



Projet MAMA

Metallic Advanced Materials for Aeronautics

Réduire la consommation de titane aéronautique en
matriçant à haute température dans le domaine β

Arnaud HACQUIN – 10-11 octobre 2023



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 « β »**

- Fabrication Additive

- **Hybridation entre matricage et FA**

Projet MAMA



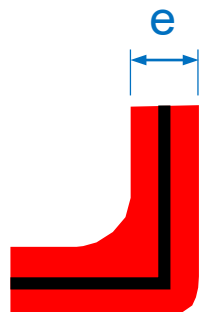
TA6V matricé β : Principes et Objectifs MAMA

Principes

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

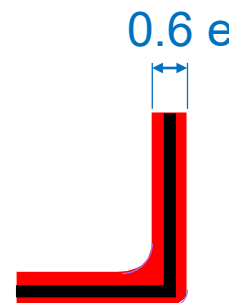
Aujourd'hui

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



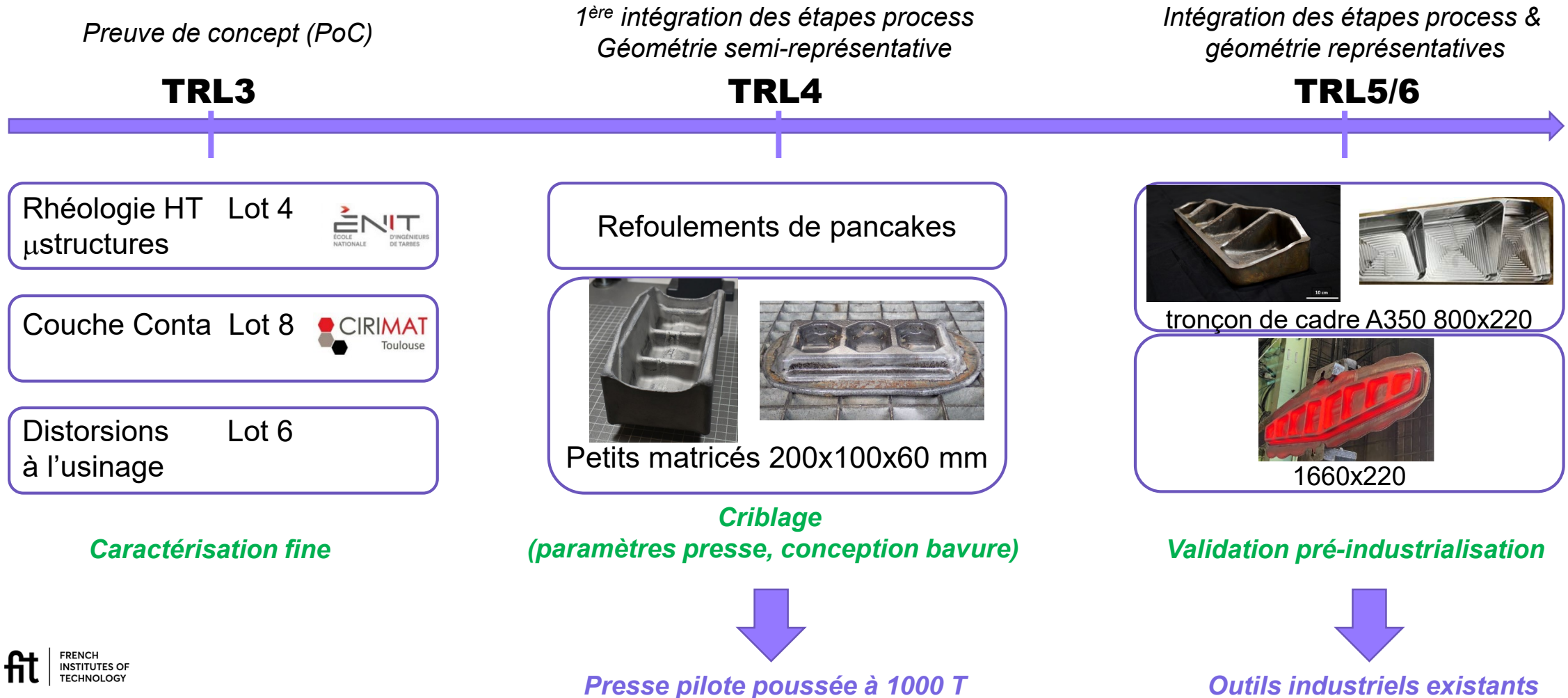
Demain (MAMA)

