

# Maitrise du risque chimique et innovations techniques

## Innovations en usinage

Blois, le 29 juin 2017

Hervé Lardilleux

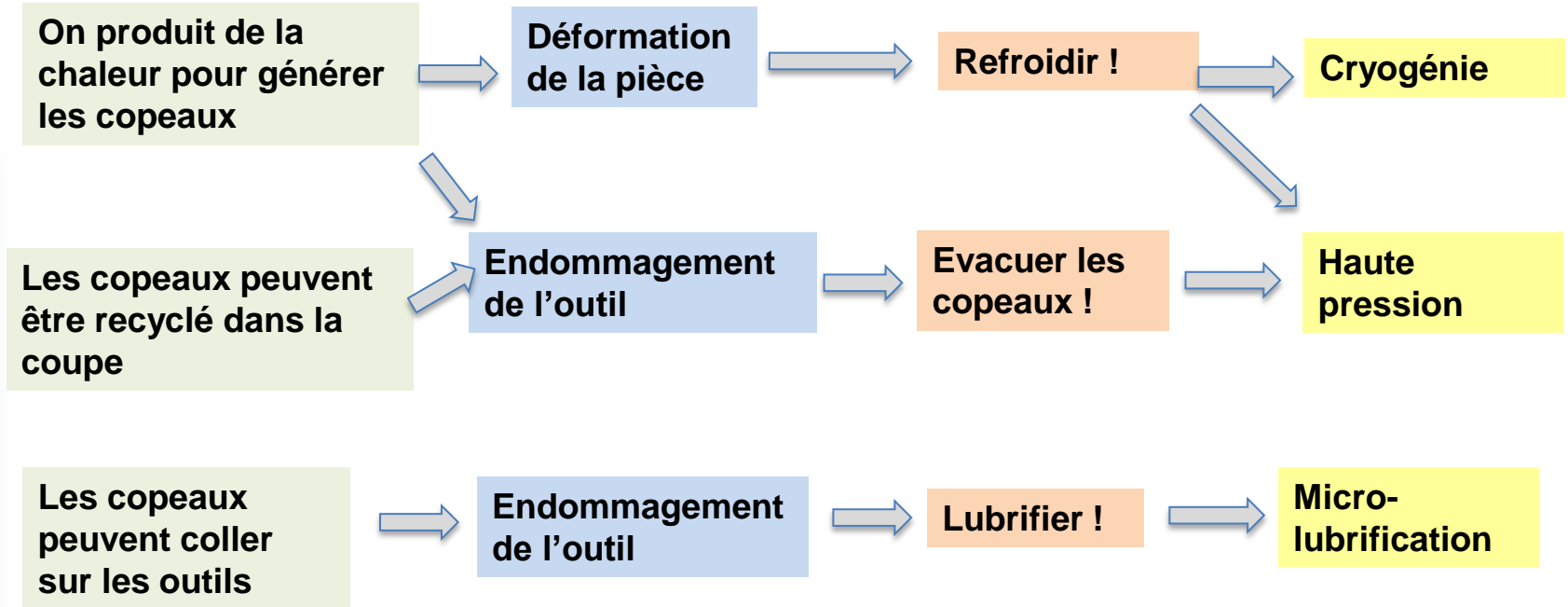
# Introduction

**Usiner**

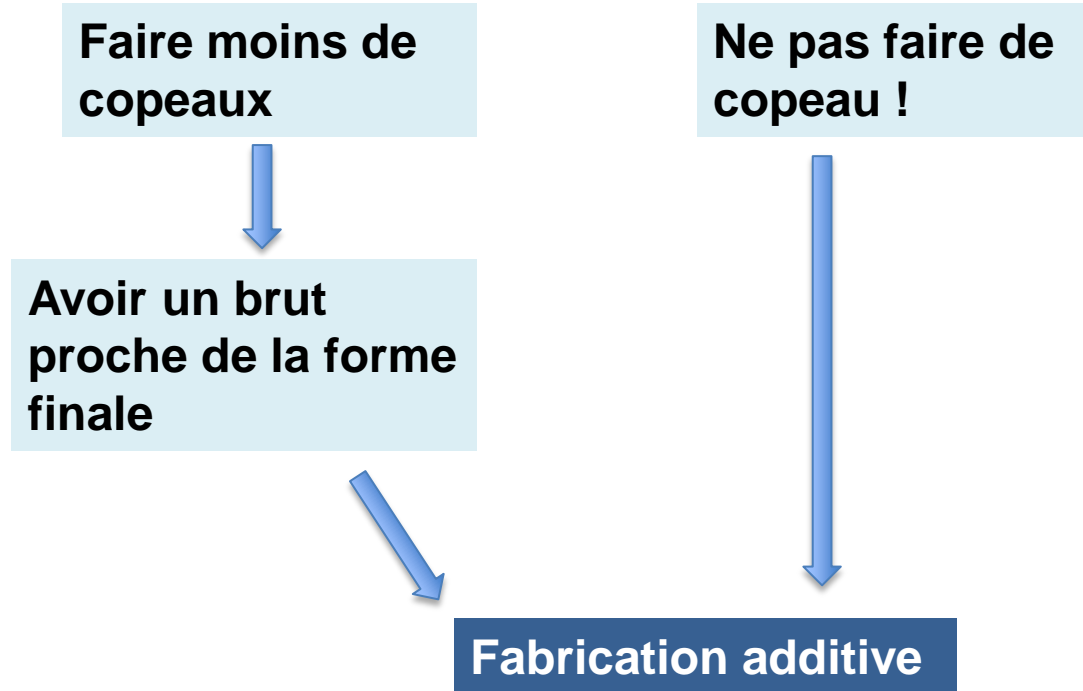
**c'est faire du copeau !**

**le moins possible....**

# Introduction



# Introduction



# Sommaire

- **Micro-lubrification**
- **Usinage haute pression**
- **Usinage cryogénique**
- **Fabrication additive**

# La lubrification minimum (MQL)

La MQL permet un usinage économique, productif et propre



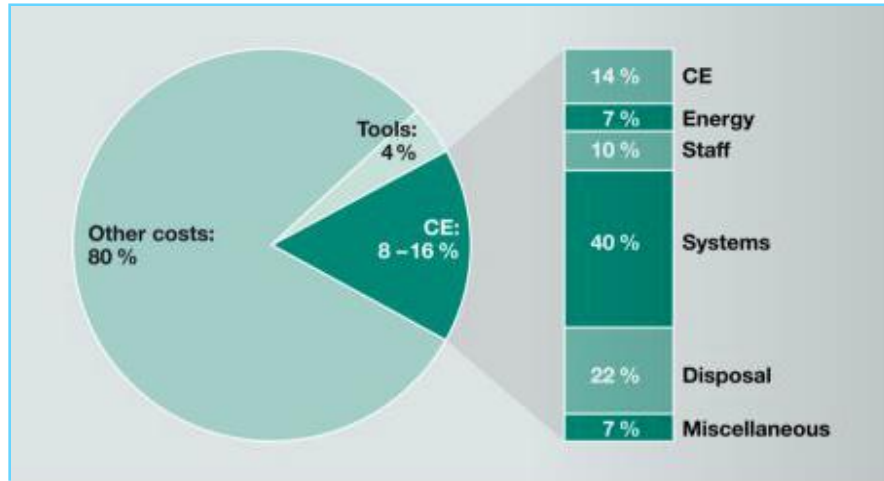
# La lubrification minimum (MQL)

