



# Matricage de l'alliage TA6V dans le domaine $\beta$

Journée Technologique Titane

14 mars 2023

*Metallic Advanced Materials for Aeronautics*  
**MAMA**



# Cartographie des objectifs & activités R&T



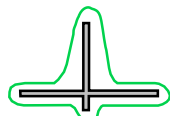
## Réduire le coût de revient des grandes pièces d'aérostructure en titane

par une diminution radicale du Poids Mis en Œuvre **(-30%)**

→ coût d'achat matière

→ coût d'usinage

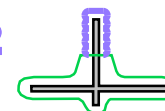
### Levier n°1



*Matriçage Haute Température dans le domaine  $\beta$  du TA6V*



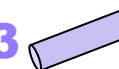
### Levier n°2



*Combiner le matriçage HT à la Fabrication Additive à Haute Vitesse de Déposition*



### Levier n°3



*Simplifier la fabrication du 1/2 produit engagé en matriçage*

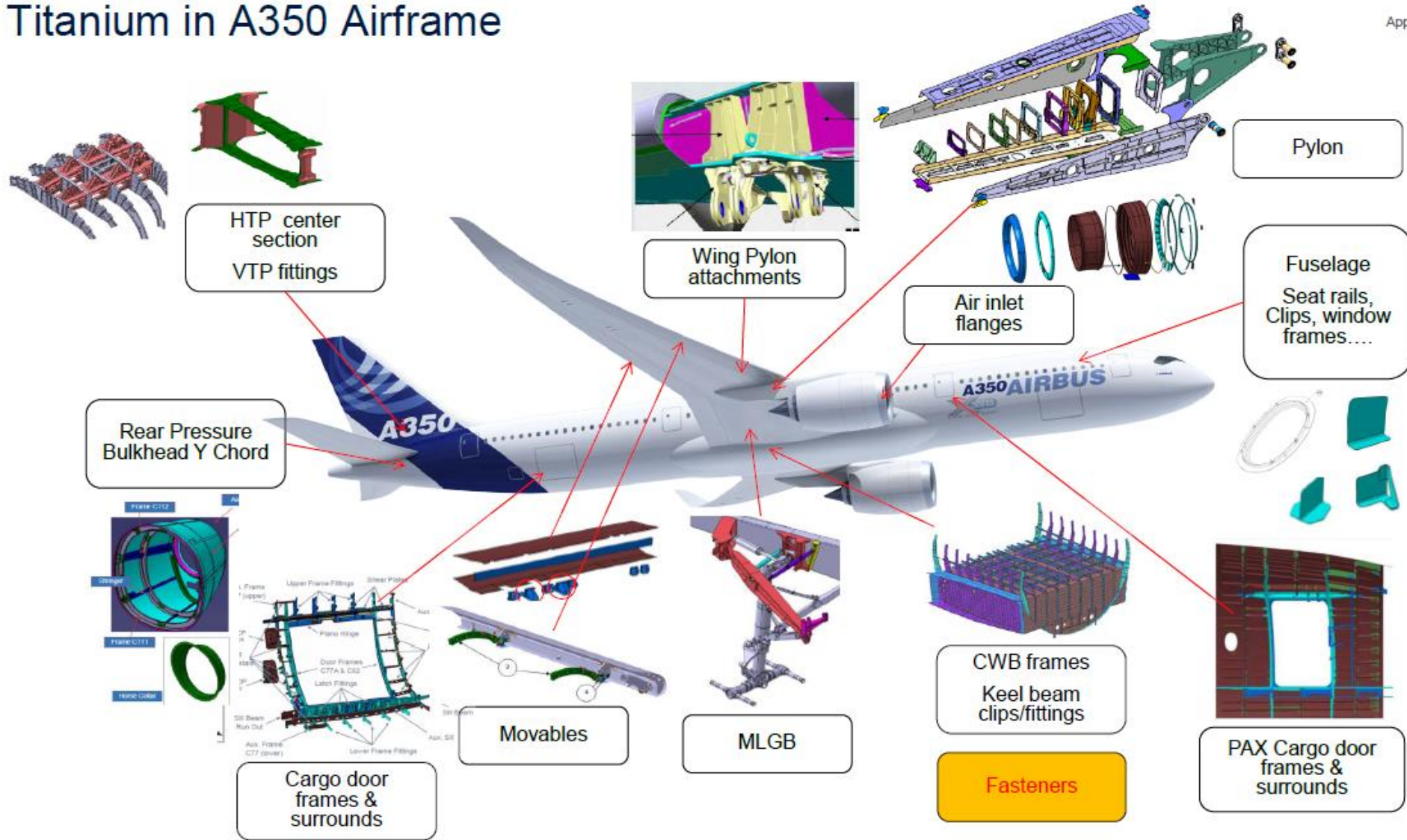


→ **Multiples gisements d'économies d'énergie**



# Pièces cibles prioritaires : TA6V de structure $\beta$

## Titanium in A350 Airframe



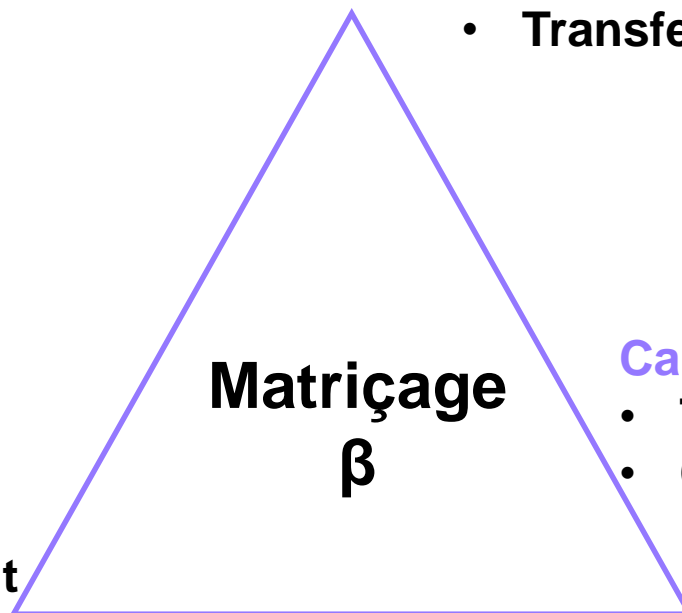
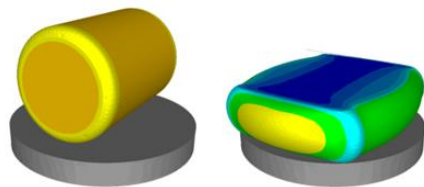
# ➤ Développement du matriçage $\beta$

## Essais de matriçage et TTH :

- Essais sur pancakes
- Essais sur éprouvette technologique
- Transfert à une échelle industrielle

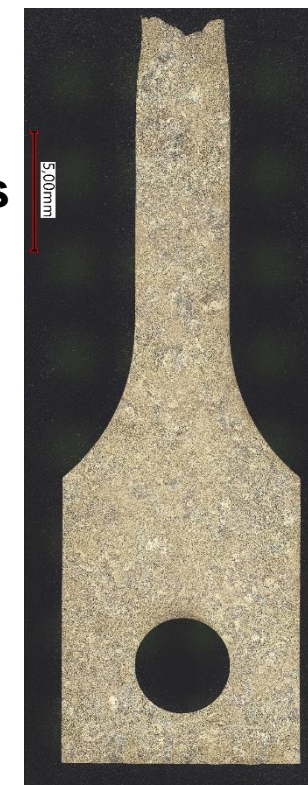
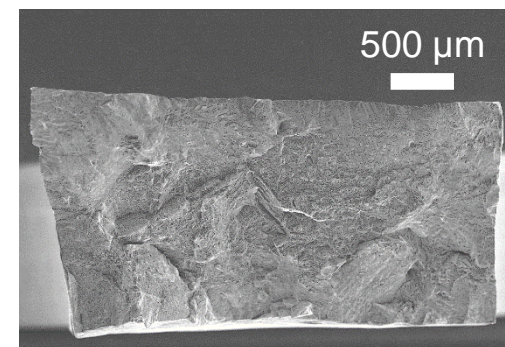
## Conception de la gamme :

