



Conception de pièce SLM métal prenant en compte l'usinage

Over-The-Wall Design
(Boothroyd, Dewhurst and Knight, 2011)

Vincent Benoist

L. Arnaud
M. Baili

SOMMAIRE

1. Introduction
2. Éligibilité au SLM
3. DFAM
4. Expérimentations
5. Conclusion et perspectives



INTRODUCTION

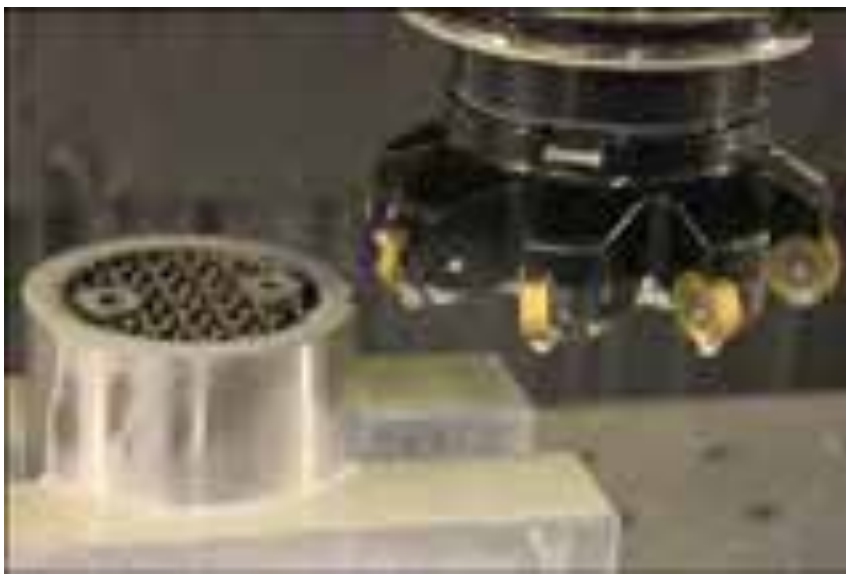
Contexte industriel

Usinage et fabrication additive : Concurrence ?



INTRODUCTION

Contexte industriel



Opportunité pour l'usineur :

- Ouverture de son activité
- Ingénierie simultanée des produits
- Conception et fabrication du brut (Tolérances géométriques $\approx 0,1$ mm)
- Usinage et contrôle des pièces

INTRODUCTION

Contexte industriel

40 minutes d'usinage



Design taillé masse

6 minutes d'usinage



- **Design For Additive Manufacturing (DFAM)**

- Boothroyd 1992 : Design for Assembly and Disassembly
- Xiaofan 2003 : Design for Manufacture and Assembly
- Rosen WD. 2007 : Design for additive manufacturing: A method to explore unexplored of the design space
- Vayre B. 2012 : Designing for Additive Manufacturing
- Ponche R. 2012 : A new global approach to design for additive manufacturing.
- Lavergne & al 2015 : Conception pour la fabrication additive: un état de l'art
- Thomson & al 2016 : Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints

=> Pas de prise en compte des contraintes d'usinage

INTRODUCTION

Contexte académiques

**=> Pas de
comparaison
méthodique des
supports, ni des
lattices,
ni de leur
usinabilité**

- **Optimisation topologique**

- Bendsøe, M.P. 1989 : Optimal shape design as a material distribution problem
- Zhou M. 1991 : The COC algorithm, Part II: Topological geometrical and generalized shape optimization
- Stolpe M. 2001 : An alternative interpolation scheme for minimum compliance topology optimization

- **Usinage des supports/lattices**

- Tripathi V. 2017 : Milling of Inconel 718 block supports fabricated using laser powder bed fusion
- Holler 2019 & al : Direct Machining of selective laser melted components with optimized support structures
- De Meter & al : Methodology of using PAAW and the Underlying Support Network of an L-PBF Part to Facilitate Machining
- Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, MESIC 2017, 28-30 June L-PBF Part to Facilitate Machining

Contraintes de l'usineur :

- Maximiser le débit copeau

=> efforts de coupe importants 

- év. usiner les supports 

- év. usiner les lattices 

Prise en compte :

