



# Projet MAMA

## *Metallic Advanced Materials for Aeronautics*

Réduire la consommation de titane aéronautique en  
matriçant à haute température dans le domaine  $\beta$

Arnaud HACQUIN – 10-11 octobre 2023



AIRBUS



OPTALM  
Additive Manufacturing Options



## Logique du projet MAMA



- ❑ Le titane, matériau stratégique, essentiel à l'aéronautique
- ❑ Pas de gisements de minerais de titane en France
- ❑ Capacité d'approvisionnement très liée à la géopolitique mondiale

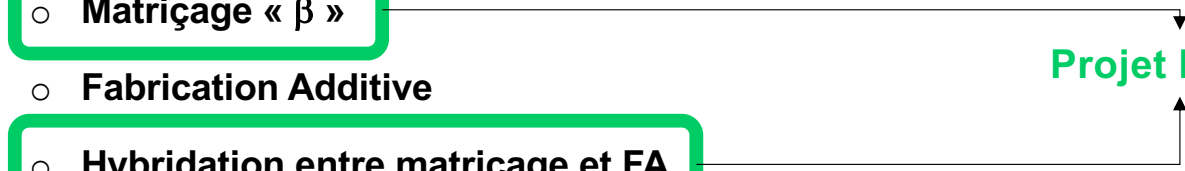
→ La filière française doit réduire sa dépendance à l'étranger :

- ❑ En développant le recyclage (ECOTITANIUM)
- ❑ En réduisant le Poids Mis en Œuvre à la fabrication des pièces

- Matricage Hot Die
- Matricage «  $\beta$  »
- Fabrication Additive

- Hybridation entre matricage et FA

Projet MAMA



# TA6V matricé $\beta$ : Principes et Objectifs MAMA



## Principes

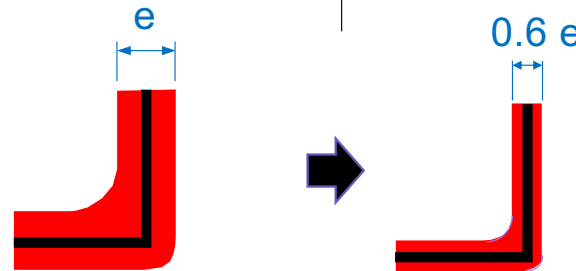
- ❑ Préchauffer (*loin*) au-dessus du transus  $\beta$  avant matriçage
- ❑ Matrices acier chauffées à  $\sim 450^\circ\text{C}$   $\rightarrow$  NRC outillage réduit !
- ❑ Produit du TA6V à gros grain  $\beta$  et  $\mu$ structure lamellaire

## Aujourd'hui

- ❑ Pièces de mât réacteur déjà produites en série par A&D depuis  $\sim 20$  ans
- ❑ Matriçage  $\beta$  reste minoritaire parmi les routes de TA6V  $\beta$
- ❑ Epaisseurs de paroi et ratios buy-to-fly encore élevés