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

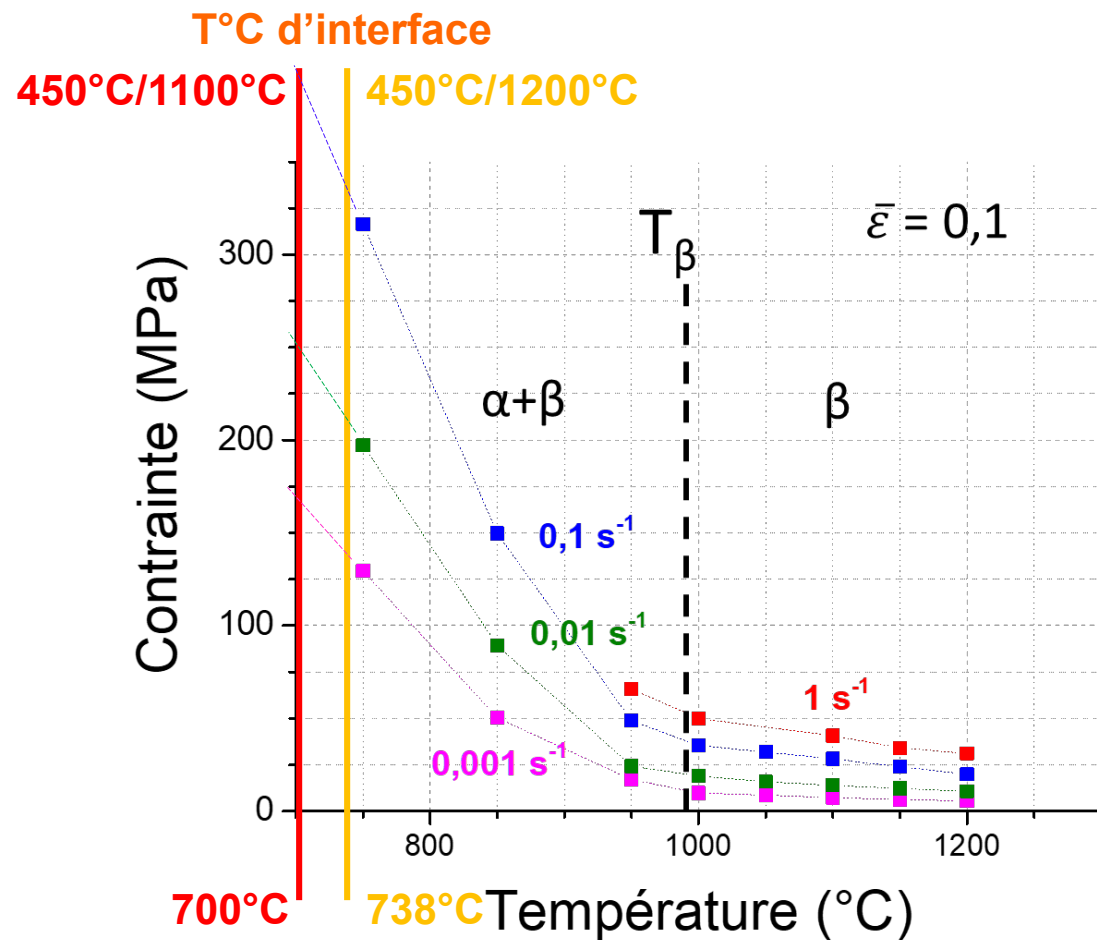


Approche méthodologique

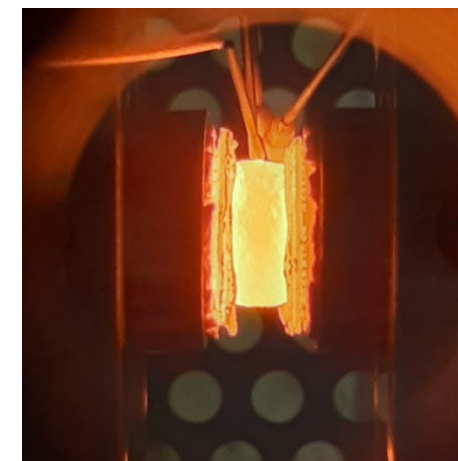
basée sur une échelle TRL adaptée aux industries de process