Optimisation topologique

tests d'usinage et optimisation

tests d'usinage et optimisation

INTRODUCTION

Méthode d'investigation

- **Étude préliminaire : algorithme d'éligibilité des pièces à reconcevoir pour la FA**
- **Prise en compte des contraintes d'usinage dans le DFAM :**
 - Optimisation topologique sur une pièce test
 - Comparaison de logiciels d'optimisation topologique
 - Ébauche d'une méthode générale
- **Usinabilité des supports et de lattices :**
 - Mise en place d'essais comparatifs méthodiques
 - Collaboration avec la R&D d'un carburier

Éligibilité au SLM

Algorithme d'éligibilité

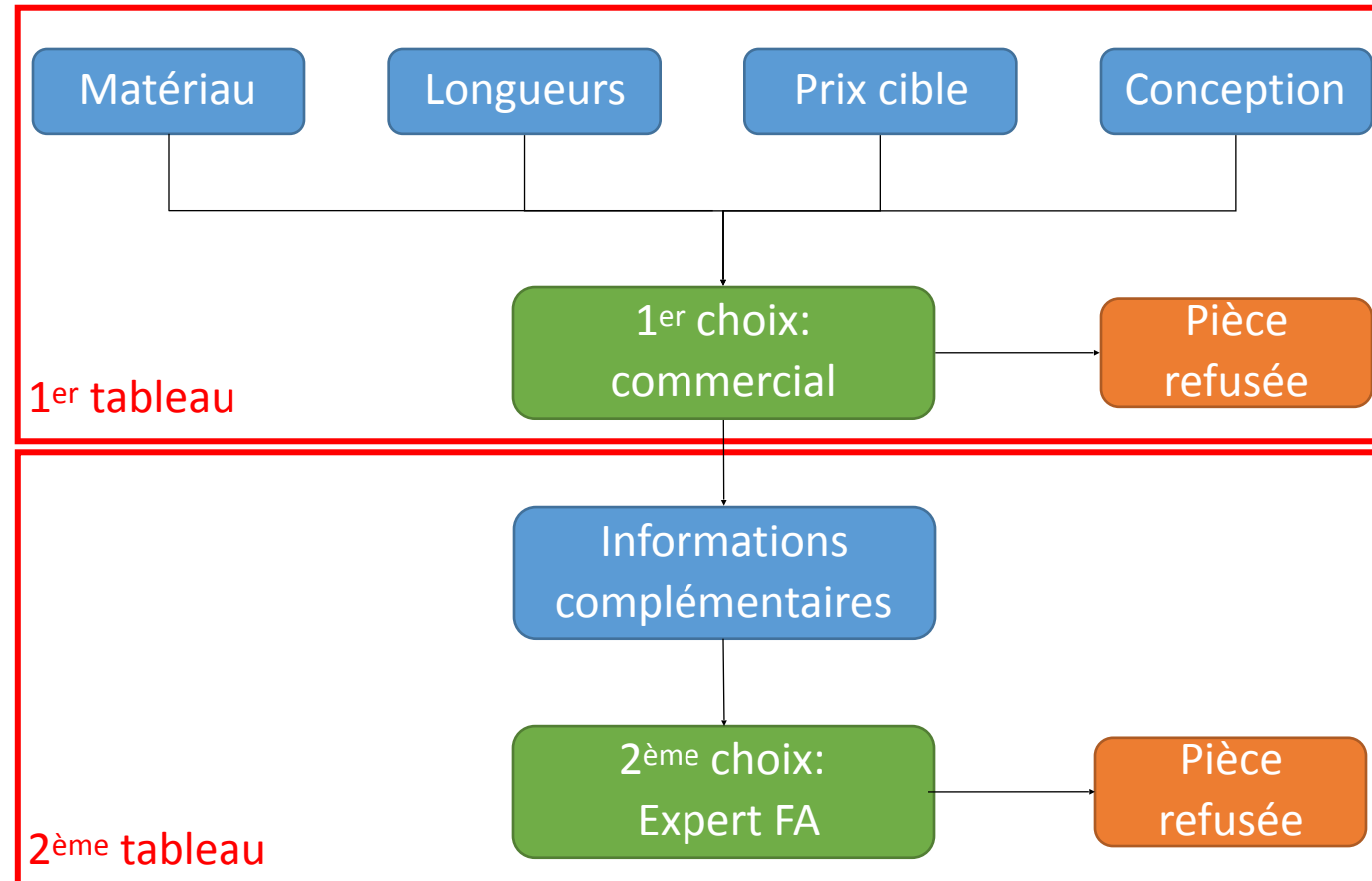
- **Plusieurs niveaux de décision**

- Choix du commercial
- Choix de l'expert

- **Identification des contraintes**

- Matériau
- Criticité aéronautique
- Longueurs pièce
- Prix cible
- Liberté de conception
- Intégrations de fonction