- Simulation Forge®
  - Rhéologie
  - CTE
  - Coefficient de frottement



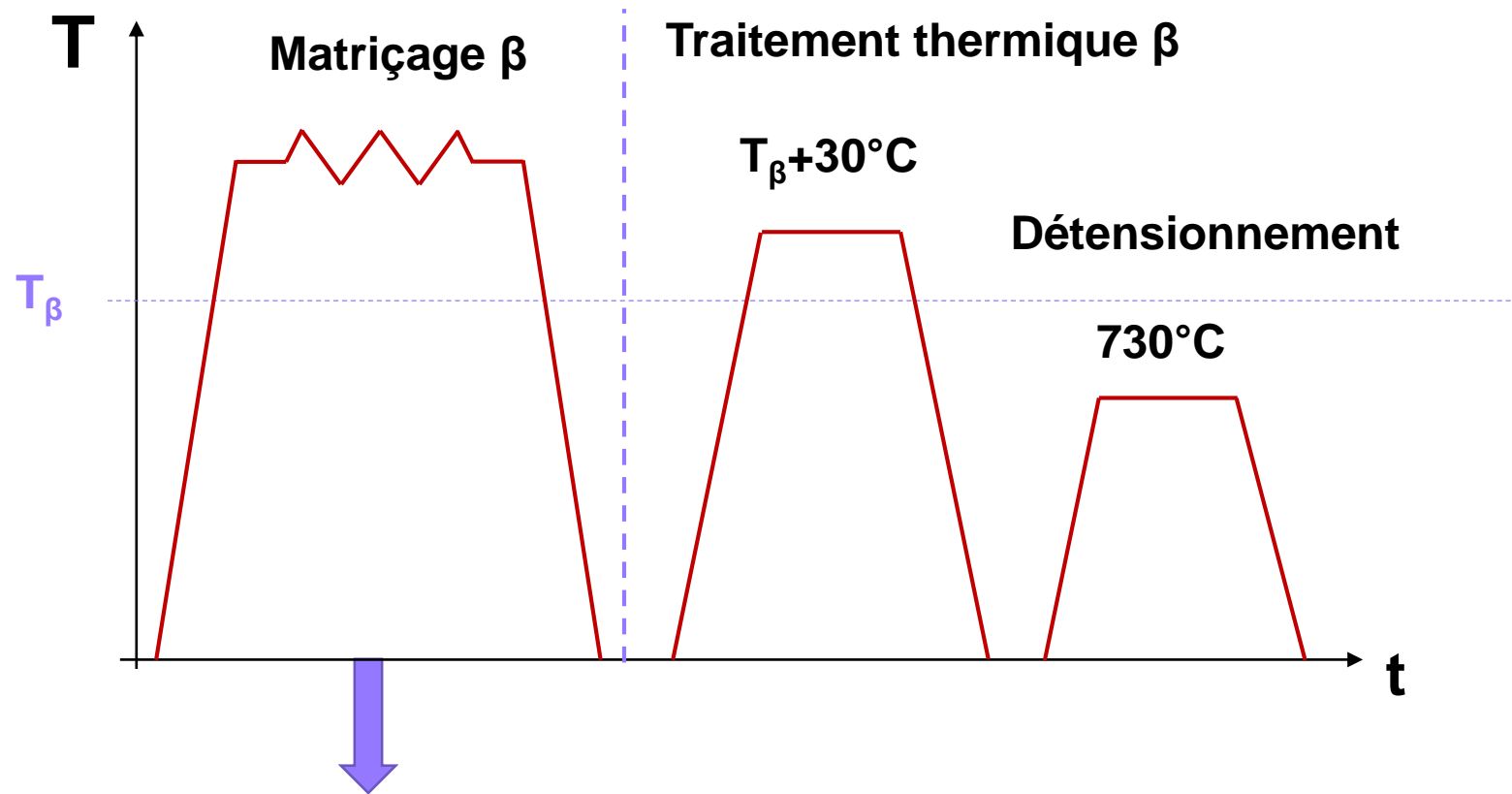
## Caractérisation :

- Taille de grain
- Caractéristiques mécaniques



- Préparation des lopins
  - Choix des verres de matriçage

## ➤ Chemin thermomécanique proposé pour matriçage $\beta$



### Objectifs :

- Détermination des paramètres procédés optimaux pour obtenir la forme visée
- Optimiser la préparation des lopins → couche contaminée



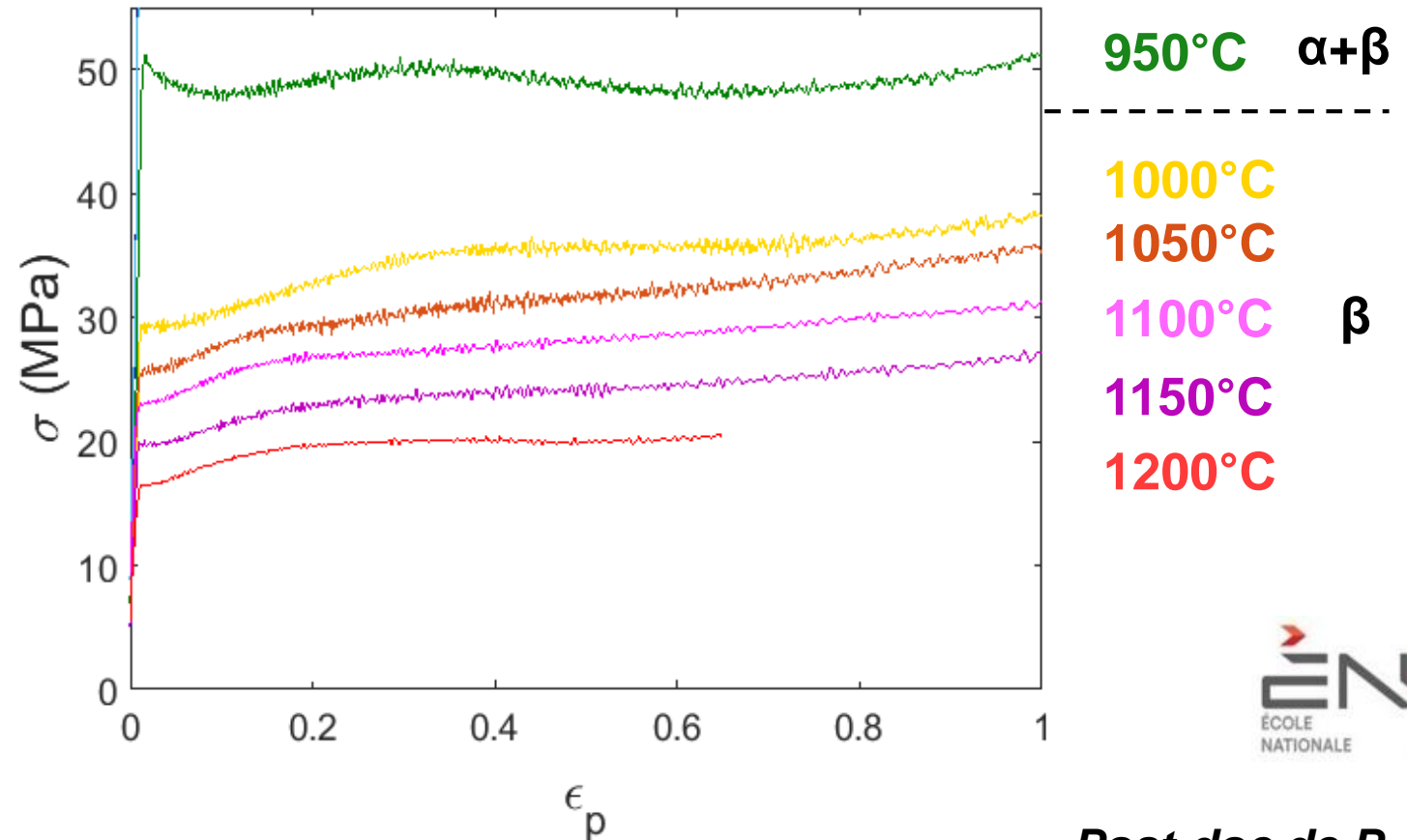
# **Conception de la gamme thermomécanique**

