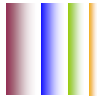


# Performance des alliages TiAl pour les applications aéronautiques

Jean-Yves GUEDOU et Jean Michel DEMONICAULT

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.



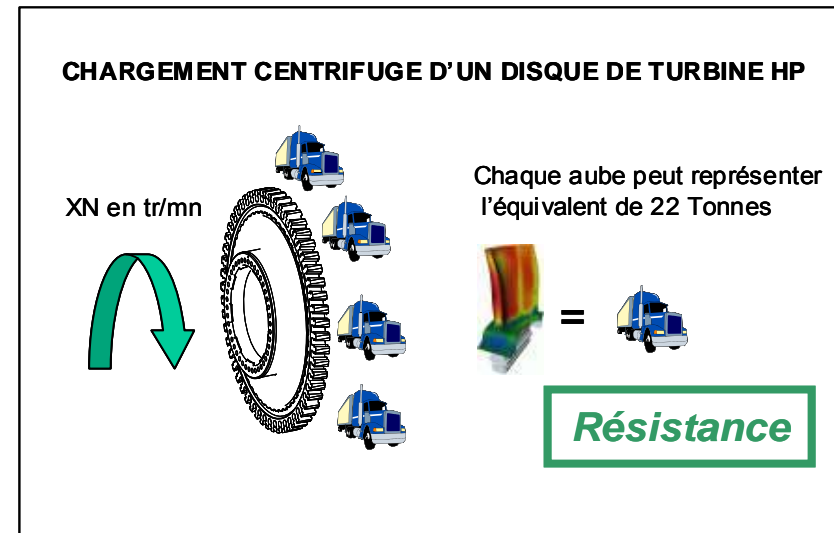
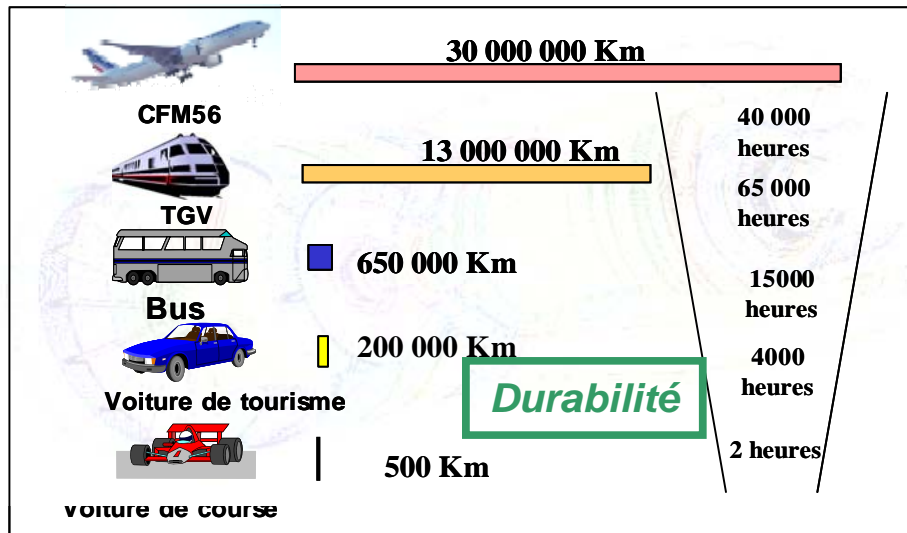
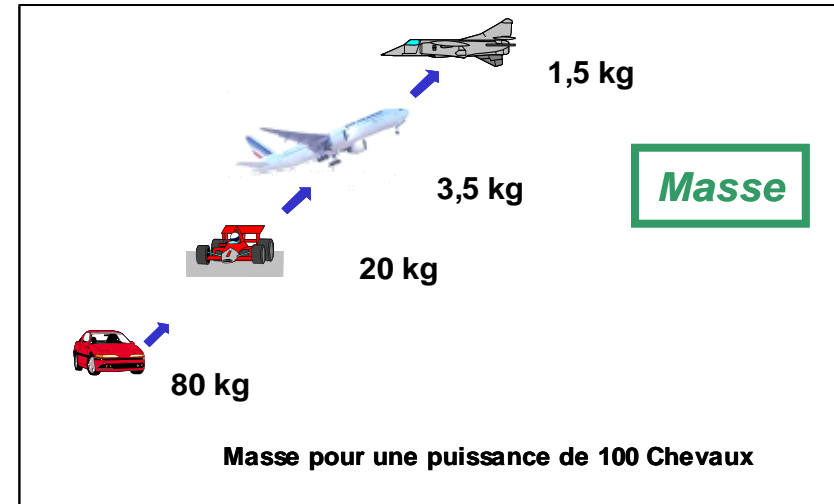
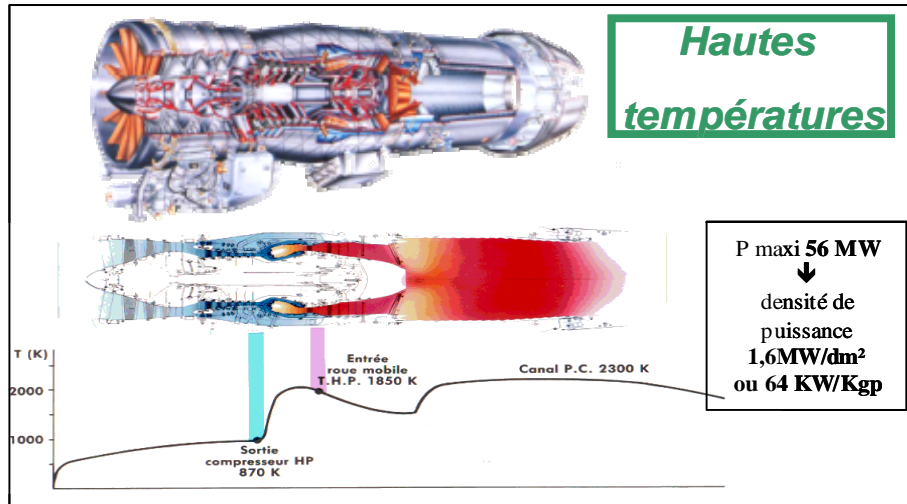
# Conception

## des pièces de turboréacteurs aéronautiques

### et place de TiAl

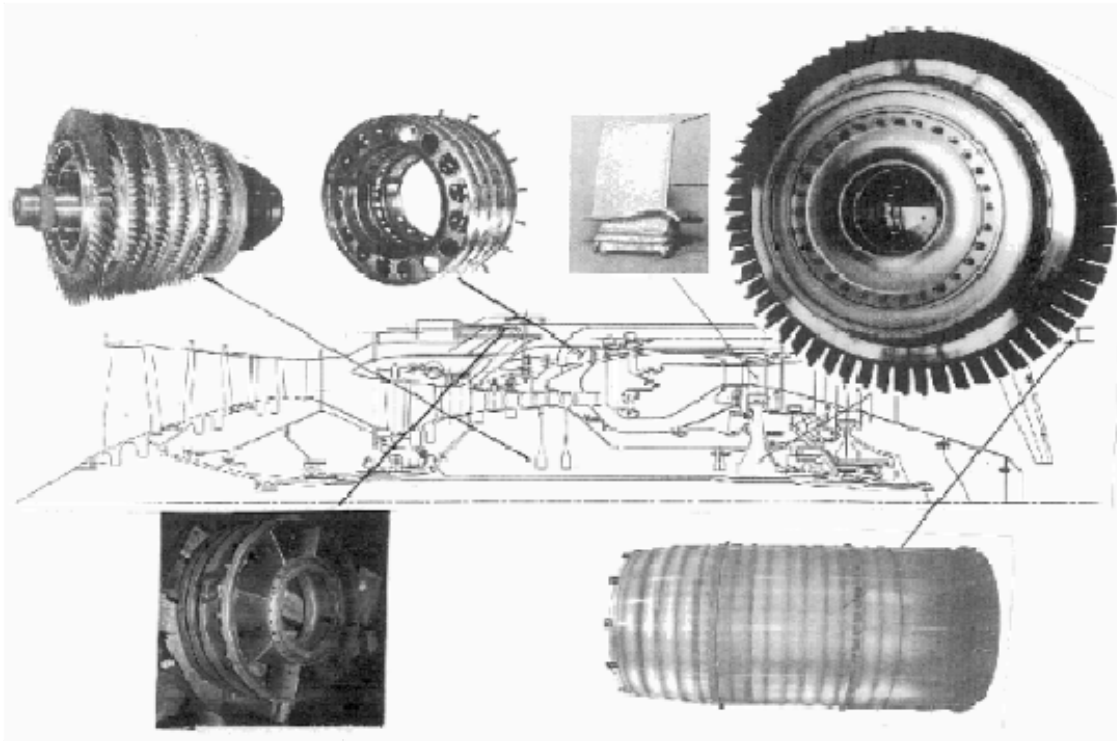
*Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.*

