

# FA – PPM – MO2P – IRCCyN

OU

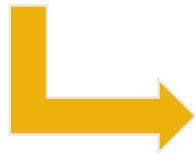
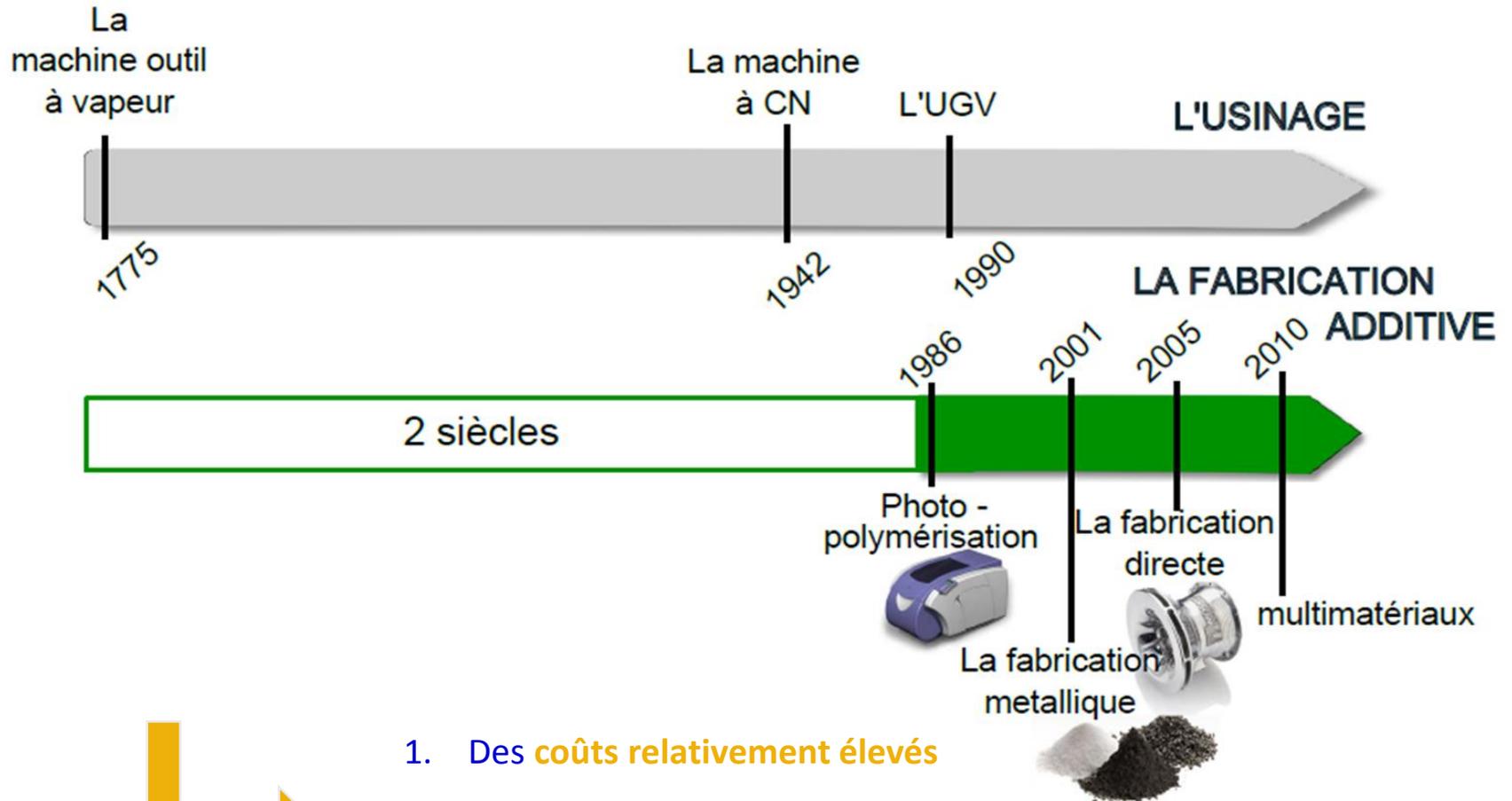
Tour d'horizon de la recherche en Fabrication Additive autour du triptyque Produit-Procédé-Matériau dans l'équipe Modélisation et Optimisation des Process de Production de l'Institut de Recherche en Communications et Cybernétique de Nantes

**Olivier KERBRAT**

**Maitre de conférences ENS Rennes**



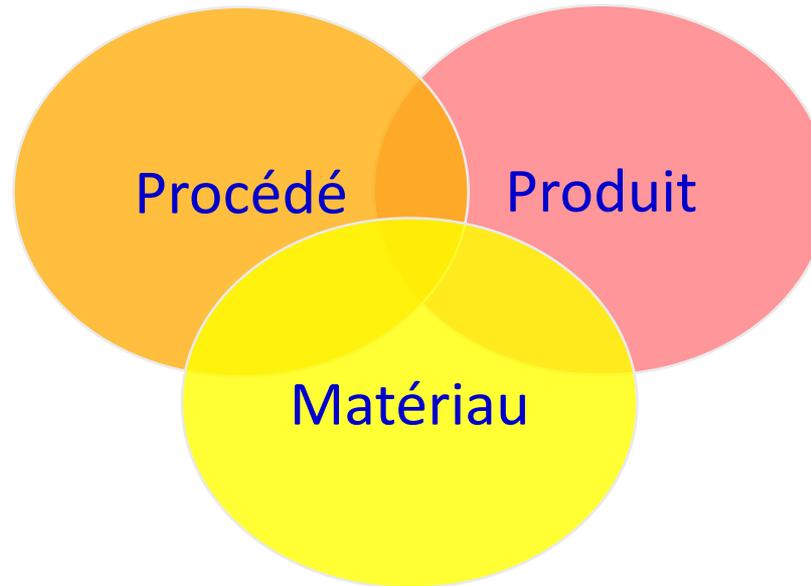
## Une famille de procédés relativement jeune