## Avantages

Copeaux secs et mieux valorisés



Environnement de travail plus propre, plus sain

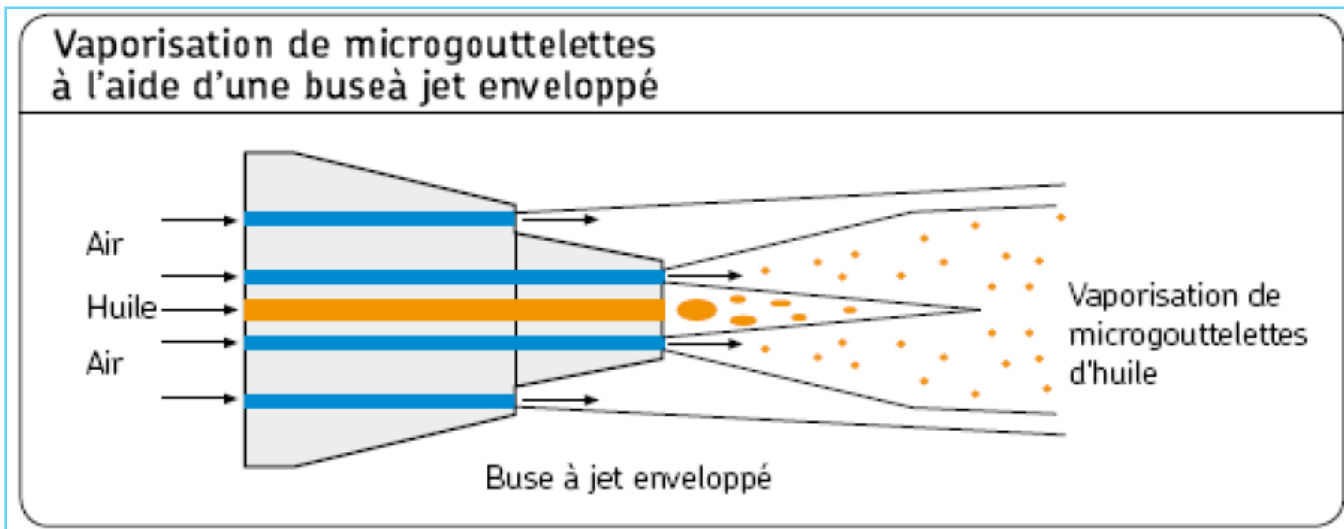


Réduction significative des installations et des coûts de lubrifiants

# La lubrification minimum (MQL)

## Procédés

29-06-2017

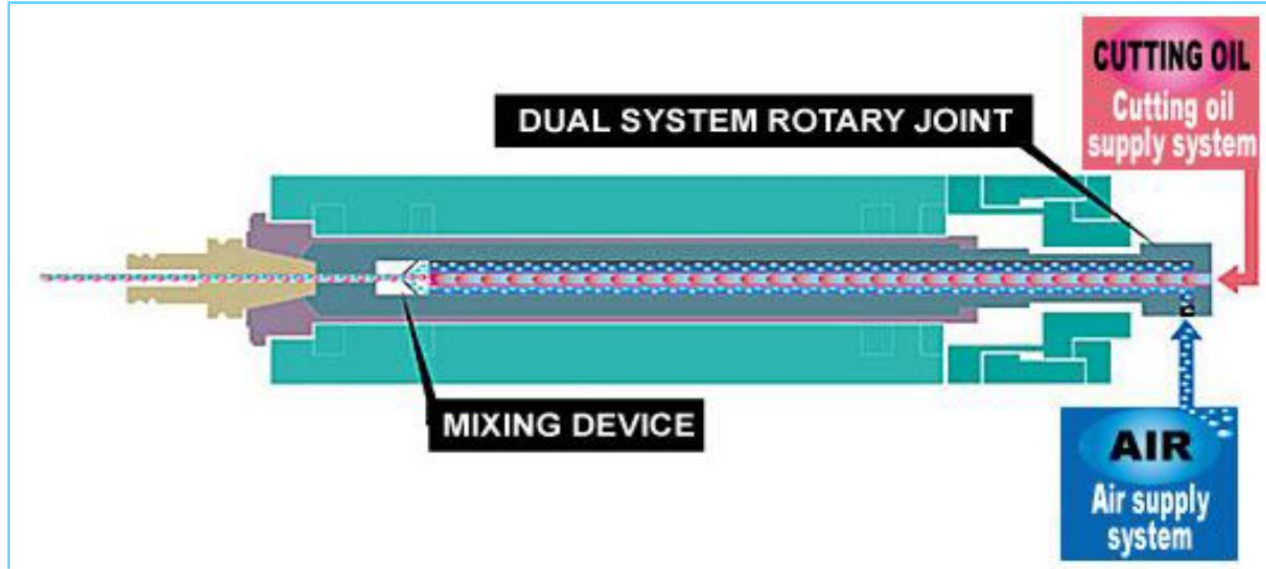
**MQL externe****Facile à mettre en oeuvre**



# La lubrification minimum (MQL)

## Procédés

MQL interne bicanal



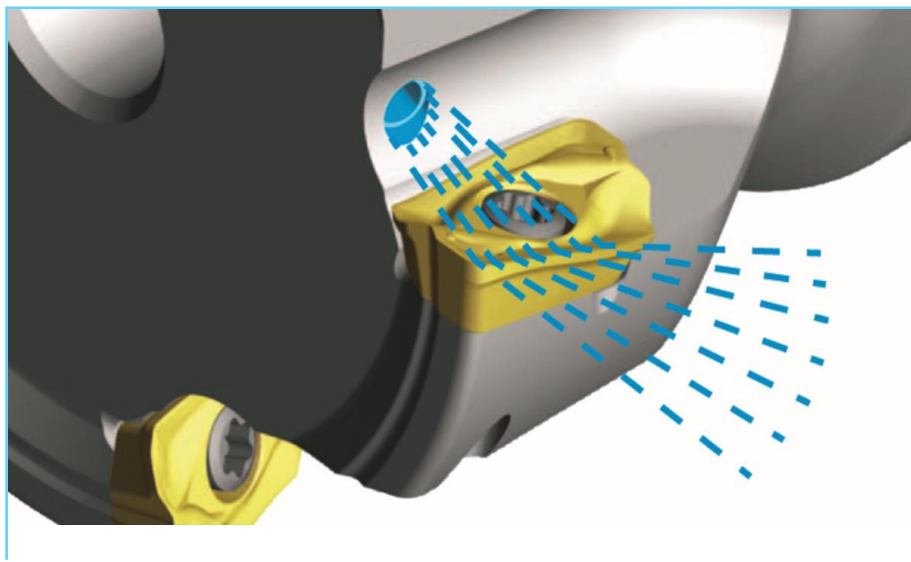
Intégration  
nécessaire à la  
conception

Document: Horkos

# La lubrification minimum (MQL)

## Cas d'emploi

La MQL s'applique pour des opérations avec un échauffement limité, par exemple usinage de l'aluminium ou fraisage finition.



# Sommaire

- **Micro-lubrification**
- **Usinage haute pression**
- **Usinage cryogénique**
- **Fabrication additive**

# L'arrosage Haute Pression

## Pourquoi ?

29-06-2017

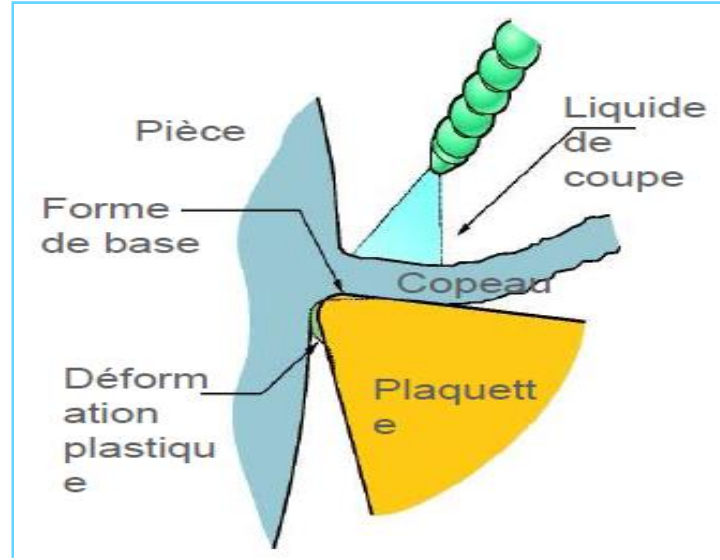


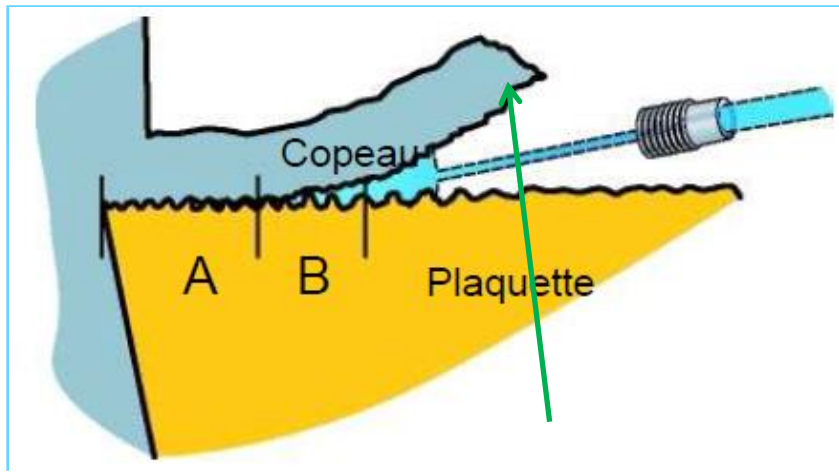
Image: Sandvik

**En arrosage traditionnel, le copeau gêne l'arrivée du liquide sur la plaquette.**

# L'arrosage Haute Pression

29-06-2017

Image: Sandvik



**Le jet HP agit comme un coin entre la  
plaquette et le copeau**

**Le copeau se détache plus  
facilement**

**La plaquette est mieux refroidie**

**Le jet doit être laminaire pour être efficace.**

# L'arrosage Haute Pression

**En tournage, il faut environ  
80 bars et un débit de 20 l/mn**

**En fraisage , il faut environ  
80 bars et 50 l/mn**

**En perçage , il faut un débit croissant en  
fonction du diamètre, de 15 à 50 l / mn.**

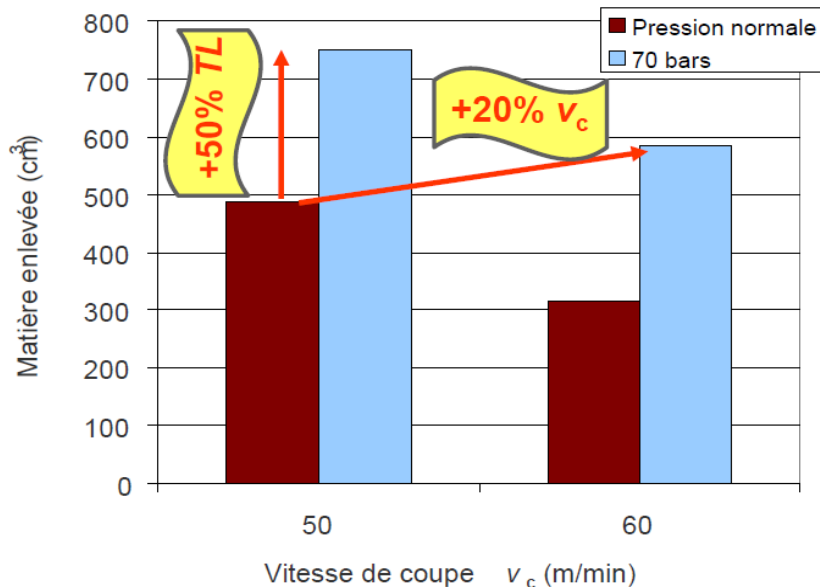


Image: Seram

# L'arrosage Haute Pression - Avantages

29-06-2017

Comparatif : Inconel 718



Inconel 718

(46HRC)

