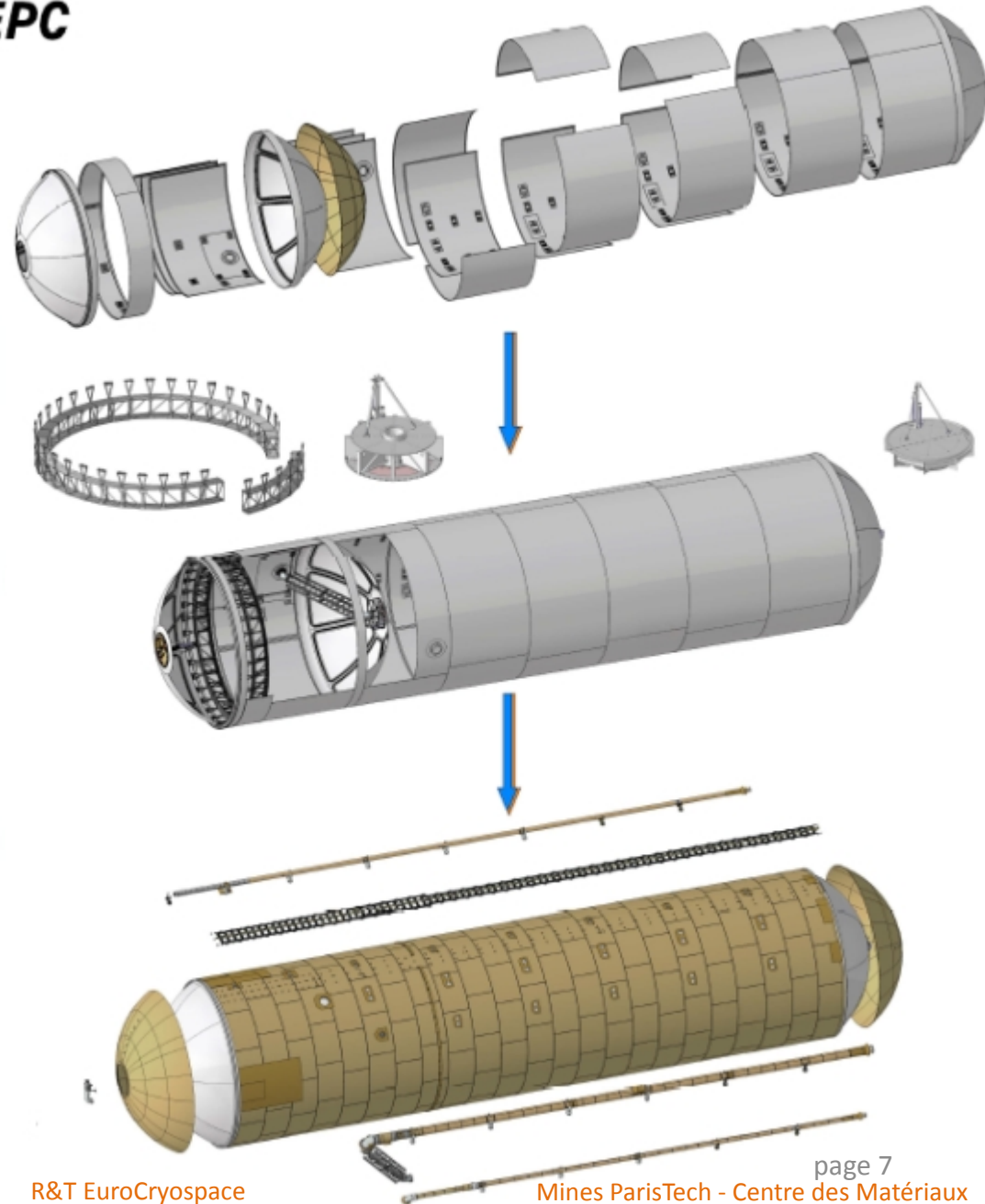
- Aluminium
- Acier inoxydable

### L'isolation

2 Process:

- Isolation projetée
- Isolation collée

**EPC**



# ESC-A isolé et équipé RLH2 tank: 5,4m diam. ; 20°K

Equipement interne

Ligne de pressurisation

Isolation projetée  
(Cryosof<sup>(R)</sup>)