1. Des **coûts** relativement élevés
2. Une **capabilité** non maîtrisée
3. Une **méconnaissance** des opportunités

# Exemples de pièces en fabrication additive métallique

Réalisation de formes intérieures complexes  
Réalisation de formes extérieures complexes



Réduction de la masse  
Augmentation des fonctionnalités



Mise en forme de matériaux complexes  
Réalisation de pièces multi-matériaux

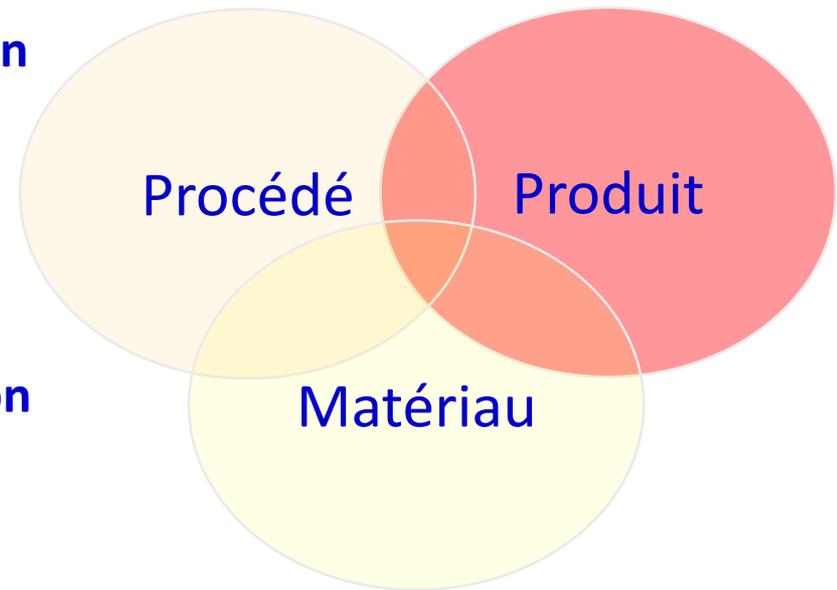
**Comment choisir un procédé de fabrication additive en phase de conception**



**Intégration des spécificités de la fabrication additive dans la conception de pièces**

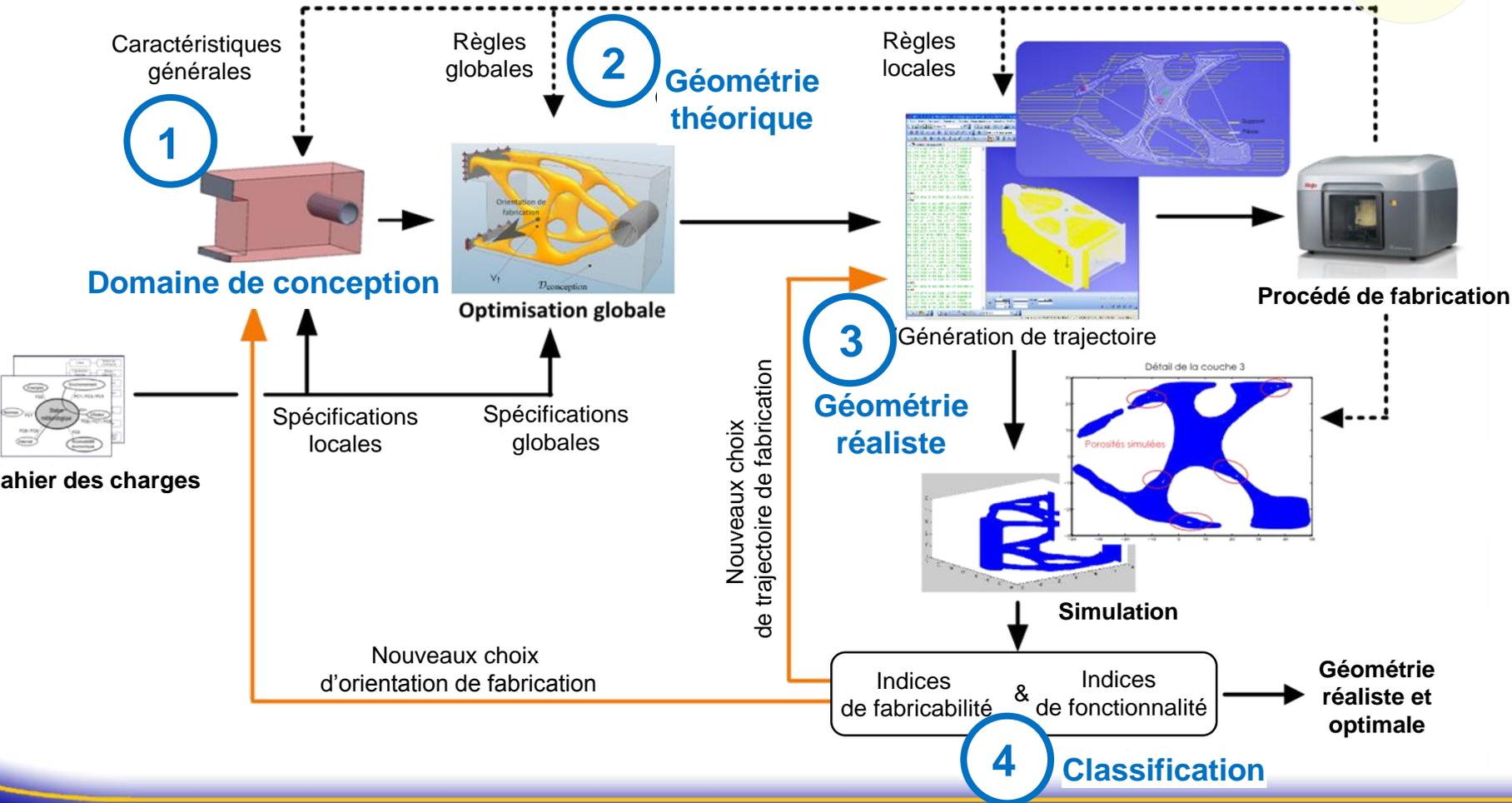
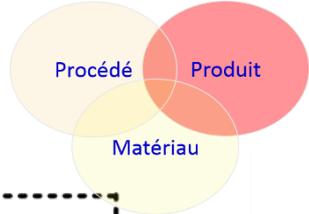