## Demain (MAMA)

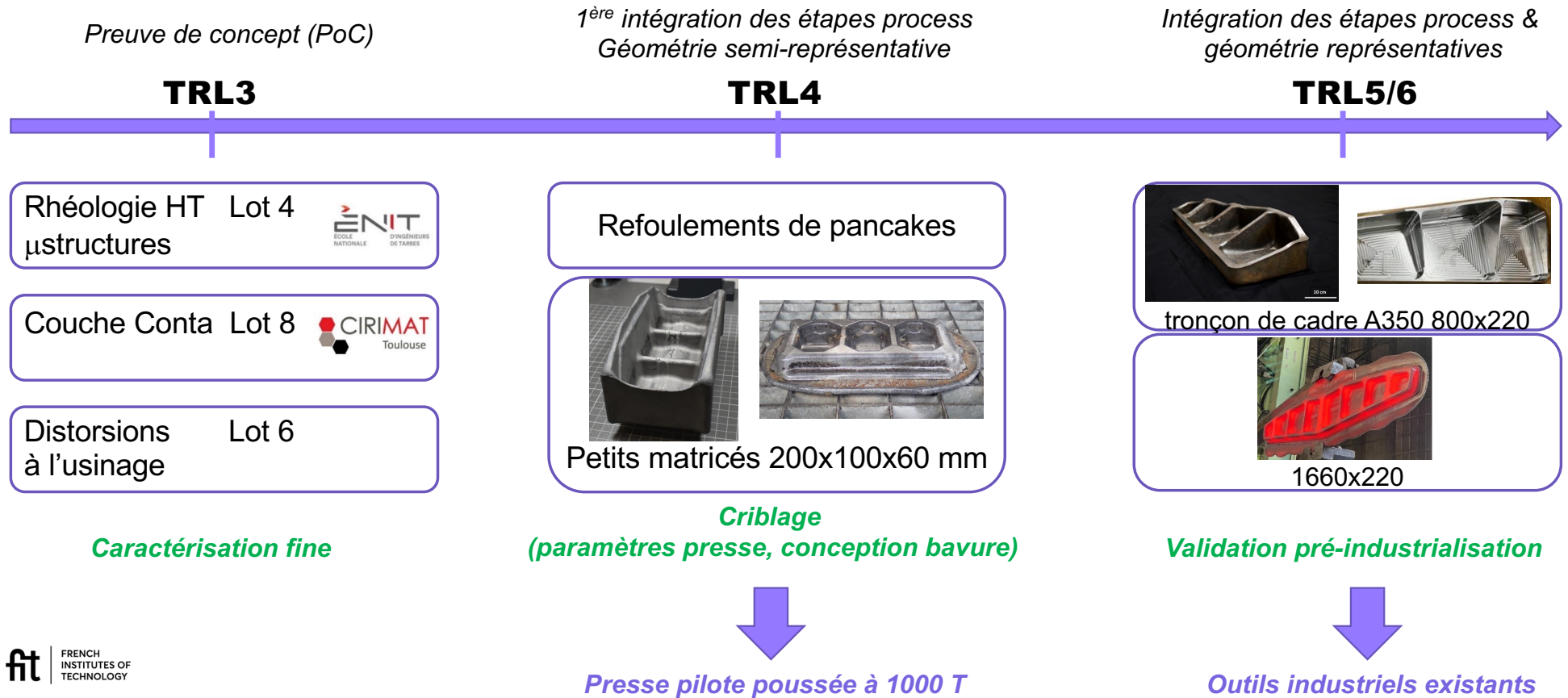
- ❑ Critères d'éligibilité au matriçage  $\beta$  mieux cernés
- ❑ Outils de conception adaptés opérationnels
- ❑ Epaisseurs de paroi réduites, gain de buy-to-fly **de 30%** par rapport au matriçage  $\alpha$ - $\beta$