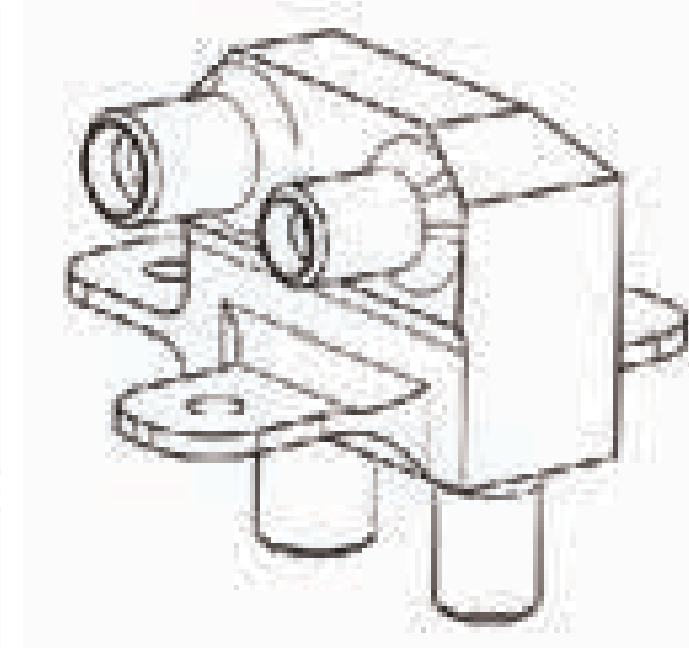
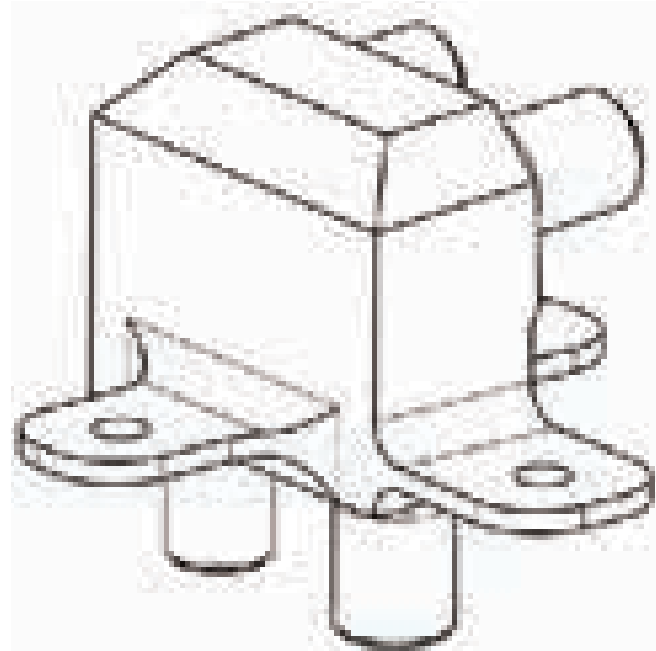
- **Système de notation et d'élimination**