# Contexte des turboréacteurs aéronautiques

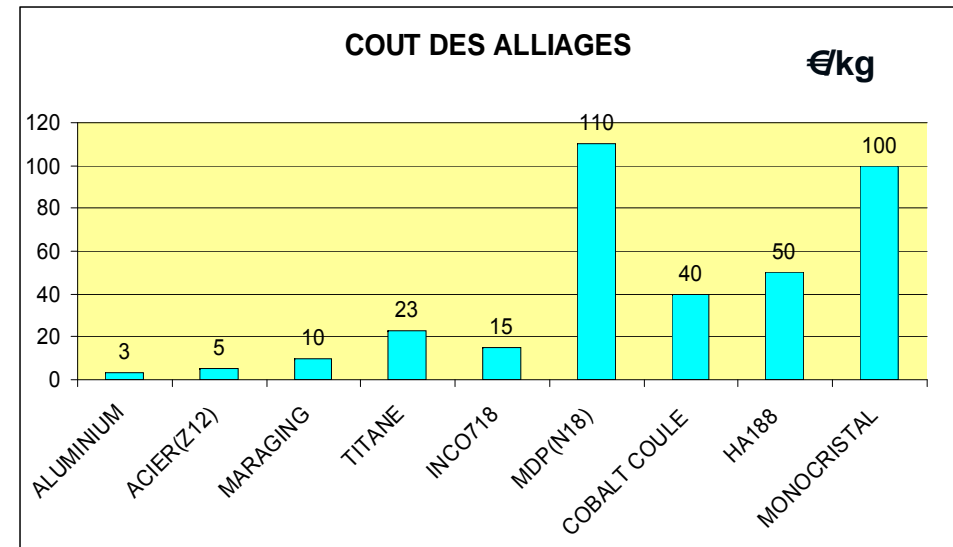


Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

# matériaux chers à forte valeur ajoutée



## Coûts



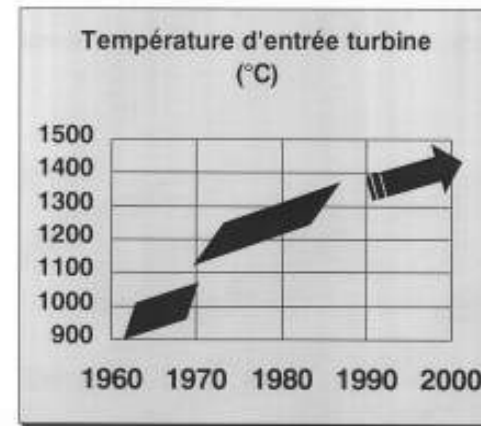
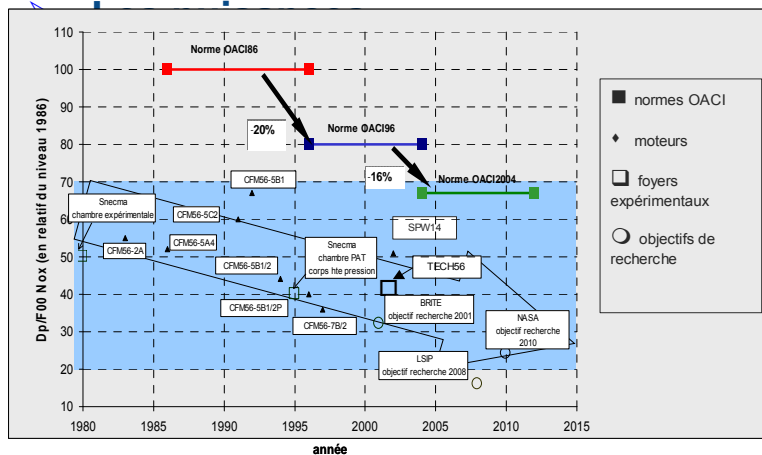
**Pièces complexes à fabriquer industriellement dans des conditions réglementées**  
**→ prise en compte des aspects économiques et environnementaux**  
**dans la sélection des matériaux et procédés de mise en oeuvre**

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

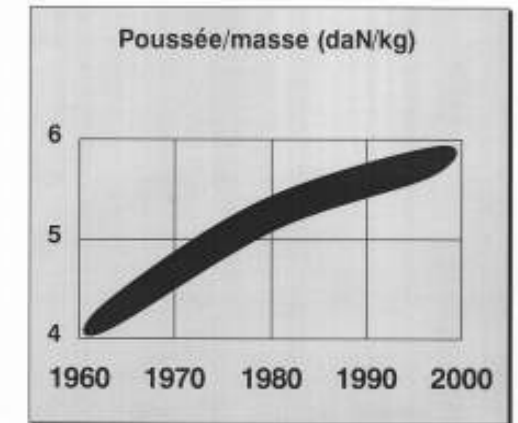
# Objectifs de conception

## Réduire

- La consommation de carburant
- La masse
- Le prix de revient du moteur
- Les coûts de maintenance