Effet de la température du lopin sur les efforts



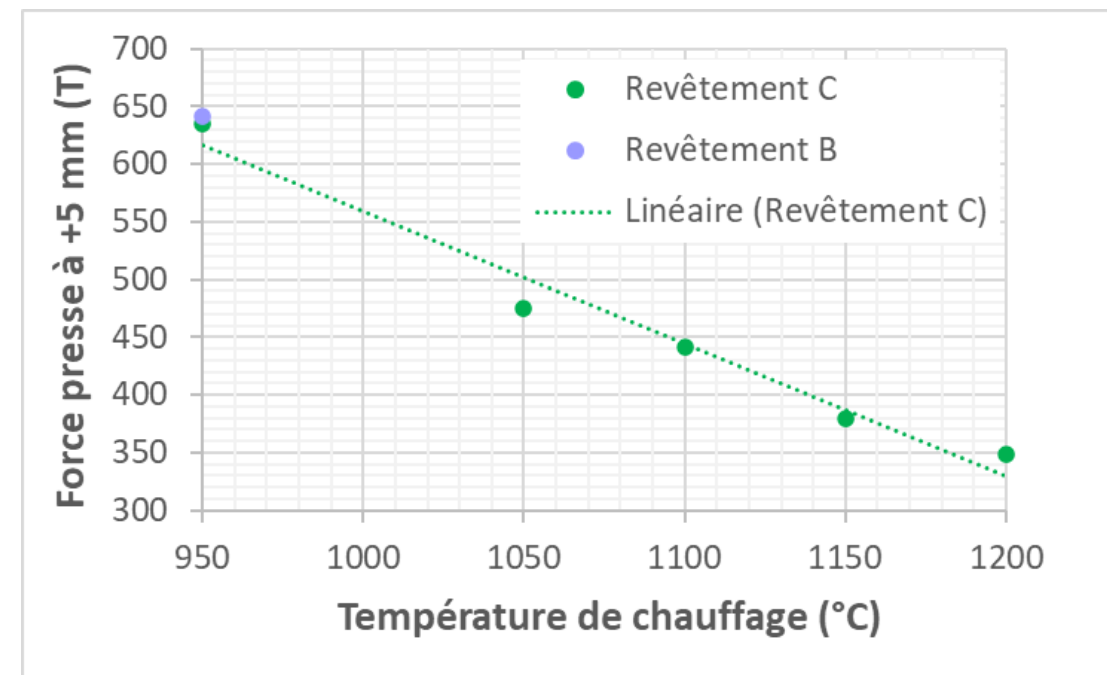
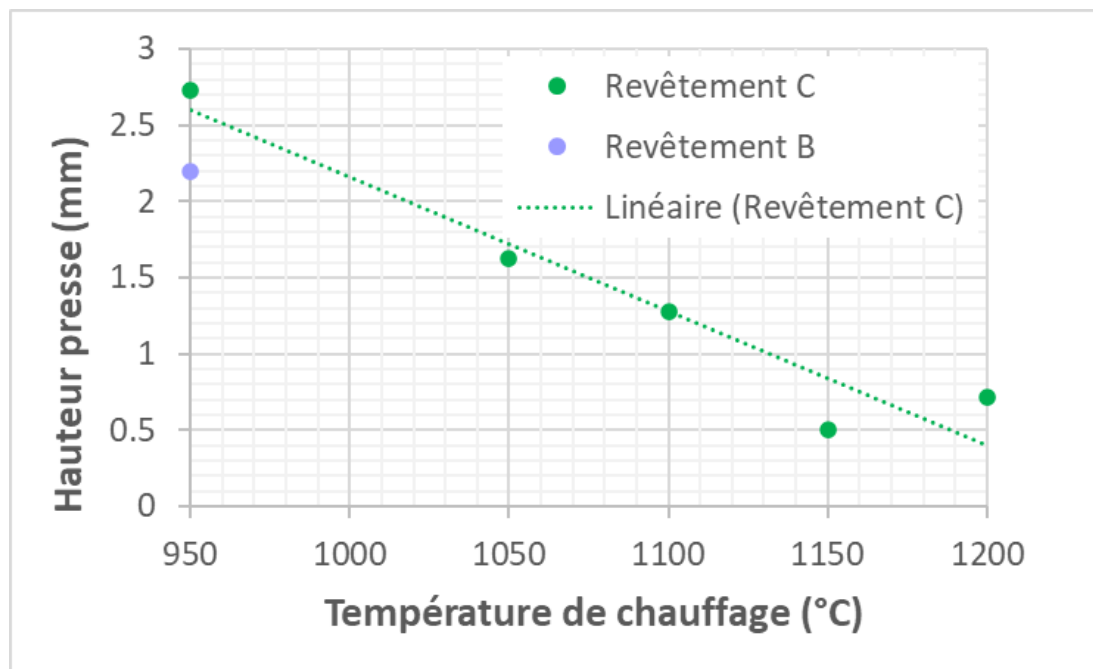
Essais de compression GLEEBLE