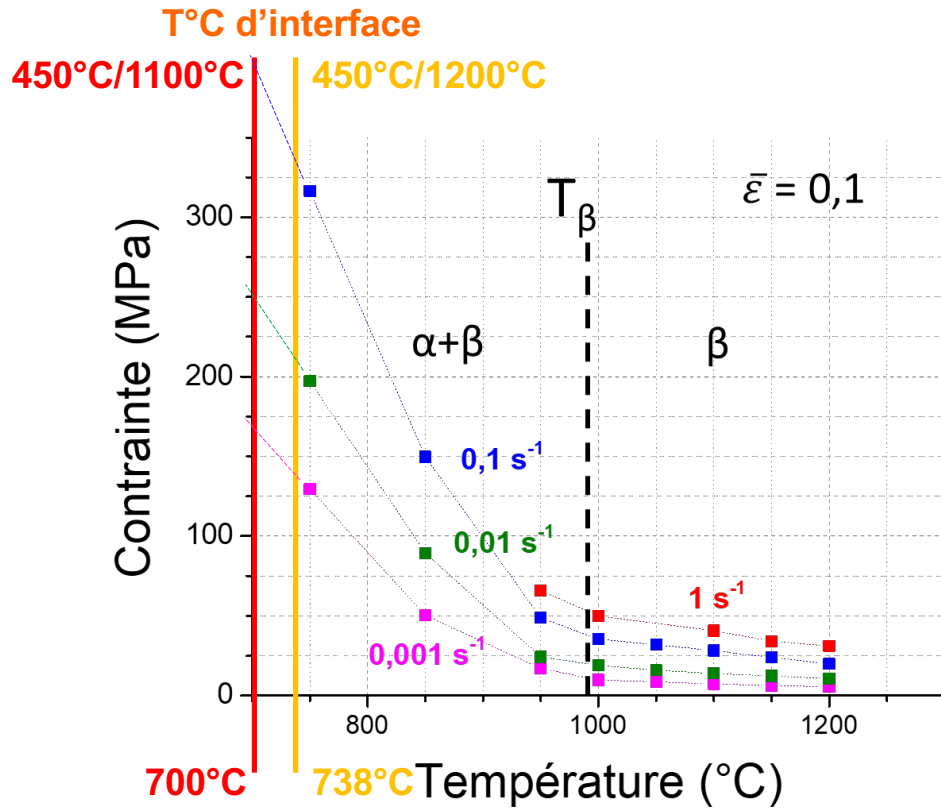
# Approche méthodologique



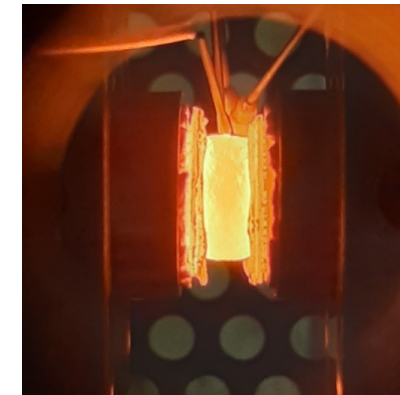
basée sur une échelle TRL adaptée aux industries de process