Evolution des TET



Evolution du rapport Poussée/masse

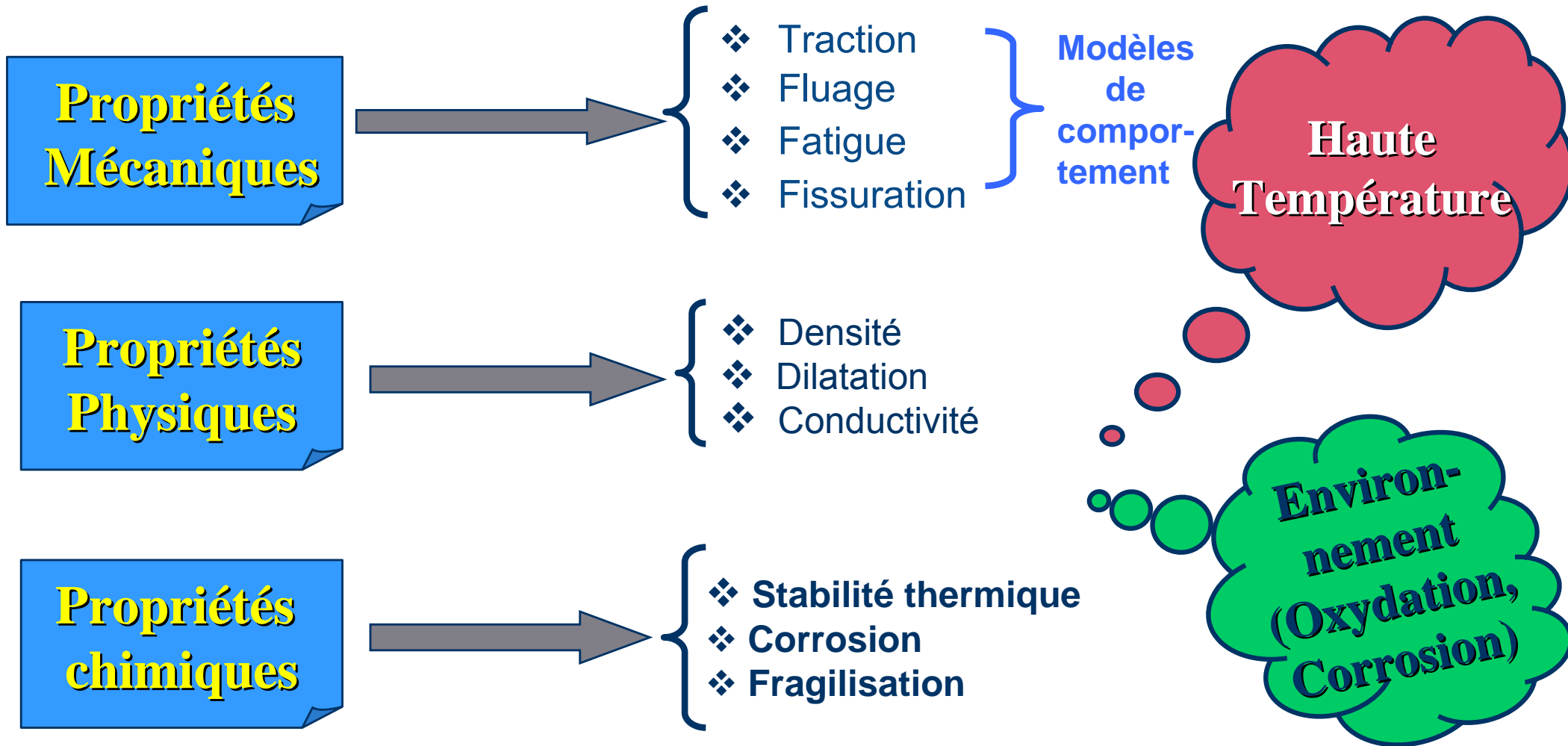
**Critères de choix des matériaux**

## Et améliorer

- La sécurité et la fiabilité

*Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.*

# Exigences en termes de propriétés d'usage



Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

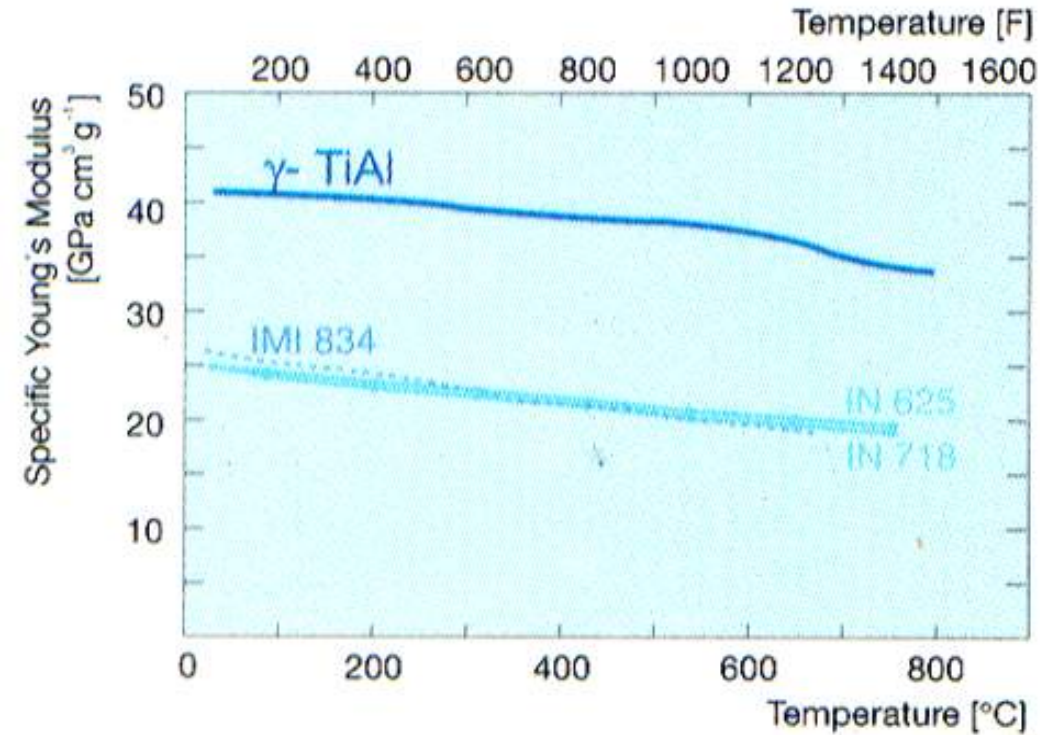
# Les alliages TiAl comparés aux alliages de Ti ou Ni

Property		$\gamma$ -TiAl alloys	Ti alloys	Superalloys
Density	[g/cm <sup>3</sup> ]	3.7–4.0	4.5–5.0	7.9–8.5
Young's Modulus	[GPa] [ksi x 1000]	155–180 22–26	95–115 14–17	190–210 28–30
Yield Strength	[MPa] [ksi]	400–750 60–110	380–1150 55–165	800–1200 115–175
Fracture Toughness	[MPa√m] [ksi√in]	12–35 11–32	12–50 11–45	30–100 27–91

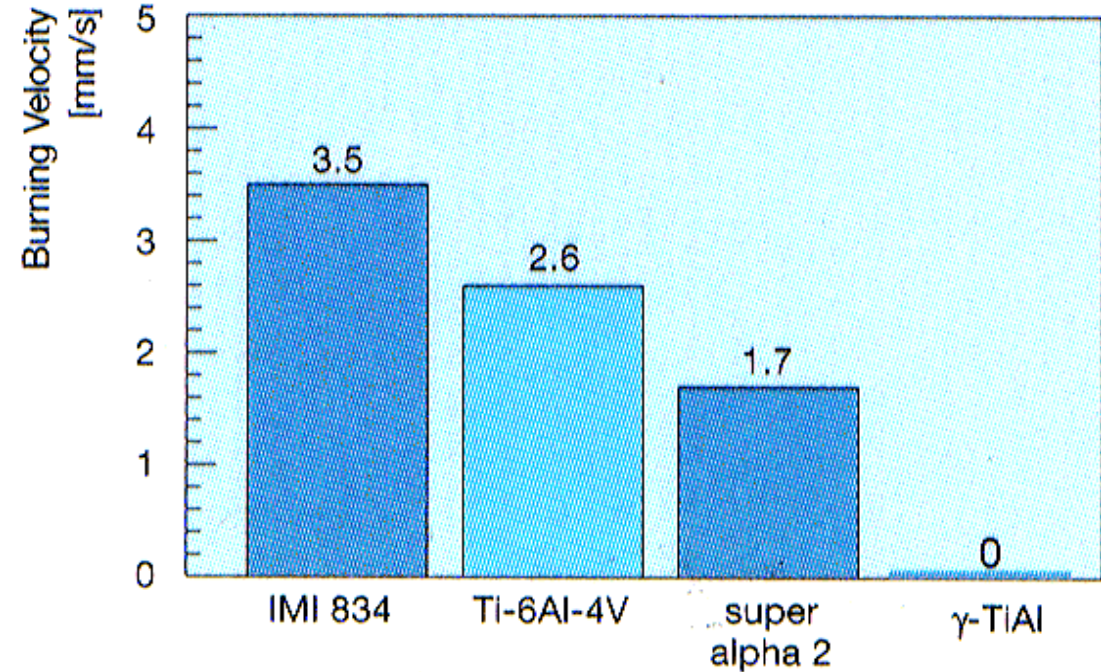
*RT-properties of  $\gamma$ -TiAl in comparison with conventional aerospace materials*