→ 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)

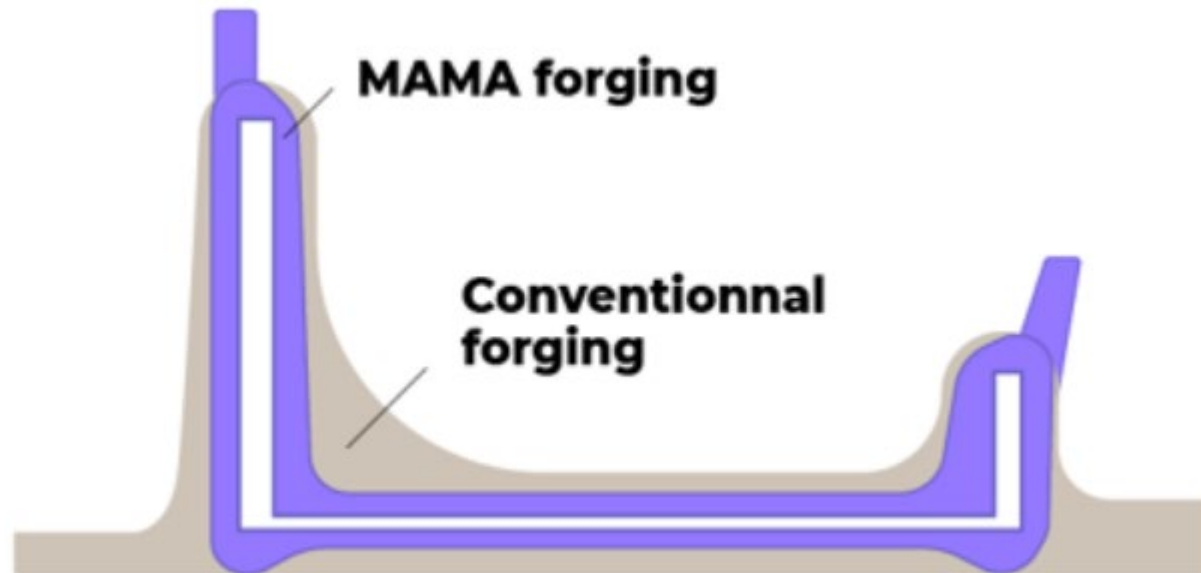
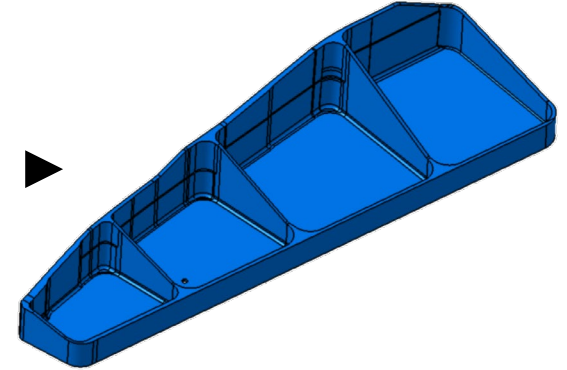
→ Température à ajuster au cas par cas, en fonction de :

