

Design for additive manufacturing : un passage obligé

Rémi Ponche

Encadré par

Jean Yves Hascoet (Professeur à l'ECN)

Pascal Mognol (Professeur à l'ENS de Cachan kerlann)

Olivier Kerbrat (Maitre de conférences à l'ENS de Cachan kerlann)

Institut Recherche Communications Cybernetique Nantes (IRCCyN) UMR CNRS 6597

1 rue de la noe, BP92101, 44321 Nantes Cedex FRANCE

Remi.ponche@irccyn.ec-nantes.fr

● IRCCyN Unité mixte de recherche (UMR CNRS 6597)

– 4 unités de rattachement :



– 262 personnes :

- 11 équipes
- 103 chercheurs, enseignants-Chercheurs
- 111 non permanents (doctorants, professeurs invités, post docs)

– 4 axes de recherche :

- Images, signal et automatique
- Systèmes de production
- Psychologie, Cognition, and Technologie (PsyCoTec)
- **Système Mécanique et Productique**

MO2P: Modélisation Optimisation Process Production



– Objectif global :

« Être capable de définir, de simuler puis d'optimiser l'ensemble du process de fabrication d'une pièce mécanique dans un contexte de conception Produit/Process » .

– 28 Personnes :

- 11 enseignants chercheurs
- 9 non permanents
- 8 doctorants

– 3 thèmes de recherches :

- Maîtrise des procédés de fabrication par enlèvement de matière
- Ingénierie virtuelle
- **Maîtrise des procédés de fabrication directe**

– 3 plateformes :

- **Ecole Centrale Nantes**
- IUT de Nantes
- **ENS de Cachan antenne de Bretagne**



La fabrication additive - historique

1892

Représentation reliefs géographiques par découpe 2D de feuilles de cire et superposition.

1987

Machine Stéréolithographie (3D Systems)

1992

Frittage laser de poudres métalliques (EOS)

1996

Première imprimante 3D (3D Systems)

2001

Premières pièces métalliques denses (Concept Laser)

2005

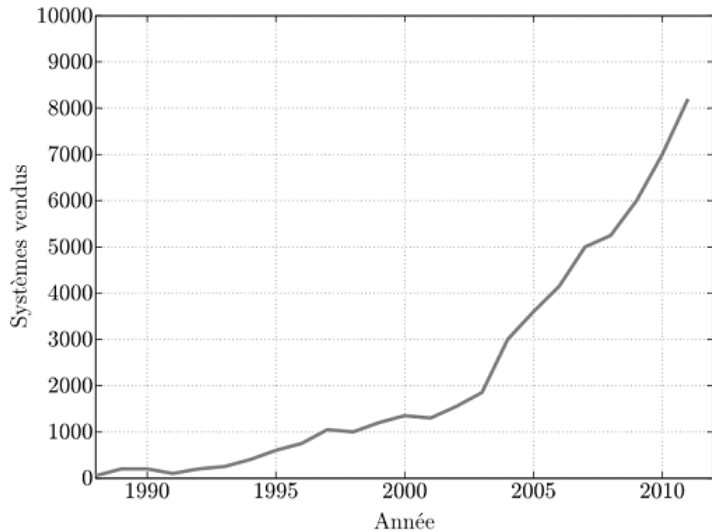
Premières pièces séries

Prototypage rapide

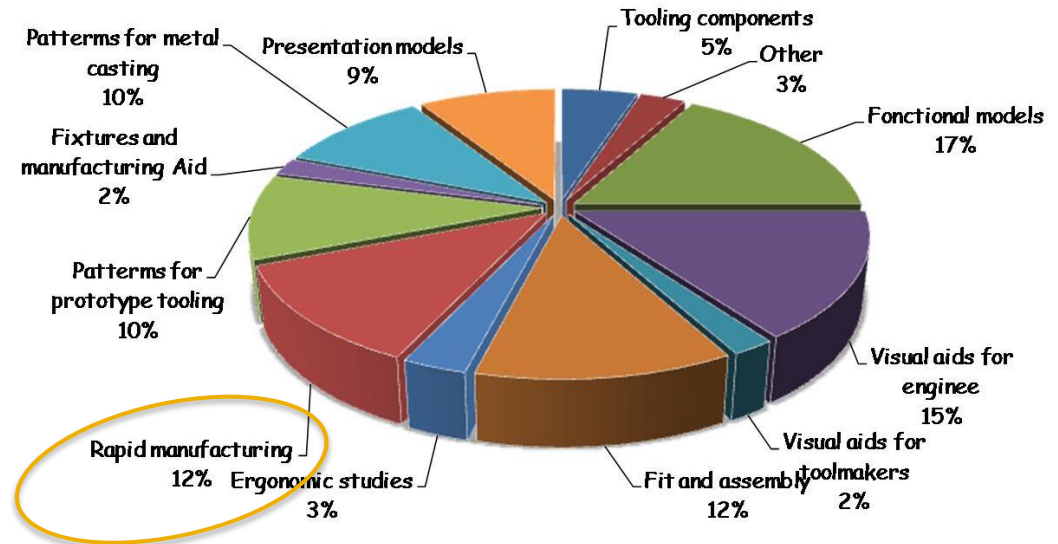
Fabrication additive (rapide)