CNMX 1204A2-SM S05F

$a_p$  2.5 mm

$f_n$  0.3 mm/tr



CNMX-SM

Durée  
de vie



Vitesse de  
coupe



Image: Sandkik

# La Très Haute Pression

## Inconel 718

Image: Sandvik

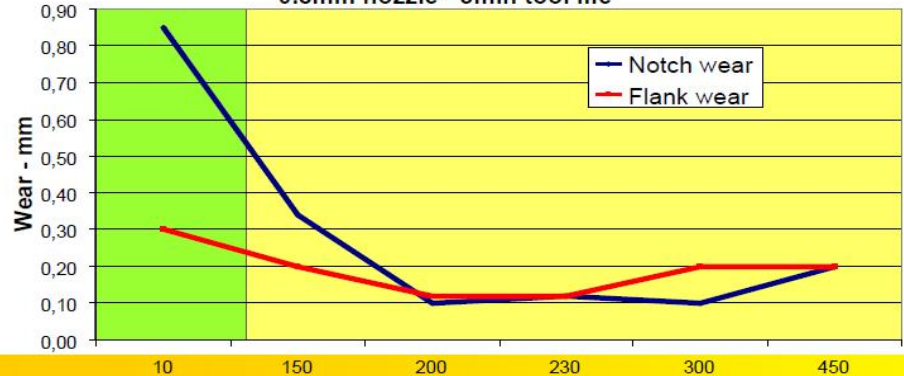


Conventionnel - 3mins



Arrosage à 230 bar - 3mins

Effect of pressure on wear - Vc50, ap1.0,  
0.8mm nozzle - 3min tool life



Pression  
(bar)

**La Très Haute Pression améliore nettement les performances**

**... mais requiert des équipements spécifiques et très coûteux**



# Sommaire

- Micro-lubrification
- Usinage haute pression
- **Usinage cryogénique**
- Fabrication additive

# L'usinage assisté par cryogénie



Premières applications de l'usinage cryogénique.



Image Horn



Images MAG



# L'usinage assisté par cryogénie.

## Contexte



Utilisation toujours plus importante des matériaux à haute-résistance, réfractaires et superalliages

- *Médical*  
*Alliages chrome-cobalt*



- *Aéronautique*  
*Alliages base titane*



Image Safran

- *Aéronautique et énergie*  
*Alliages base nickel*



# L'usinage assisté par cryogénie.

## Contexte



Utilisation toujours plus importante des matériaux à haute-résistance, réfractaires et superalliages :

- *Aéronautique et énergie*  
1 A380 = 7% Alliages base titane

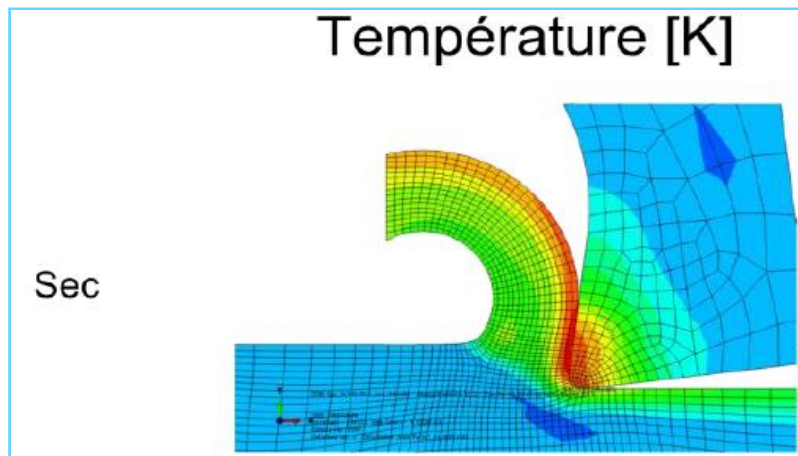


*D'où un important besoin d'améliorations en usinage en termes de:*

- *Productivité et coûts outils*
- *Qualité de pièces*

# L'usinage assisté par cryogénie.

## Pourquoi ?



Les alliages réfractaires et les alliages de titane ont une mauvaise conductivité thermique, 5 à 7 fois plus faible que l'acier.

Acier	Ti-6Al-4V
45 W/(m.K°)	7 W/(m.K°)

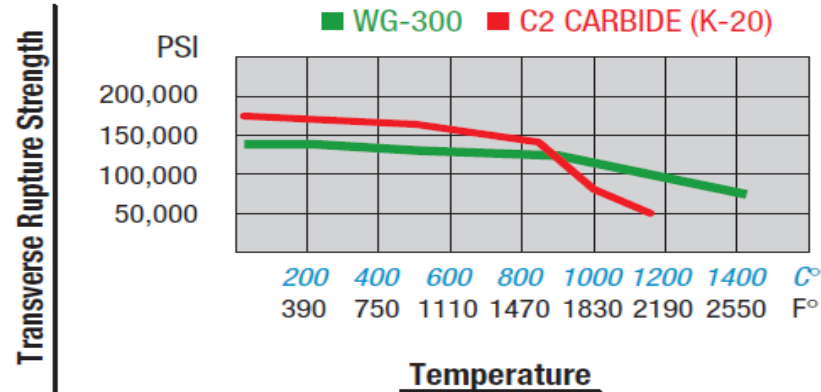
Simu T°

# L'usinage assisté par cryogénie.

## Pourquoi ?



Figure 5 – Relative Strength at Elevated Temperatures



Source Greenlife

A partir de 800°C la résistance des outils diminue.

# L'usinage assisté par cryogénie.

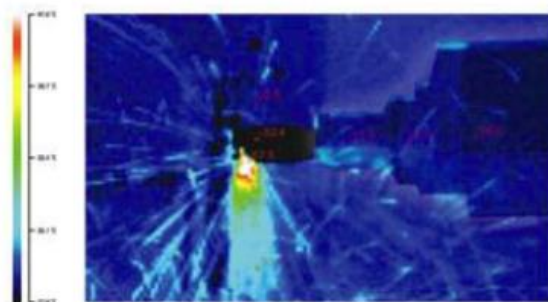
## Principe

Amener un fluide cryogénique jusqu'à la zone de coupe pour:

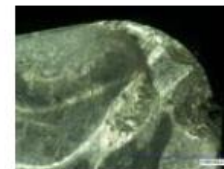


Source: Mag

- Evacuer la chaleur générée par la coupe et refroidir l'outil
- Augmenter la productivité
- Augmenter la durée de vie des outils



Source: Mag



# L'usinage assisté par cryogénie.

## Intérêt



**Suppression du lubrifiant**

**Productivité**

**Intégrité de surface**



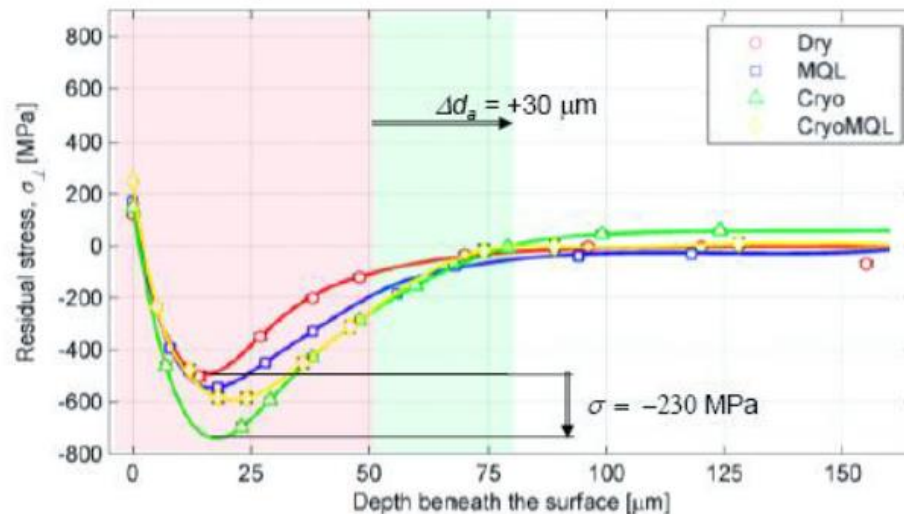
# L'usinage assisté par cryogénie.

## Intérêt



### Intégrité de surface:

- Augmentation des contraintes de compressions
  - Valeur plus élevée
  - Profondeur affectée plus étendue



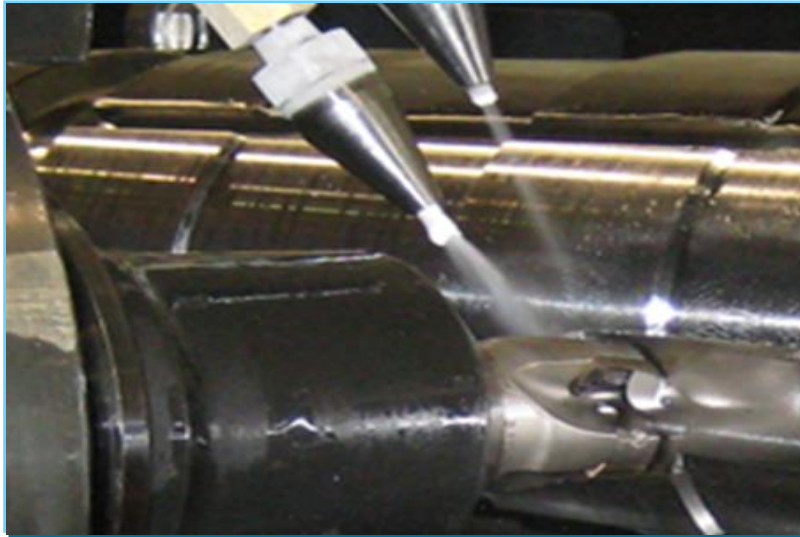
Variations des contraintes résiduelles suivant la profondeur en fonction de la stratégie de lubrification lors du tournage de l'inconel 718 (F. PUSAVEC)

# L'usinage assisté par cryogénie

## Neige carbonique

29-06-2017

Le refroidissement de l'arête de coupe peut se faire également avec de la neige carbonique, qui se vaporise à  $-78^{\circ}\text{C}$ .