DFAM

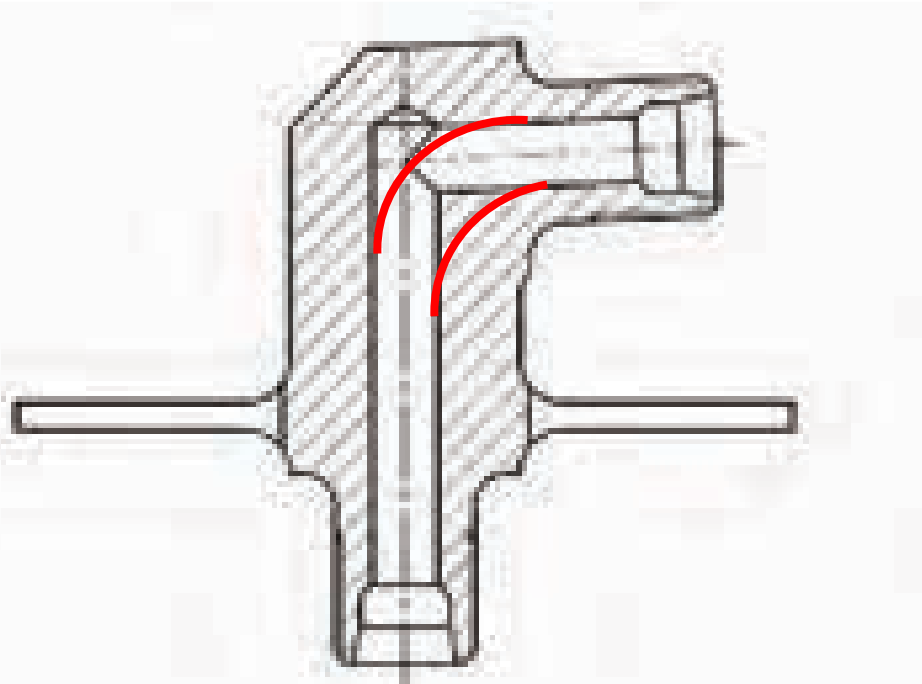
Application DFAM

- Utilisation d'une pièce « connue »
- Optimisation de performance et év. Intégration de fonctions
- Surfaces et contraintes fonctionnelles
- Contraintes de l'usinage
- Optimisation topologique