La fabrication additive - situation

Des procédés de plus en plus utilisés



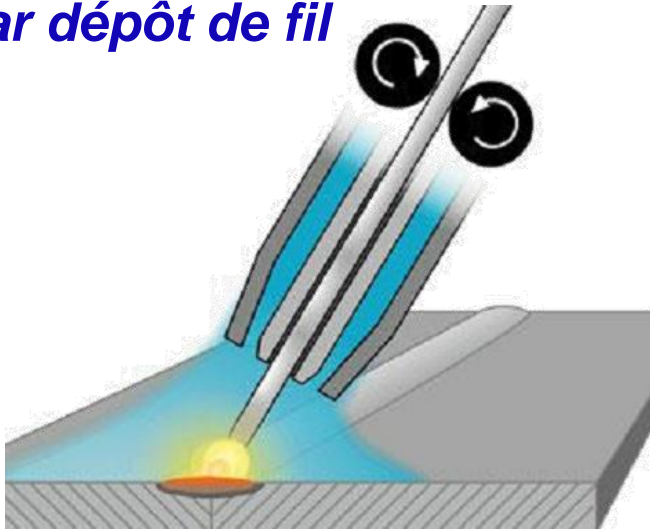
Les ventes de machine de production



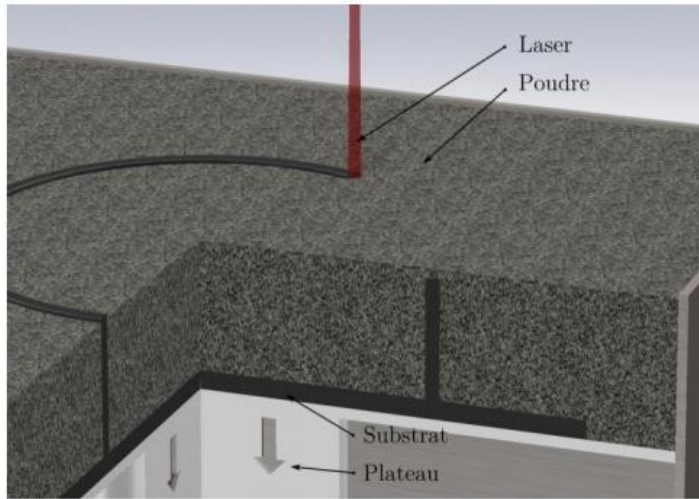
Les utilisations de la fabrication additive

La fabrication additive métallique - les techniques

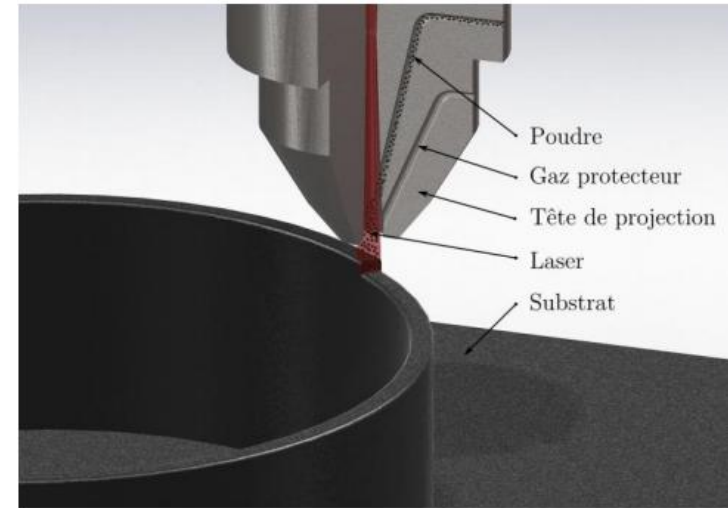
Par dépôt de fil



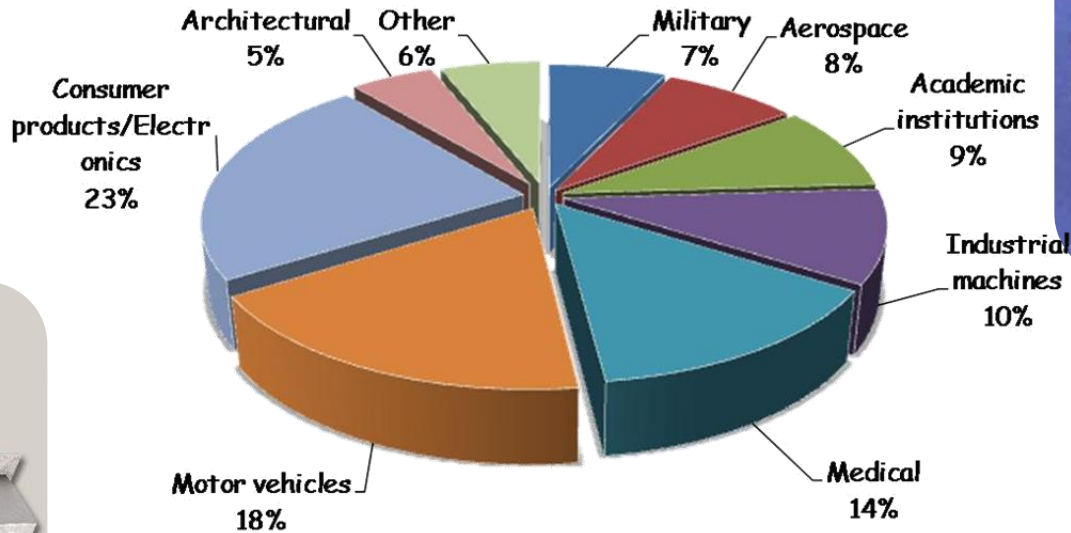
Par lit de poudre



Par projection de poudre



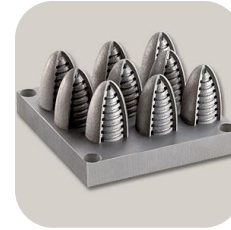
La fabrication additive: exemples



Les domaines d'application de la FA

La fabrication additive : intérêts

- ✓ Réalisation de formes intérieures complexes
- ✓ Réalisation de formes extérieures complexes
- ✓ Mise en forme de matériaux complexes
- ✓ Réalisation de pièce multi-matériaux
- ✓ Réduction de la masse
- ✓ Réduction des coûts de fabrication
- ✓ Augmentation des fonctionnalités



Parfait non?