Source ChilAire

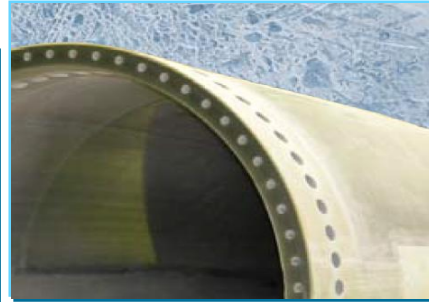


Source ChilAire

# L'usinage assisté par cryogénie.

## Azote liquide. Composite verre-époxy.

29-06-2017



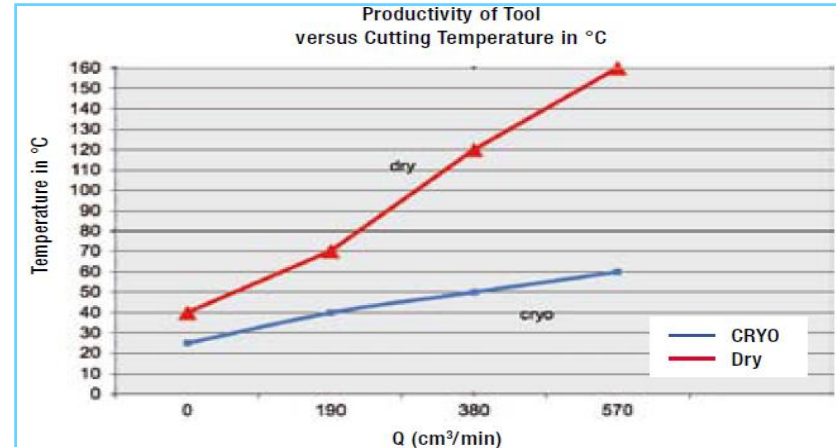
### Machining Process/ Tooling:

Hollow Bore  $\varnothing$  38 mm with Carbide inserts

Hollow Bore  $\varnothing$  72 mm with 3 Carbide inserts

Documents et images MAG

Process-Data		Benchmark	MAG Cryo
<b>38 mm</b>			
Cutting speed	m / min	100	480
Revolution	rev / min	840	4000
Feed per rev.	mm / rev	0.2	0.06
Torque	Nm	20	12
Cutting depth	mm	174	174
Main time per bore	sec	62	45

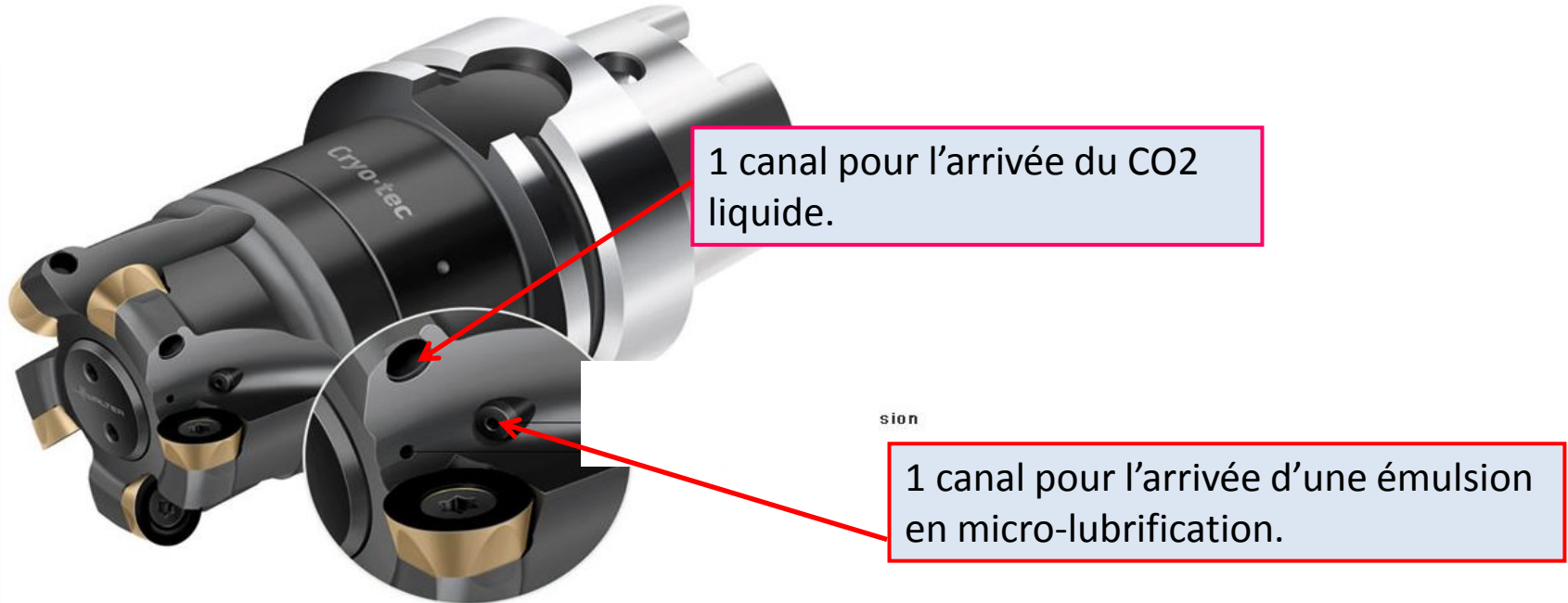


# L'usinage assisté par cryogénie

## Neige carbonique

29-06-2017

Fraise spécifique pour usinage cryogénique



Fraise F2334R Cryotec (Walter)

# L'usinage assisté par cryogénie

## Risques et précautions

29-06-2017

L'azote liquide bout à  $-196^{\circ}\text{C}$ . L'évaporation d'un litre d'azote liquide produit 700 l d'azote gazeux, plus lourd que l'air.





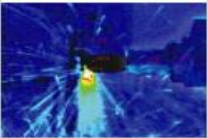
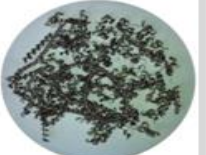
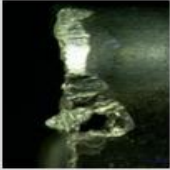
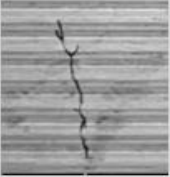
Il faut assurer une ventilation suffisante pour que la concentration en dioxygène ne descende jamais en dessous de 18% (risque d'anoxie)



# L'usinage assisté par cryogénie

## Etat de l'art

29-06-2017

	Efforts	Lubrification	Température	Fragmentation	Usure	Intégrité de surface
Matériau						
Ti-6Al-4V	+/-	+/-	+	+/-	+	+
Inconel 718	+/-	+	+	+/-	+	+
Aciers	+/-	+/-	+	+	+	+/-

- Une technologie prometteuse (durée de vie , productivité, qualité )