Bloc hydraulique 2 voies en Ti6Al4V





ancien design

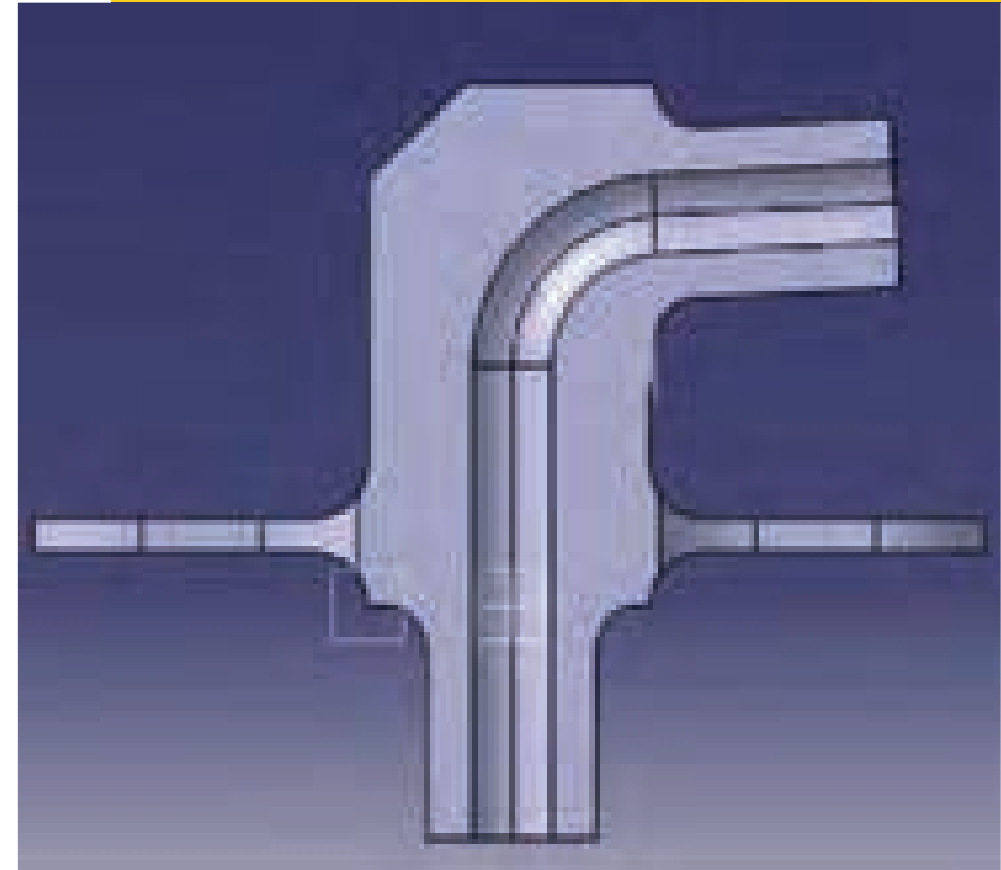
Forme plus performante



Gain > 70%

DFAM

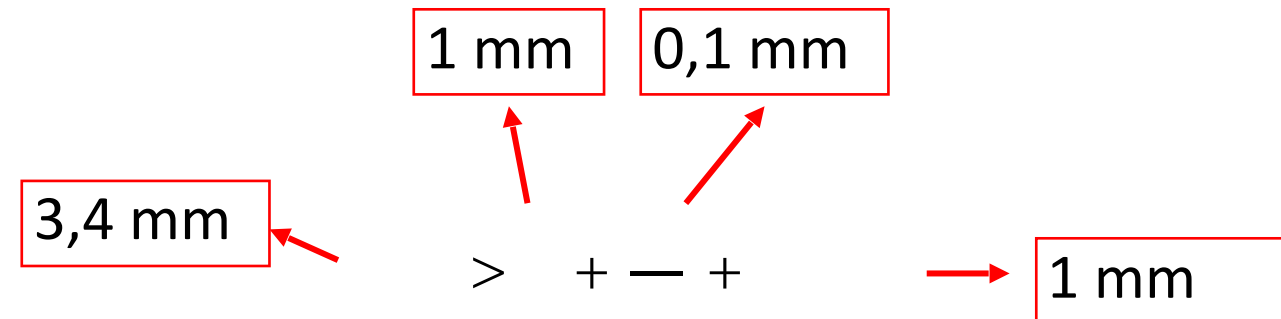
Optimisation de performances



Nouveau design

DFAM

Volumes obligatoires



E : Épaisseur obligatoire

t : Tolérances mécaniques

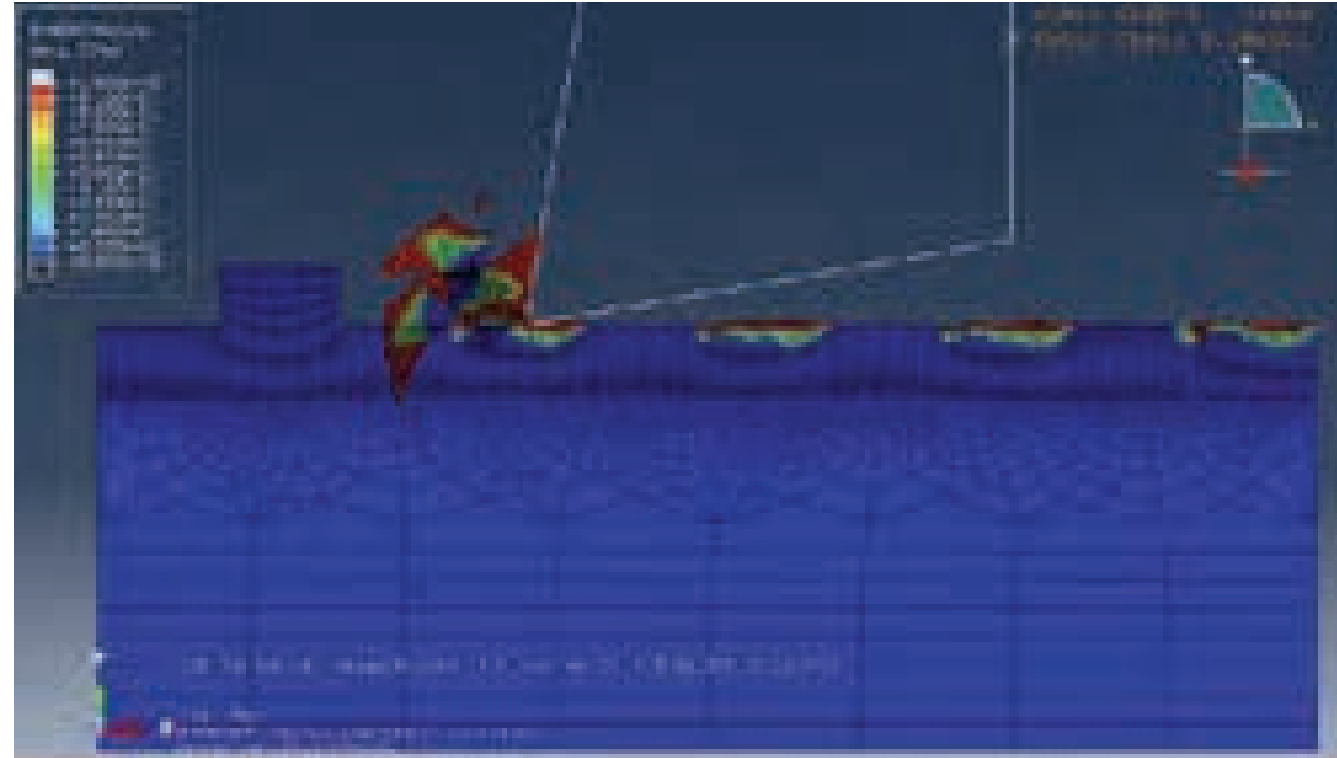
a : Précision spatiale du procédé SLM

emin : Épaisseur minimale liée à l'usinage

De Ponche, Hascoët, Kerbrat and Mognol [13]