La fabrication additive : limites actuelles

● *La maîtrise des phénomènes multi-physiques*

- ✓ la thermique
- ✓ la mécanique des poudres
- ✓ la mécanique des fluides
- ✓ la métallurgie



- répétabilité
- santé matière
- caractéristiques des matériaux

● *Les coûts de fabrication*

- ✓ matériaux
- ✓ énergie
- ✓ Parachèvement

● *Pas de procédure de contrôle adaptée*

● *Concepteurs non familiarisés avec ces procédés*

Nécessité de mettre en place des règles et des normes !!

- Comité de normalisation international ASTM F42,
- Norme ISO TC 184/SC 4 (STEP-NC)

Design for Manufacturing: Définition

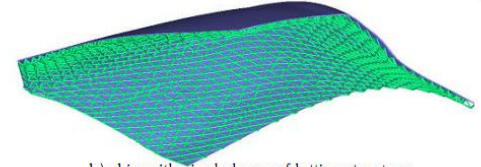
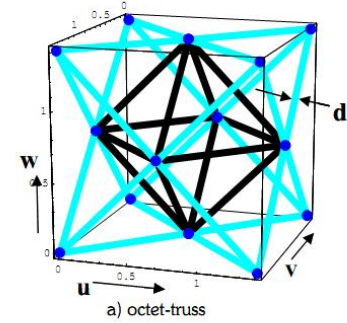
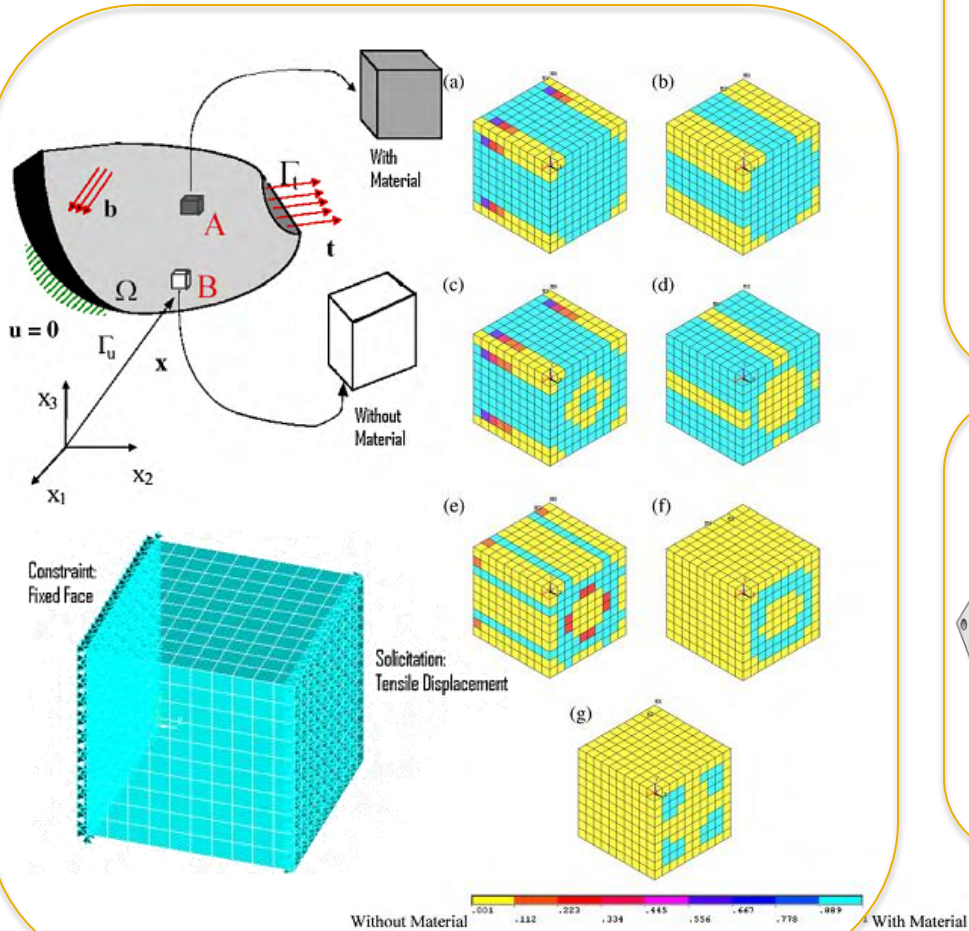
Il s'agit d'identifier et d'éviter des problèmes de fabrication pendant la phase de conception du produit, afin de :

- **réduire les coûts de production**
- **réduire les délais de développement**
- **améliorer la qualité des produits**
- **utiliser pleinement les possibilités des procédés**

Le but est d'apporter une aide au concepteur qui n'a pas de connaissance particulière concernant la production :

- **suggestions de conception et (ou) de reconception**
- **propositions de procédés et (ou) de matériaux**
- **propositions de gamme de fabrication**
- **estimation des coûts de production**