---

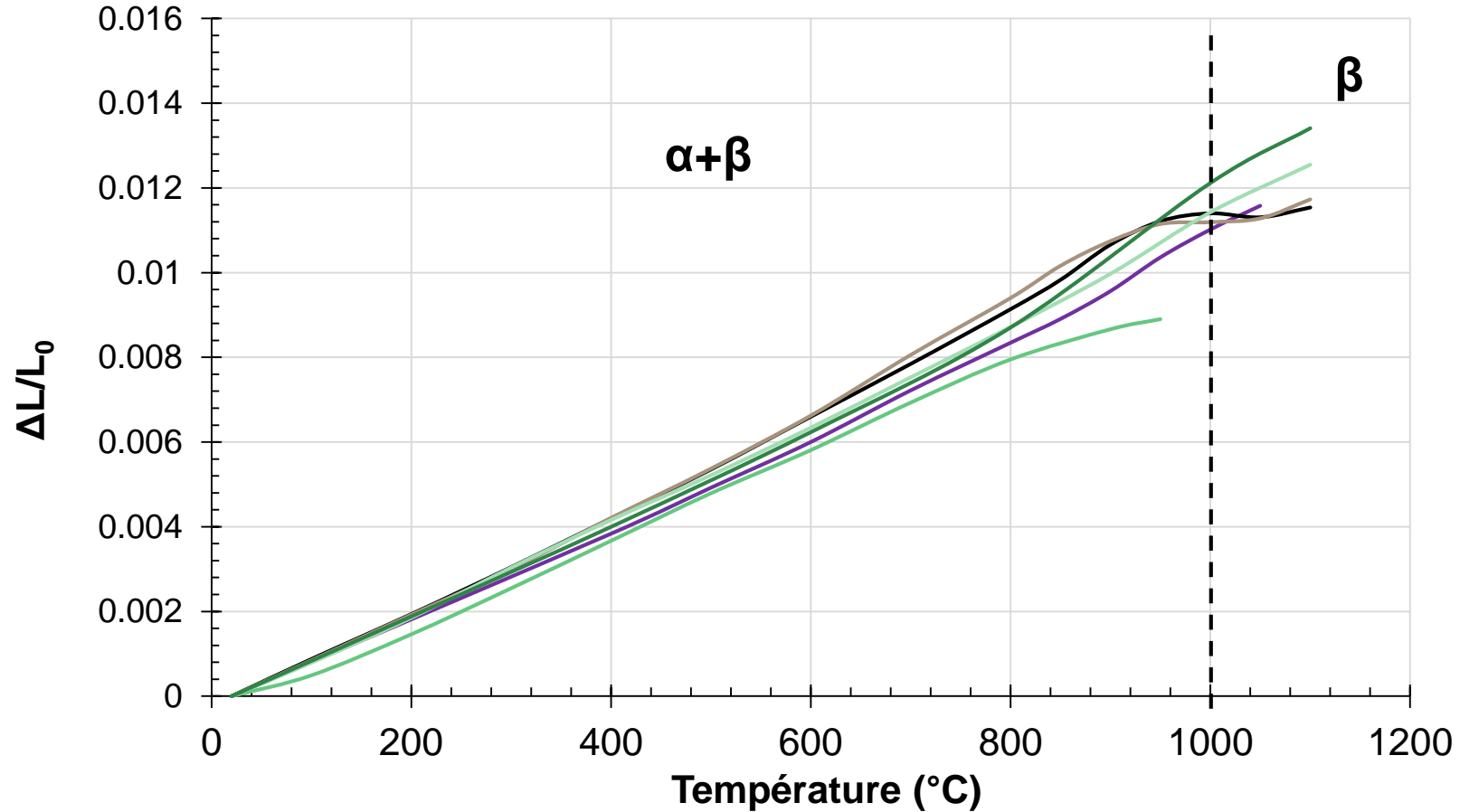
➤ Rhéologie du TA6V dans le domaine  $\beta$


- Majorité des gammes de matriçage actuelles : 950-980°C dans le domaine  $\alpha+\beta$
- Matriçage dans le domaine  $\beta$  ➔ profiter de la diminution de la contrainte d'écoulement du matériau


Essais Gleeble isothermes sur  
pions  $\varnothing 10 \times 15$  mm en TA6V  
 $\dot{\epsilon} = 0,1 \text{ s}^{-1}$





## ➤ Détermination du CTE de l'alliage TA6V dans le domaine $\beta$



 C. Wang *et al.*, 2020

 Y. Robert *et al.*, 2006

 H. Hu *et al.*, 2019,  
0,1°C/s

 H. Hu *et al.*, 2019,  
0,3°C/s

 AK. Swarnakar *et al.*, 2011

 AK. Swarnakar *et al.*, 2011

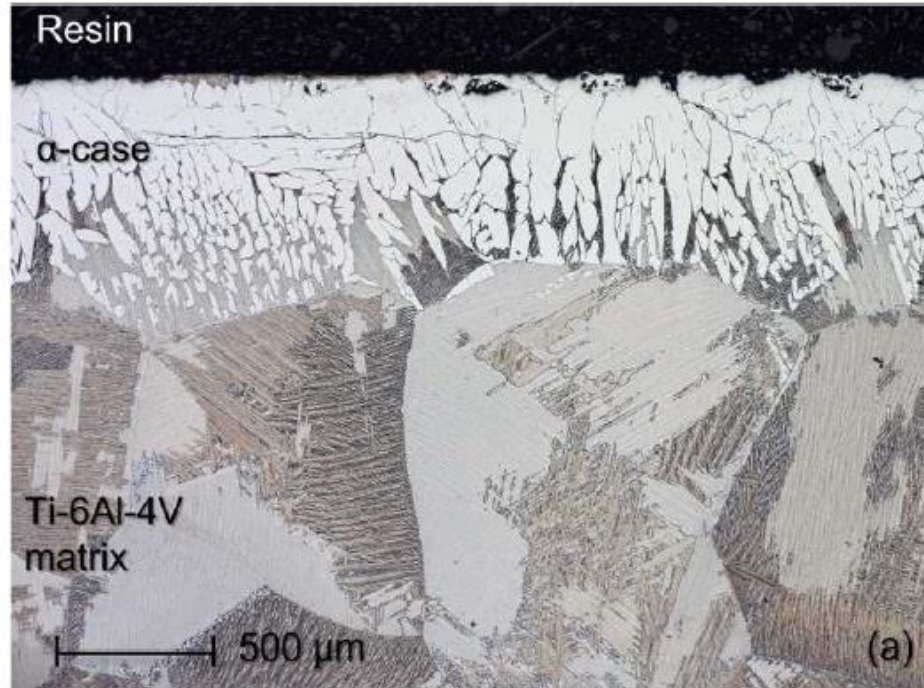
- Variation entre les données de la littérature dans le domaine  $\beta$
- Mesure en cours du coefficient de dilation → intégration dans Forge®