# Effet de la température du lopin sur les efforts



## Essais de compression GLEEBLE

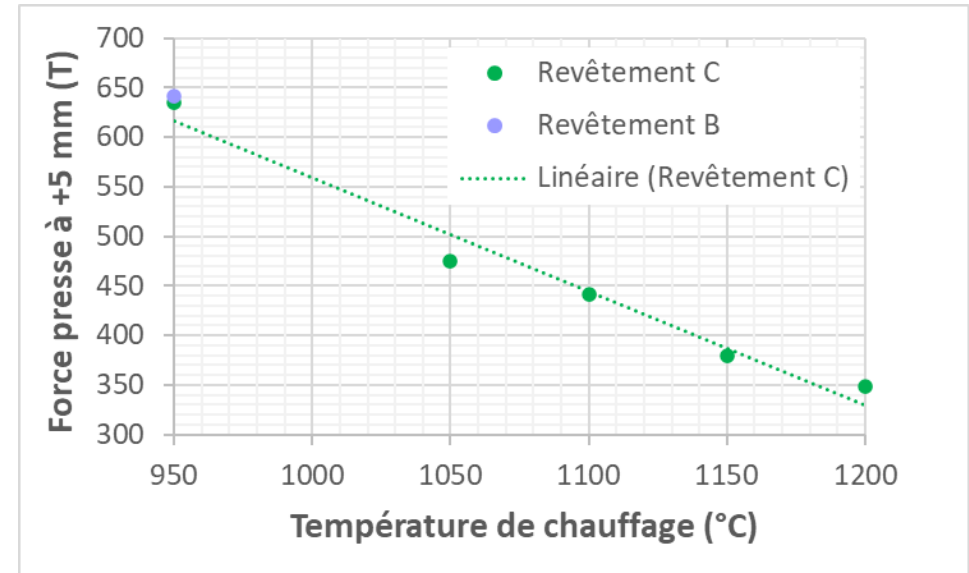
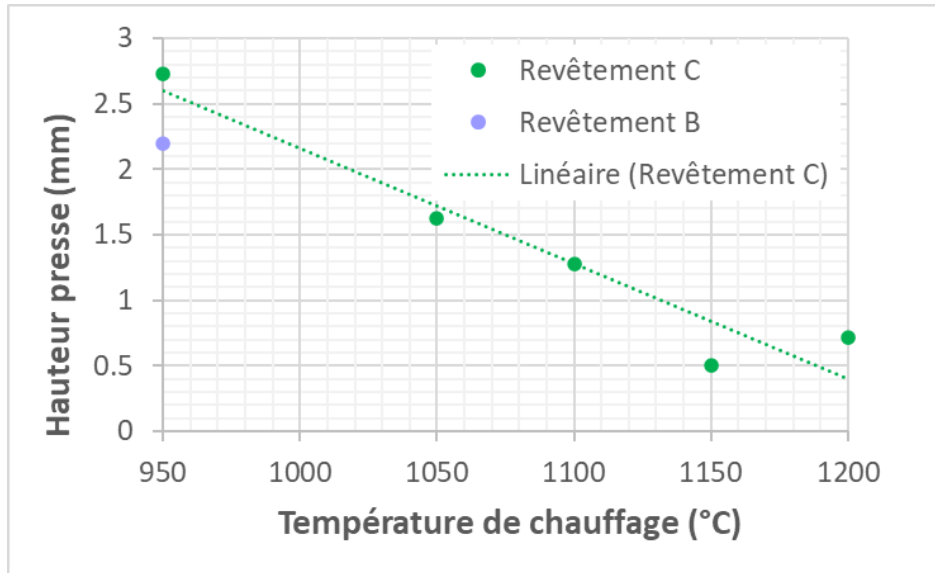


→ L'augmentation de la température de chauffage de 1100 à 1200°C peut réduire sensiblement les frottements et donc l'effort presse !

# Effet de la température du lopin sur les efforts (*pratique*)



## Vérification sur petits démonstrateurs matricés



→ L'augmentation de la température de chauffage améliore efficacement le remplissage / les efforts jusqu'à au moins 1200°C

## Optimisation de la température de pré-chauffage



- ❑ **Les efforts de matriçage décroissent avec la T°C**

***mais***

- ❑ **L'épaisseur de couche contaminée croît** (abaque issue des travaux TRL3)
- ❑ **La consommation de gaz croît** (+25%/100°C à 1020°C)

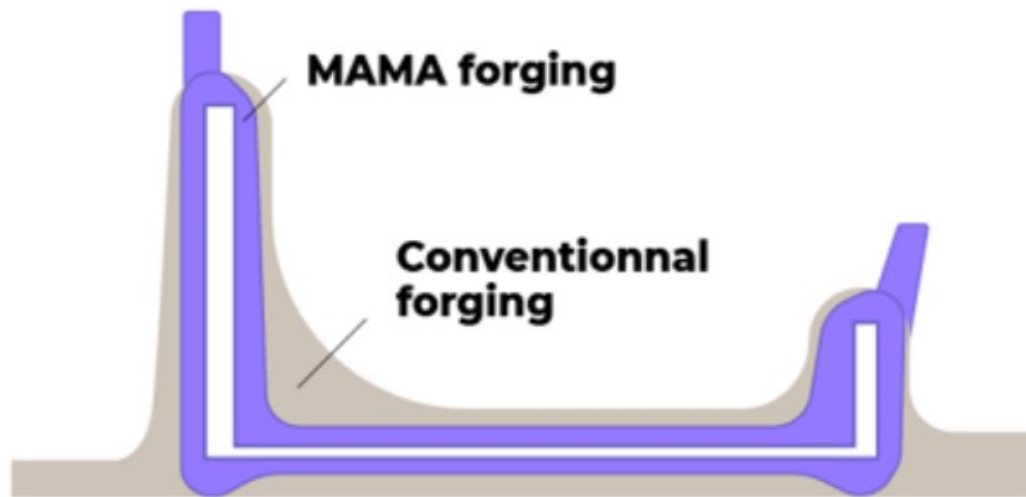
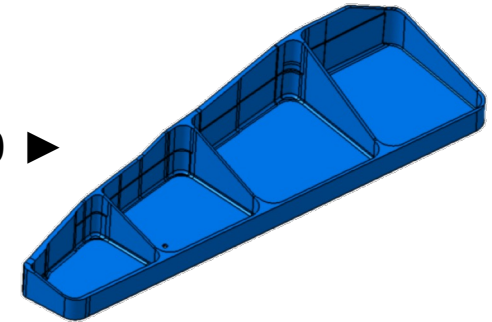
**→ Température à ajuster au cas par cas, en fonction de :**