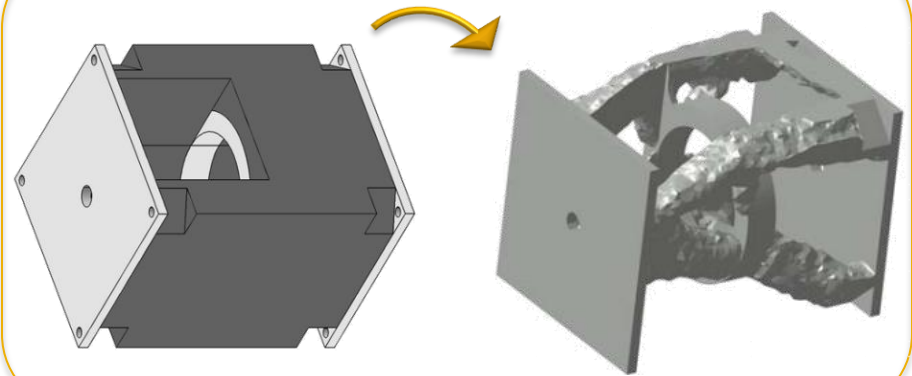
Optimisation de la matière



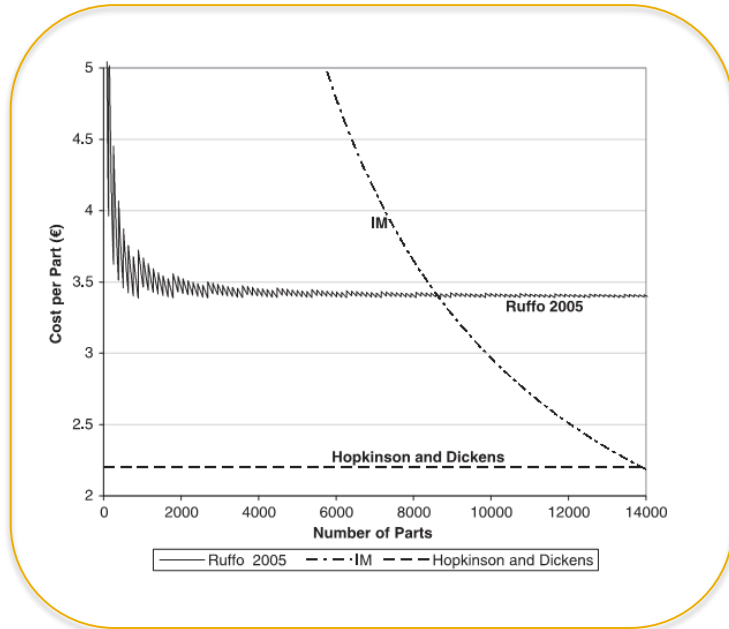
b) skin with single layer of lattice structure



c) Skin with 2 layers of truss structure made in SL



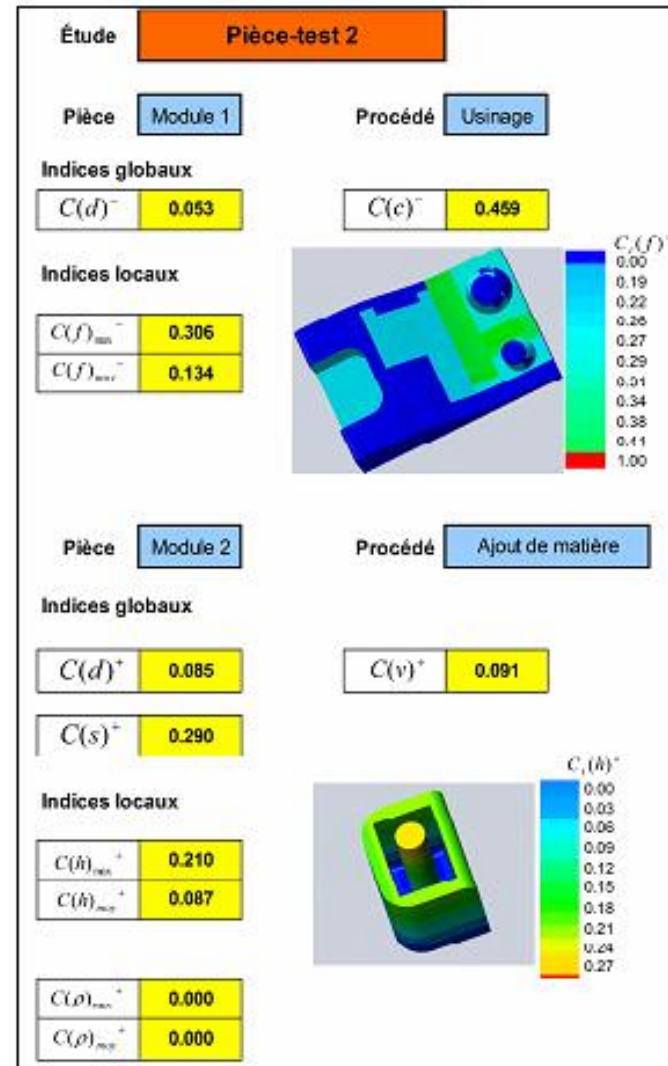
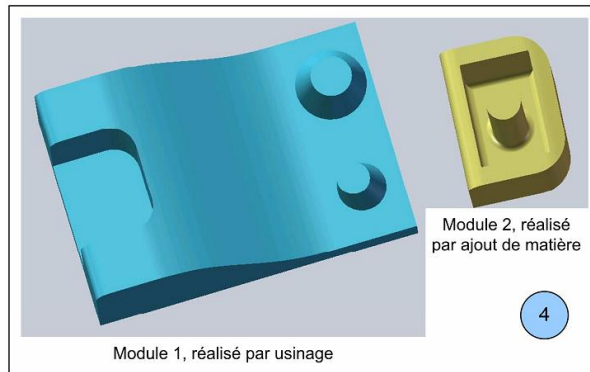
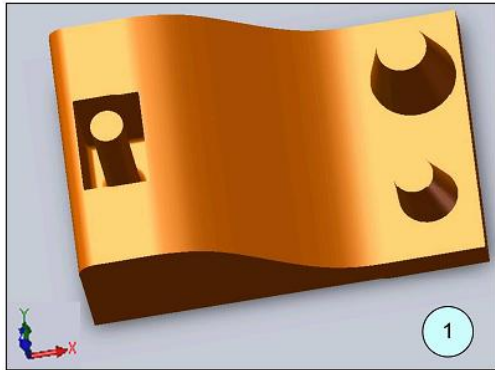
Analyse du coût de fabrication



Aide au choix d'un procédé

- Price of the RP machine.
- Dimensional accuracy along X - Y direction.
- Dimensional accuracy along Z direction.
- Surface finish on the built part.
- Maximum dimensions of the part building envelope.
- Range or type of available build materials.
- Range of layer thickness for part building.
- Speed of part building.