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%

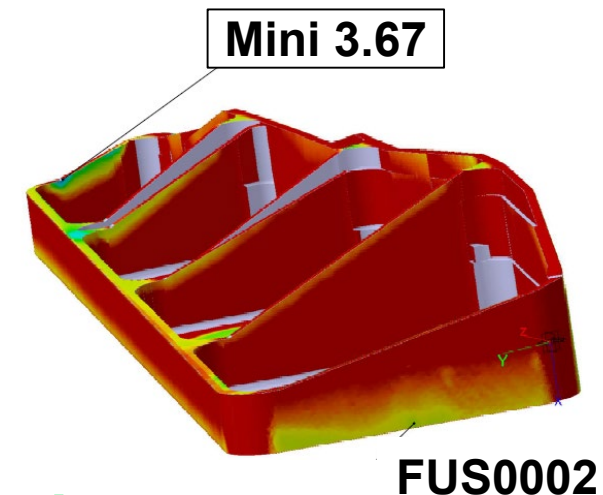
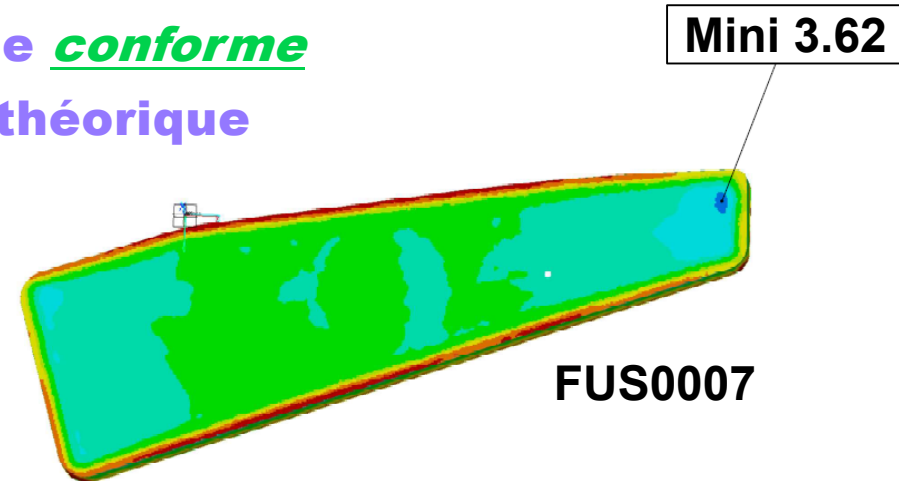
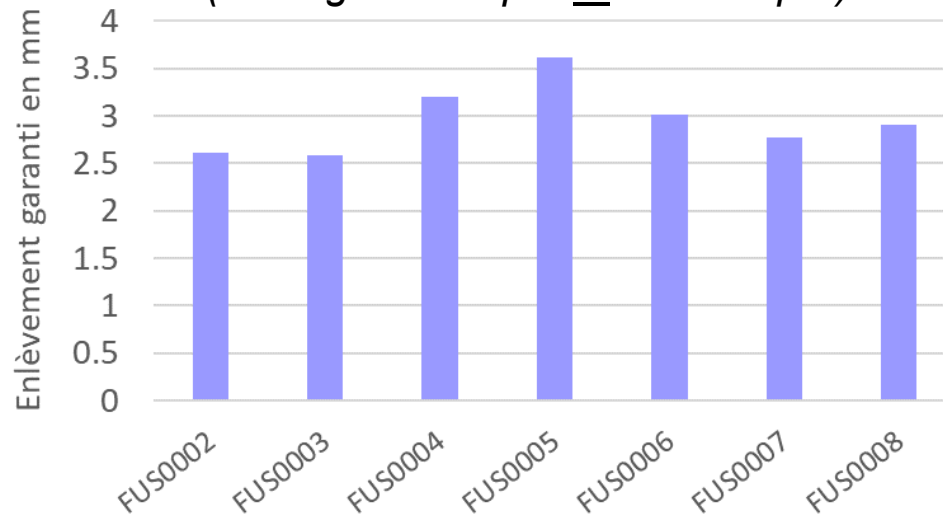
par rapport à la pièce
de production matricée
en α - β