Évaluation des efforts de coupe

- **Problématique: Simuler les efforts de coupe dans le Ti6Al4V par SLM, et investigation de l'usinage des supports.**
- **Loi élastoplastique Johnson Cook (*Barret, 2017*)**
- **Loi de rupture de Johnson Cook (*Zhang, 2015*)**
- **Effort de coupe: 2000 N**
- **Usinage des supports « plaques »**
 - Arrachement matière



- **Chargements**

Création de 28 cas de chargements

Maximisation de la raideur

1^{er} mode propre > 2500 Hz

- **Résultats**

Masse initiale : 210 grammes

Masse optimisée : 75 grammes

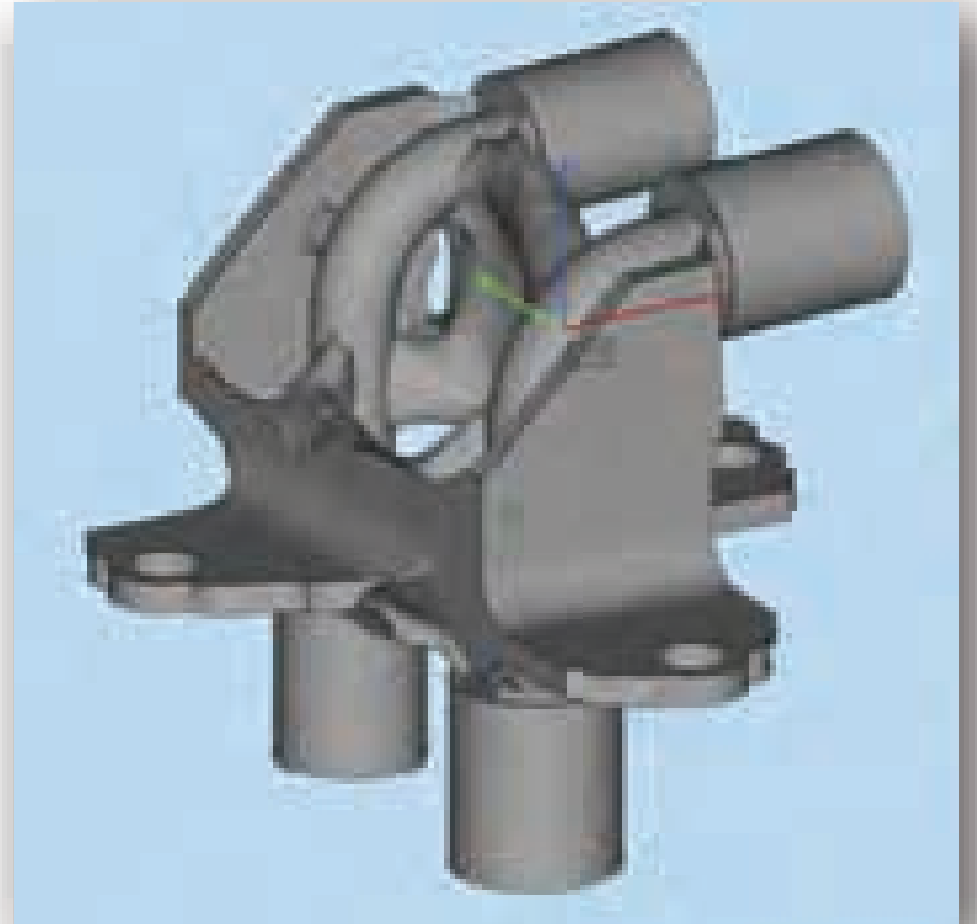
Gain de masse : 75%

faces d'appui

=

interaction avec l'usineur

Résultats optimisation topologique



- **1^{ère} campagne d'essais**

- Préparer phase perçage et alésage

- **Identification des familles de supports**

- Support poteaux
- Support grille
- Support poreux

- **Identification des outils et des conditions de coupe**

- 3 fraises à surfacer $\varnothing 63$ mm
- 2 types de plaquettes

- **Création des plateaux supports**

- Variation de paramètres de supports
- 6 éprouvettes par plateau

- **Outils de mesure**

- Observation dynamique (accéléromètre)
- Etude visuelle des plaquettes et de l'éprouvette