● Analyse de la fabricabilité



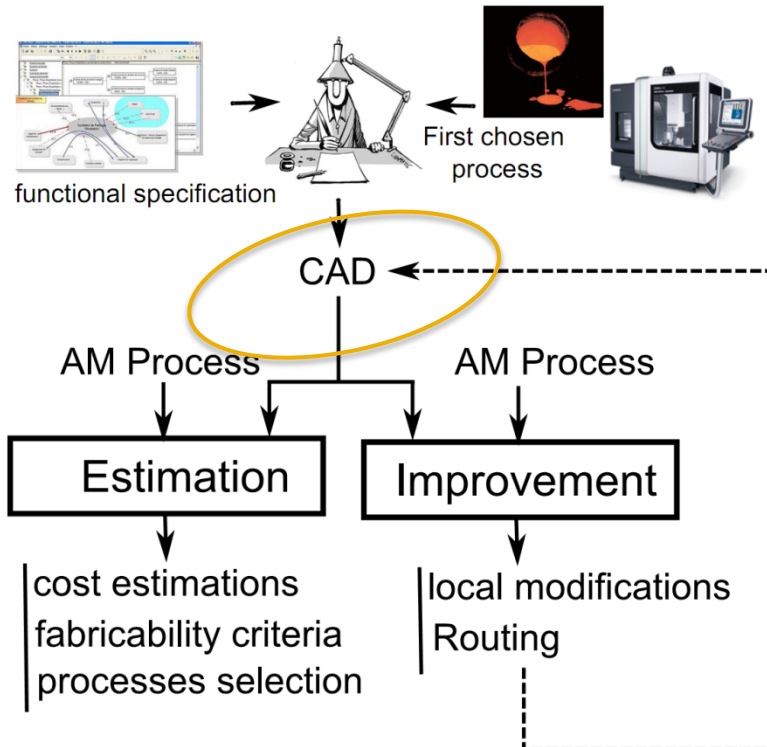
Le DFAM: état de l'art

Synthèse: des travaux en DFAM mais...

- Les études se concentrent sur quelques points :

- Utilisation des nouvelles possibilités fonctionnelles

Ne prennent pas en compte les limites des procédés



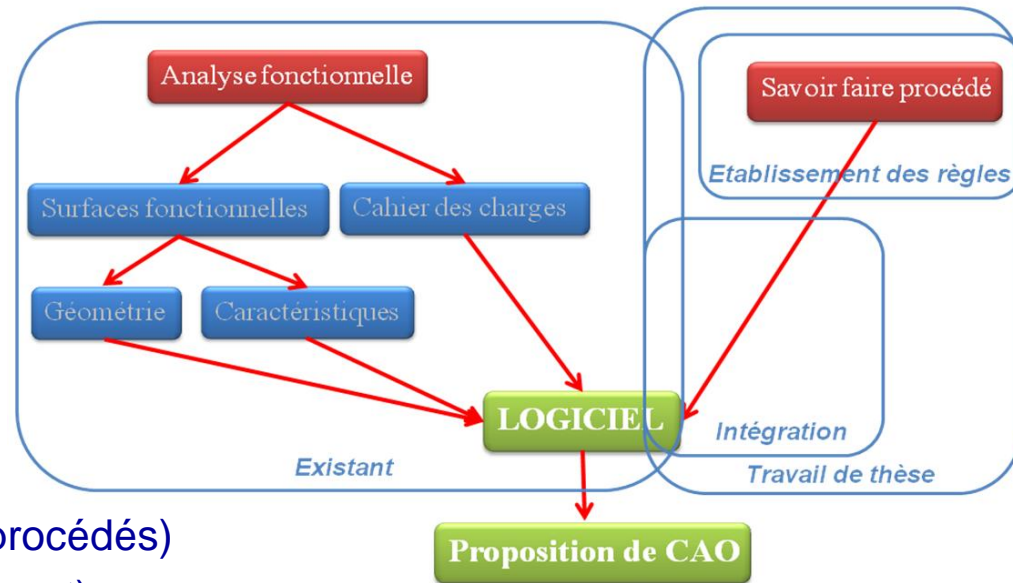
Des méthodes « indirectes »

- La plupart des travaux portent sur des procédés de fabrication pour des pièces en polymère.

Question de départ:

Pour un **cahier des charges fonctionnel** donné, quelle doit être la **conception** de la solution pour qu'elle soit la plus **facilement réalisable par fabrication additive**?