**DFAM : Méthode de conception orientée fabrication additive**



Problématique :

Intégrer les spécificités (contraintes et opportunités) de la fabrication additive dans une méthode de conception



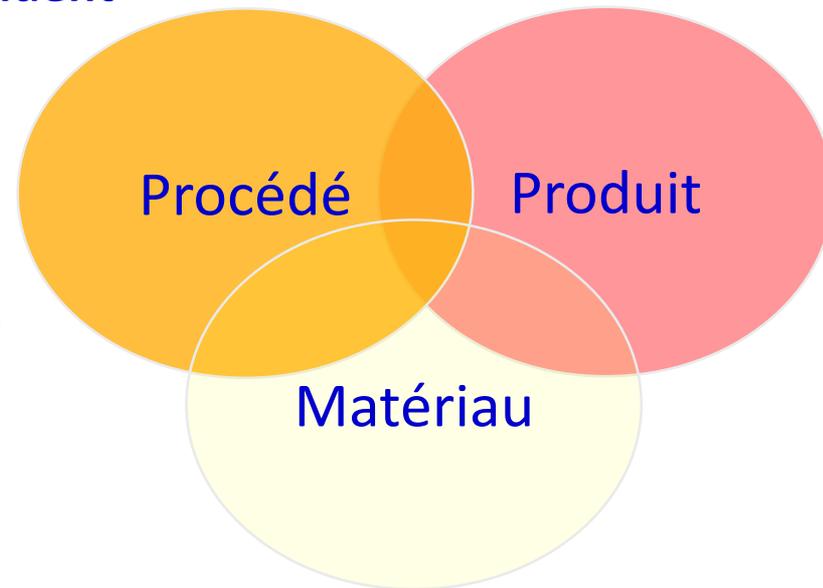
## Mettre en place une approche de DFAM nécessite :

- De définir les limites du procédé
- De mettre en place des critères d'évaluation basés sur des données disponibles au bureau d'études
- D'identifier les géométries problématiques
- De proposer des outils adaptés

S'appuyer sur une expertise importante des procédés étudiés

## Technologies de fabrication complexes qui rendent l'expertise difficile :

- Comportement de la poudre
- Comportement du bain de fusion
- Contraintes résiduelles
- Précision dimensionnelle et états de surface
- Contrôle du procédé



**Expérimentations sur machines**



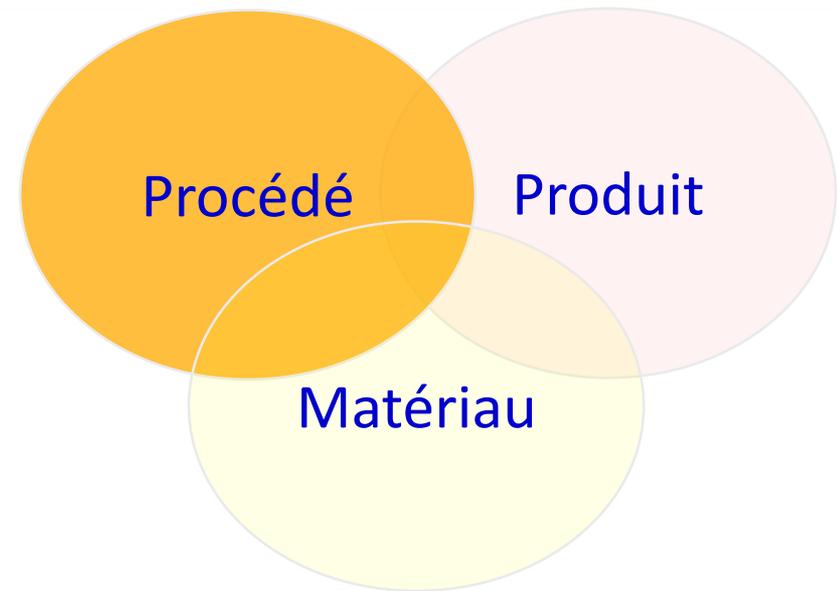
**Modélisation, simulation multiphysique**