- ❑ **La géométrie de la pièce** (épaisseur et surface)
- ❑ **La capacité de la presse**

## Conception d'un démonstrateur TRL5 / TRL6



- ❑ **Forme usinée cible 800 x 240 x 120 mm**
- ❑ **Représentative du centre d'un cadre de fuselage A350 ▶**
- ❑ **Epaisseur de paroi matricée réduite de 40 % (toile)**
- ❑ **Matriçage en 1 chaude après chauffage à 1100°C ▼**



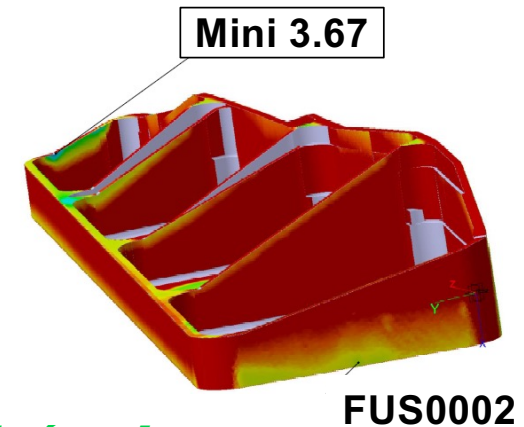
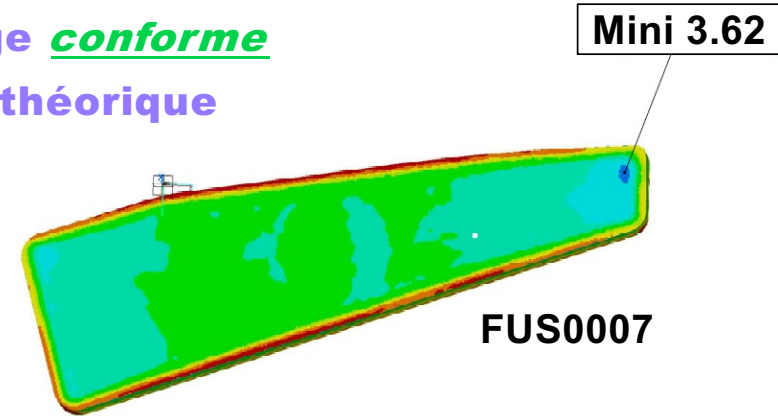
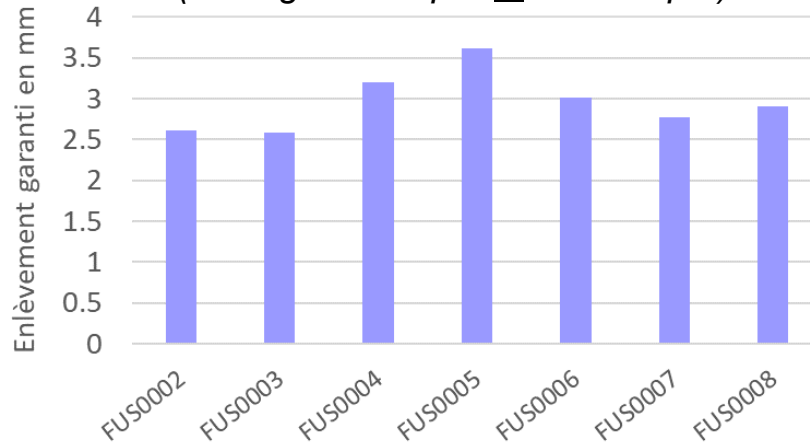
→ PMO réduit de 30%