Isolation  
extérieure

Lignes  
D'alimentation

Equipements  
externes

Inner bulkhead:  
4m, 300 Kg  
6,8bars

Equipement interne

Isolation multi-couche

## Le Contexte

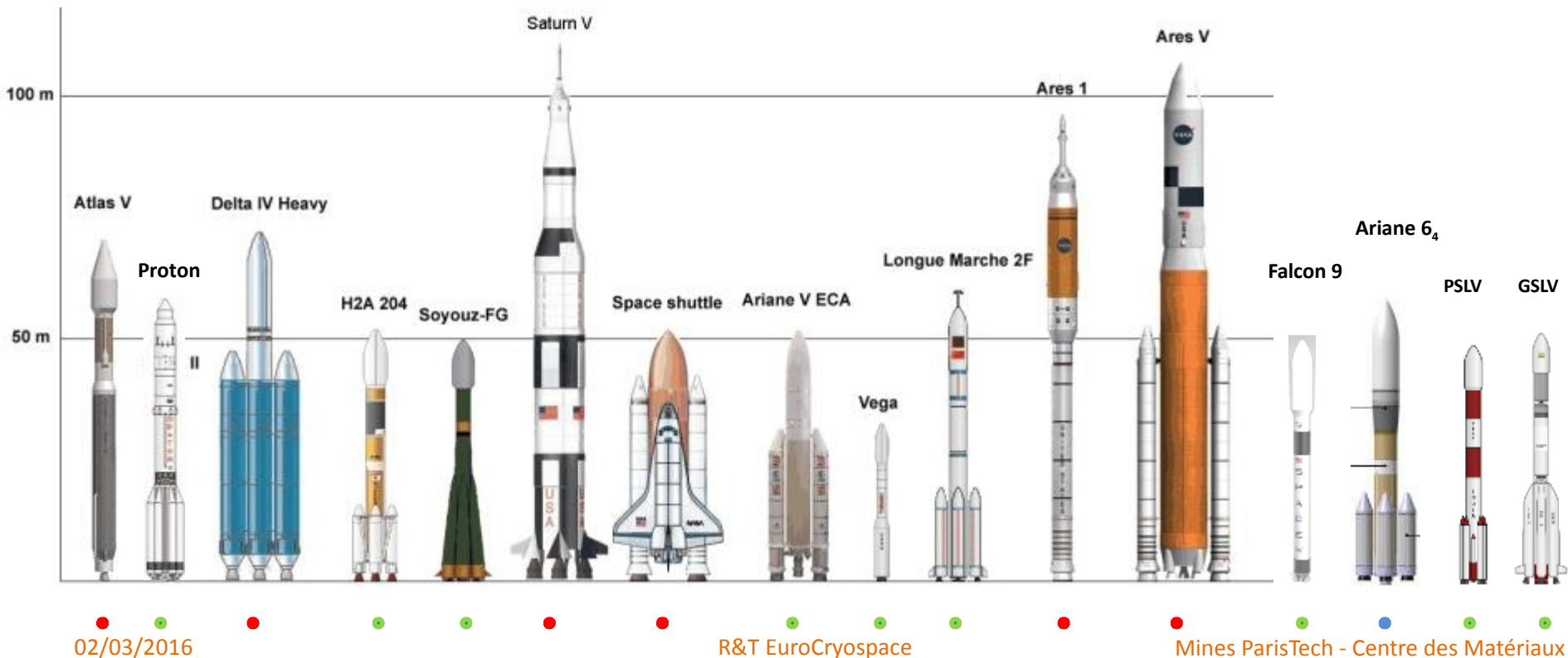
### ➤ Concurrence rude

- SpaceX – Falcon9
- Proton, Zenit, Soyuz
- Sheng-Zu
- H-II (Japon)
- PSLV & GSLV (Inde)

### ➤ Evolution Ariane

- Ariane 5 ECA+
- Ariane 6

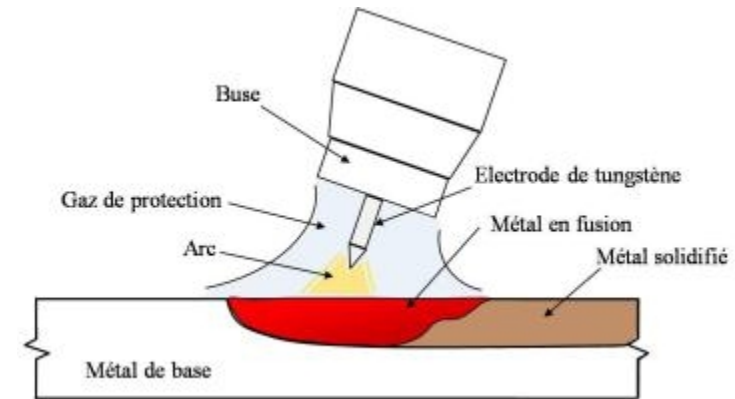
### ➤ Equipes de développement EuroCryospace → Ariane 6



## Les principales problématiques

### Soudures

- Amélioration des soudures
- Amélioration de la modélisation numérique
- Amélioration des critères de rupture
- Amélioration des marges
- Amélioration méthodes de détection de défauts



### Améliorations techniques

- Fond commun sandwich – mousse/aluminium
- Friction Stir Welding
- Additionnal Layer Manufacturing (impression 3D)
- Isolations MLI, cellulaire, treilli
- Caractérisation de soudure d'aluminium au lithium
- Etc.