**Réalisation de pièces après optimization des paramètres opératoires**



**Développement de nouvelles méthodes de fabrication**

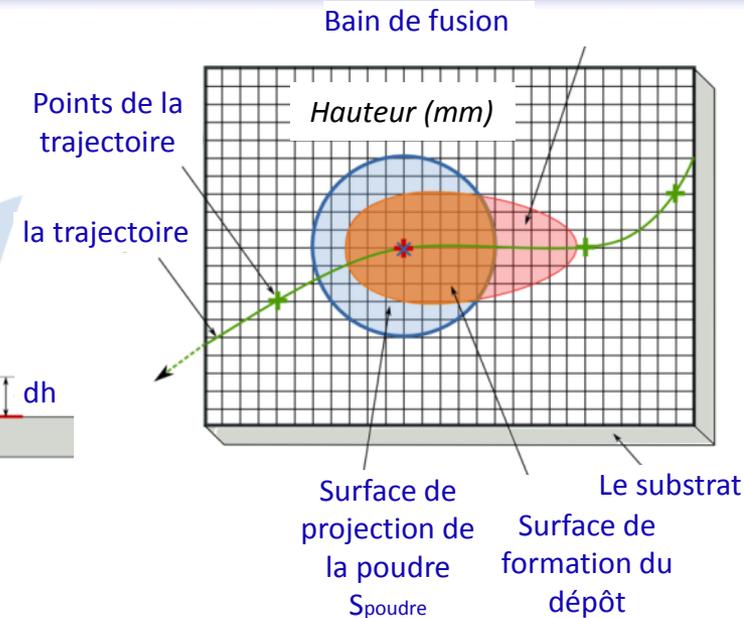
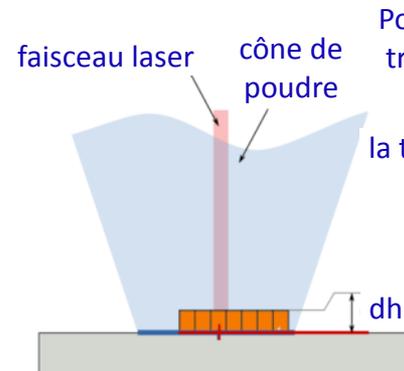


## Proposition de modèles éléments finis

### Calcul thermique

$$\frac{\partial(\rho \cdot C_p \cdot T(x, y, z, t))}{\partial t} = \nabla(k \cdot \nabla T(x, y, z, t))$$

Hypothèse : - régime stationnaire



### Calcul géométrique

$$dh(x, y, z, t_i) = \frac{dt \cdot \dot{m}_p(t_i)}{\rho \cdot S_{poudre}}$$

Hypothèses : - répartition homogène de la poudre

- toute la poudre projetée sur le bain est agglomérée

### Calcul mécanique

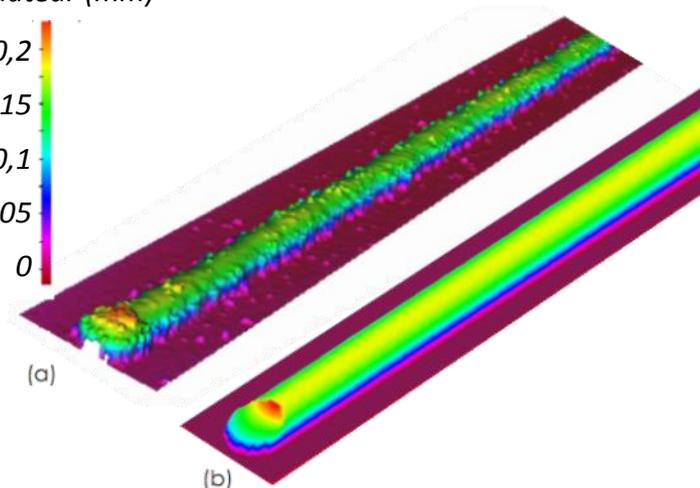
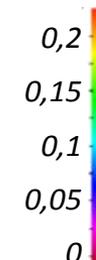
$$\epsilon_{i,j} = \epsilon_{i,j}^M + \epsilon_{i,j}^T + \epsilon_{i,j}^P$$

$$\epsilon_{i,j}^T = \alpha \cdot (T - T_0) \delta_{i,j}$$

$$\sigma_{p,q} = D_{p,q,i,j} \cdot \epsilon_{i,j}$$

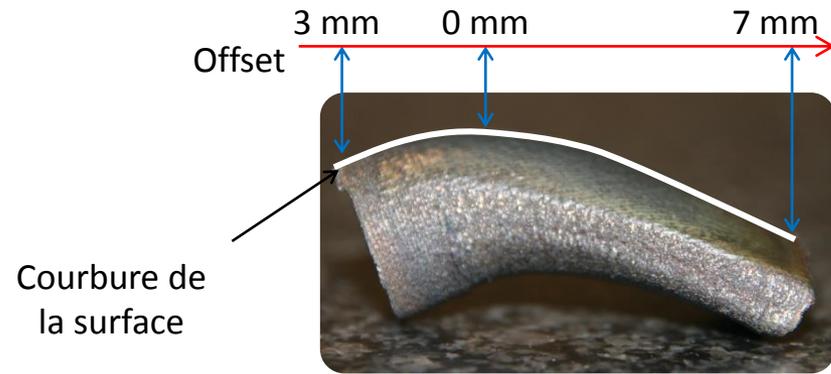
Hypothèse : - relation linéaire

Hauteur (mm)