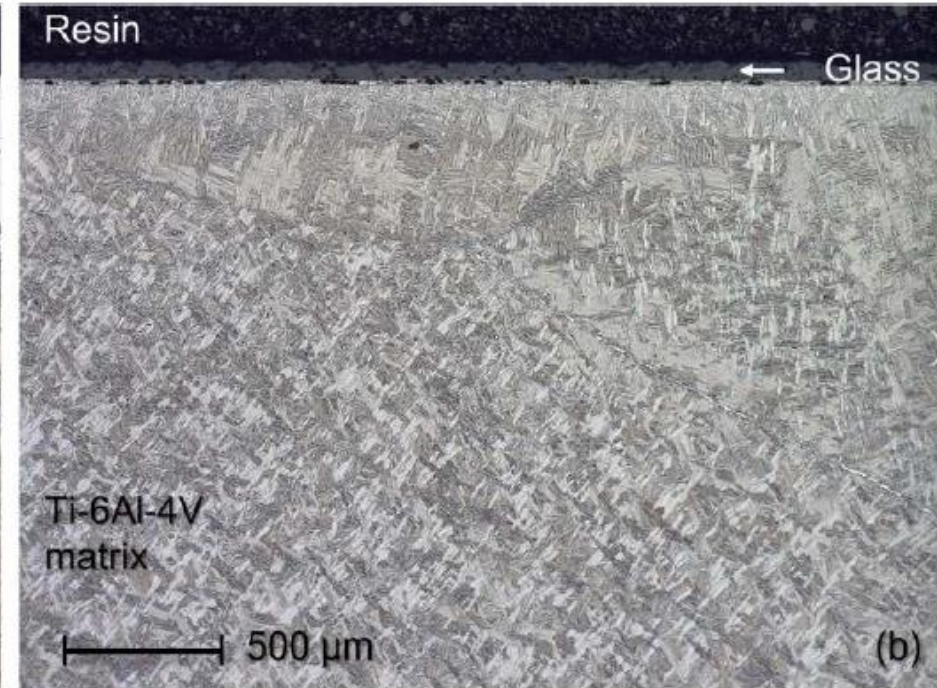
## ➤ Préparation des lopins

- Choix des verres de matriçage pour la protection contre l'oxydation

TA6V exposé 8h à 1150°C sous air



Echantillon Nu



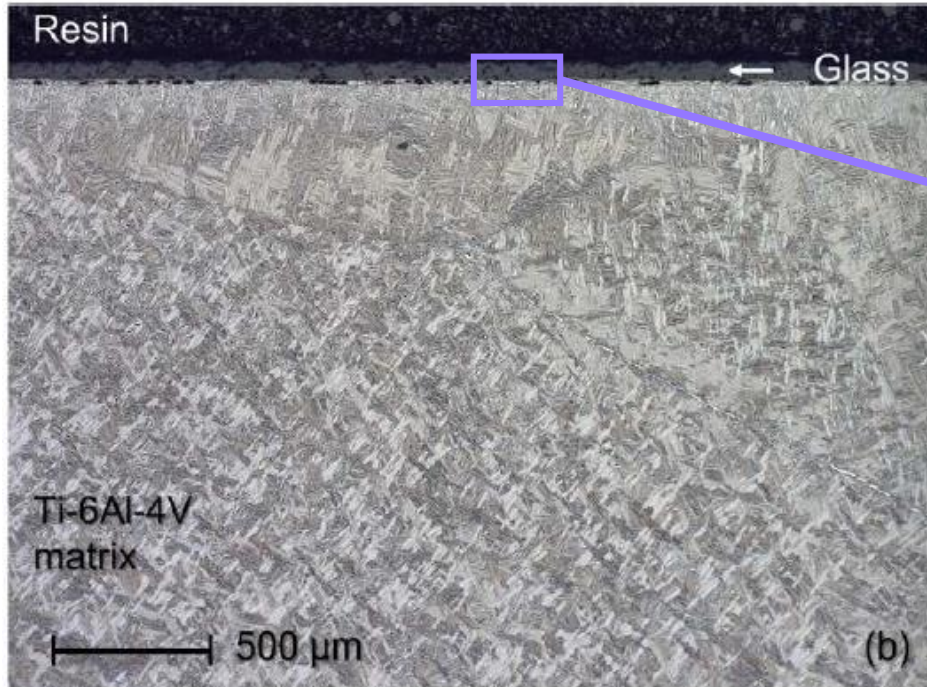
Echantillon revêtu

- Choix des meilleurs verres en fonction des plages de températures de matriçage visées