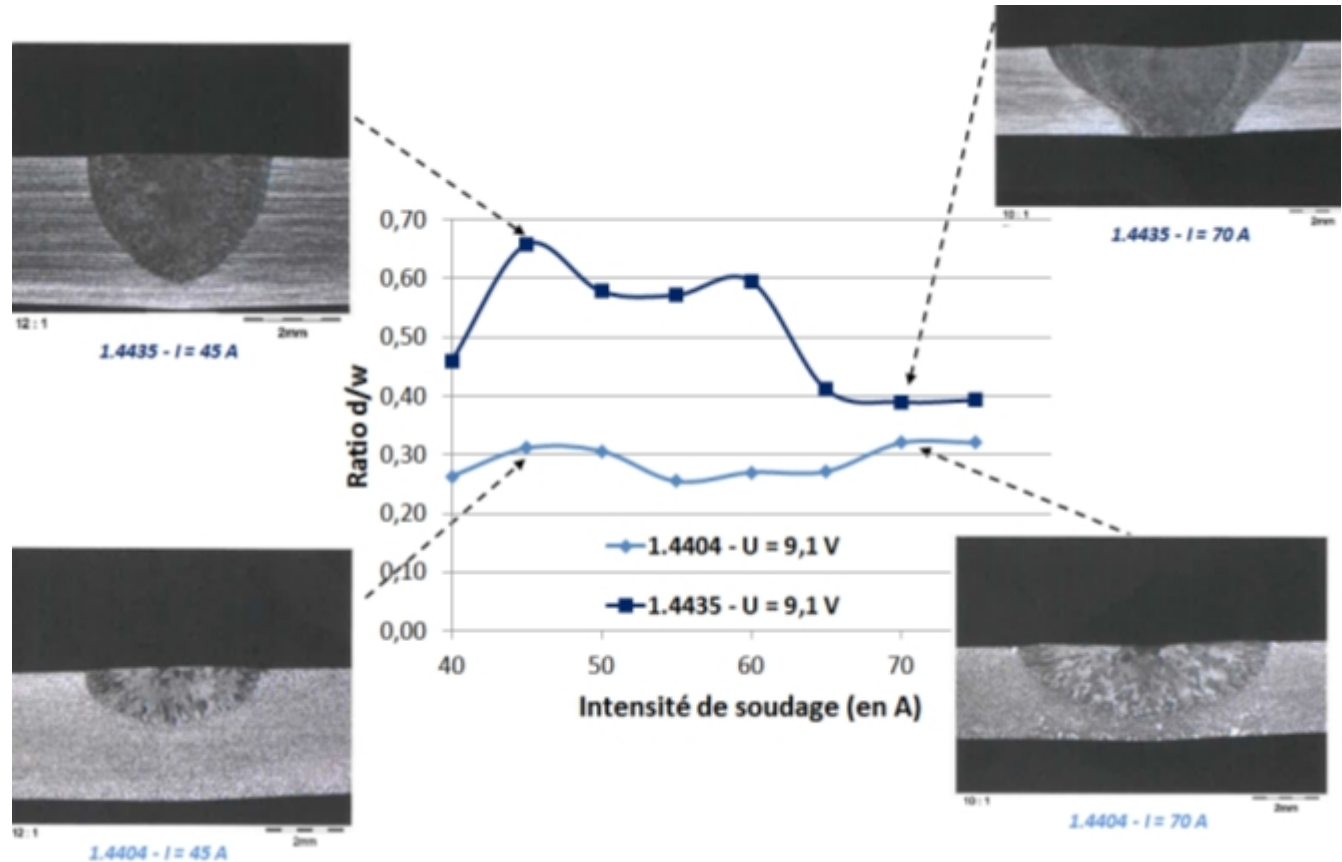
## Soudures

### ➤ Amélioration des soudures

Baisse des Rm suite à l'évolution des matériaux ou la dérive des méthodes  
→ Etudes de re-qualification des soudures



### Réévaluation des impacts des paramètres

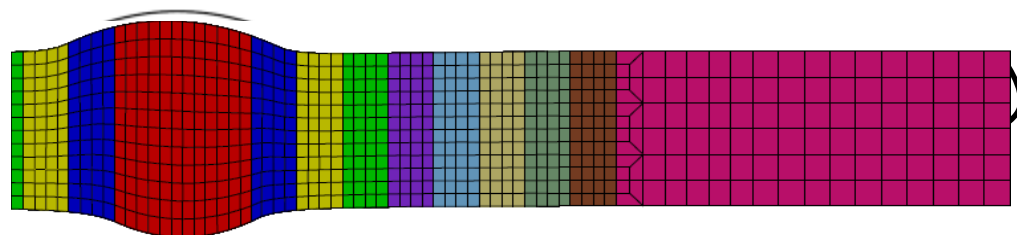


## Soudures

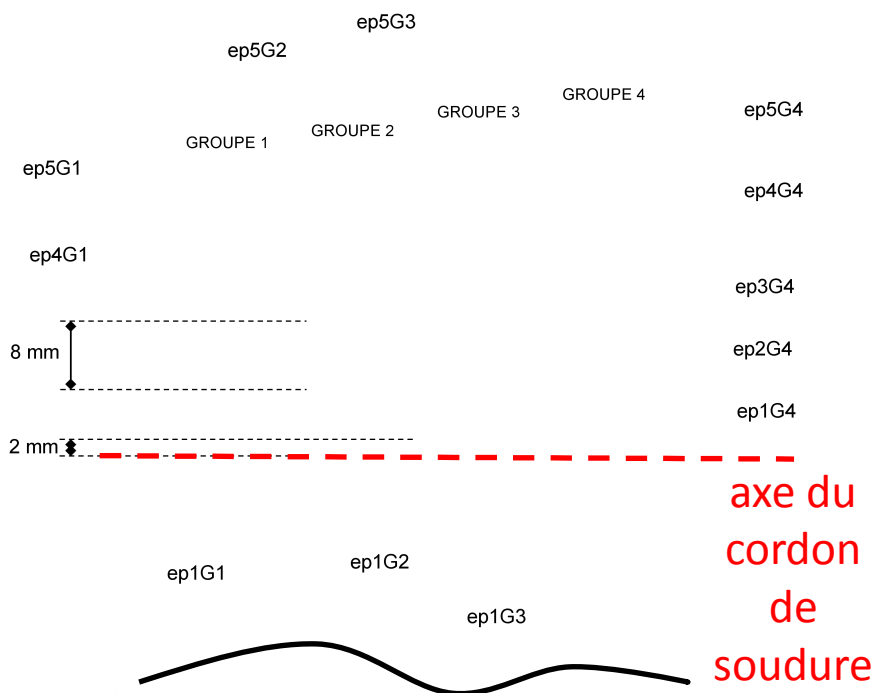
### ➤ Amélioration de la modélisation numérique