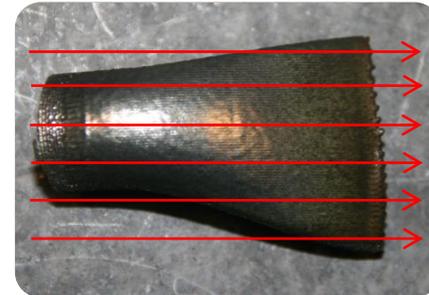
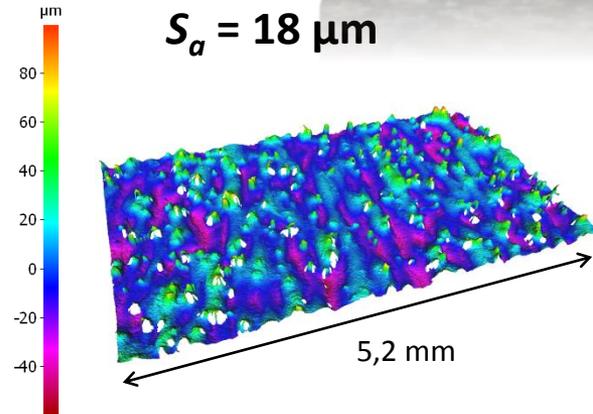


## Problématique :

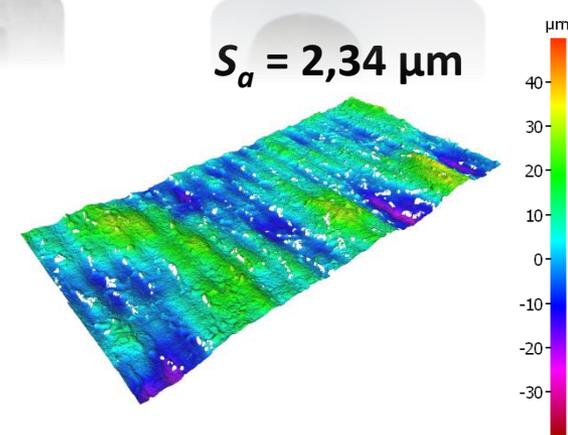
Choisir les paramètres opératoires du couple procédé primaire (FA) – procédé



$S_a = 18 \mu\text{m}$



$S_a = 2,34 \mu\text{m}$



↘  $S_a = 62 \%$

Stratégie simple = polissage laser de formes complexes

Corrélation entre les paramètres opératoires et la topologie de la pièce

## Problématique :

Proposer un procédé de fabrication additive fil métallique nouveau

## Utilisation de deux sources de chaleur :

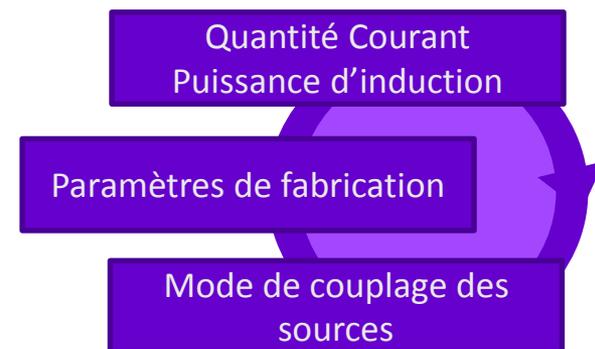
- Chauffe induction
- Apport de courant dans le fil



Influence de la vitesse d'apport du fil  
(vitesse d'avance constante)



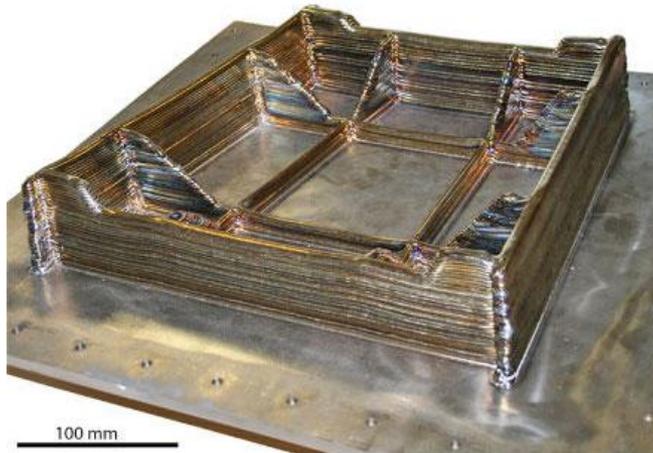
Exemple de Pièce Réalisées en W.A.M



## Problématique :

### Fabriquer des pièces métalliques de grandes dimensions en dépôt de fil par soudure à l'arc

- Etude de faisabilité
- Validation dimensionnelle
- Etude de la structure interne



**Différents domaines d'application  
(aéronautique, medical, outillage, ...)**



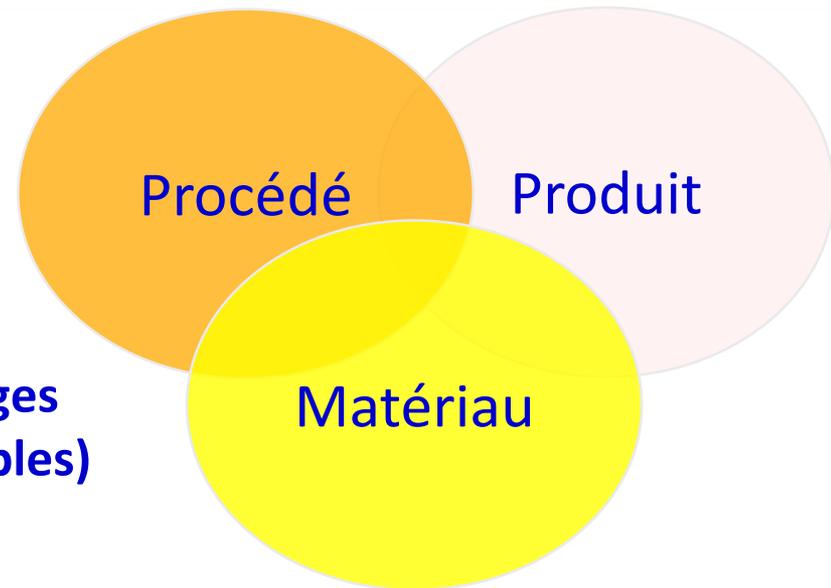
**Des matériaux adaptés aux domaines (alliages  
hautes performance, matériaux bio-compatibles)**