par rapport à la pièce  
de production matricée  
en  $\alpha-\beta$

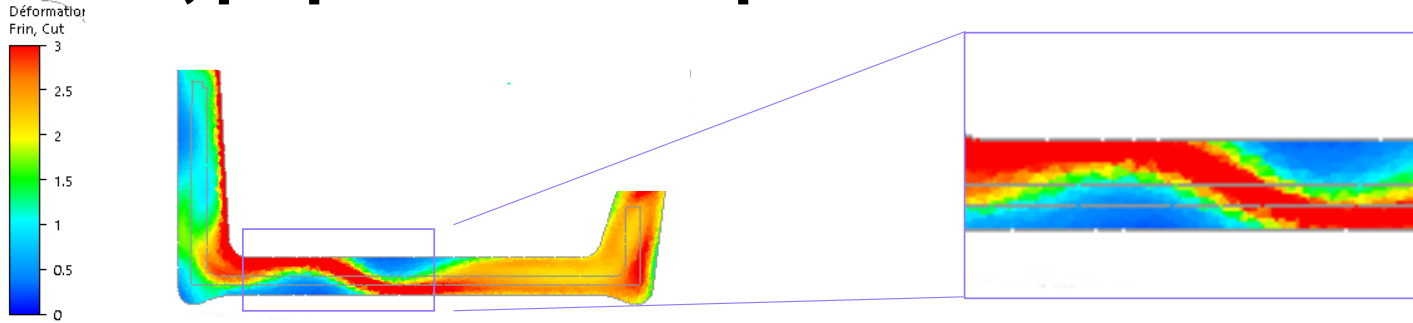
# Performances dimensionnelles avant usinage final

- ❑ 7 pièces
- ❑ matriçage  $\beta$  1100°C, TTh, usinage chimique, ressuage conforme
- ❑ Scan laser intégral : comparaison à la forme usinée théorique