Meilleure connaissance des matériaux en bord de soudure TIG

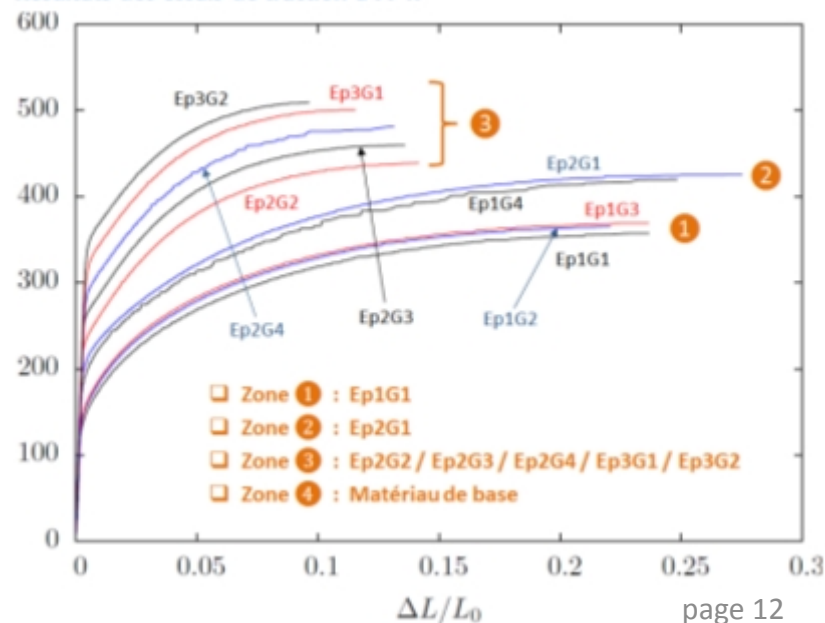
➔ Répartition matériau recalée sur le comportement des éprouvettes



- ❑ **Métal fondu** :  $T^\circ$  - proche de  $800^\circ\text{C}$
- ❑ **ZAT 1** :  $T^\circ > 350$  à  $400^\circ\text{C}$  : remise en solution des phases précipitées
- ❑ **ZAT 2** :  $T^\circ$  entre  $200^\circ\text{C}$  et  $350^\circ\text{C}$  : autorise un revenu du matériau
- ❑ **Métal de base** :  $T^\circ < 200^\circ\text{C}$  : sans impact