- **Le cahier des charges :**
 - surfaces fonctionnelles
 - spécifications
 - comportements mécaniques
- **La conception**
 - les formes
 - les volumes
- **La facilité de réalisation**
 - coût de fabrication (matière + procédés)
 - fabricabilité (brut + parachèvement)



La méthodologie :

Procédé

Type:

- lit de poudre
- projection de poudre 3 axes
- projection de poudre 5 axes
- dépot de fil

Dimensions:

- maximales
- minimales

Caractéristiques:

- capabilité

Type de parachèvement

Exigences fonctionnelles

Surfaces fonctionnelles:

- nature
- dimensions
- positions et orientations
- spécifications dimensionnelles
- spécifications géométriques
- état de surface

Caractéristiques mécaniques:

- résistance
- rigidité
- porosité
- autre

Zones vides:

- nature
- position
- dimension

Matériau

Comportement mécanique:

- rigidité
- dureté
- résistance élastique

Comportement thermique:

- Conductivité
- T de fusion

Autre



Méthode
DFAM



CAO optimisée

La méthodologie : Etape 1/4

Procédé

Dimensions:

- maximales
- minimales

Caractéristiques:

- capabilité

Type de parachèvement

Exigences fonctionnelles

Surfaces fonctionnelles:

- spécifications dimensionnelles
- spécifications géométriques
- état de surface

- nature
- dimensions
- positions et orientations

Caractéristiques mécaniques:

- résistance
- rigidité
- porosité
- autre

Matériau

Comportement mécanique:

- rigidité
- dureté
- résistance élastique

$S_i[\text{type}, \text{pt}_1, \text{pt}_2, \text{pt}_3, \text{épais}]$

définition des épaisseurs

caractérisation des surfaces

La méthodologie : Etape 2/4

Procédé

Type:

- lit de poudre
- projection de poudre 3 axes
- projection de poudre 5 axes
- dépot de fil

Dimensions:

- maximales
- minimales

$S_i[\text{type}, \text{pt}_1, \text{pt}_2, \text{pt}_3, \text{épais}]$

$E_i[\text{direction}, \text{pt1}]$

Exigences fonctionnelles

Caractéristiques mécaniques:

- résistance
- rigidité
- porosité
- autre

Zones vides:

- nature
- position
- dimension

définition des entités de fabrication

Matériau

Comportement mécanique:

- rigidité
- dureté
- résistance élastique

La méthodologie : Etape 3/4

Procédé

Type:

lit de poudre
projection de poudre 3 axes
projection de poudre 5 axes
dépot de fil

Dimensions:

maximales
minimales

Exigences fonctionnelles

Caractéristiques mécaniques:

résistance
rigidité
porosité
autre

Zones vides:

nature
position
dimension

Matériau

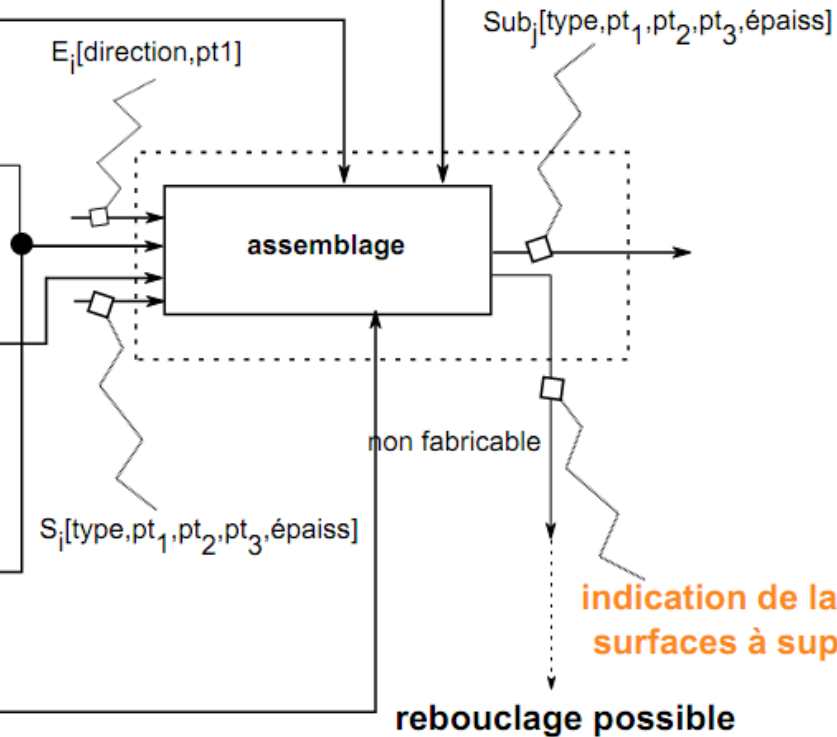
Comportement mécanique:

rigidité
dureté
résistance élastique

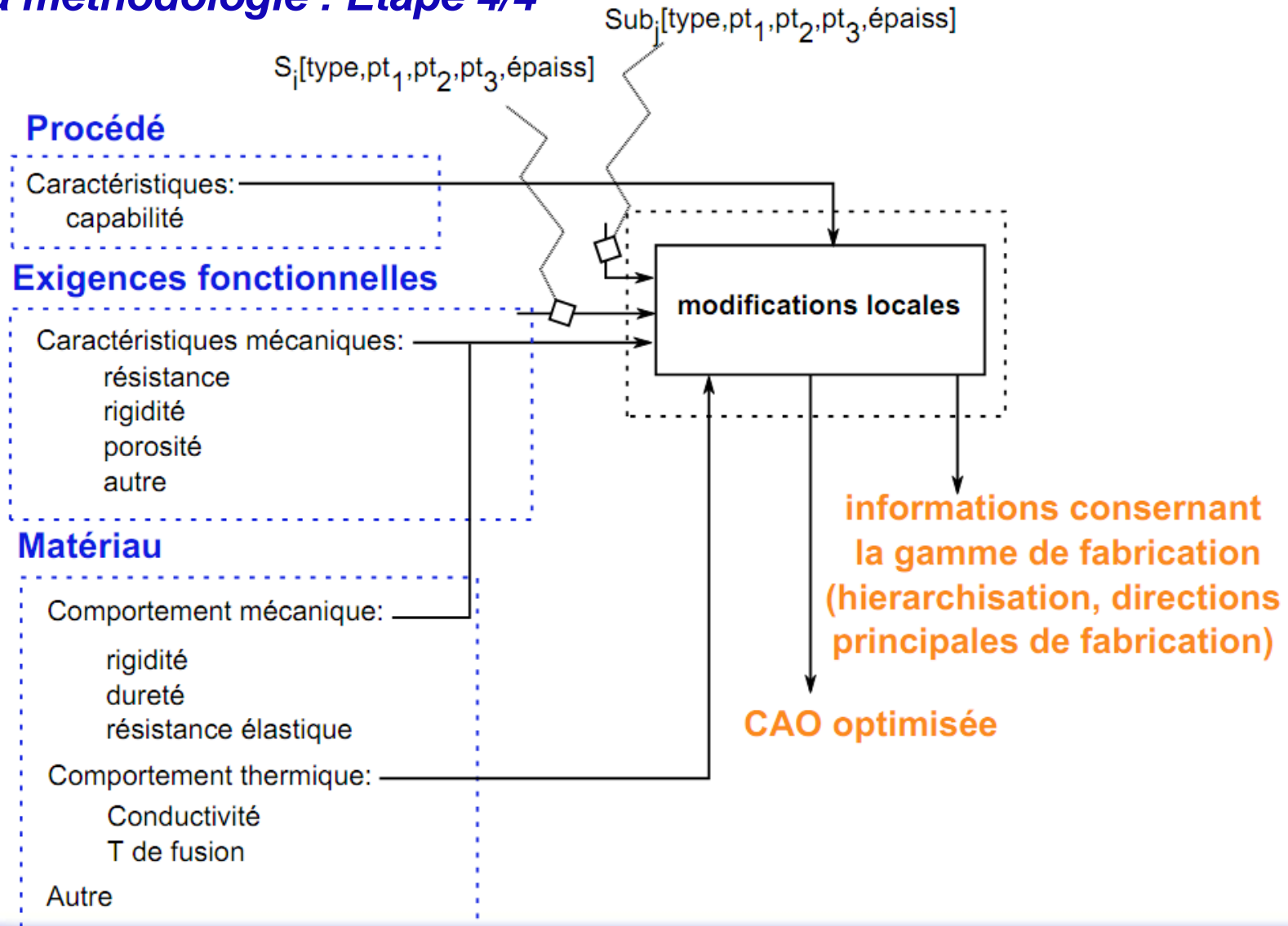
Comportement thermique:

Conductivité
T de fusion

Autre



La méthodologie : Etape 4/4



La méthodologie :

Procédé

Type: _____
 lit de poudre
 projection de poudre 3 axes
 projection de poudre 5 axes
 dépôt de fil

Dimensions:
 maximales _____
 minimales _____

Caractéristiques:
 capacité _____

Type de parachèvement _____

Exigences fonctionnelles

Surfaces fonctionnelles:
 spécifications dimensionnelles
 spécifications géométriques
 état de surface

nature
 dimensions
 positions et orientations

Caractéristiques mécaniques:
 résistance
 rigidité
 porosité
 autre

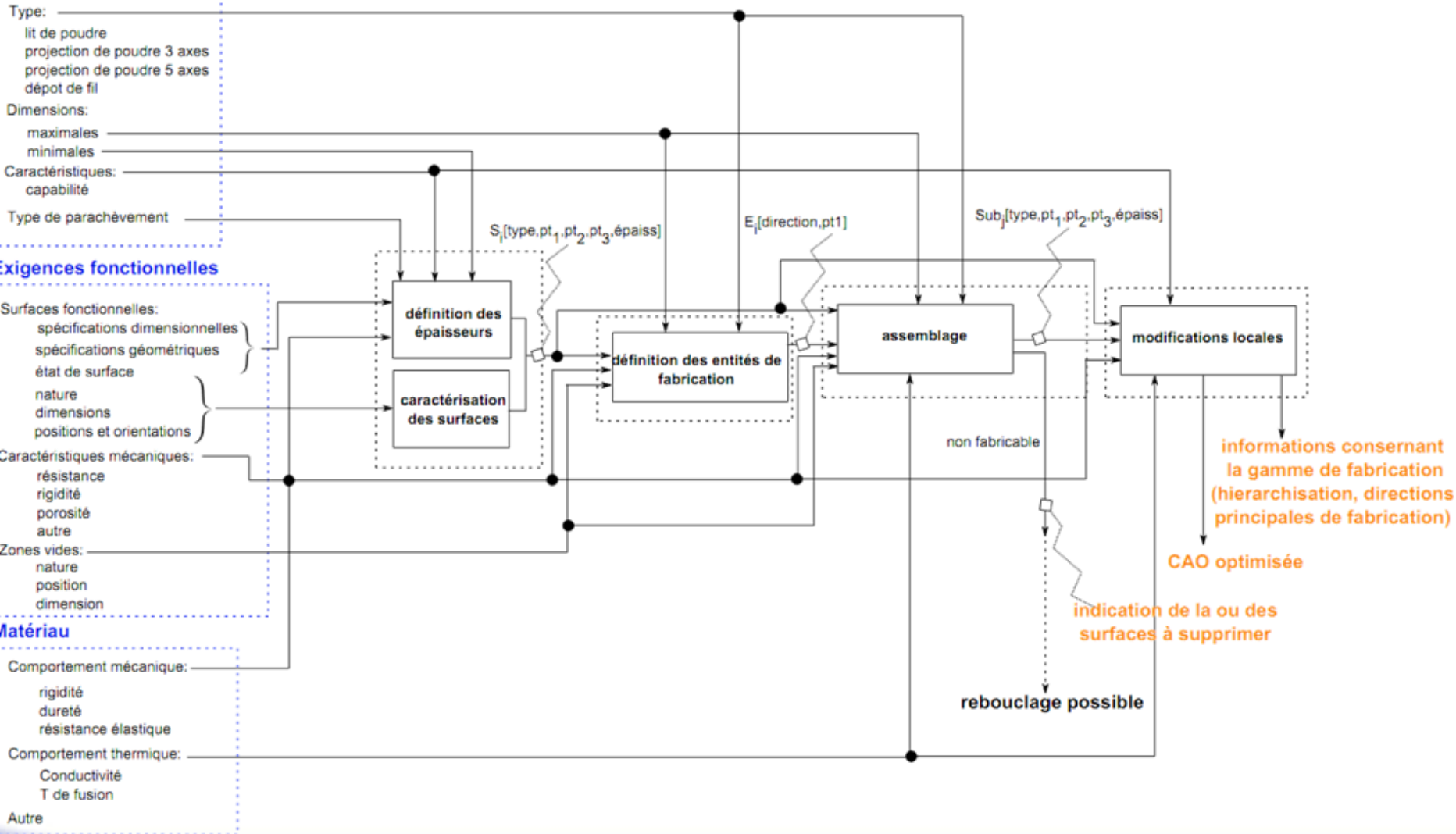
Zones vides:
 nature
 position
 dimension