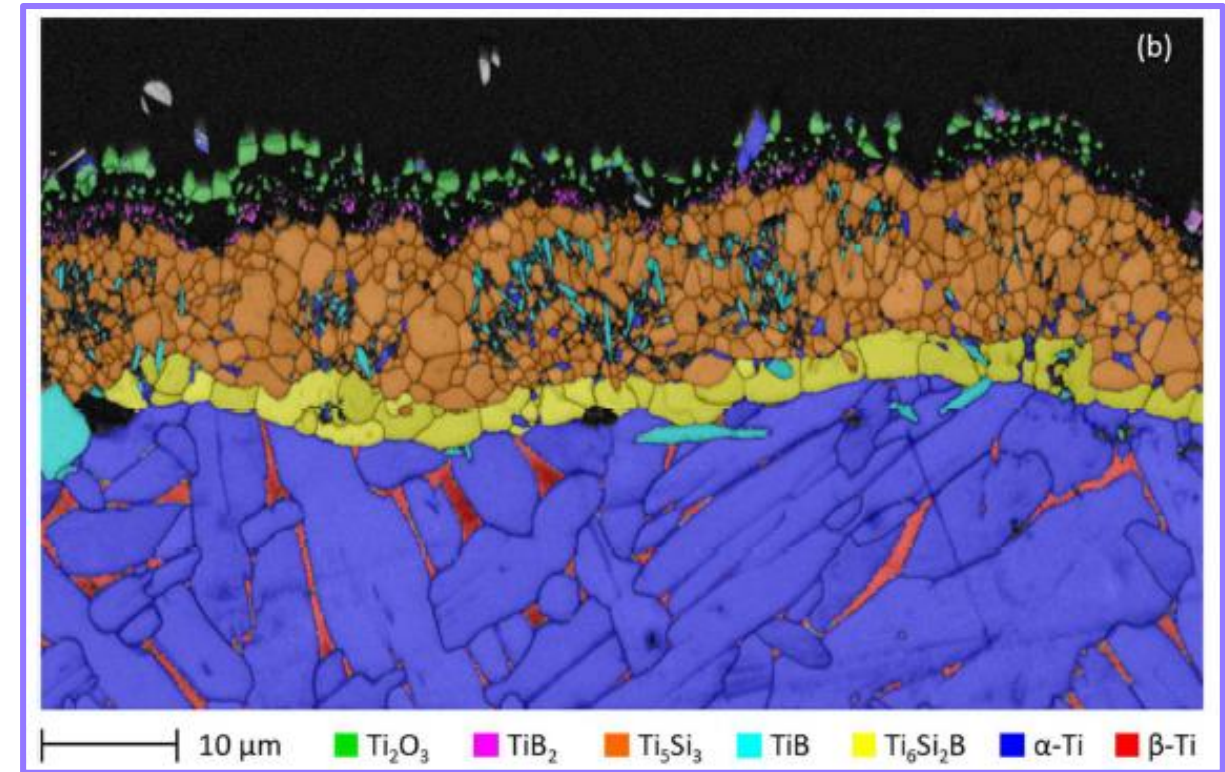
## ➤ Préparation des lopins

- Etude des mécanismes réactionnels à l'interface verre/TA6V

TA6V exposé 8h à 1150°C sous air



Echantillon revêtu



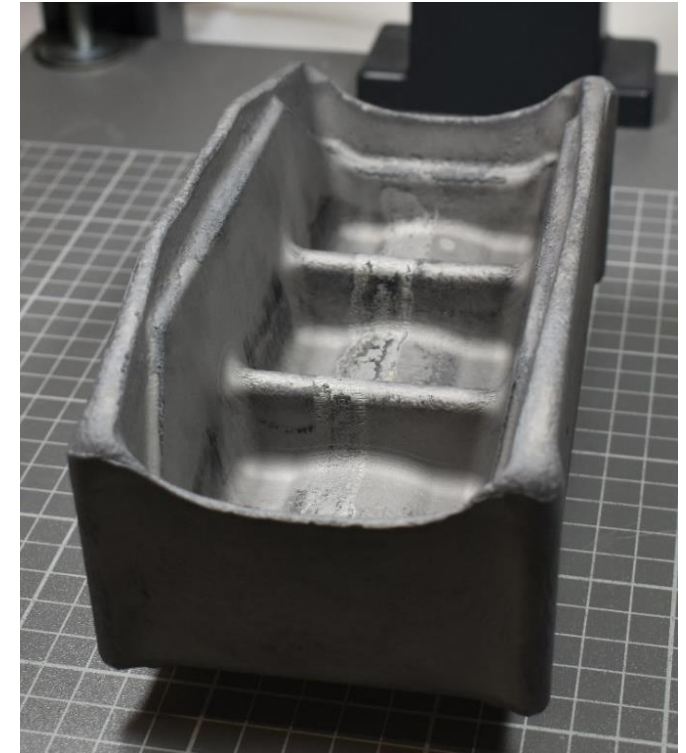
- Hypothèse sur les mécanismes permettant de limiter l'oxydation du TA6V lors des expositions à haute température



# **Essais de la gamme thermomécanique**

---

➤ **Essais sur la plateforme ARDEM, A&D Pamiers**

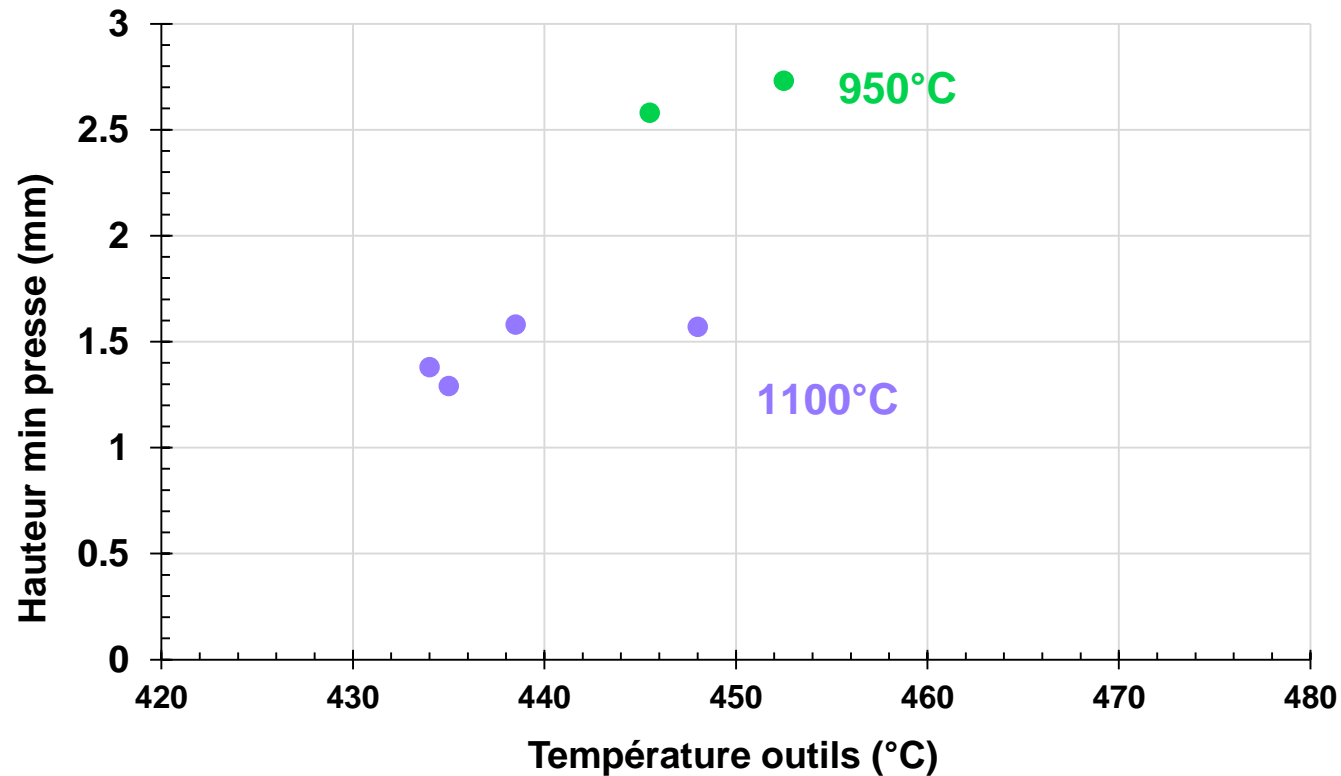


**Forme U3**  
**Dim 180\*95\*80mm**  
**Pièce Near-net-Shape**

- **Forgeage de lopin jusqu'à 40kg Ni / 20 kg Ti**
- **Capacité de chauffe d'outillage jusqu'à 850°C**

## ➤ Effet de la température de forgeage sur la fermeture d'outil

- Conditions de préparation de lopin similaire
- Vitesse 8 mm/s
- Attente + transfert similaire  $\approx 20s$
- Effort presse limité 700T