Video

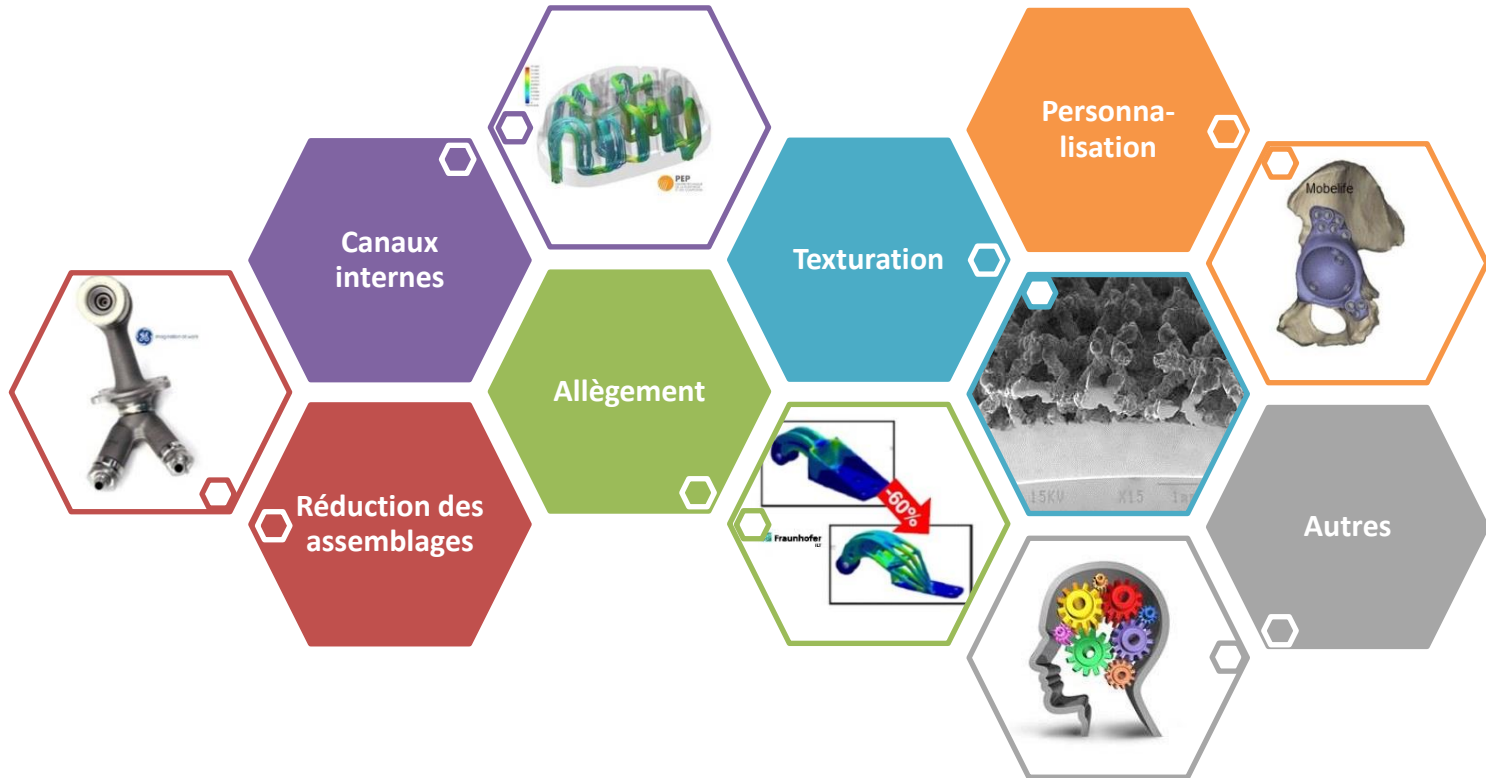
- Qui reste à développer (compréhension des mécanismes , peu de résultats en fraisage )

- Et à industrialiser... (Bilan technico-économique, intégration fraisage, machines équipées )

# Sommaire

- **Micro-lubrification**
- **Usinage haute pression**
- **Usinage cryogénique**
- **Fabrication additive**