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

# Propriétés physiques



Module spécifique  $E/\rho$

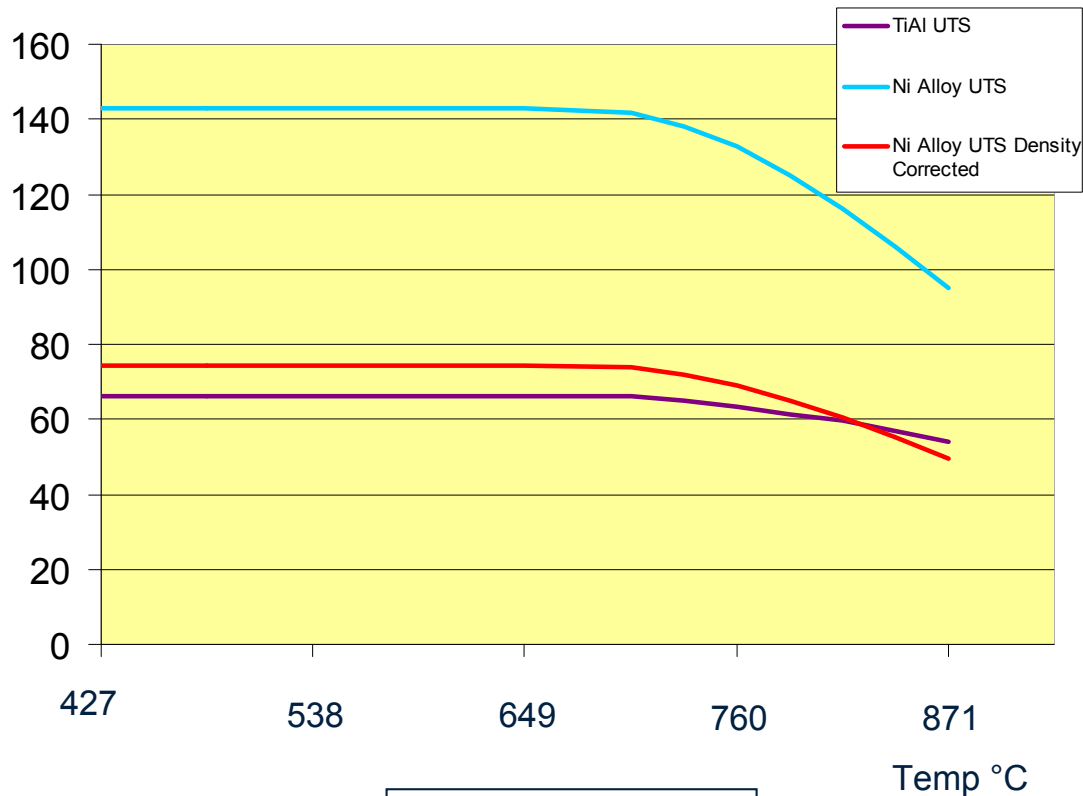


Résistance au feu

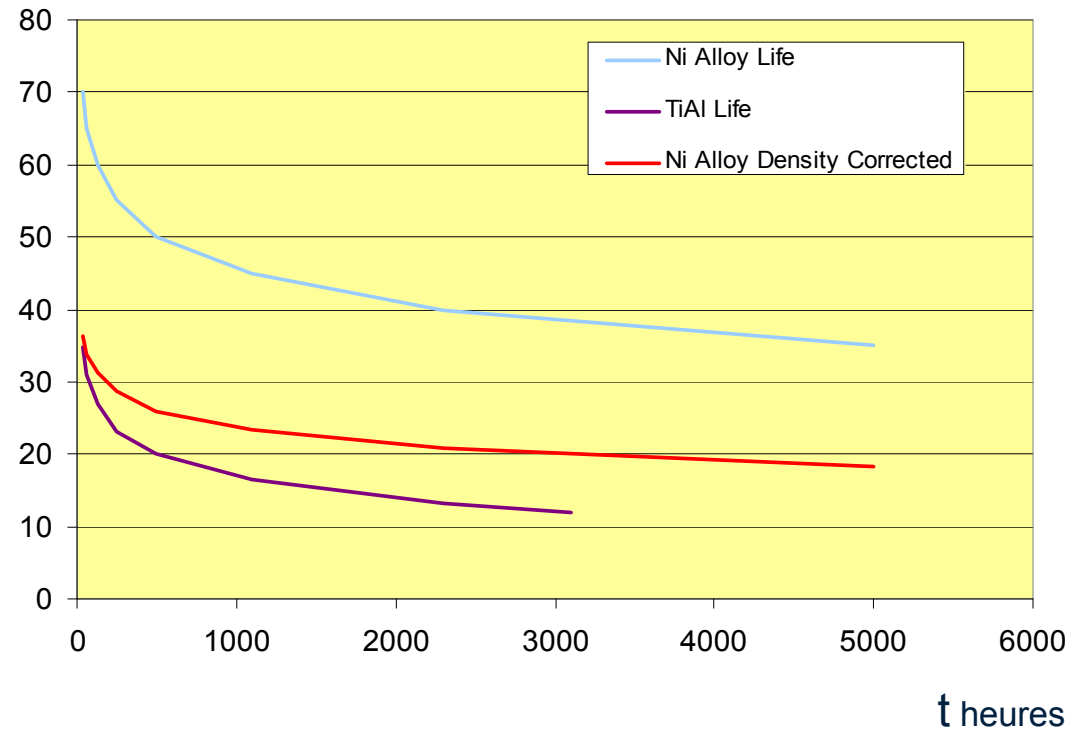
 Intérêt pour réponses dynamiques

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

# Propriétés statiques



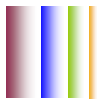
Rupture en traction



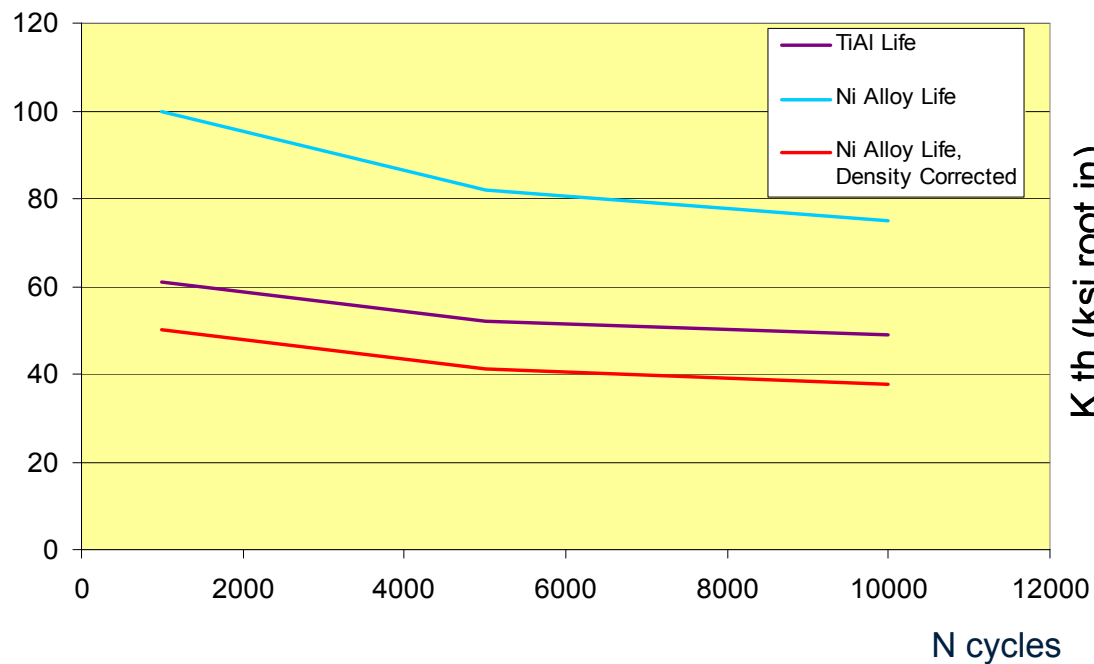
Fluage rupture 816°C

## Équivalents aux alliages de Ni en spécifique

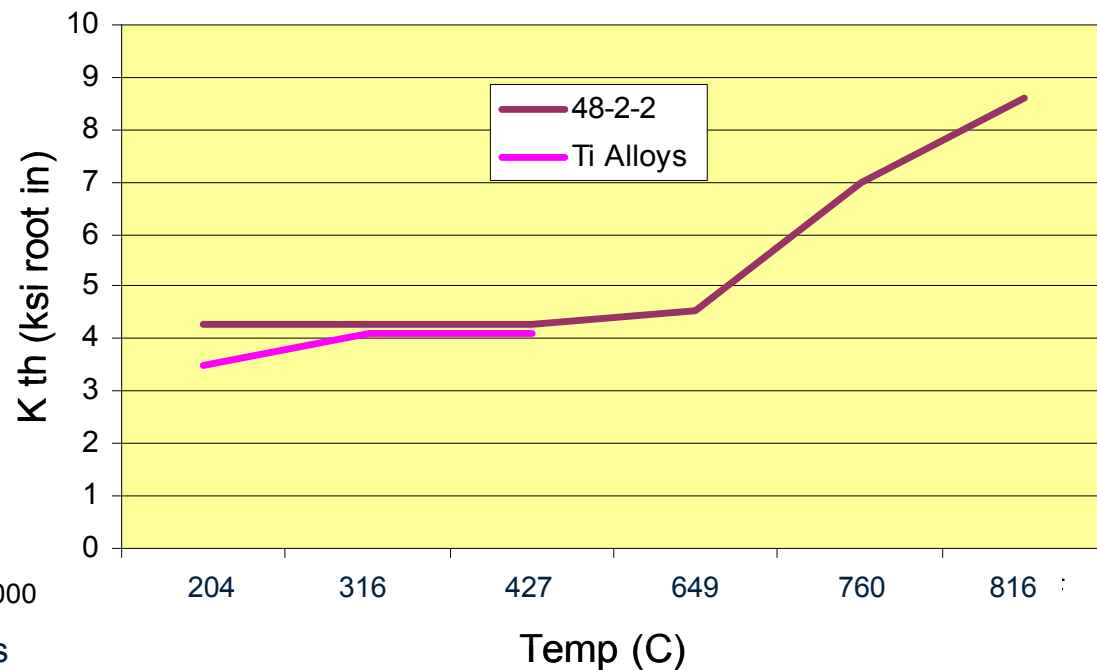
Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.