### ➤ Résultats des essais de traction à 77 K

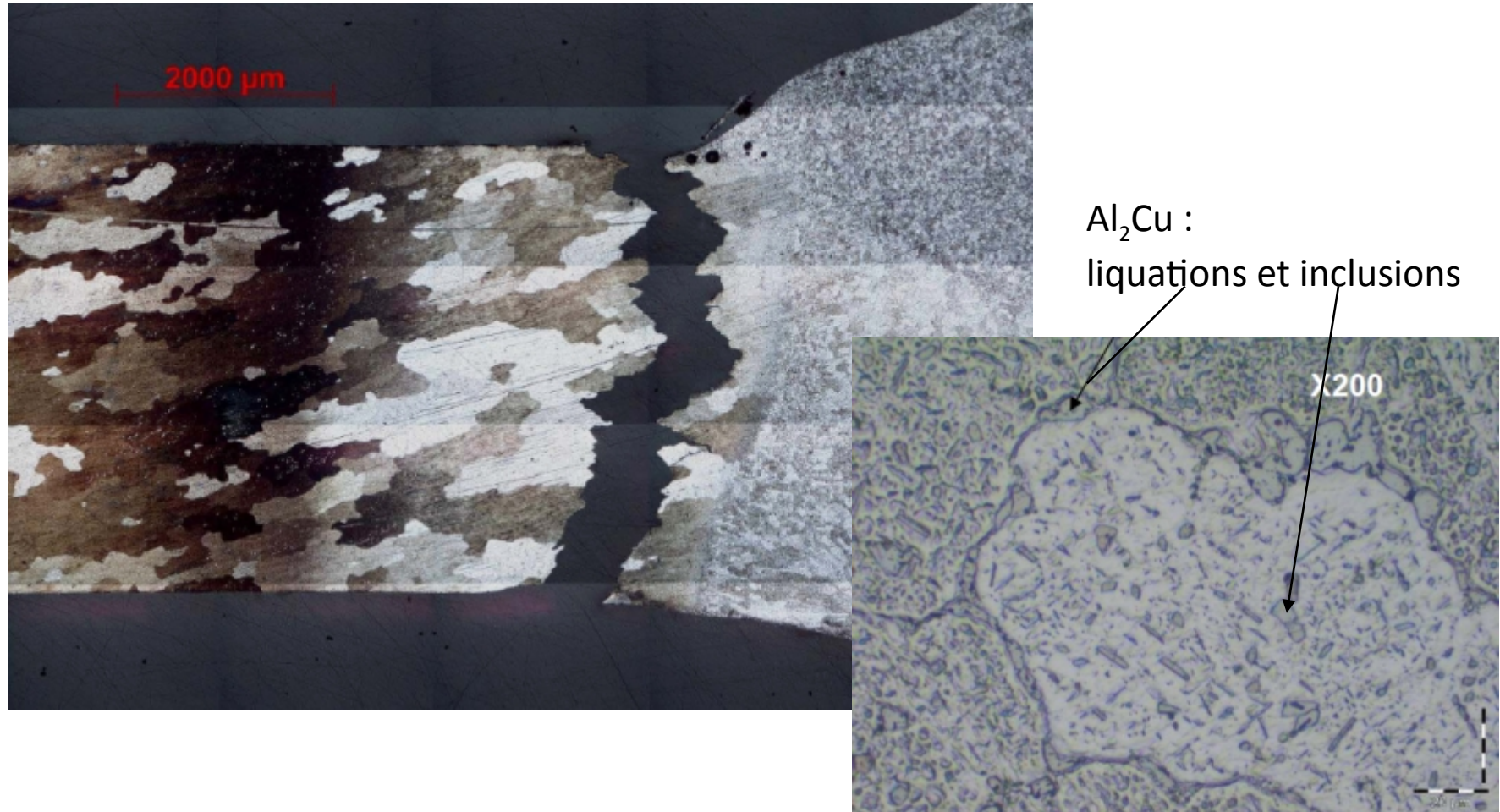


## Soudures

### ➤ Amélioration des critères de rupture

Meilleure compréhension des mécanismes et phénomènes de rupture

→ Etudes phénoménologiques (tomographie; MEB)



## Soudures

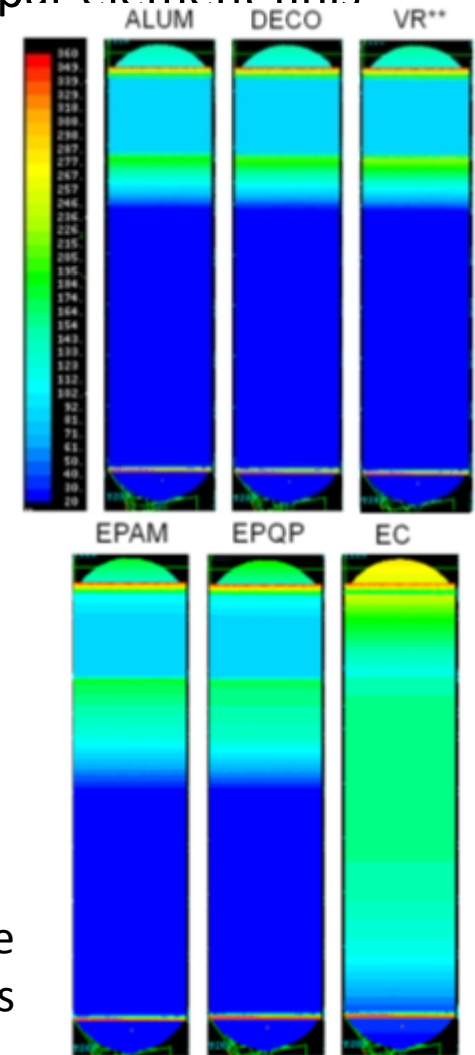
### ➤ Amélioration des marges

L'augmentation des capacités de calcul notamment par élément finis

→ Etudes plus détaillées et moins conservatives

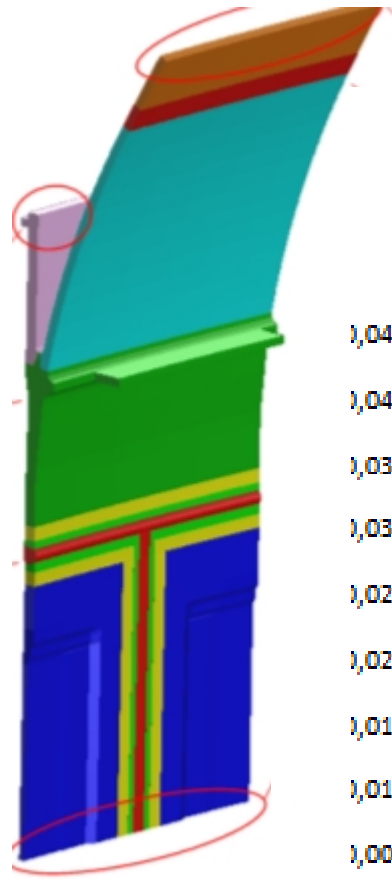
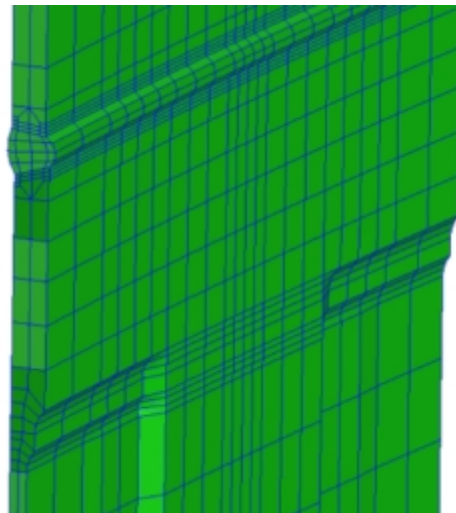
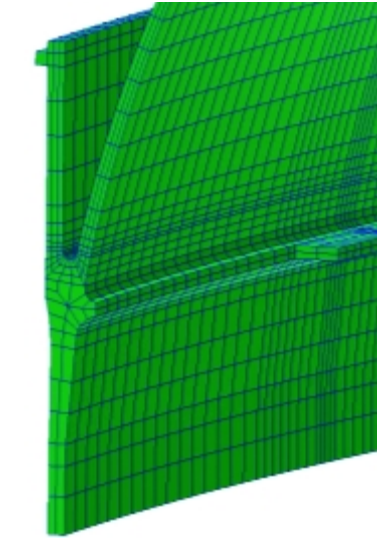
Impact de la géométrie  
circonférentielle