Performances dimensionnelles avant usinage final

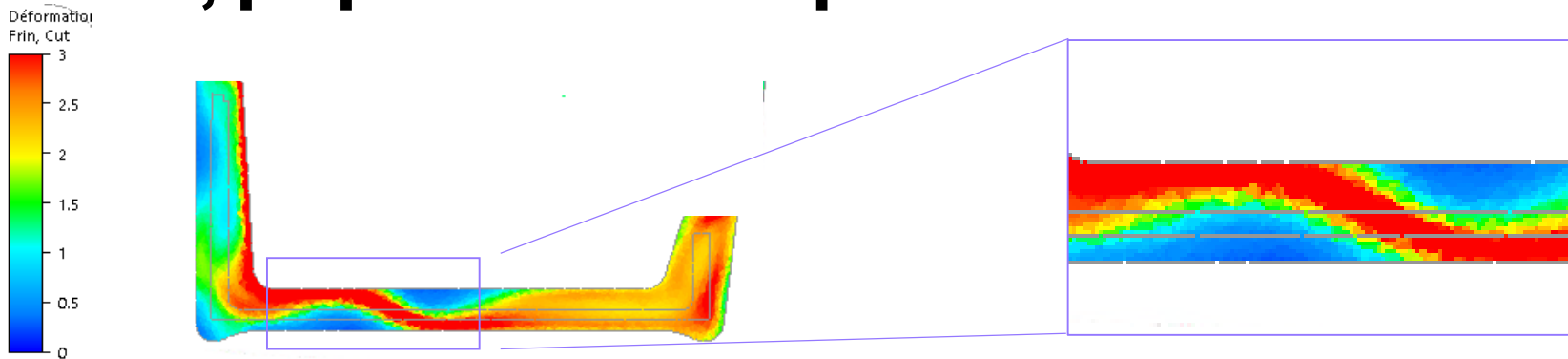
- ❑ 7 pièces
- ❑ matriçage β 1100°C, TTh, usinage chimique, ressuage conforme
- ❑ Scan laser intégral : comparaison à la forme usinée théorique

enlèvements de matière mini garantis

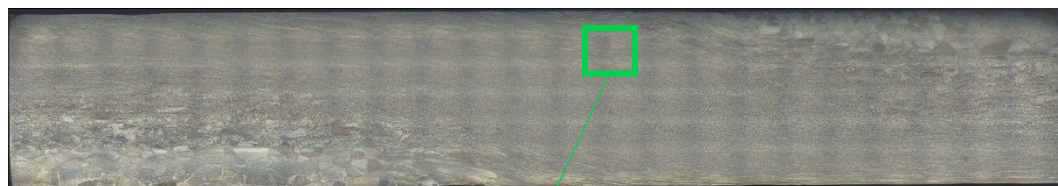
(usinage chimique et mécanique)



Microstructures, propriétés mécaniques

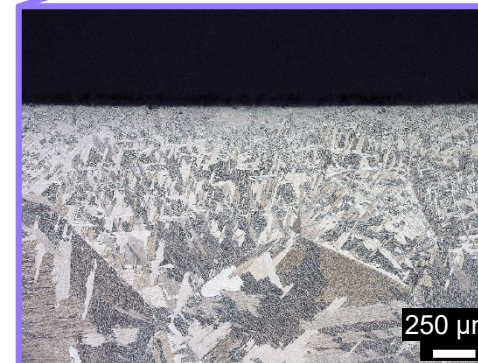


Sans recuit β
(S/N FUS0001)



Bandes de petits grains recristallisés

Avec recuit β
(S/N FUS0002)