**enlèvements de matière mini garantis**  
(usinage chimique et mécanique)



# Microstructures, propriétés mécaniques

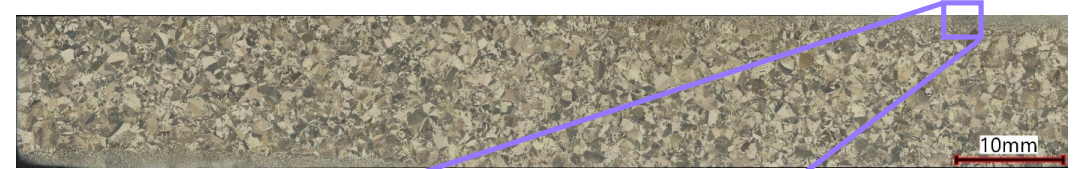


**Sans recuit  $\beta$**   
(S/N FUS0001)



*Bandes de petits grains recristallisés*

**Avec recuit  $\beta$**   
(S/N FUS0002)



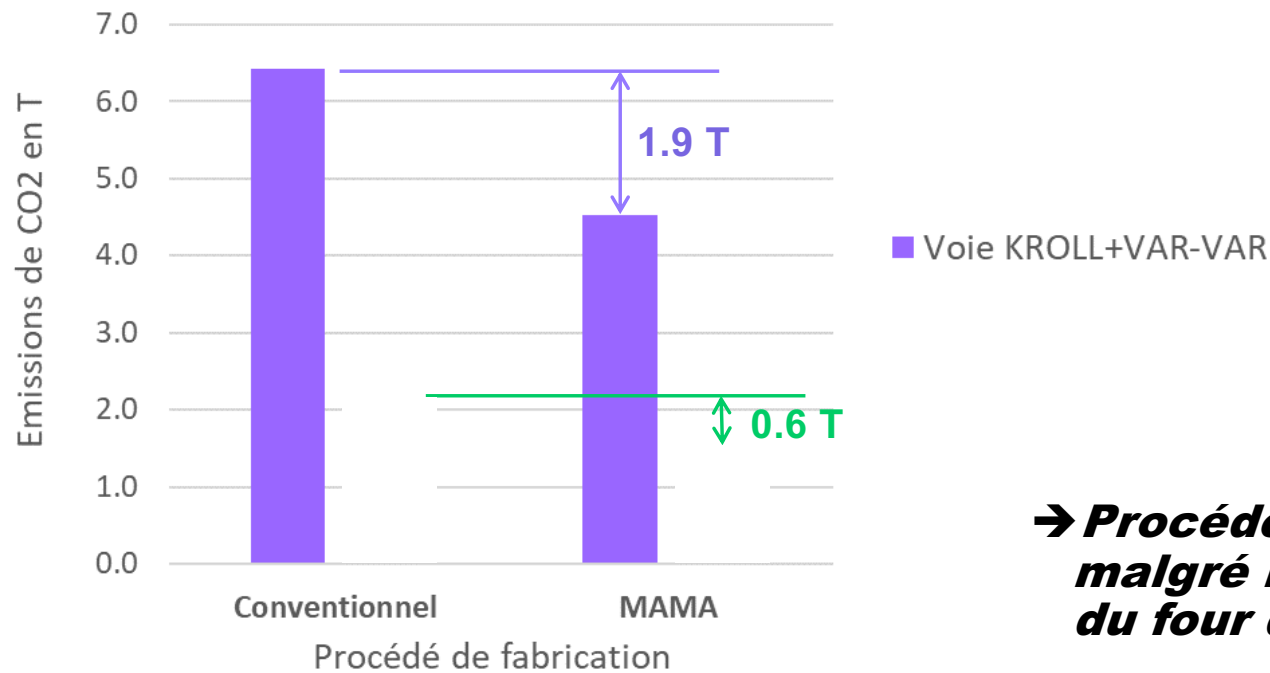
*Structure en panier tressé dans les zones peu déformées*

**→  $\mu$ structure avec recuit  $\beta$  plus homogène, Propriétés méca typiques du TA6V  $\beta$**

# Impact environnemental (émissions de GES)

## Application : cadre de fuselage A350

- ❑ Ilménite à éponge de Ti : 30 KG CO<sub>2</sub> / KG Ti
- ❑ Données gaz / Elec pour fusion&conversion : ECOTITANIUM / A&D / UKAD
- ❑ Electricité produite en France (55 gCO<sub>2</sub> / KWH)



**→ Procédé MAMA bénéfique malgré la sur-consommation du four de matriçage !**

# Freins à l'industrialisation du matriçage $\beta$



## ❑ Risque Gros Grain dans les zones mal déformées

**→ Procédé à réserver à certaines morphologies matriçables en 1 seule opération**

## ❑ Besoin de modèles de comportement adaptés pour la modélisation par Éléments Finis FORGE®



Rhéologie

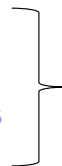
**→ MAMA**



Frottement



Echanges Thermiques



**→ Projet suite DEFI Titane**

### Enjeux :

**Prévoir correctement les niveaux d'efforts de matriçage  
... et les zones mal déformées à risques de gros grain**