Evolution thermique  
des réservoirs

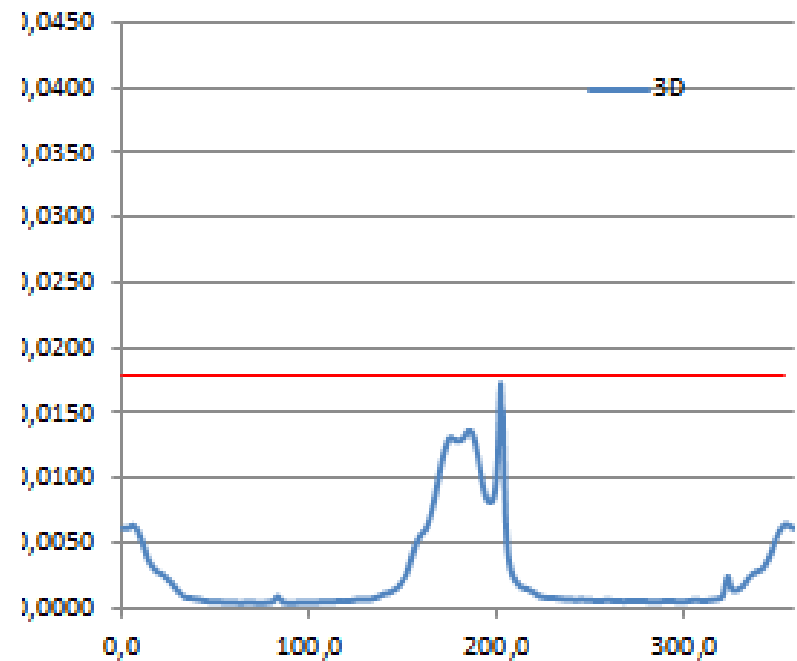


## Soudures

Détail des géométries et soudures intégrés dans les modèles globaux



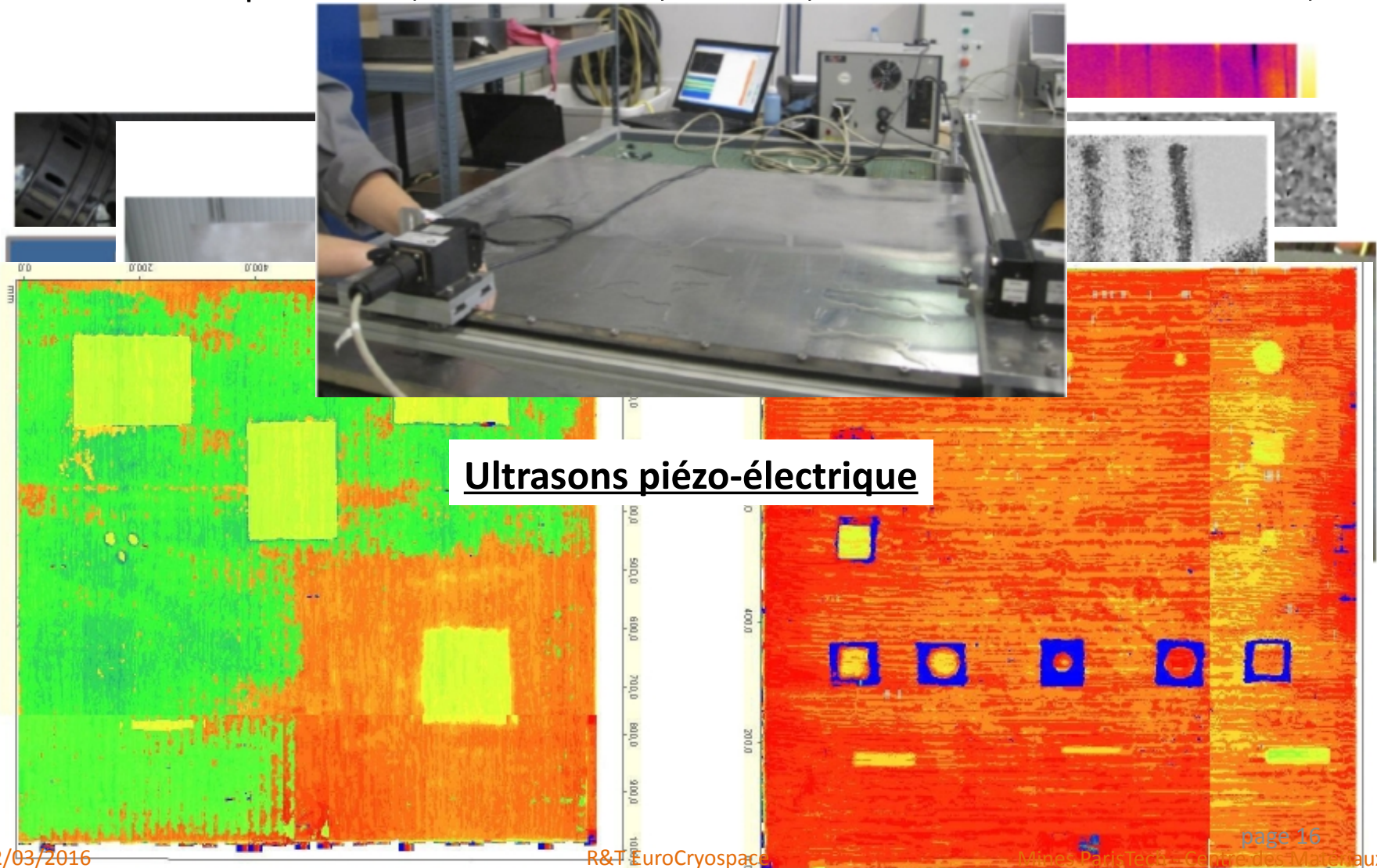
Évolution circonférentielle des critères et impact des accidents géométriques