Matériau

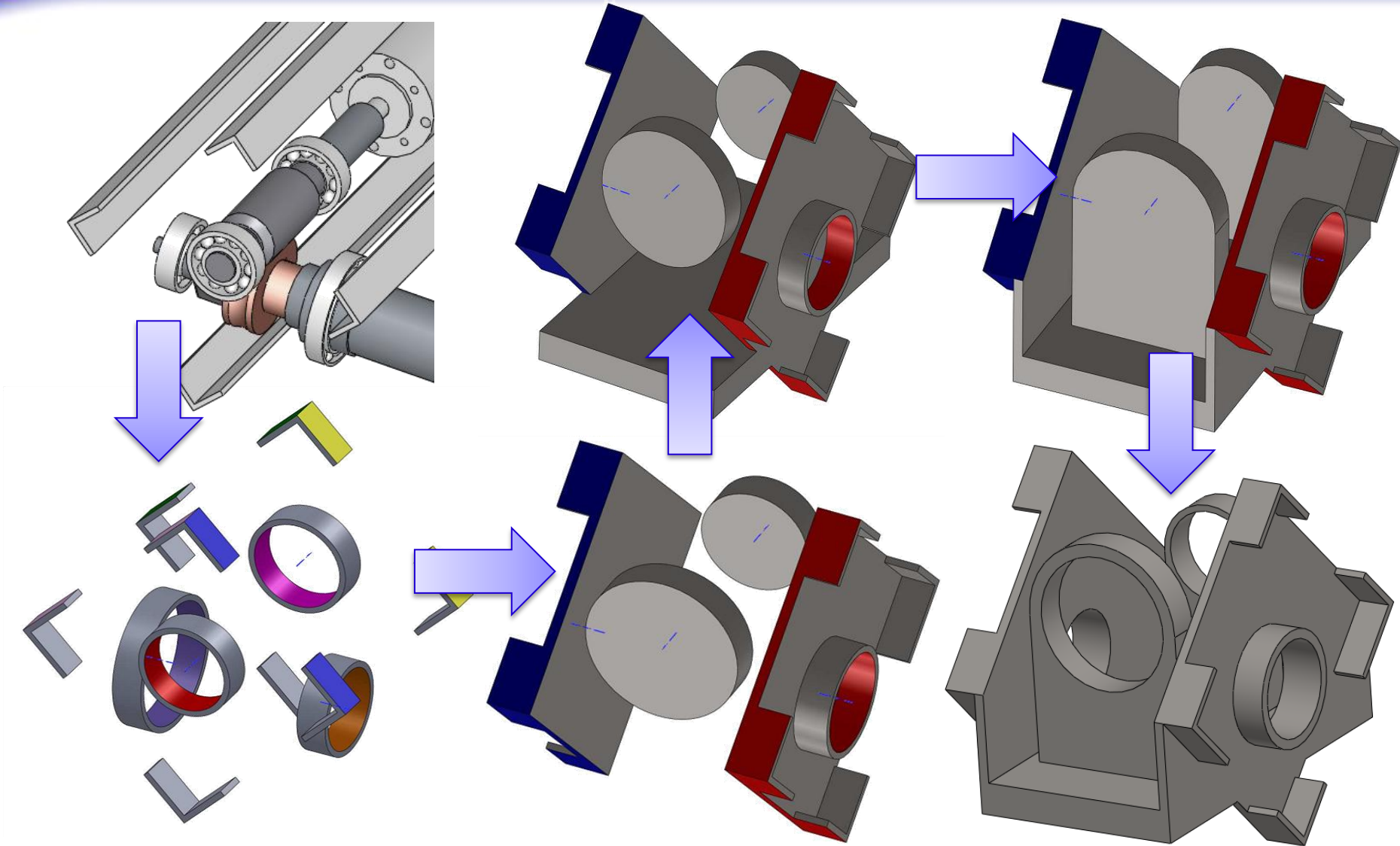
Comportement mécanique:
 rigidité
 dureté
 résistance élastique

Comportement thermique:
 Conductivité
 T de fusion

Autre _____



Travaux de thèse



● *Perspectives :*

- Optimiser les formes créées
 - Intégrer le dimensionnement mécanique
 - Définir des contraintes « mathématiques » liées au procédés
 - Prendre en compte les stratégies de fabrication
 - Prendre en compte les procédés de parachèvement
- Intégrer la prévision des phénomènes multi-physiques
 - Simulation thermique et thermomécanique

● *Communication à venir :*