# Propriétés cycliques



LCF – 538°C

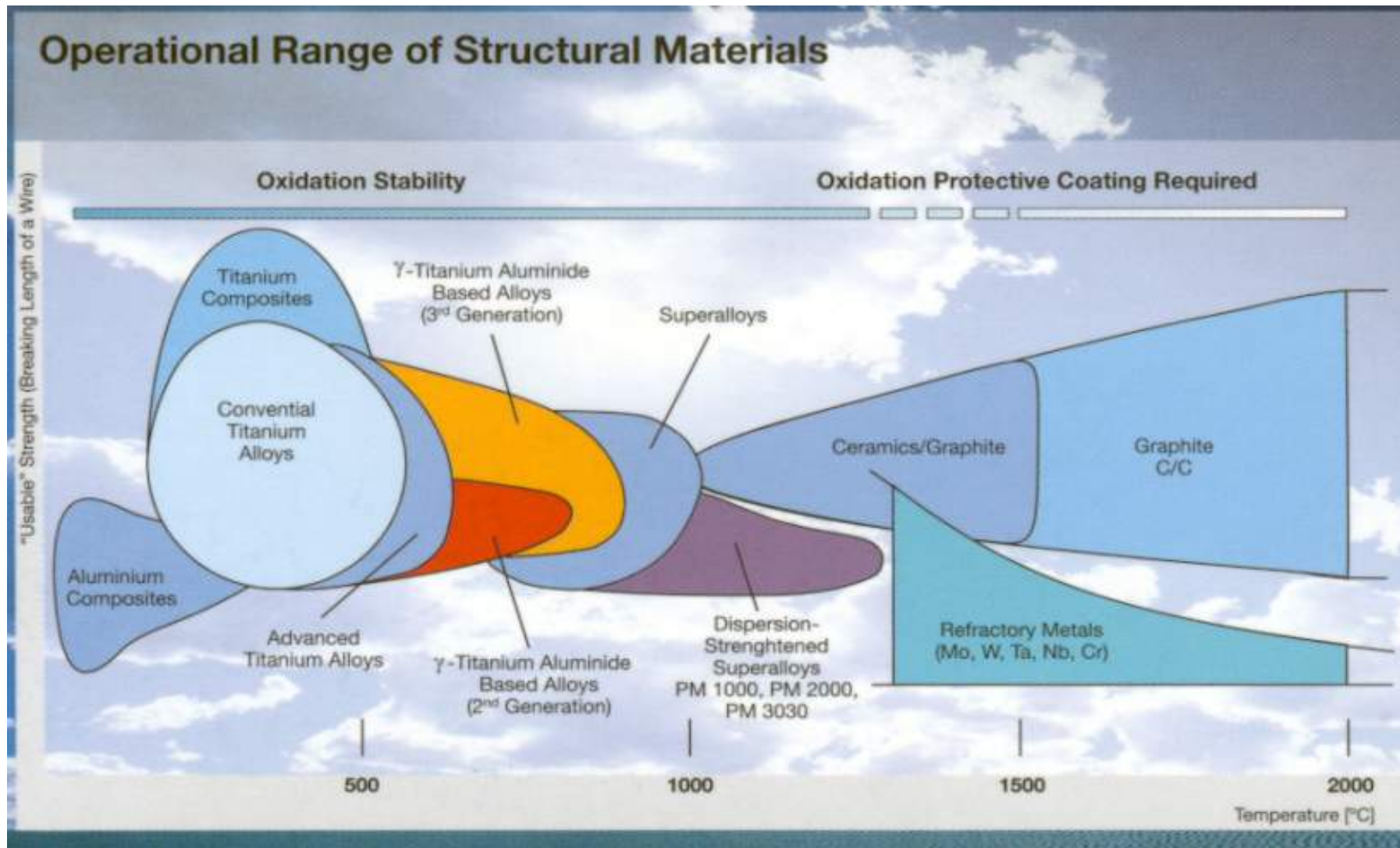


K Seuil

## Équivalents ou supérieurs aux alliages de Ni en spécifique

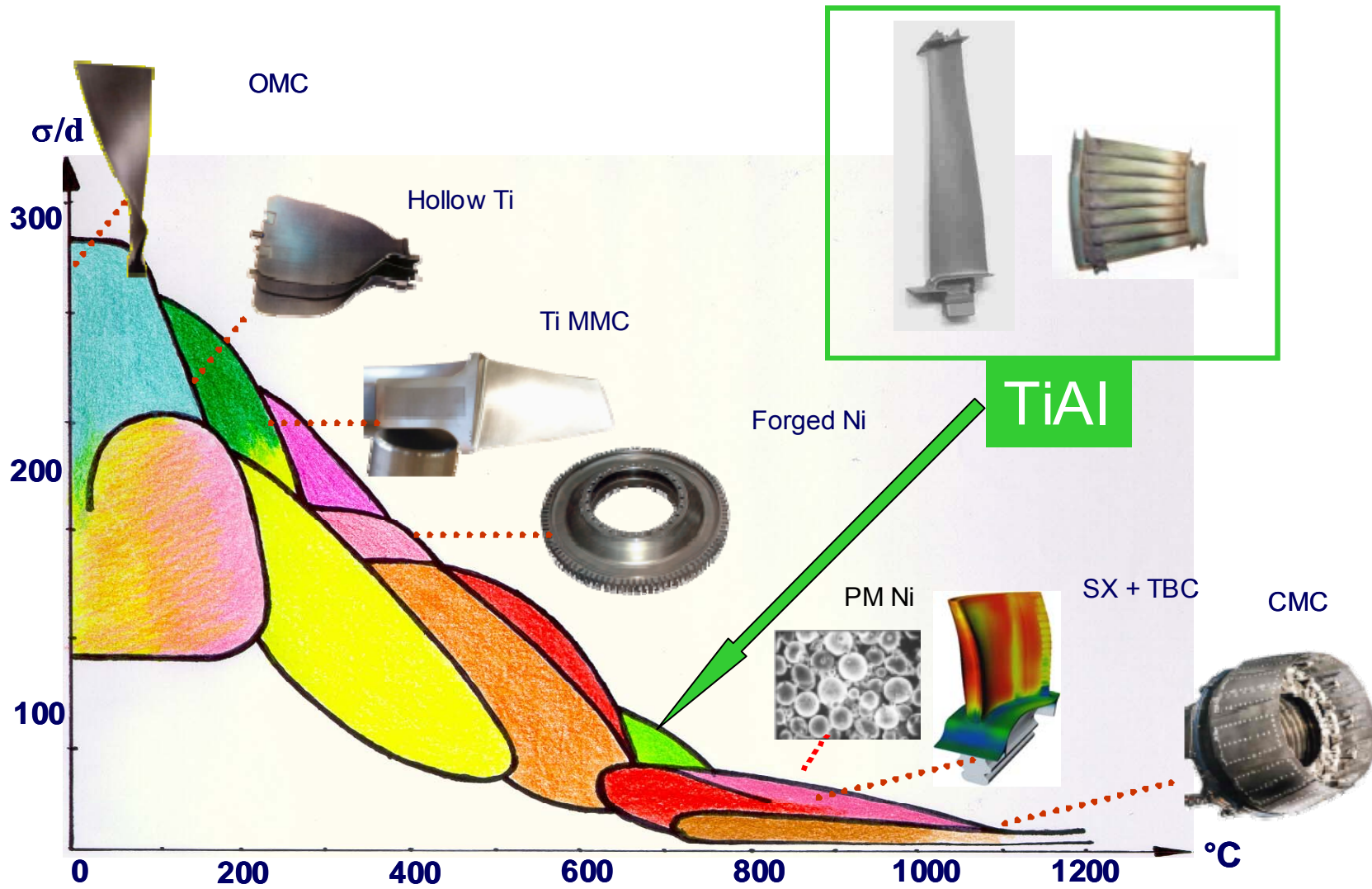
Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

# Position des TiAl / autres matériaux

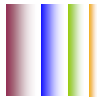


Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

# Place des alliages base TiAl



Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.



# Mise en œuvre de TiAl dans les aubes de turbine BP des turboréacteurs civils

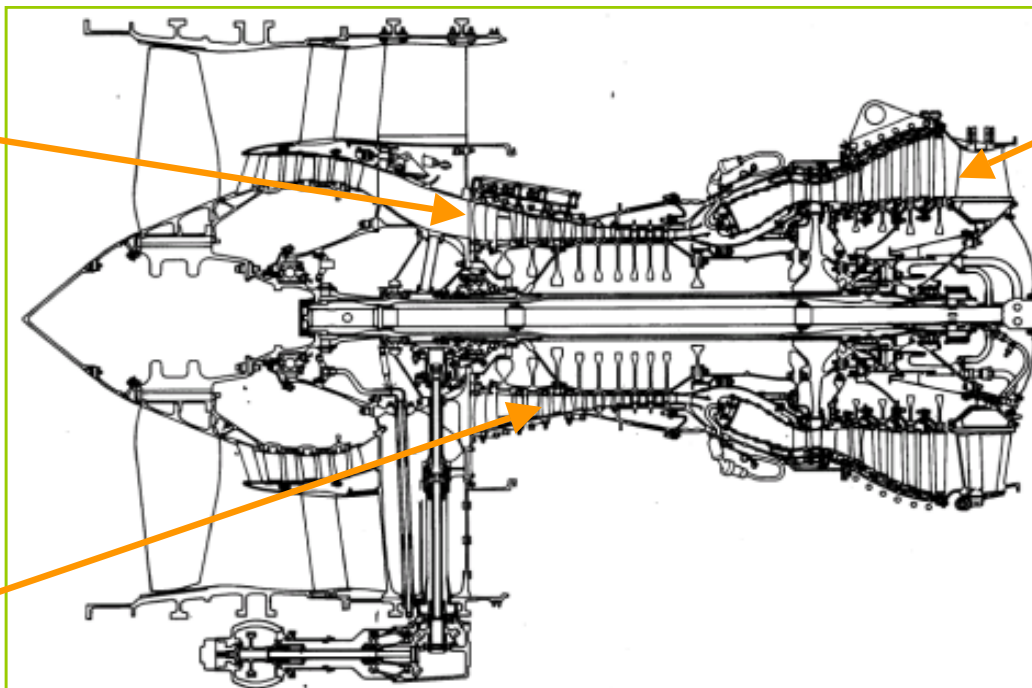
*Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.*