Expérimentation

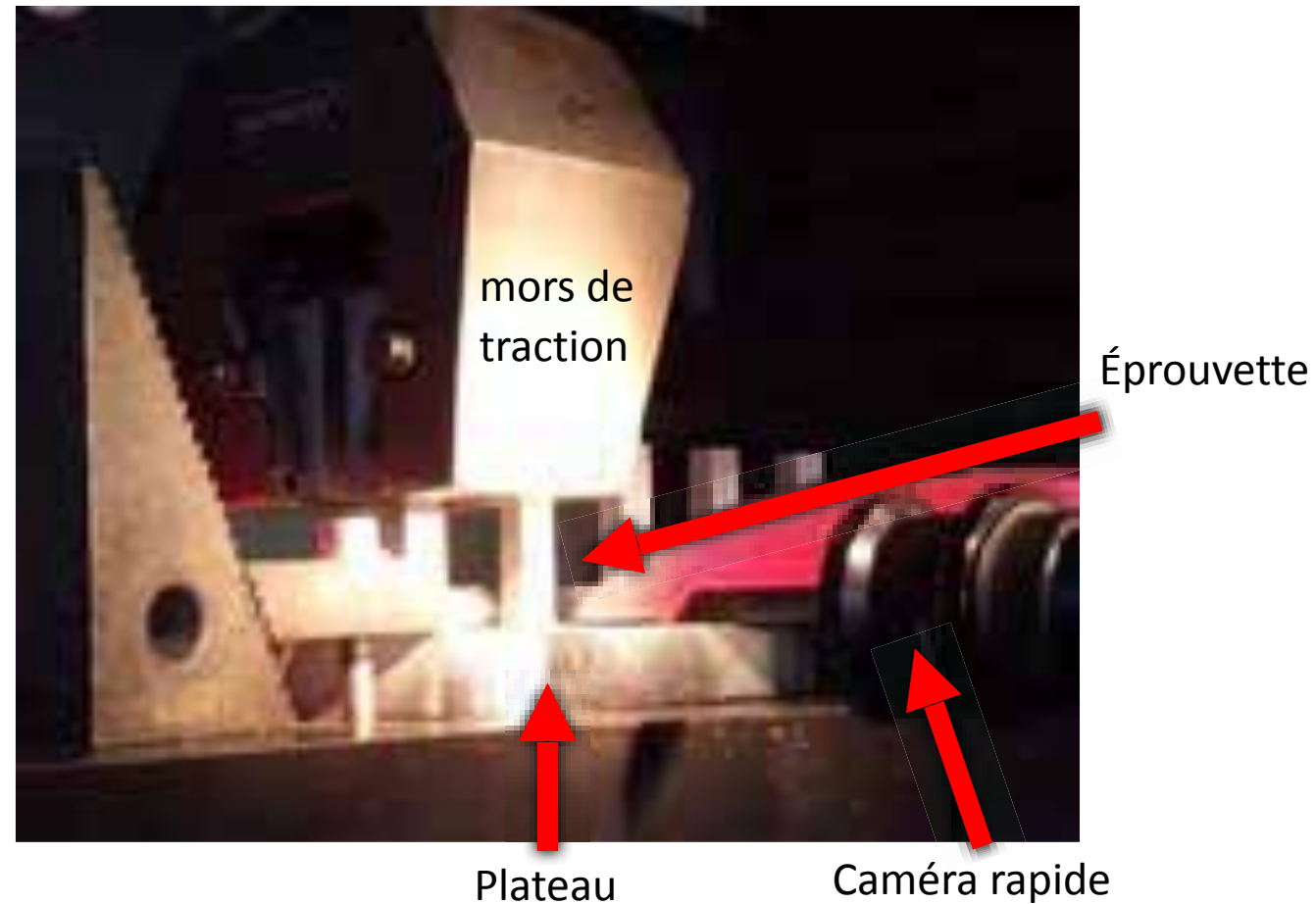
Usinage de supports et lattices



Expérimentations

Supports poreux: relation porosité/ propriété mécaniques

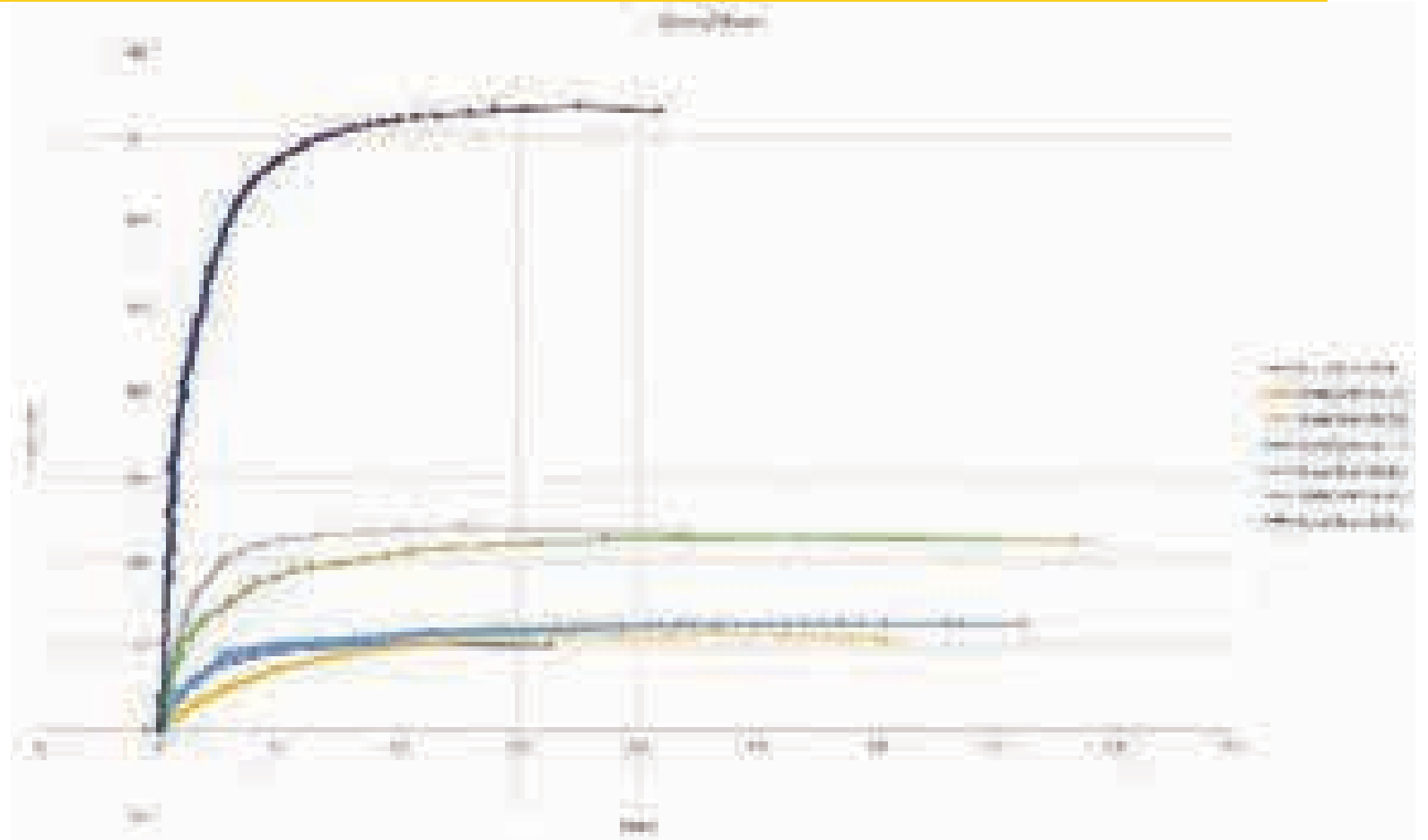
- Mise en place d'éprouvettes de traction de matériau poreux
- 6 porosités différentes testées
- Mise en place de la corrélation d'image



Expérimentations

Supports poreux: relation porosité/ propriétés mécaniques

- Rm 316L = 550 MPa
- Rm 316L d0,9 = 360 MPa
- Rm 316L d0,8 = 120 MPa
- Rm 316L d0,7 = 60 MPa
- Rm 316L d0,6 = 50 MPa



1^{ères} conclusions

- **L'usinage d'une pièce FA redesignée peut devenir un chargement dimensionnant**
→ Article présenté lors de HSM 2018, MUGV 2019
- (L'éligibilité d'une pièce est un enjeu majeur pour l'usineur)

En cours

- **Analyse des premiers tests d'usinages**
- **Usinage du bloc hydraulique redesigné**

Perspectives

- **Étude du lien supports pièce**
- **Usinage de supports sur pièce (alésage)**
- **Validation des modèles et des méthodes proposés**

Conclusions

Conclusions présentes et travaux à venir