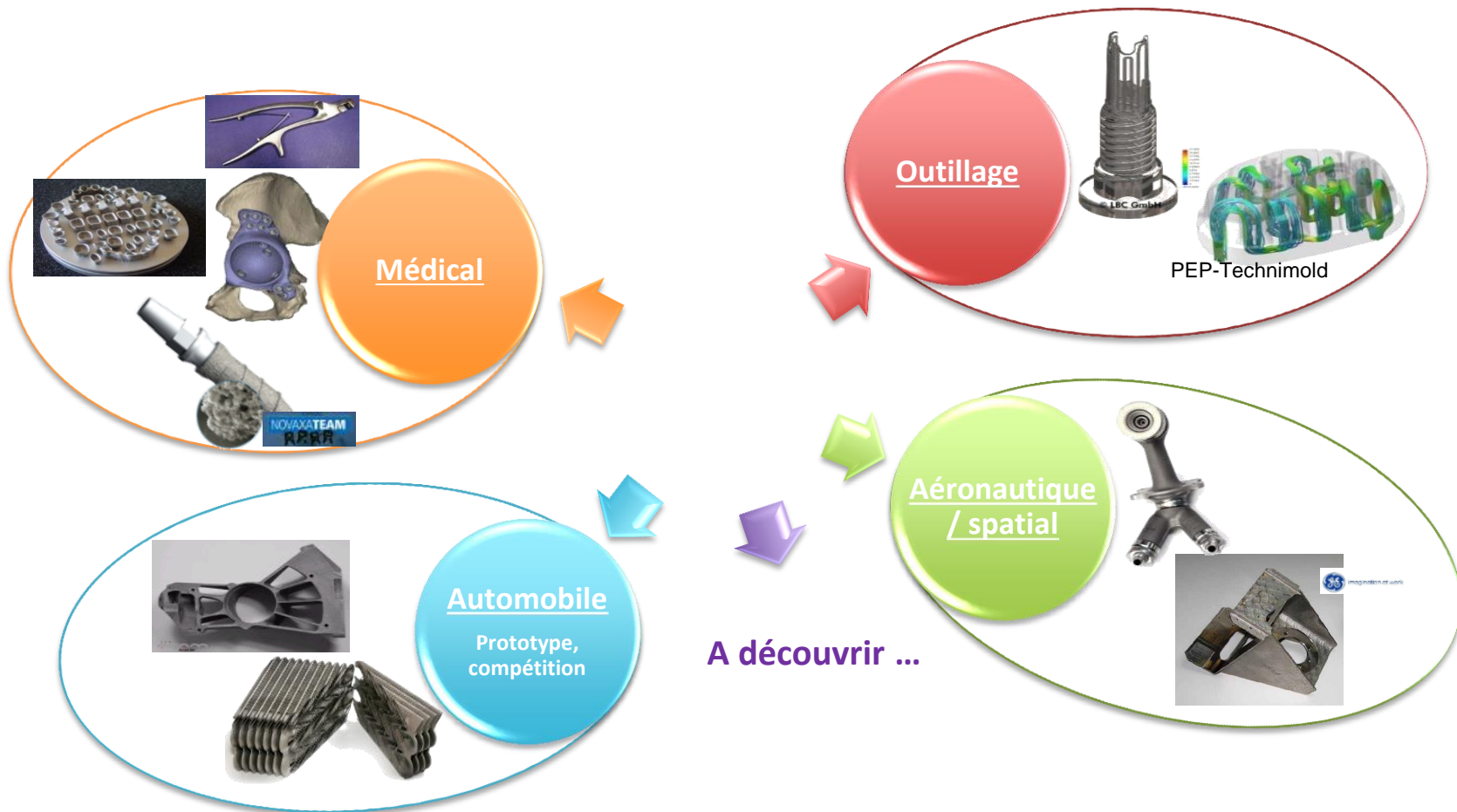
# Fabrication Additive : Avantages





# Fabrication additive : Applications

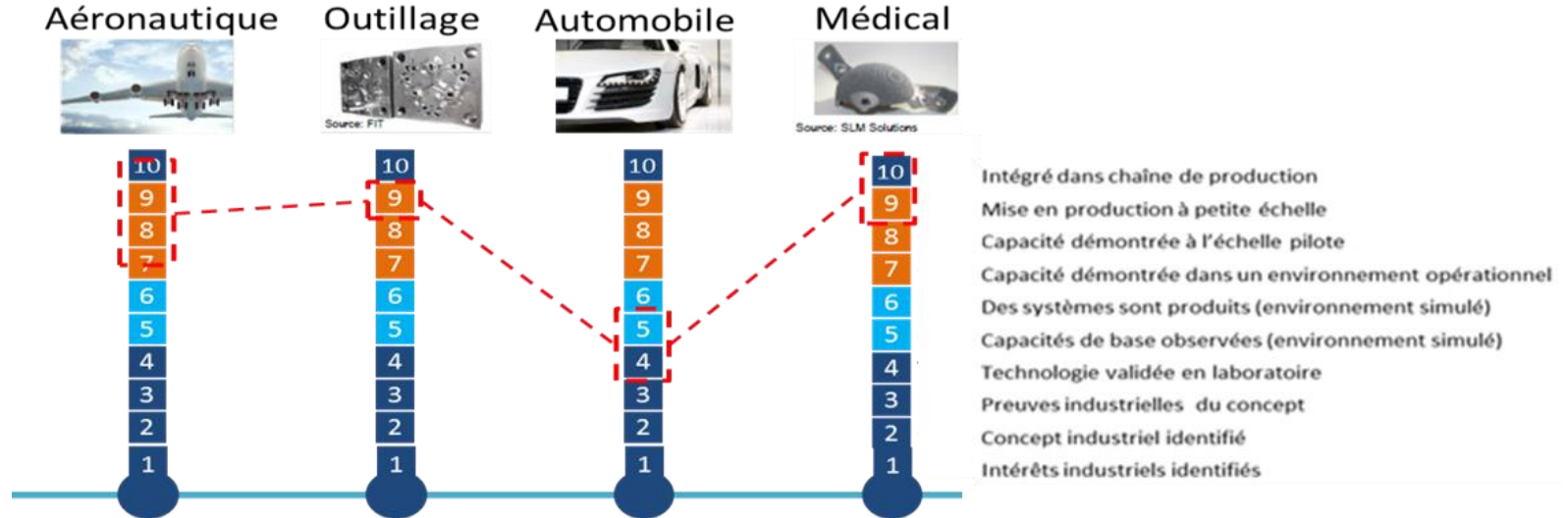
29-06-2017



# La Fabrication Additive aujourd'hui ?

29-06-2017

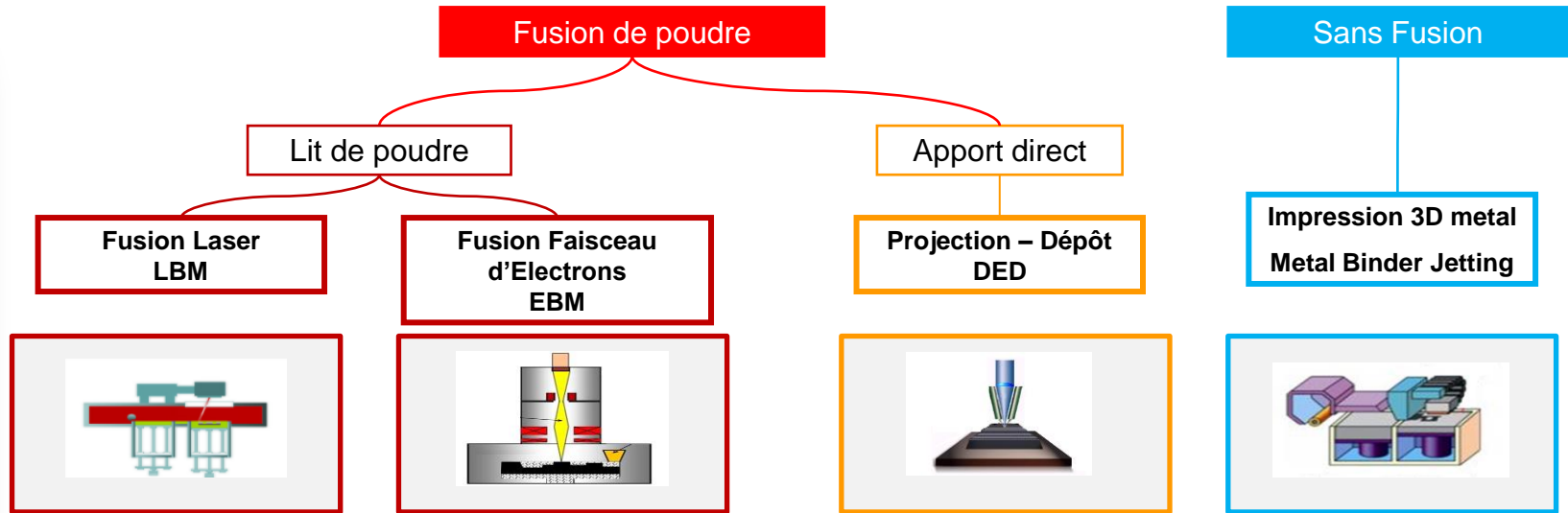
- La FA a une histoire vieille de 26 ans pour le plastique, mais la capacité à faire des objets métalliques satisfaisant aux contraintes industrielles remonte à 1995.



- Marché de niches sur des applications à fortes valeurs ajoutées

Source : Roland Berger

# Fabrication additive - Métal

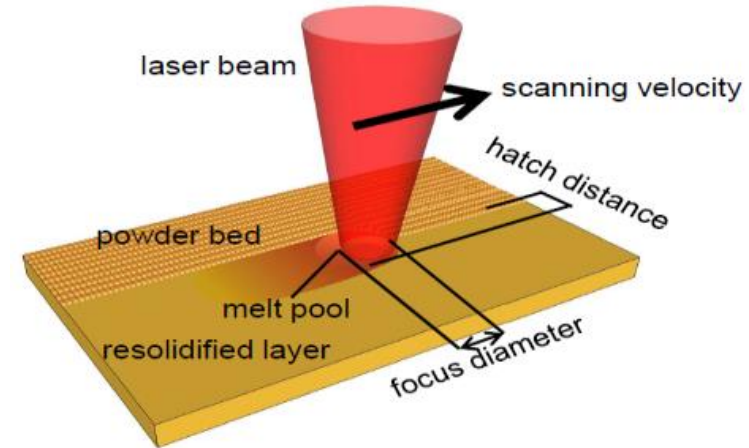


# LBM

FUSION par FAISCEAU LASER

# Fusion Laser (LBM)

- Le plateau de fabrication descend d'une épaisseur de couche.
- Une nouvelle couche est appliquée sur le substrat au moyen d'une racle ou d'un rouleau.
- La poudre est lasée de sorte à fusionner sélectivement la section 2D de la pièce par absorption de l'énergie du laser.
- L'opération se fait dans une chambre sous atmosphère contrôlée (gaz inerte)
- Laser fibre de plusieurs centaines de Watts
- Le laser est dirigé suivant les directions X et Y au moyen de miroirs.



# Fusion Laser (LBM) : Exemples

## Aéronautique

- Pièce monolithique : 20 → 1 pièce
- ↘ masse 25%

- Leap Engine fuel nozzle  
Co-Cr



# Fusion Laser (LBM) : Bilan

- Points forts :

- Géométries complexes
- Pièce unitaire / petite série

- Points faibles :

- État de surface
- Productivité faible
- Nécessité de supports
- Caractéristiques mécaniques / types de pièces et machines

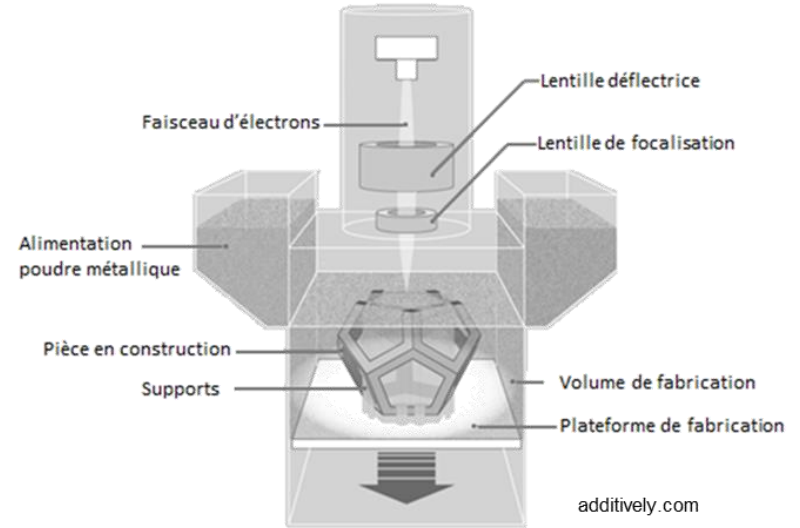
# EBM

## Fusion par faisceau d'électrons



# Fusion Faisceau d'électrons (EBM)

- **Procédé EBM**
- **Très similaire au LBM.**
- **La différence vient de la source d'énergie utilisée pour fondre la matière : un faisceau d'électrons.**
- **L'opération s'opère dans une chambre sous vide.**
- **Volume de fabrication :  $\varnothing$  300mm , H = 200mm**



# Fusion Faisceau d'électrons (EBM)

## Avantages

- Productivité
- Faibles contraintes résiduelles
- Peu de supports
- Possibilité d'empilement de pièces

## Inconvénients

- Etat de surface
- Temps de refroidissement
- Offre matériau faible

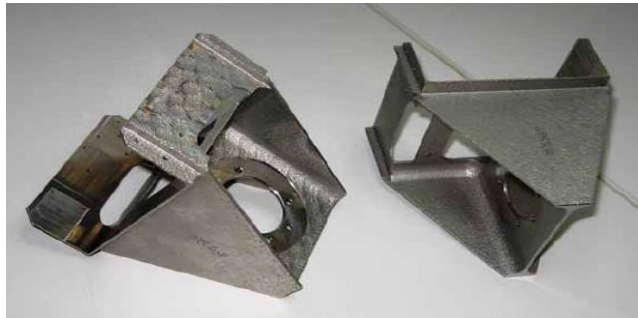
# Fusion Faisceau d'électrons (EBM)

Exemples de réalisations chez :



Secteur : F1

- Matériau : TA6V
  - Fabrication d'un brut « proche des cotes » puis usinage complet d'une surépaisseur en finition.
- réduire le temps copeau



Secteur : Spatial

- Matériau : TA6V
- Pièce support de réflecteur satellite

# DED

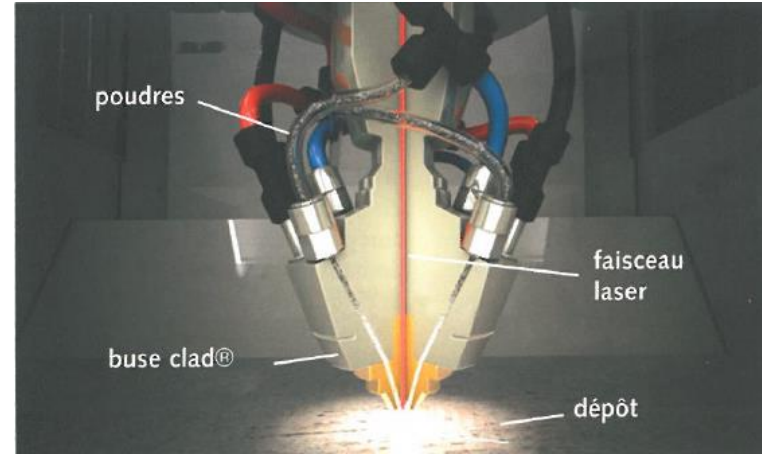
DEPOT de MATIERE sous ENERGIE CONCENTREE

Directed Energy Deposition

# Directed Energy Deposition (DED)

29-06-2017

- Le procédé utilise un faisceau laser pour former un bain de fusion sur un substrat métallique.
- La poudre est alimentée co-axialement au laser, elle fond pour former un dépôt (cordon) lié par fusion au substrat.
- Le DMD est utilisé pour une large gamme d'applications, notamment pour des applications de revêtement et de réparation.
- *Ex IREPA LASER :*
  - Vitesse de dépôt : 1200mm/min
  - - 2-12 cm<sup>3</sup>/h pour micro-CLAD
  - - 100-200 cm<sup>3</sup>/h pour le macro CLAD



# Directed Energy Deposition (DED)

29-06-2017

- **Réalisation de trois pales en acier inoxydable sur un axe inox**

( $\varnothing$ pièce= 145mm,  $\varnothing$ axe 26mm, H= 70mm)