Redresseurs Comp HP à calage variable



Redresseur Comp HP fixes



Aube mobile Tu BP (dernier étage)



tium alloys  
steels

loys  
s

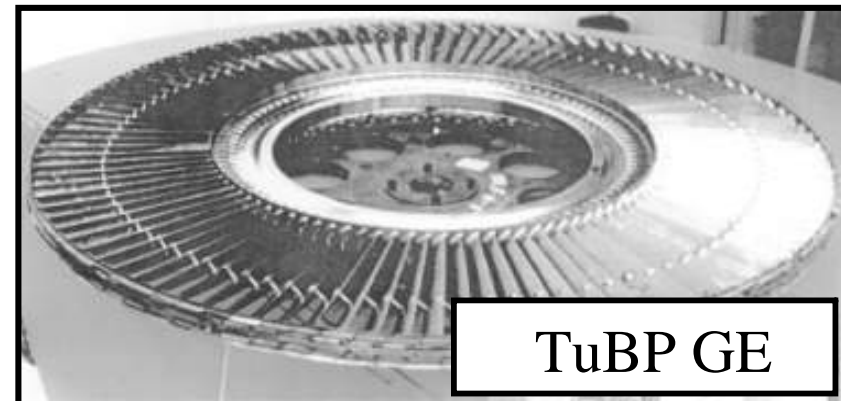
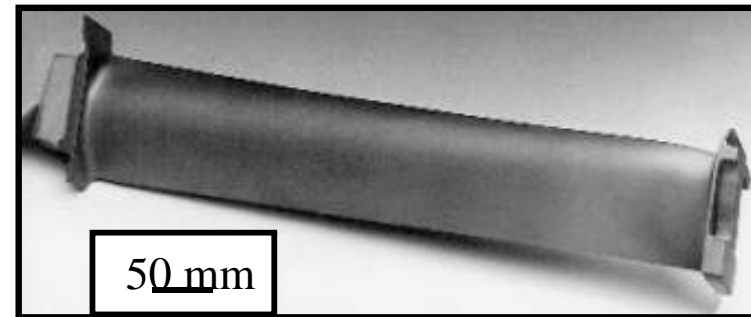
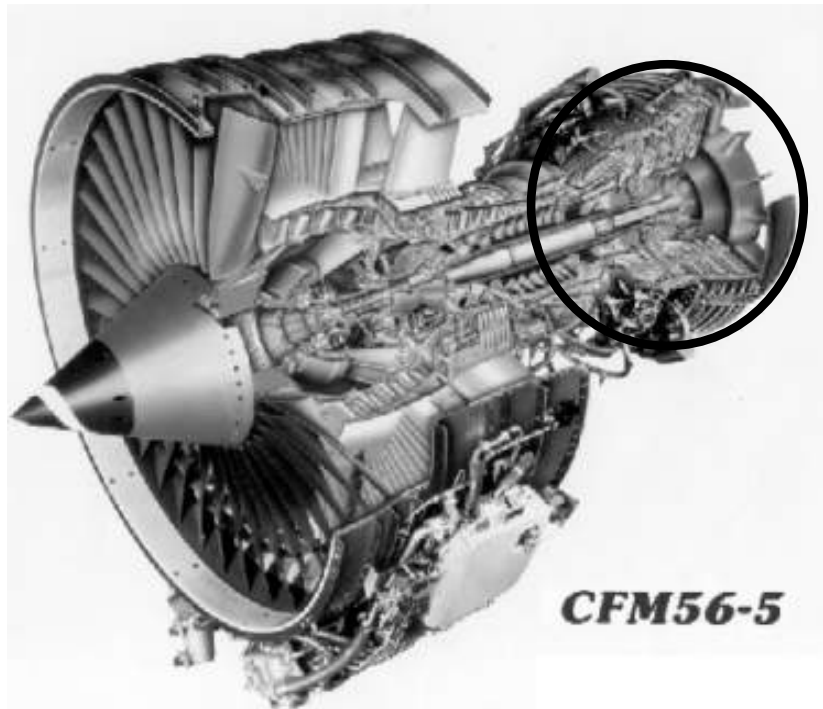
Intermetallics

Intermetallics

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.



## Aubes de turbine Basse Pression



*Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.*

# Difficultés de remplissage en coulée par gravité



Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

# Expérience en coulée par gravité : net shape difficile à obtenir ; usinage de finition à réaliser

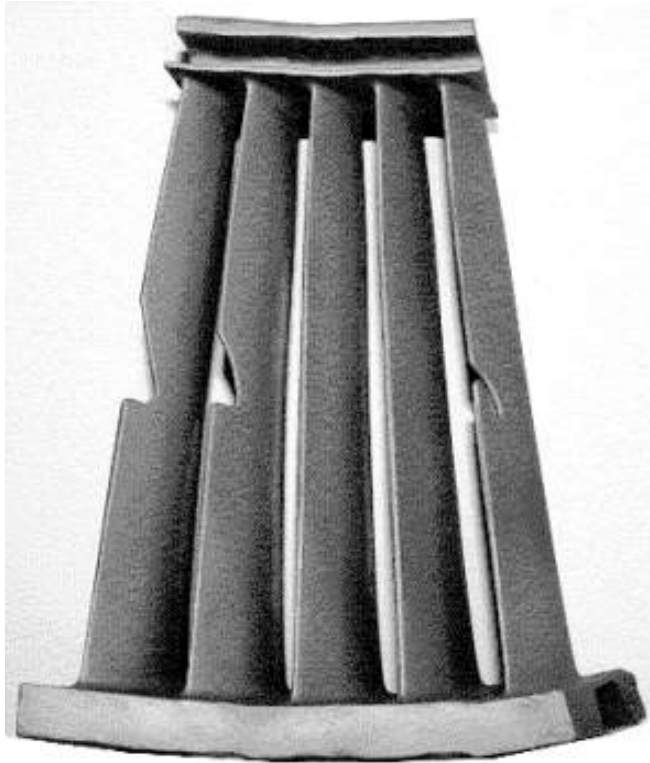
L'es épaisseurs de pales sont 2 fois plus importantes que sur pièces finies



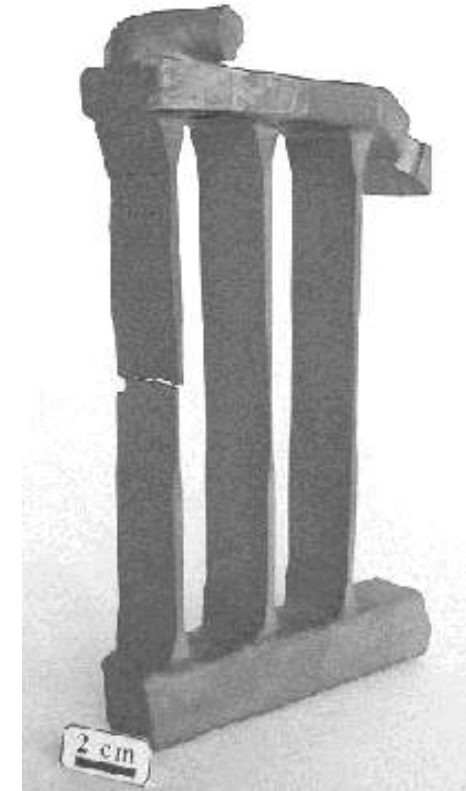
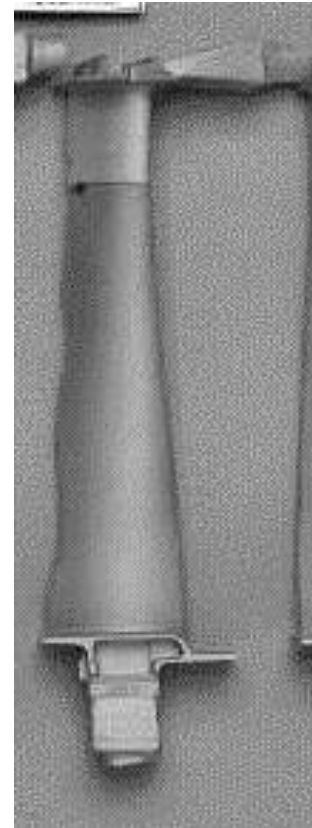
*Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.*

# Autres défauts de Fonderie Rédhibitoires

Non venues



Criques



➔ Nécessité d'adapter la mise en grappe, la géométrie de la pièce et les conditions de coulée