## Soudures

### ➤ Amélioration méthodes de détection

Détection de pollutions, décollements, fissures, défaut de santé de soudures,...



## Améliorations techniques

### ➤ Mousses structurales

- Caractérisation de mousses dans sandwichs alu/mousse/alu
- Caractérisation des mécanismes de rupture, et critères



## CRITERE PLASTIQUE POUR LES MOUSSES

### ➤ Critère de Wang et Pan / Cas orthotrope

Pour le cas orthotrope nous proposons, afin de prendre en compte le cisaillement, l'extension suivante du critère de Wang et Pan :

$$\sigma_{eq} = \left[ (1 - \alpha) \Phi_1 + \alpha \Phi_2 \right]^{1/m} \begin{cases} \Phi_1 = |\Sigma_1|^m + |\Sigma_2|^m + |\Sigma_3|^m \\ \Phi_2 = \left\{ \left[ \frac{(\Sigma_1 - \Sigma_2)^2 + (\Sigma_2 - \Sigma_3)^2 + (\Sigma_3 - \Sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2} \right\}^m \end{cases}$$

Les  $\Sigma_i$  sont les valeurs propres du tenseur  $\Sigma$  :

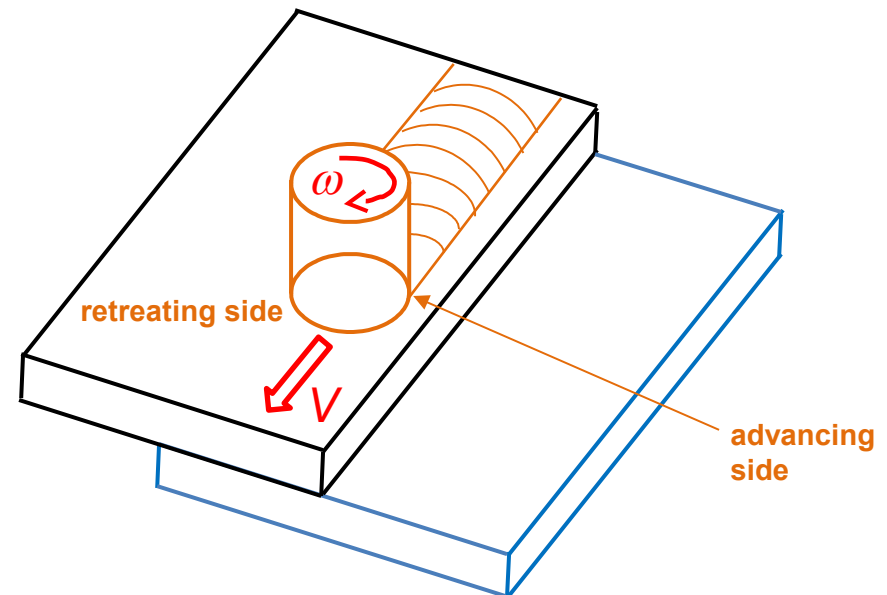
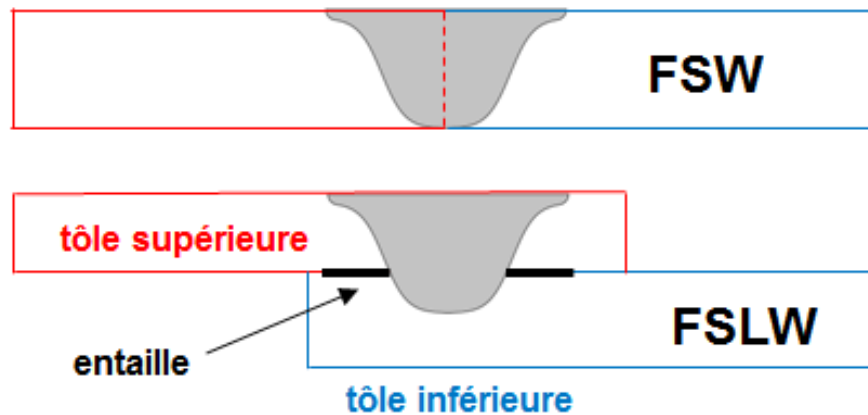
$$\Sigma = L : (\sigma - B) \quad \text{avec} \quad B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{12} & b_{13} & b_{23} \\ b_{13} & b_{23} & b_{33} \end{pmatrix} ; \quad L = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 0 & 0 & 0 \\ a_{12} & a_{22} & a_{23} & 0 & 0 & 0 \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{66} \end{pmatrix}$$