- **Ajout d'une portion de tube sur une pièce usinée en inox 316L**



Dassault Aviation/CDE courtesy

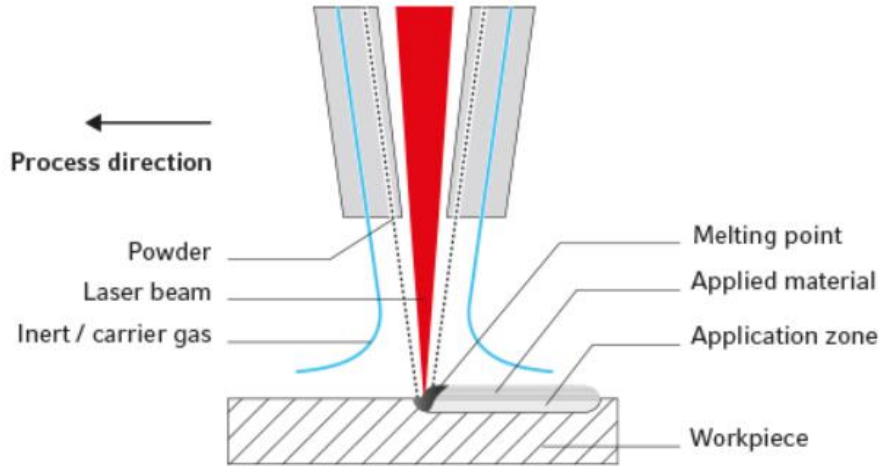


LASER CLADDING

*An intelligent combination: Laser cladding with integrated end milling.*



MILLING



# Procédé Hybride: Additif + soustractif

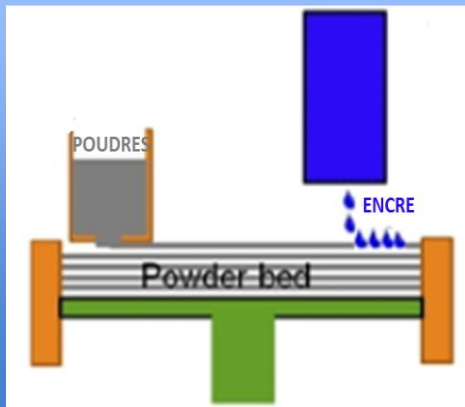
# Impression 3D metal

## Metal Binder Jetting



# Principe de la fabrication « sans fusion »

## Etape 1: Mise en forme par Impression 3D



Superposition de couches de poudres, agglomérées par un liant polymère. Le liant est déposé sélectivement par une tête d'impression

## Etape 2 : Consolidation par Frittage

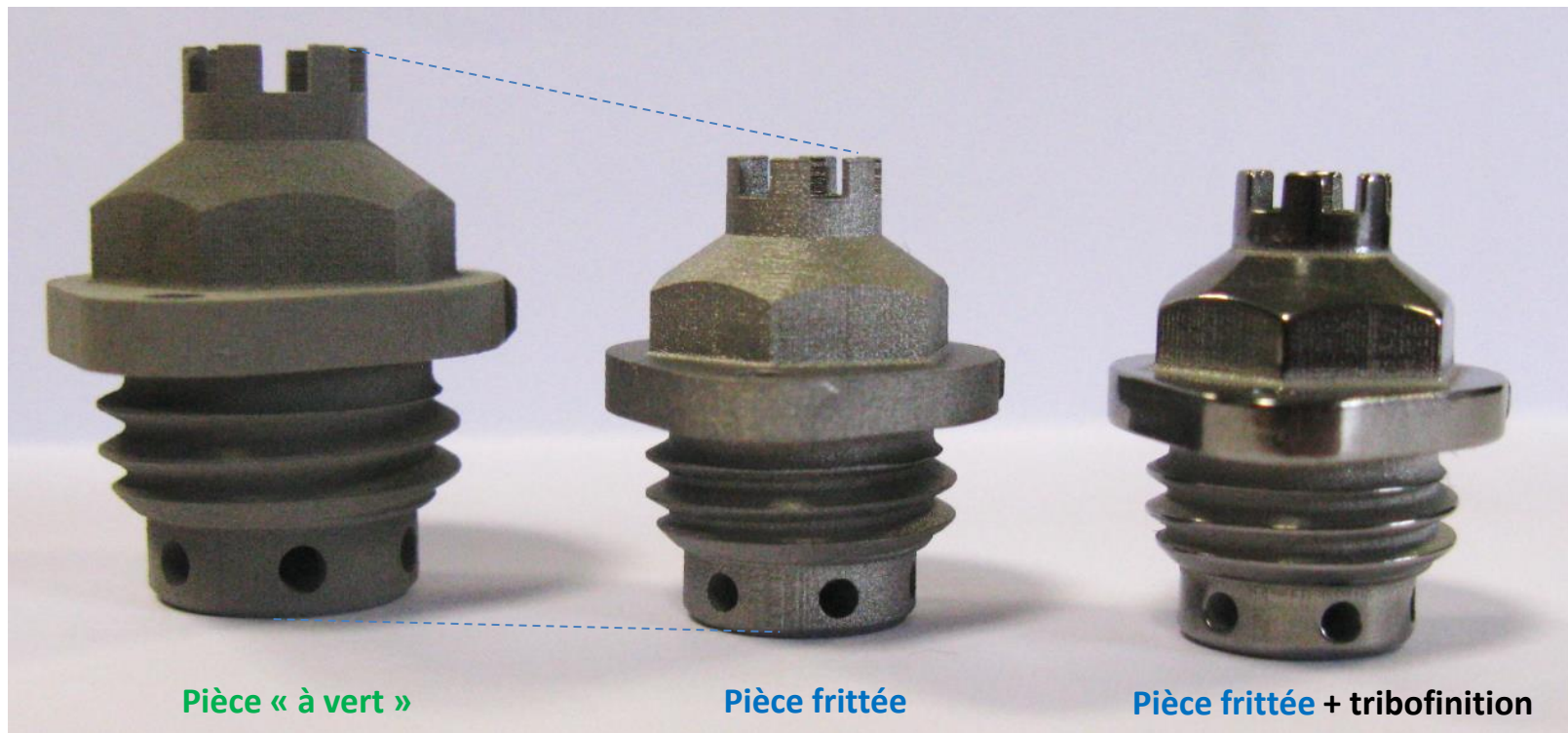


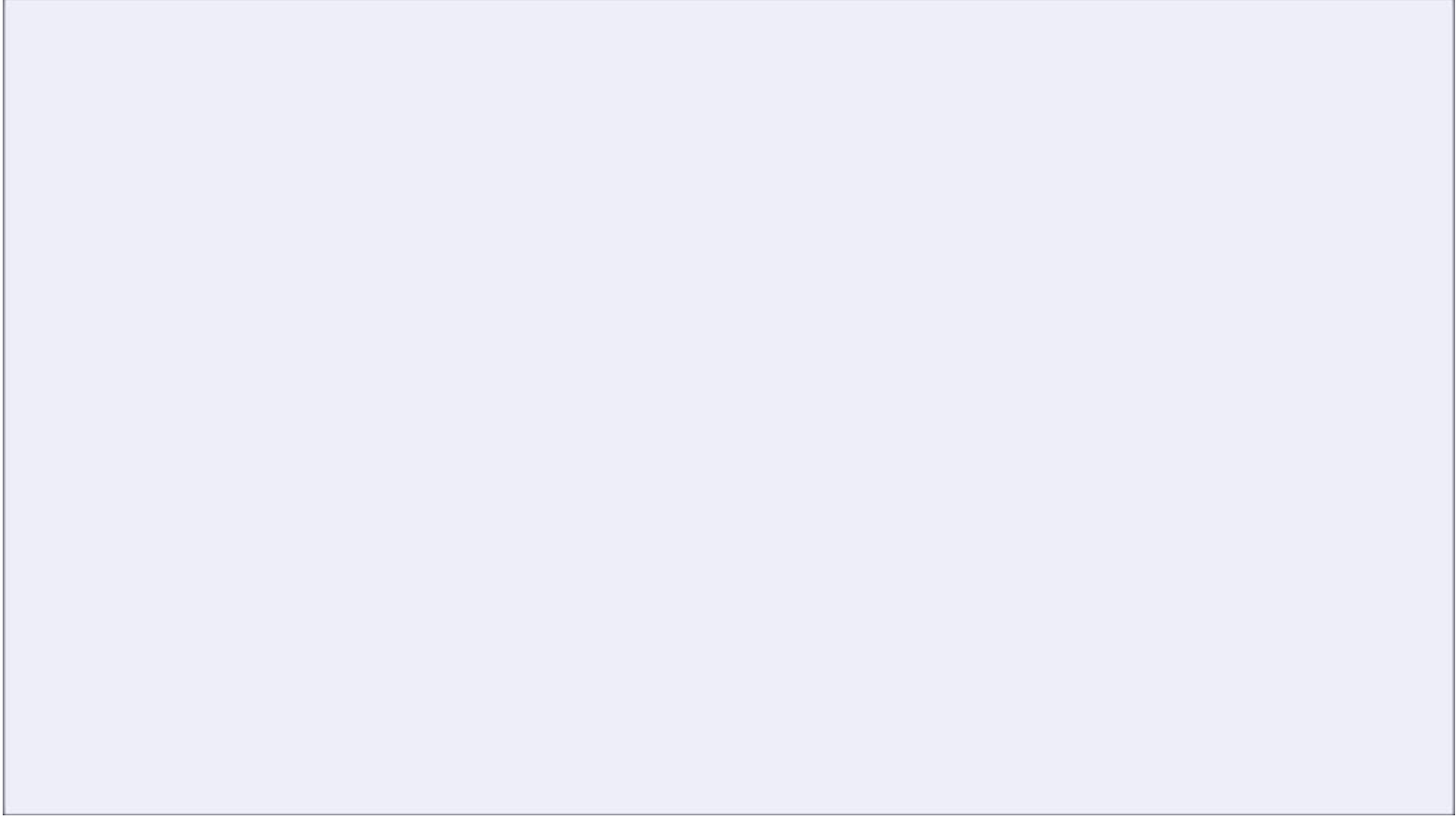
Après avoir brûlé le liant (déliantage) le frittage de la pièce « verte » vient conférer les caractéristiques mécaniques et la densité finale à la pièce.