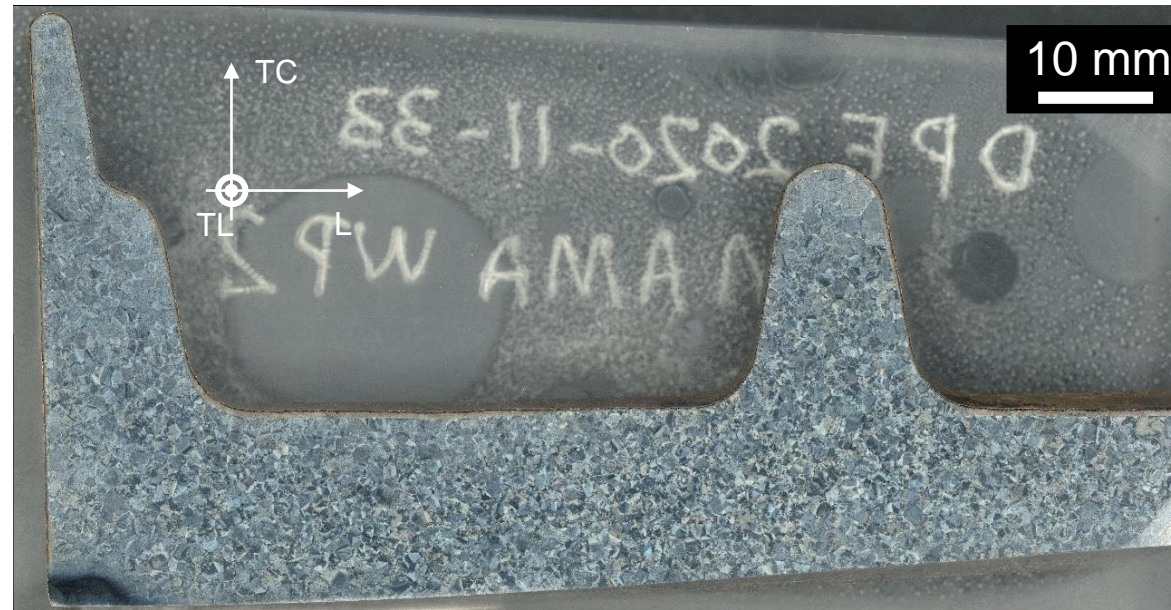
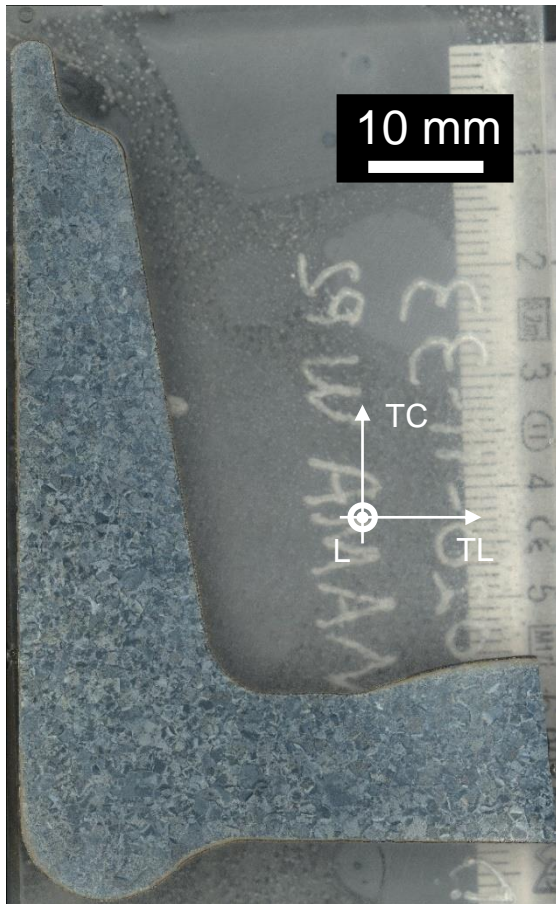


950°C



1100°C

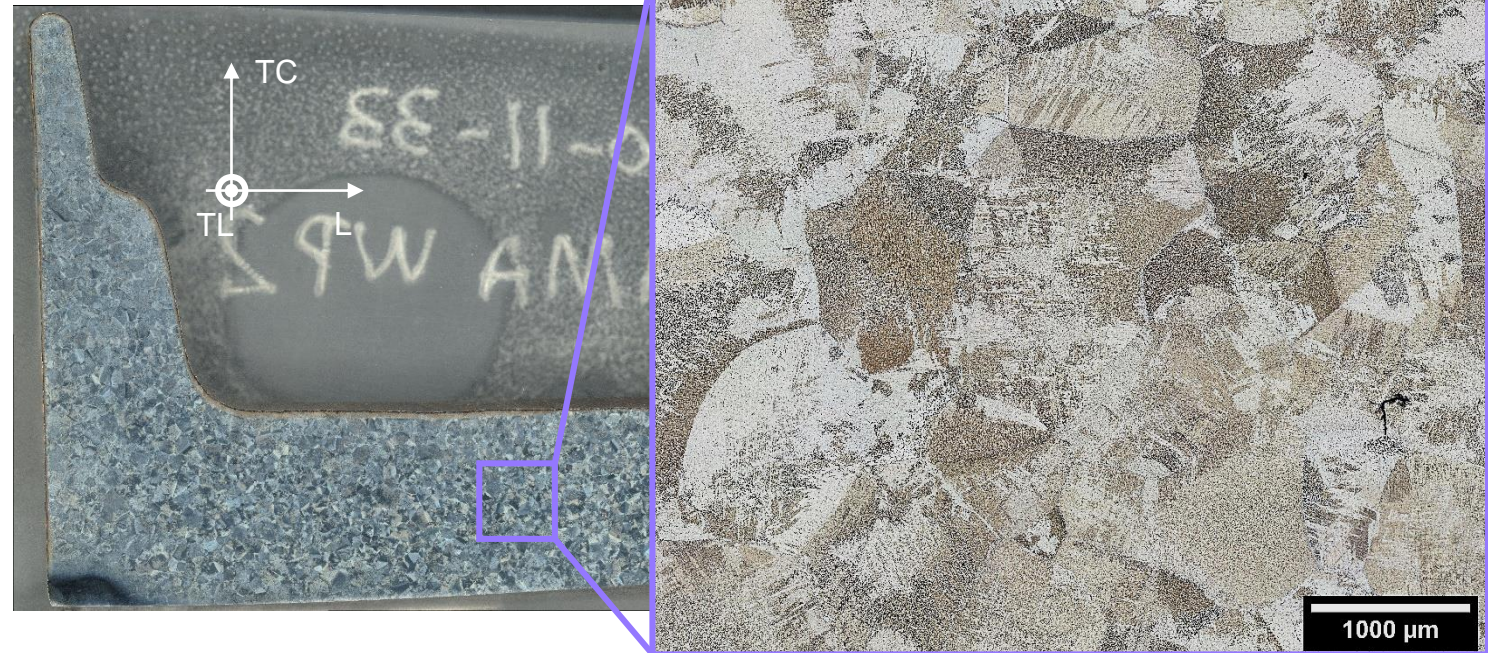
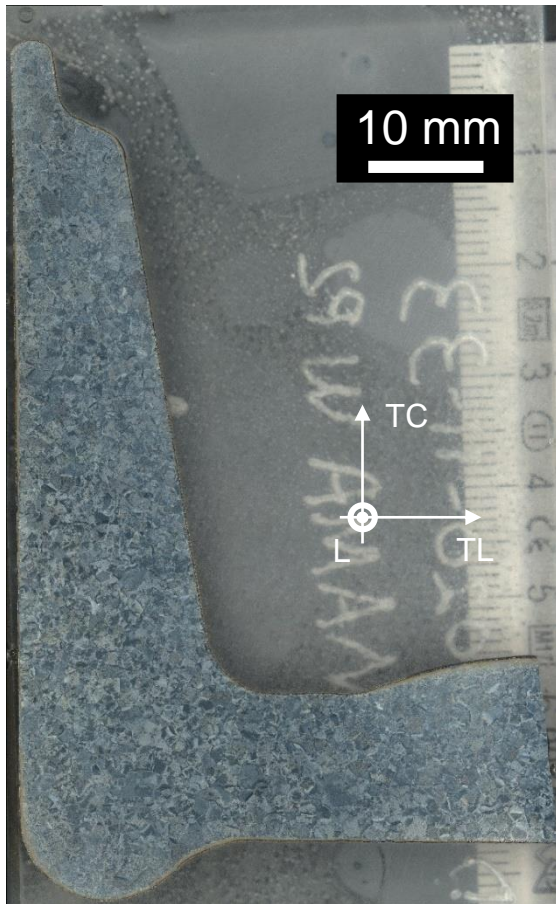
➤ **Résultat de la gamme thermomécanique**



- ✓ **Microstructure homogène, ex-grains  $\beta$  équiaxes**
- ✓ **Taille de grain maîtrisée**
- ✓ **Essais de traction et ténacité**