## Améliorations techniques à venir

### ➤ Friction Stir Welding

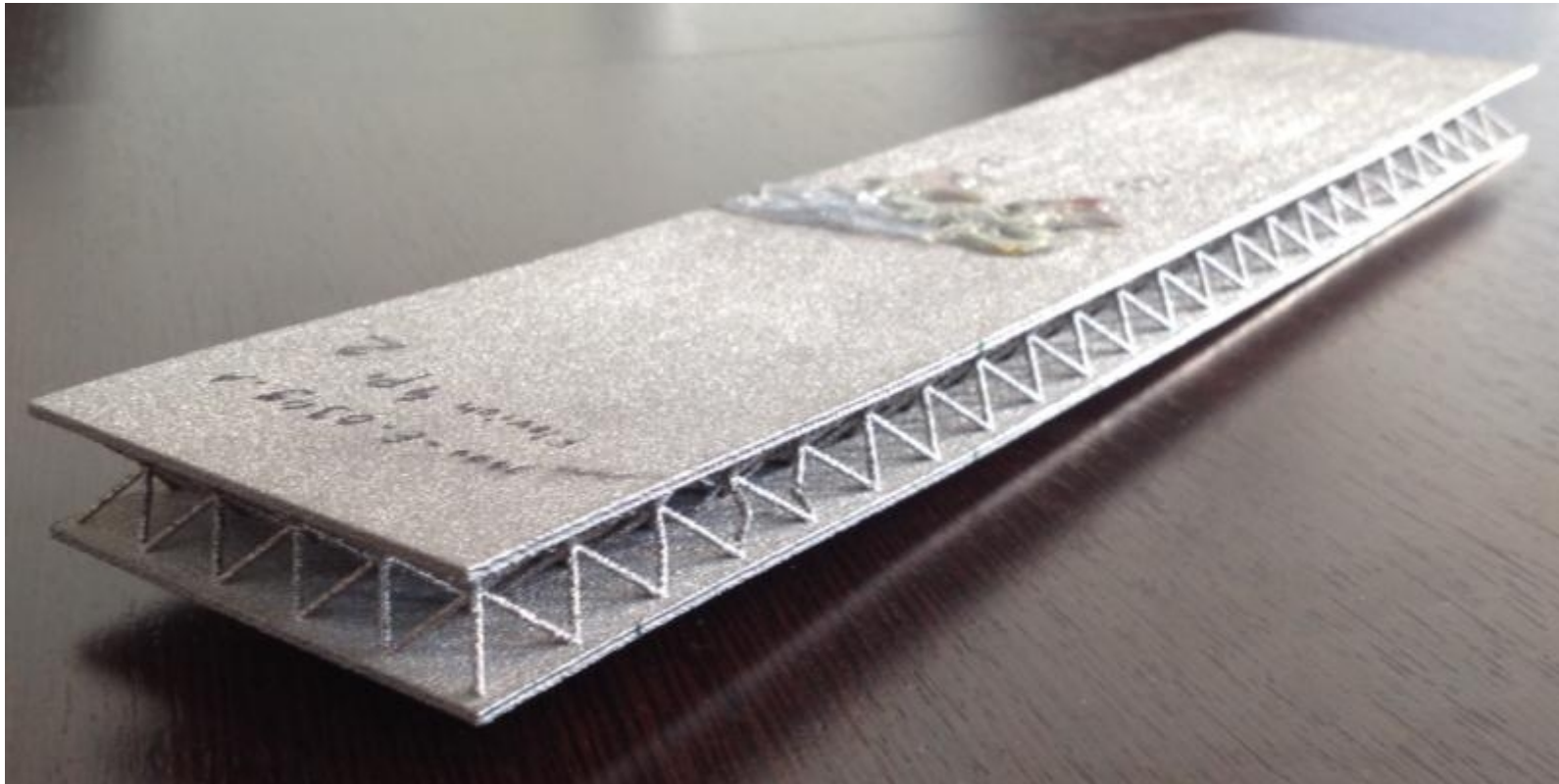
- Caractérisation du joint soudé à température ambiante et cryotechnique
- Caractérisation des mécanismes de rupture

### Principe du soudage FSW



## Améliorations techniques à venir

- **Additive Layer Manufacturing ou impression 3D**
  - Caractérisation de matériaux pour des structures allégées en Titane



## Améliorations techniques à venir

### ➤ Soudure d'aluminium au lithium

- Caractérisation de joints soudés, de matériaux fortement orthotropes
- Caractérisation des mécanismes de rupture, et critères



## Conclusion

Des questions ?