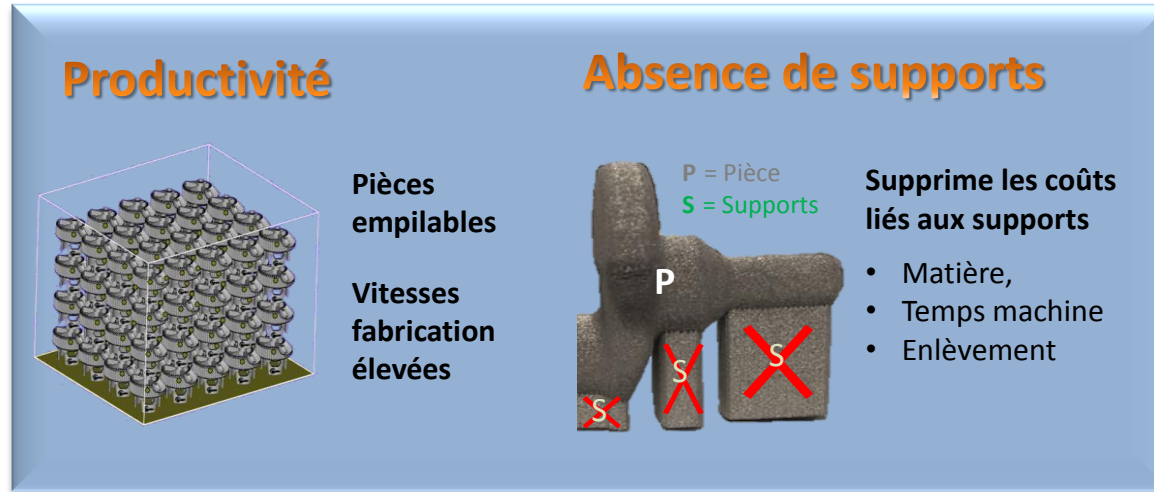
# Exemple CETIM

29-06-2017





# Une réponse à certaines limites actuelles pour les petites et très petites pièces techniques



## Gains économiques

## Versatilité matériaux

Technologie non limitée aux contraintes de soudabilité des matériaux

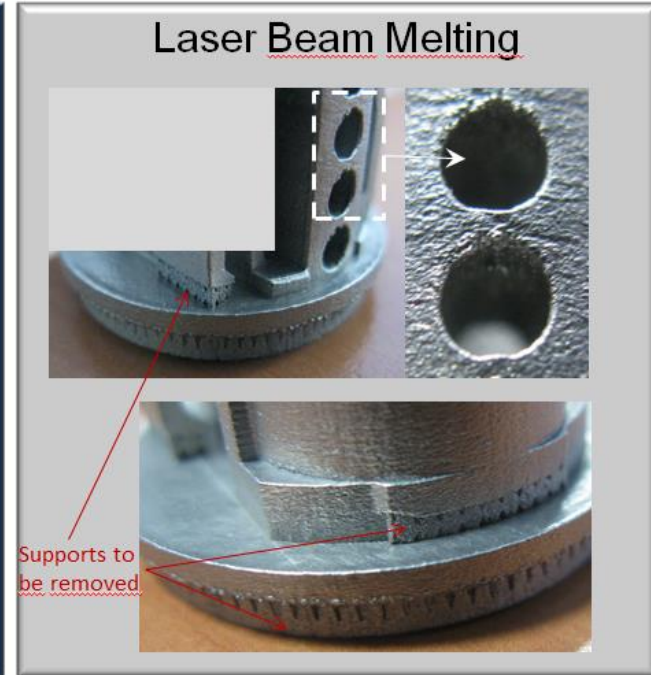
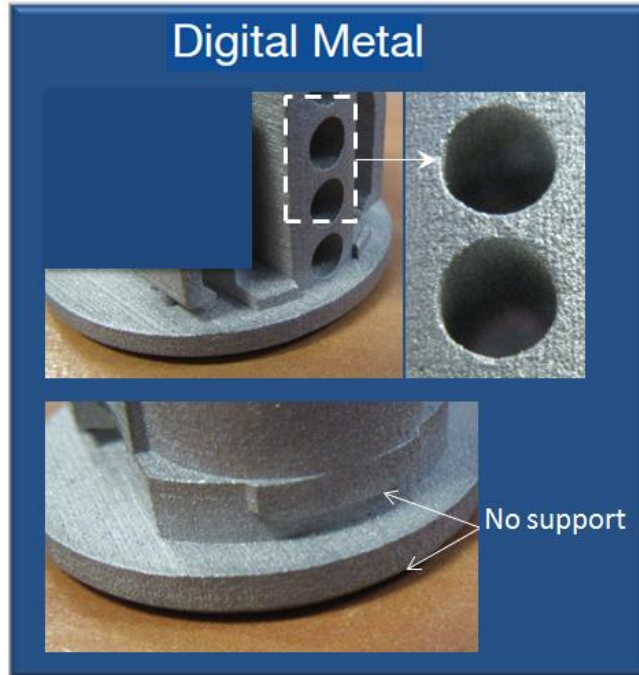


### Ouverture aux matériaux peu ou pas soudable (frittage)

- ✓ Acier alliés
- ✓ Aciers outils
- ✓ ...

# Impression 3D metal - Metal binder jetting

## Exemple 1



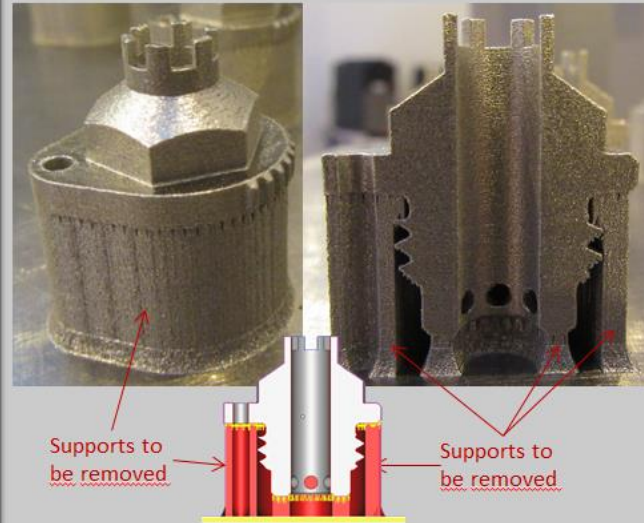
# Impression 3D metal - Metal binder jetting

## Exemple 2

### Digital Metal

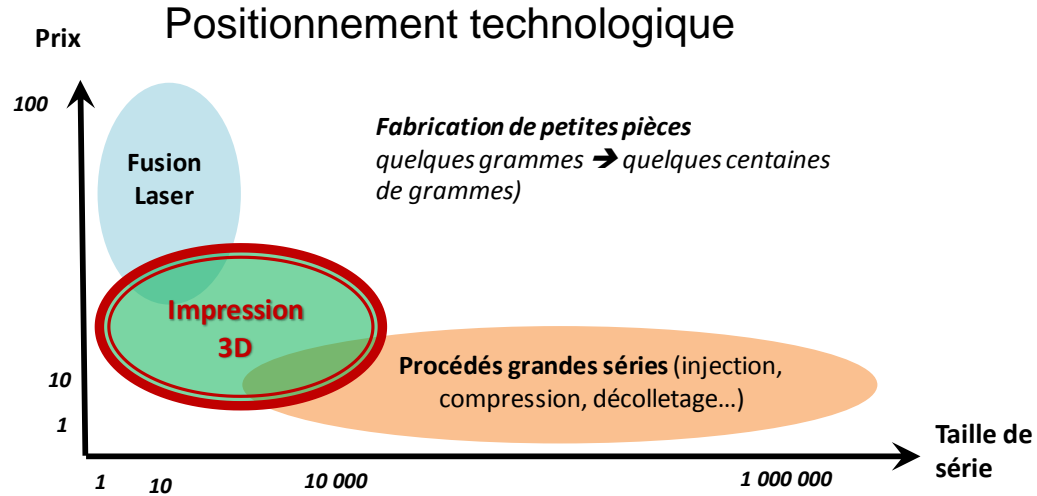


### Fusion Laser



# Impression 3D metal - Metal binder jetting

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Pas de supports de fabrication</b></li> <li>▪ <b>Productivité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Vitesses de fabrication élevées</li> <li>✓ Pièces « superposables »</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Taille de pièce limité (idem MIM)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 0 à X00g</li> <li>▪ Env. 100mm dans la plus grande direction</li> </ul> </li> <li>▪ <b>Maitrise du retrait frittage</b></li> </ul>



# Plateforme Impression 3D au CETIM



## Des objectifs industriels : Transférer la technologie

- Accompagner les industriels à l'intégration de la technologie
- Développer une nouvelle filière industrielle de Fabrication Additive métallique

## Des objectifs R&D : Faire progresser la technologie et la maîtrise du procédé

- Simulation du frittage (Maîtriser les retraits, Faciliter la mise au point)
- Finition de surfaces
- Caractérisations du process et des performances matériaux



50.



Vers le futur