✓ **Gamme thermomécanique proposée permet de répondre aux exigences client**

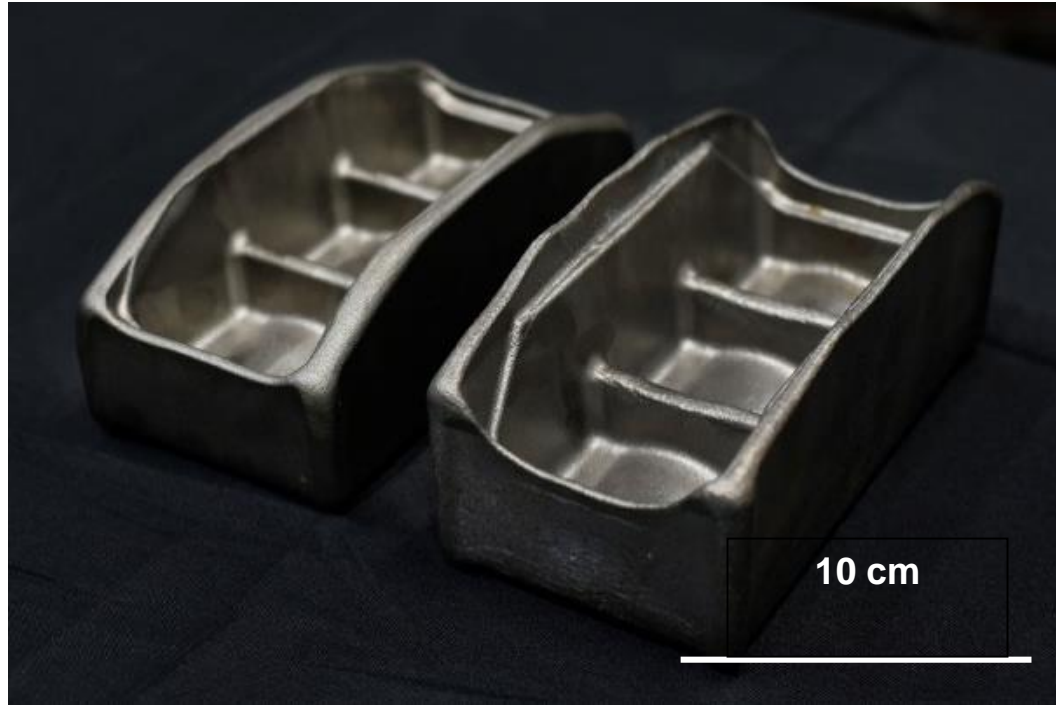
➤ **Résultat de la gamme thermomécanique**



- ✓ **Microstructure homogène, ex-grains  $\beta$  équiaxes**
- ✓ **Taille de grain maîtrisée**
- ✓ **Essais de traction et ténacité**

✓ **Gamme thermomécanique proposée permet de répondre aux exigences client**

➤ **Essais d'usinage sur pièces U3**



- **Démonstrateurs TA6V matricés sur la plateforme de recherche ARDEM**
- **Caractérisation des distorsions pouvant se produire lors de l'usinage**





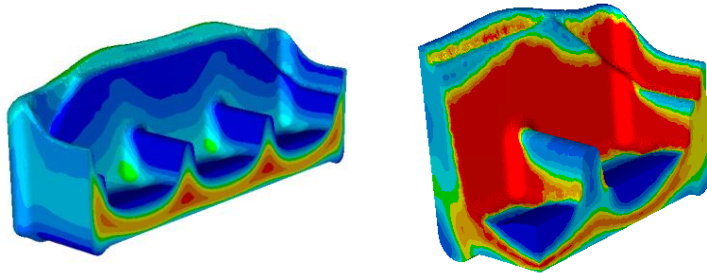
# **Validation de la gamme thermomécanique**

---

➤ Validation de la gamme thermomécanique

Conception de la gamme :

- Simulation Forge®
  - Rhéologie
  - CTE
  - Coefficient de frottement



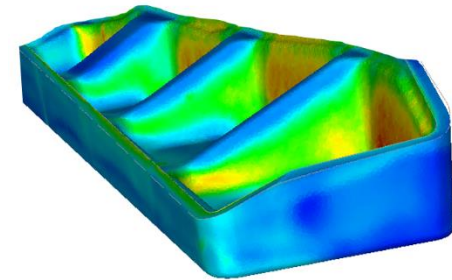
Essais de la gamme thermomécanique:



- Microstructure
- Caractéristiques mécaniques
- Couche contaminée



Réalisation d'un démonstrateur industriel :



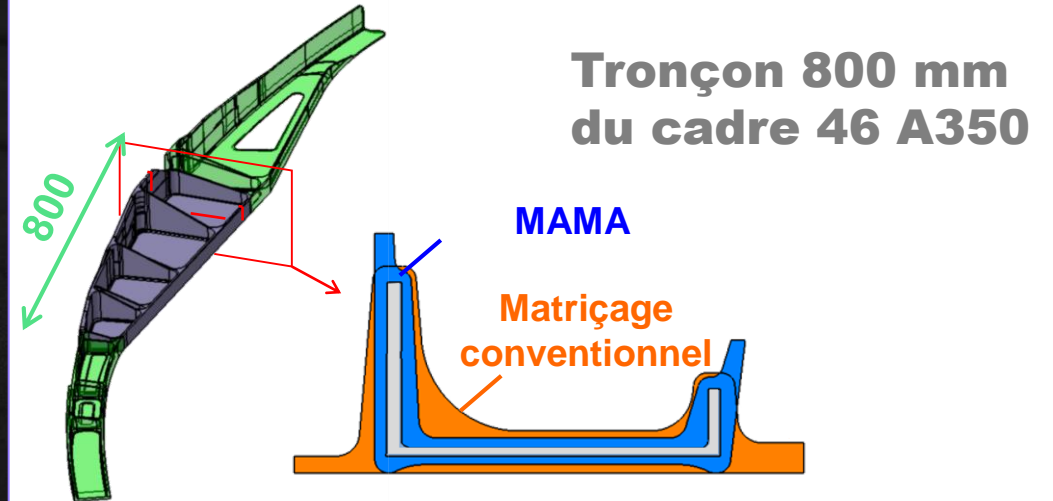
- Préparation des lopins
  - Choix des verres de matriçage

➤ **Démonstrateur TRL6 de matriçage dans le domaine  $\beta$**



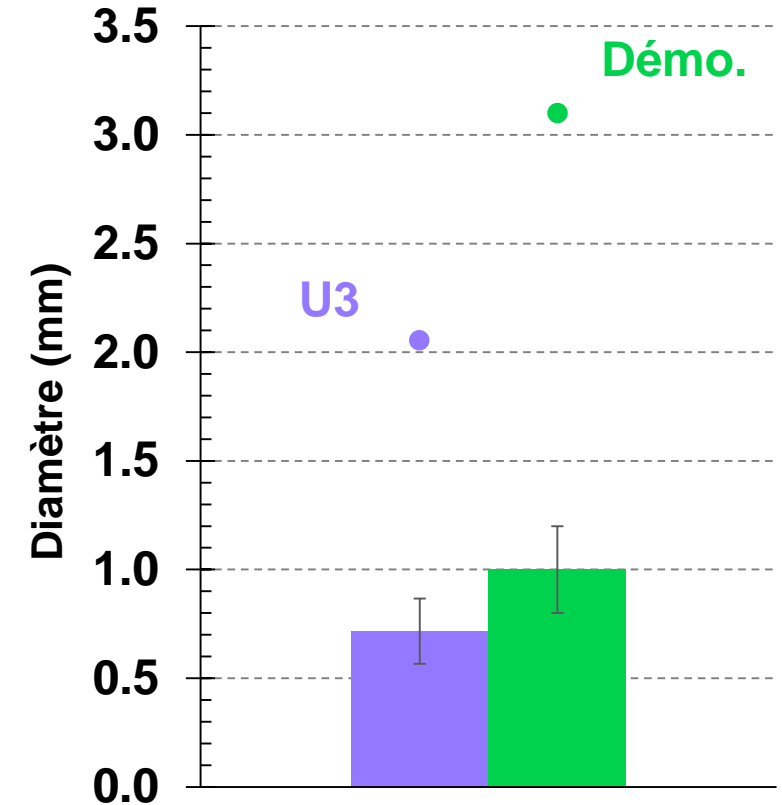
- **Démonstrateur en alliage TA6V en fin de gamme de transformation à chaud, après ébavurage  
L = 800mm, masse : 32kg**