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

# Défauts de Fonderie Rédhibitoires : les retassures

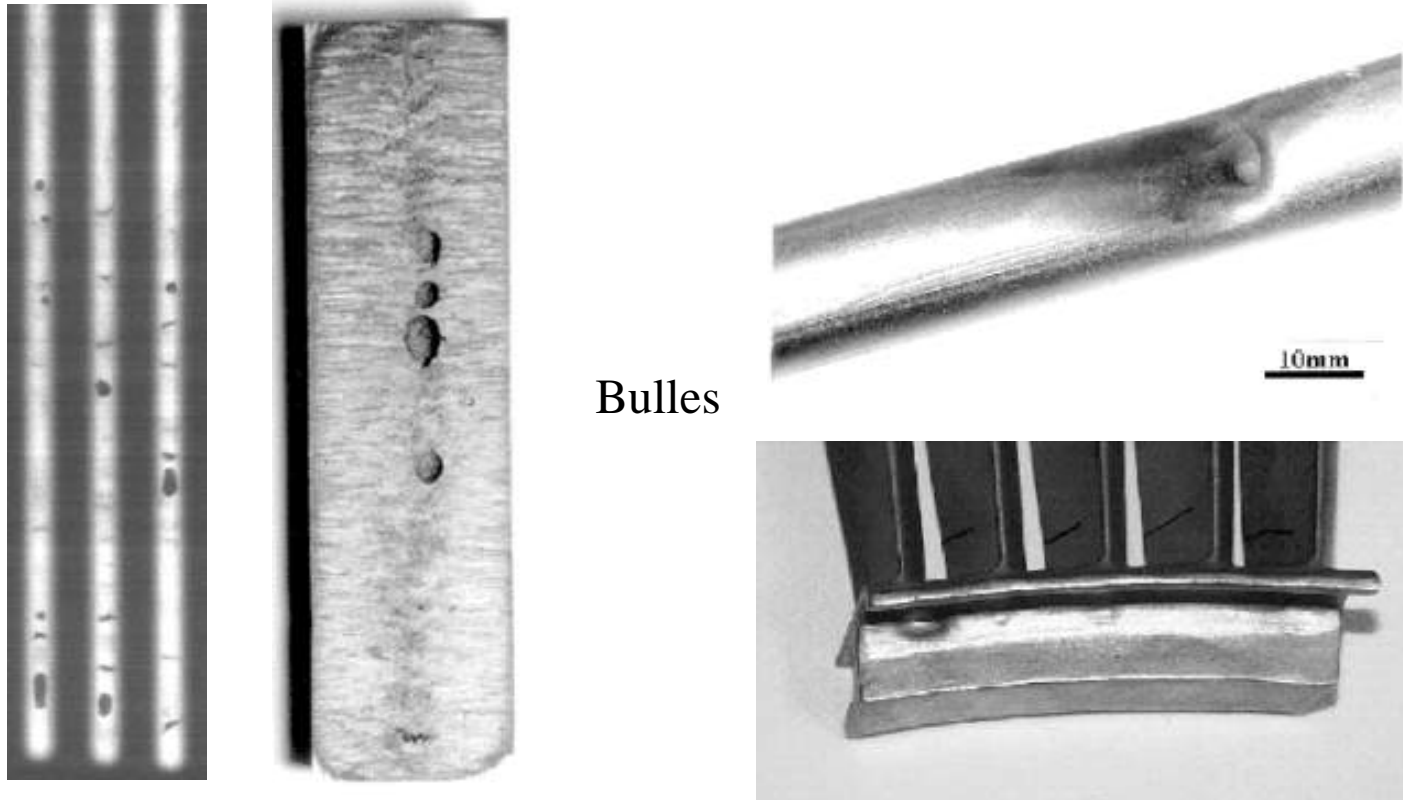
Porosités connectées avec la surface



→ Compromis entre remplissage et intégrité de surface

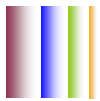
Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

# Défauts de Fonderie de surface Rédhibitoires



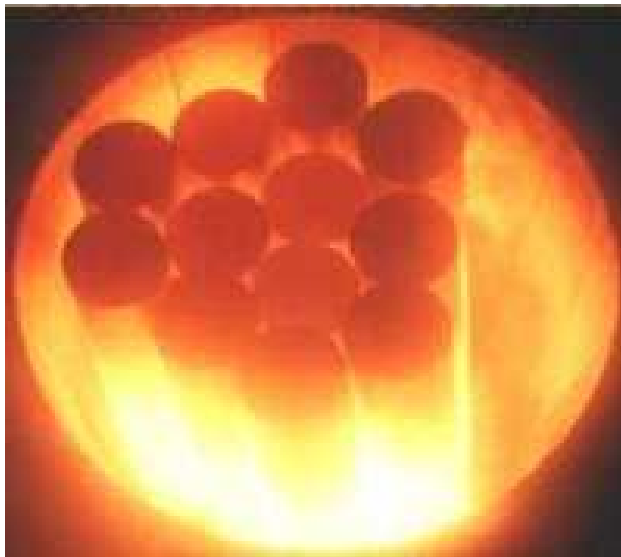
➔ Aménagement de la géométrie et de la mise en grappe

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.



# La coulée centrifuge

Utilisation de  
coulée centrifuge  
300t/mn



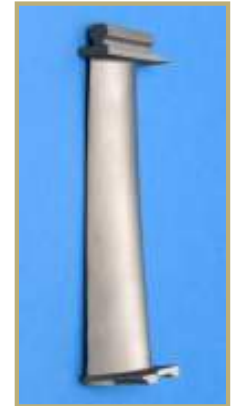
Fusion  
de lingotins de Ti

Alliage en fusion



*Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.*

# La coulée centrifuge

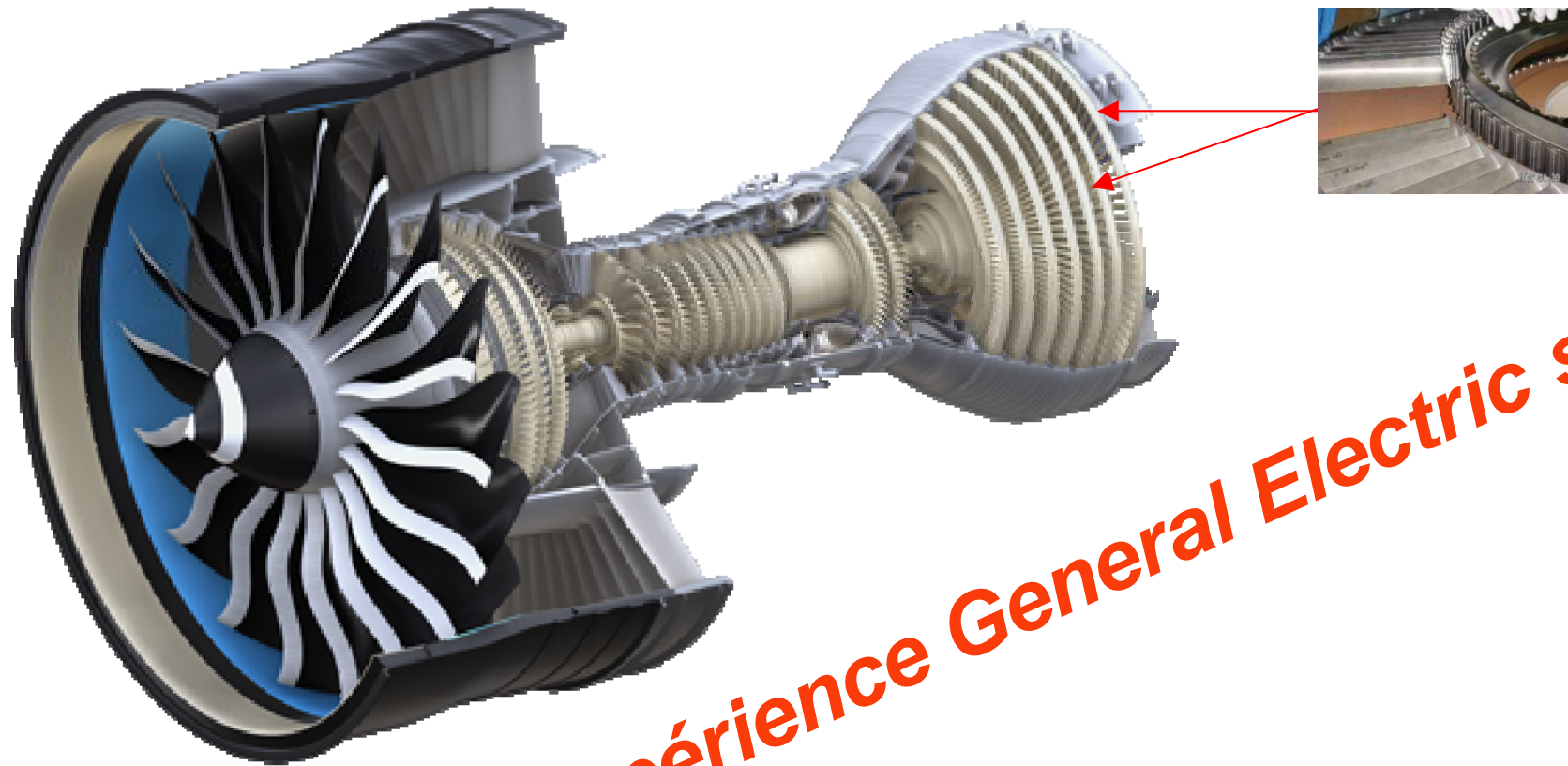


**La fusion est réalisée sous vide par induction en creuset froid . La coulée s'effectue sous vide sous centrifugation dans des moules céramique obtenus par le procédé dit "à la cire perdue".**

*Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.*

# Expérience *General Electric* sur *GEnx*

TiAl Alloy 48Al-2Nb-2Cr



**Expérience *General Electric* sur *GEnx***

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

# Expérience *General Electric* sur *GEnx*

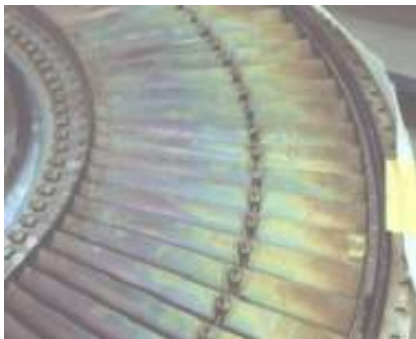
## LPT Blade History



GEnx (2006)



GE90 (1997)



CF6 (1993)

*Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.*

# Expérience General Electric sur GEnx

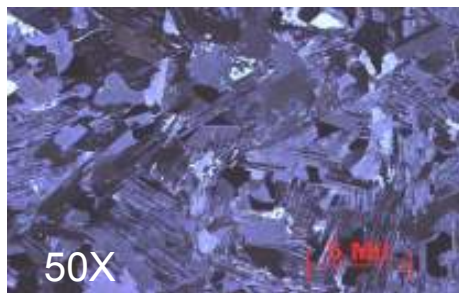
Standard GE Aircraft Engines Cast Gamma Processing (Ref 1 and 2)

Cast: Titanium Aluminide Processing, Supplier Proprietary

Pre HIP Solution: 1095C, 5 Hours (age and coarsen the as cast lamellar)

Hot Isostatic Press (HIP): 1185C, 4 Hours

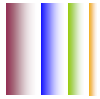
Post HIP Solution: 1205C, 2 Hours, controlled cool



Result: Duplex gamma – colony (alpha 2 plus gamma)  
with limited B2 microstructure

These thermal cycles utilized to balance ductility creep and toughness  
All following data is based on this heat treatment/microstructure

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.



# Essais de forgeage d'aubes en TiAl

- **Böhler (Aut)**
- **Leistritz (All)**

*Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.*



## Forging steps of a HPC blade (1<sup>st</sup> generation)



**Böhler**  
Forgeage en  
matrices chaudes  
(950°C)

**Leistriz**  
Forgeage isotherme  
(1100°C)

strictly private doc. nondisclosure agreement TM - LTR Doc. 12 3306

**Leistriz**

LEISTRITZ TURBINENKOMPONENTEN REIMSCHIED GMBH

*Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.*

# Forgeage isotherme d'aubes de compresseur RRUK (TP400)

## Forgeage isotherme d'aubes de compresseur RRUK (TP400)

Preforms in Multi Impression Die



strictly private and confidential agreement TM - LTR Dec. 12 2010

**Leistriz**

LEISTRITZ TURBINEN-KOMPONENTEN REIMSCHIED GMBH

Opened die after forging



strictly private and confidential agreement TM - LTR Dec. 12 2010

**Leistriz**

LEISTRITZ TURBINEN-KOMPONENTEN REIMSCHIED GMBH

- Complicé
  - Cher
  - Usure des matrices
  - Besoin de températures plus élevées
- Matrices en céramique

Flash removing by water jet cutting



strictly private and confidential agreement TM - LTR Dec. 12 2010

**Leistriz**

LEISTRITZ TURBINEN-KOMPONENTEN REIMSCHIED GMBH

Macrostructure in longitudinal section



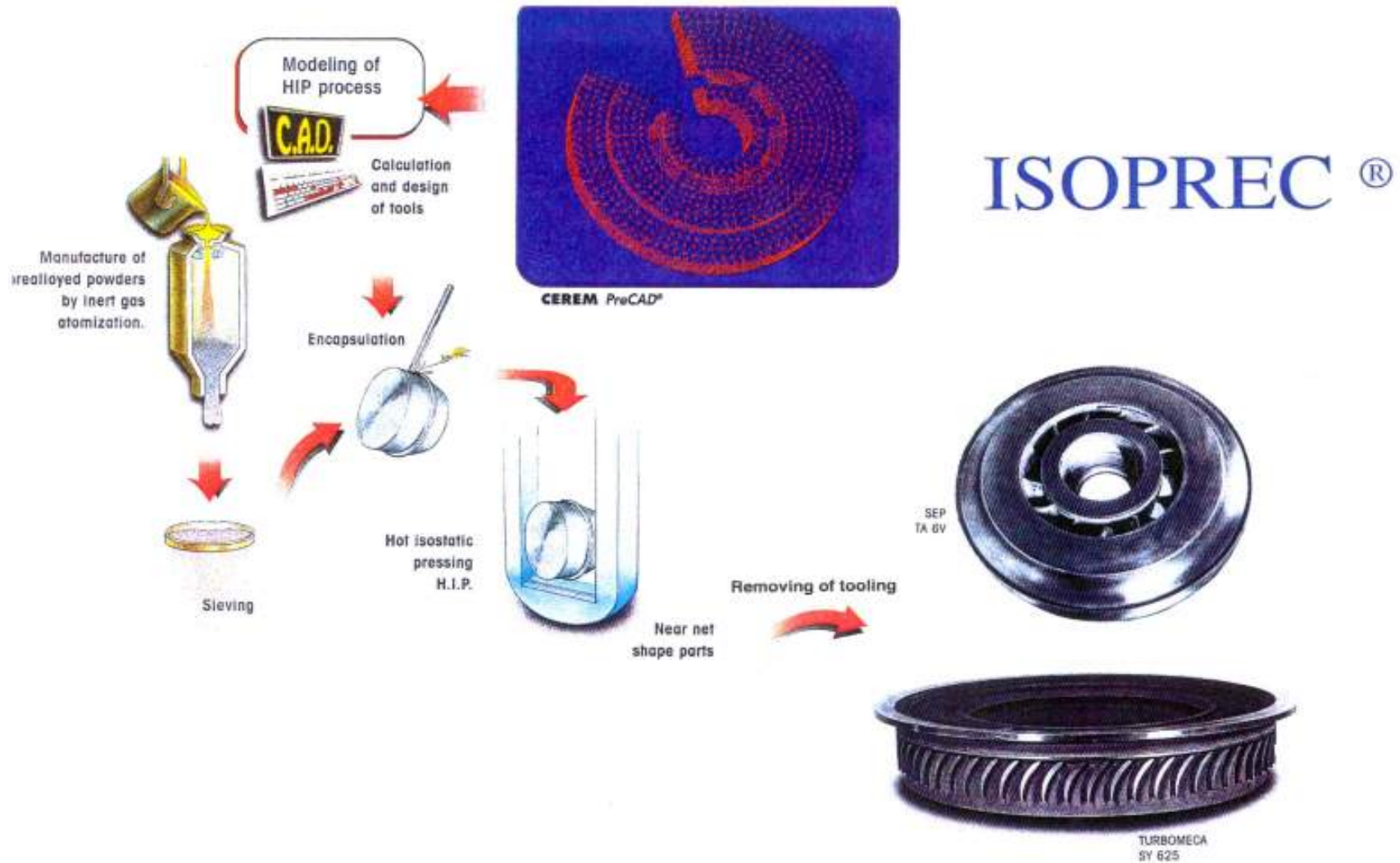
strictly private and confidential agreement TM - LTR Dec. 12 2010

**Leistriz**

LEISTRITZ TURBINEN-KOMPONENTEN REIMSCHIED GMBH

*Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.*

# Voie Métallurgie des poudres



Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.

# Bilan sur la mise en œuvre de TiAl dans les turboréacteurs

- Les applications les plus intéressantes concernent les **aubes mobiles des turbines basse pression** dans les turboréacteurs civils ce qui permet une réduction de masse significative de la turbine.. Ces pièces peuvent être fabriquées par **voie fonderie** à condition de développer les procédés qui permettent de couler les pièces sous faible épaisseur , comme la coulée centrifuge .
- Les alliages base TiAl ne peuvent pratiquement pas être forgés en gamme conventionnelle et demandent un procédé de forgeage isotherme à très haute température et sous très faible vitesse de déformation :la **voie forgeage** paraît donc inapplicable à des séries de pièces.
- La voie **Métallurgie des poudres** n'a été que peu explorée pour ces applications et pourrait se révéler Intéressante .
- En raison de leurs propriétés intrinsèques (faible ductilité à froid , coulabilité difficile) les alliages base TiAl demeurent difficiles à mettre en œuvre industriellement (usinabilité délicate , mauvaise soudabilité) et constituent des matériaux à valeur ajoutée élevée  
→ leur utilisation doit donc faire l'objet d'une analyse technico-économique précise

Ce document et les informations qu'il contient sont la propriété de Snecma. Ils ne doivent pas être copiés ni communiqués à un tiers sans l'autorisation préalable et écrite de Snecma.