**Etudes de différents matériaux et couples  
procédés / matériaux**

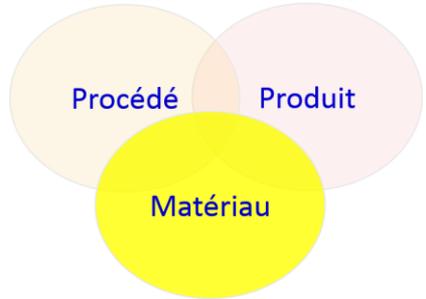


**Functionally Graded Materials**

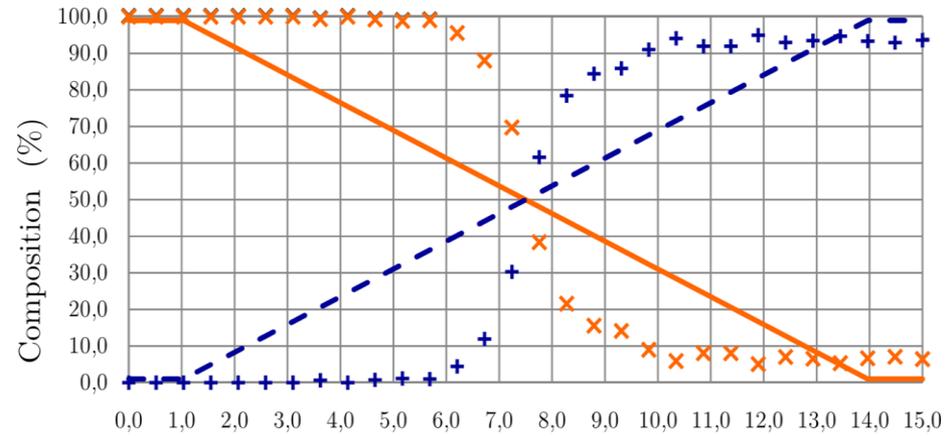
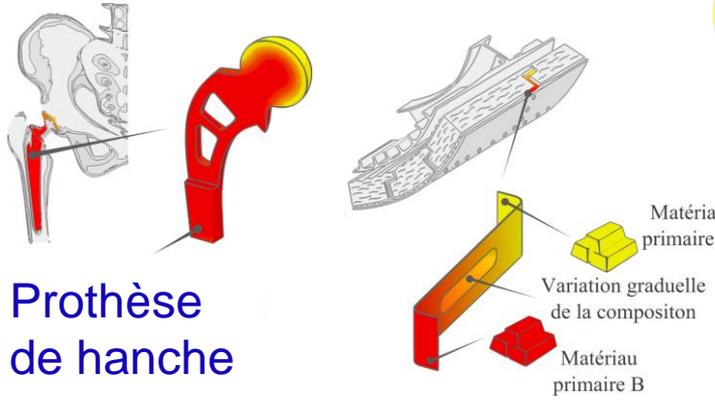
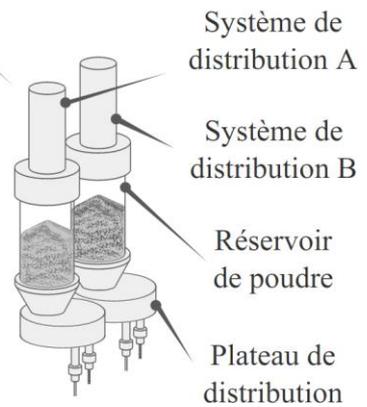
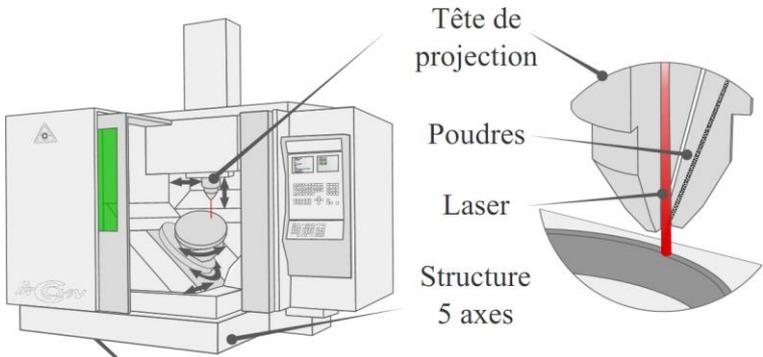