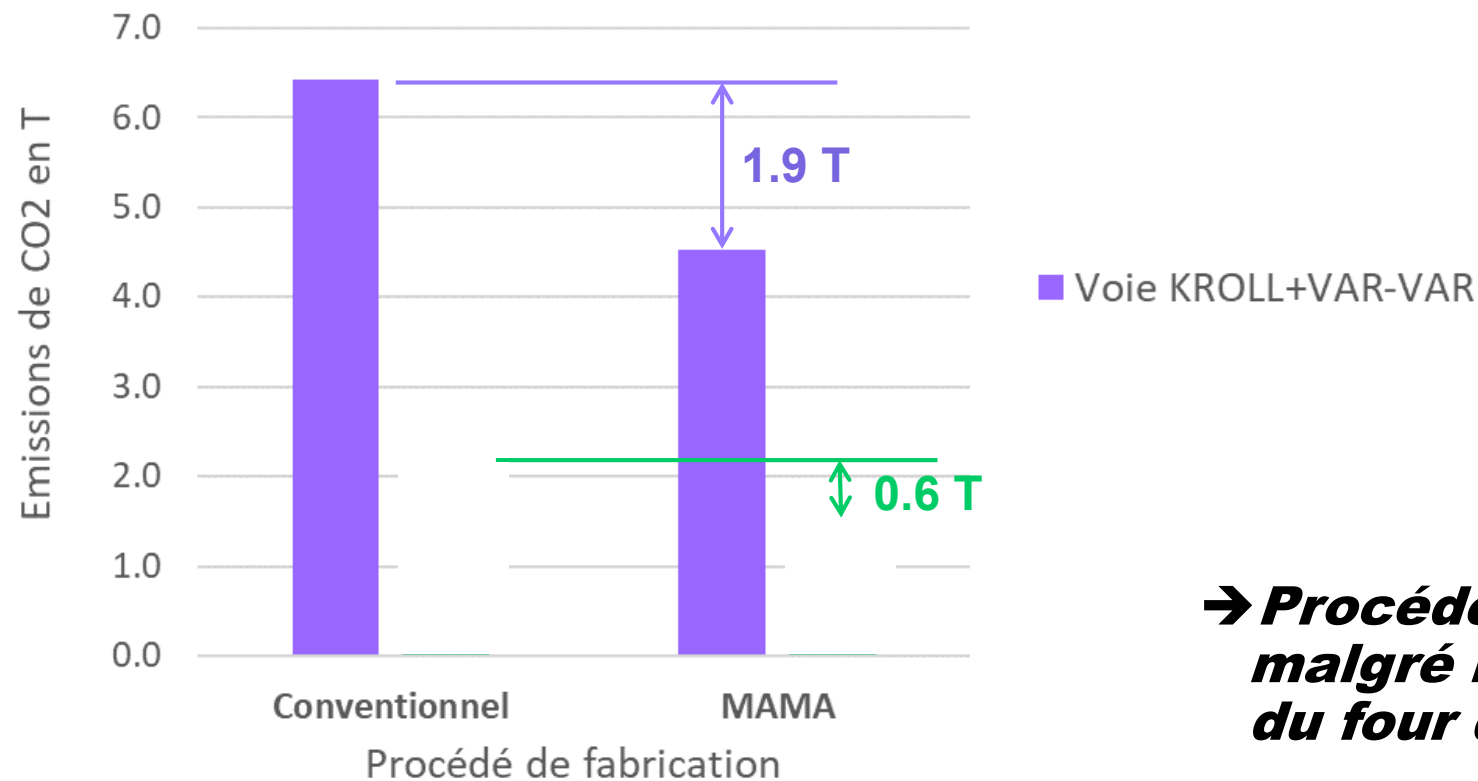
Structure en panier tressé dans les zones peu déformées

**→ μ structure avec recuit β plus homogène,
Propriétés méca typiques du TA6V β**

Impact environnemental (émissions de GES)

Application : cadre de fuselage A350

- ❑ Ilménite à éponge de Ti : 30 KG CO₂ / KG Ti
- ❑ Données gaz / Elec pour fusion&conversion : ECOTITANIUM / A&D / UKAD
- ❑ Electricité produite en France (55 gCO₂ / KWH)



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

Freins à l'industrialisation du matriçage β

❑ 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**