## ➤ Démonstrateur TRL6 de matriçage dans le domaine $\beta$



- Démonstrateur en alliage TA6V en fin de gamme de transformation à chaud, après ébavurage  
L = 800mm, masse : 32kg

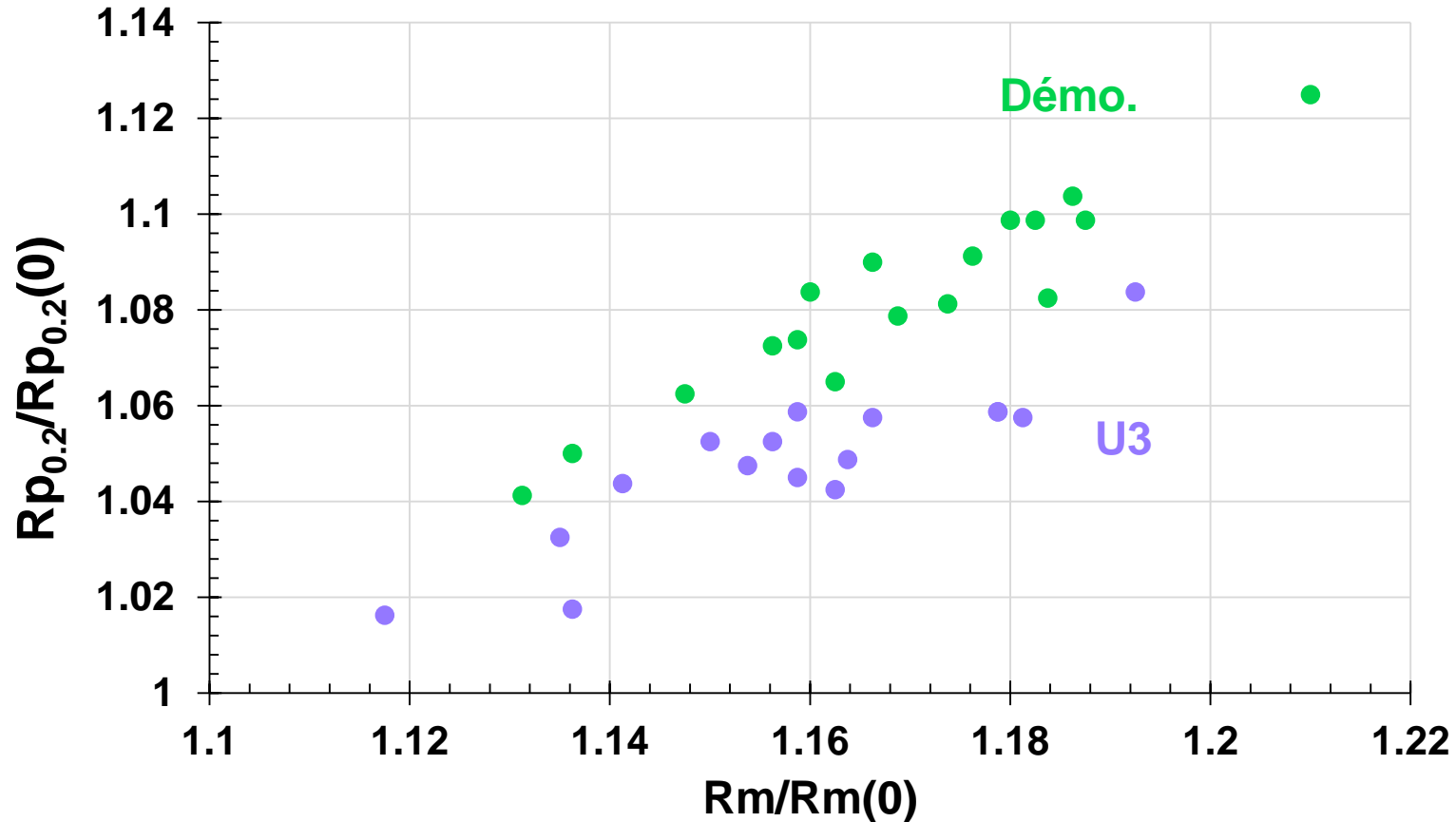
### ➤ Démonstrateur TRL6 Vs éprouvette technologique U3



- Microstructure homogène
- Taille des ex-grains  $\beta$  légèrement supérieure à la taille sur éprouvette technologique U3



➤ **Démonstrateur TRL6 Vs éprouvette technologique U3**



- **Caractéristiques mécaniques dans le démonstrateur légèrement supérieures aux valeurs mesurées sur éprouvettes technologiques U3**
- **Caractéristiques mécaniques répondant aux exigences clients** ✓



# Conclusions & Perspectives

---

# Conclusions



- ✓ **Matriçage  $\beta$  permet une réduction du PMO → habillage agressif → forme non atteignable avec un matriçage en  $\alpha+\beta$**
- ✓ **Matriçage  $\beta$  + TTH permet d'obtenir des microstructures homogènes avec une taille d'ex-grain  $\beta$  maîtrisé et octroyant des caractéristiques mécaniques conformes aux attentes clients.**



# Conclusions



- ✓ **Matriçage  $\beta$  permet une réduction du PMO → habillage agressif → forme non atteignable avec un matriçage en  $\alpha+\beta$**
- ✓ **Matriçage  $\beta$  + TTH permet d'obtenir des microstructures homogènes avec une taille d'ex-grain  $\beta$  maîtrisé et octroyant des caractéristiques mécaniques conformes aux attentes clients.**

# Conclusions



- ✓ **Matriçage  $\beta$  permet une réduction du PMO → habillage agressif → forme non atteignable avec un matriçage en  $\alpha+\beta$**
- ✓ **Matriçage  $\beta$  + TTH permet d'obtenir des microstructures homogènes avec une taille d'ex-grain  $\beta$  maîtrisé et octroyant des caractéristiques mécaniques conformes aux attentes clients.**
- ✓ **Essais à une échelle de démonstrateur techno (U3) permettent de prédire assez fidèlement les résultats sur pièce obtenues avec une gamme industrielle**

# Perspectives



- **Amélioration des simulations Forge®**
  - **Evaluation de paramètres difficiles à obtenir/mesurer**
    - **Coefficient d'échange thermique**
    - **Coefficient de frottement matière/outils**
- **Validation de la gamme à une échelle industrielle**
  - **Robustesse de la gamme vis-à-vis des paramètres procédés :**
    - **Temps de transfert**
    - **Température outillage**
    - **Composition de la billette**
    - **Etc...**
- **Utilisation de matière issue de filières non conventionnelles en matriçage  $\beta$  pour améliorer la réduction des couts**



**Merci de votre attention**

---