**Problématique :**

**Proposer une méthodologie globale de fabrication de pièces multimatériaux fonctionnelles**



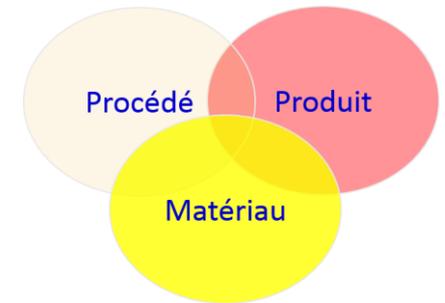
Support de fixation NASA



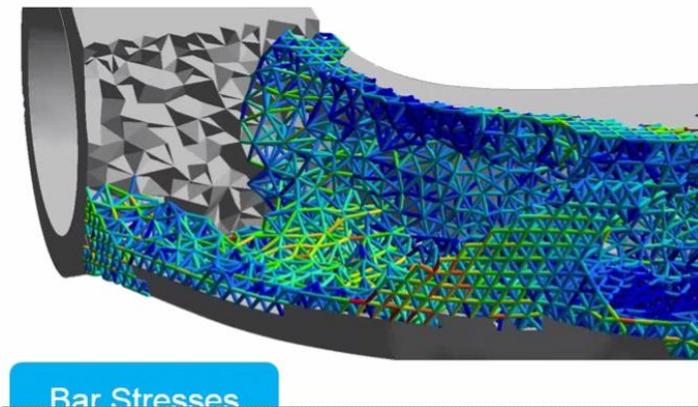
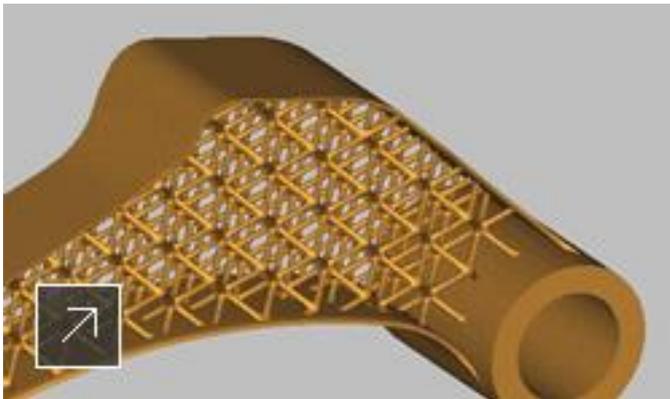
x 316L (analysis)      + Stellite 6 (analysis)  
— 316L (command)      - - Stellite 6 (command)

## Problématique :

Mettre en place une méthode de conception de pièces à géométries optimisées pour la FA partiellement lattice



## Structures “lattices”

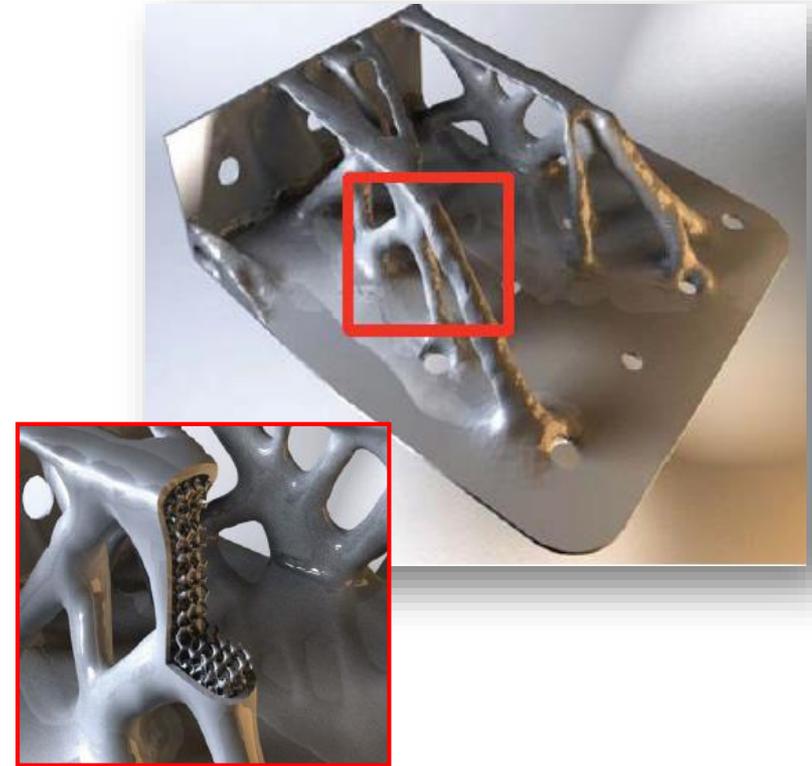


## Optimisation topologique



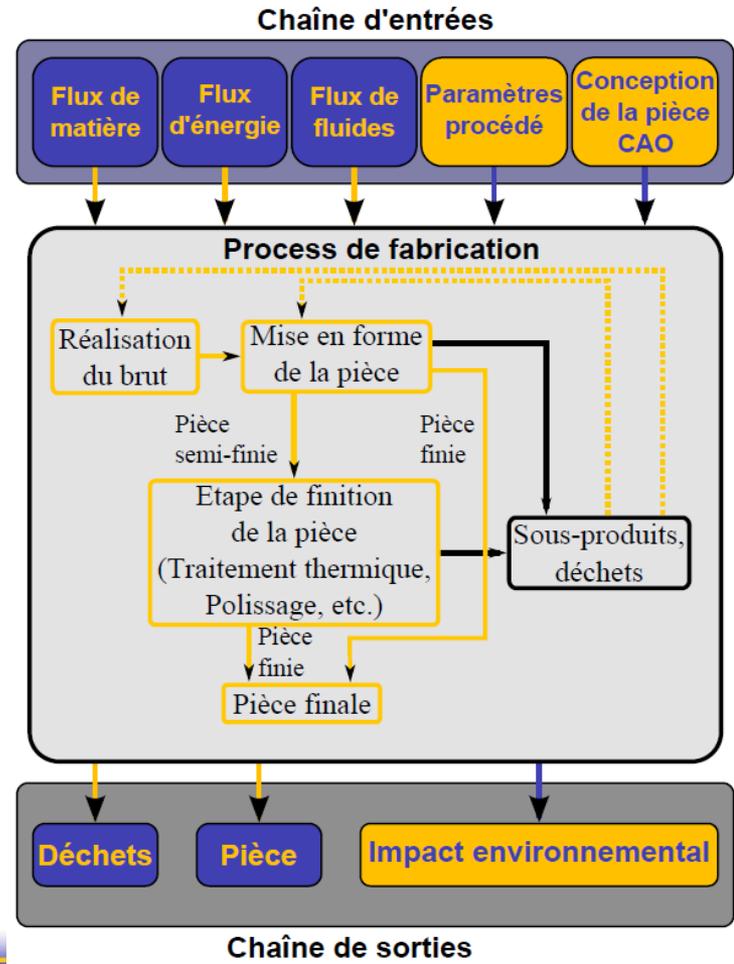
Charnière des capots moteur de l'A380

... avec des structures internes complexes !



**Comment quantifier les impacts environnementaux de pièces fabriquées par cette technologie ?**

**Problématique :**  
**Modéliser les flux (énergies, matières, ...)**  
**traversant l'ensemble des étapes de fabrication**

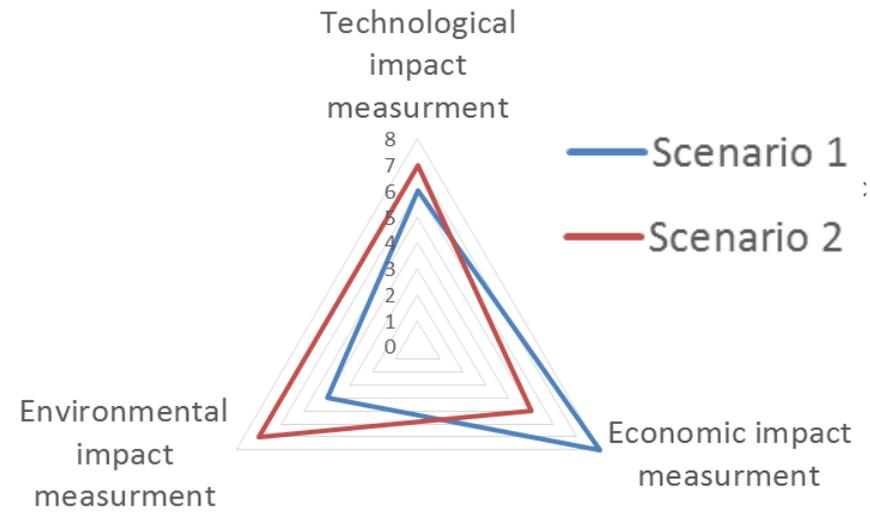


Connaissance fine de l'ensemble des étapes de fabrication

Caractérisation des consommations et rejets de matière, d'énergie, de fluides

Evaluation des impacts environnementaux

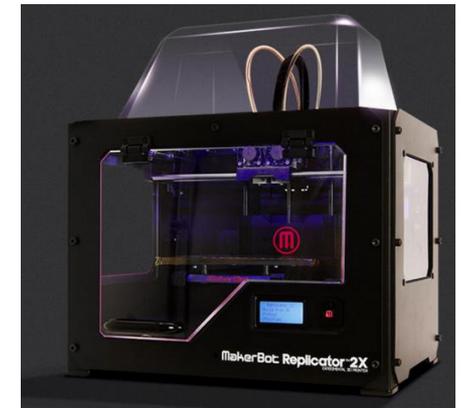
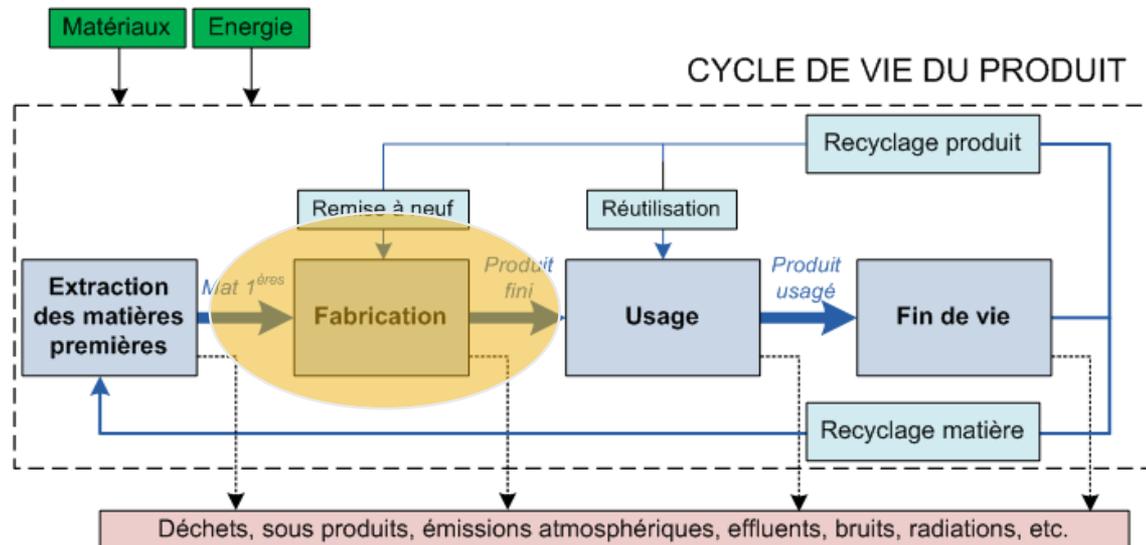
Modèles prédictifs



## Problématique :

### Définir une méthode générique d'évaluation environnementale des procédés d'impression 3D

- Données d'inventaires incomplètes pour les procédés de FA
- Hétérogénéité des démarches permettant l'acquisition de données



# Merci pour votre attention

Olivier.Kerbrat@ens-rennes.fr

02.99.05.52.75

