

Fabrication Additive Métaux Opportunités et technologie

Restitution analyse bibliographique INSA-NAE
Comité RTI NAE, atelier Fabrication Additive
Caen, 30 juin 2015

Contacts :

Fabrice Barbe (orateur), INSA Rouen, GPM, Fabrice.Barbe@insa-rouen.fr
Thomas Breteau, INSA Rouen, CCU, Thomas.Breteau@insa-rouen.fr

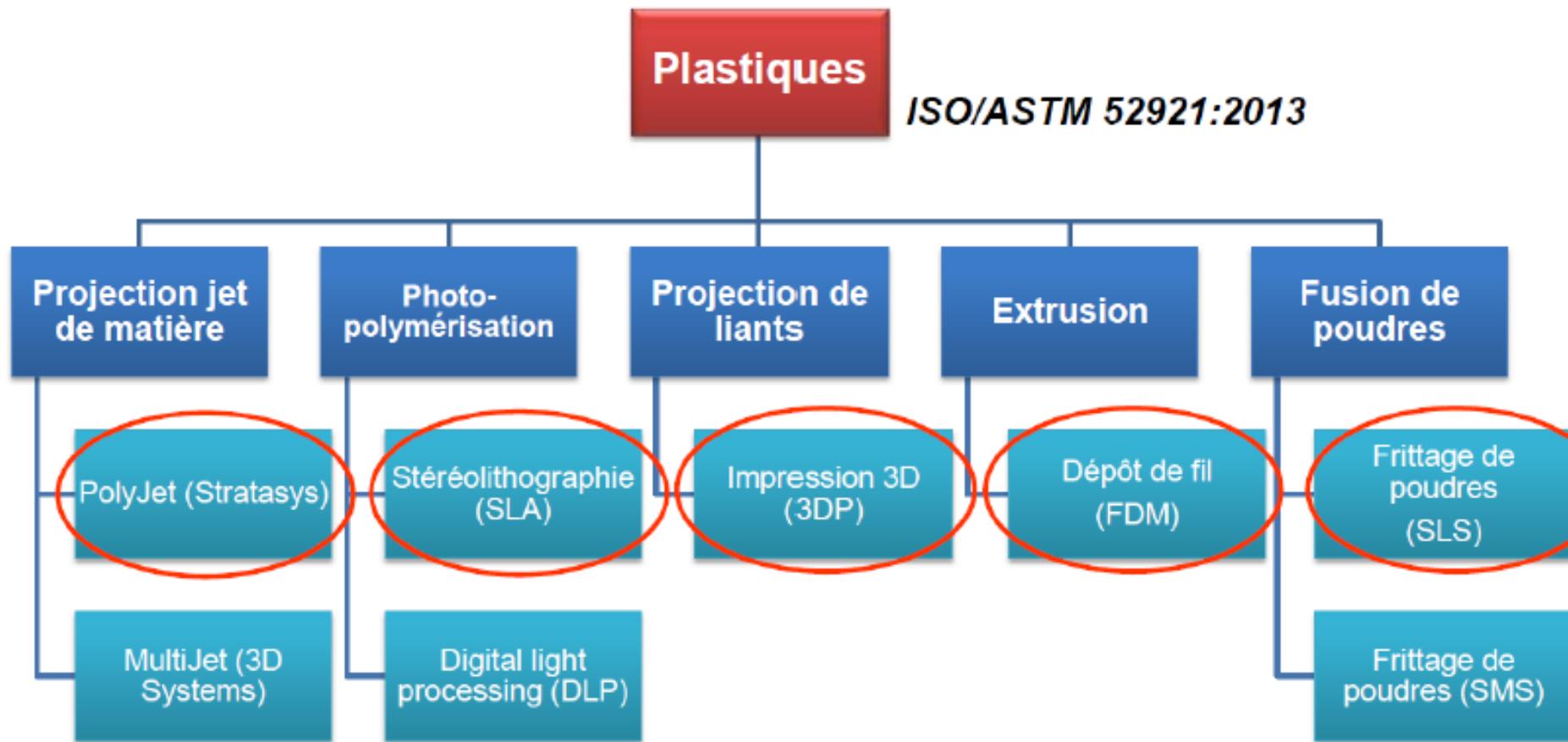
Pourquoi la FA ?

1. Géométries complexes, irréalisables autrement
2. Gain de productivité et de coûts de production
3. On conçoit et on réalise simultanément la pièce et le matériau qui la constitue

Plan

1. FA Polymères
 - Technos
2. FA Métaux
 - Lit de poudre
 - Techno, constructeurs, SWOT
 - Projection de poudre
 - Techno, constructeurs, SWOT
3. Analyse économique et environnementale
4. Bilan

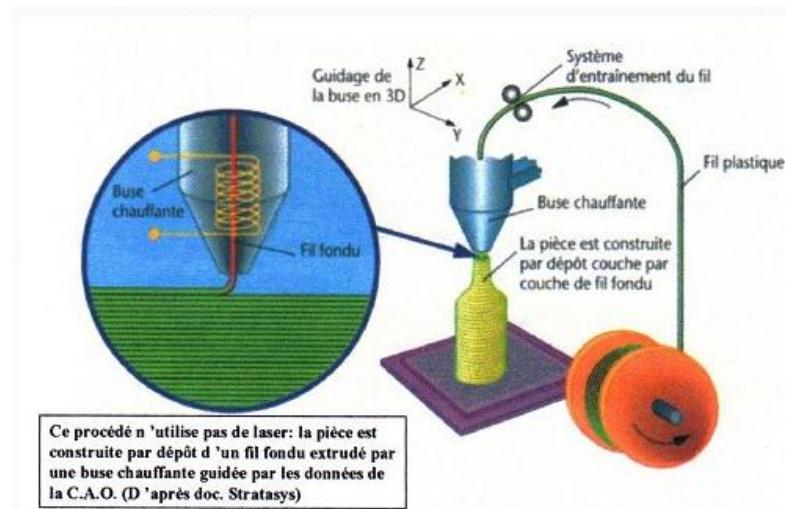
Les technos FA Polymères



Dépôt de Fil fondu

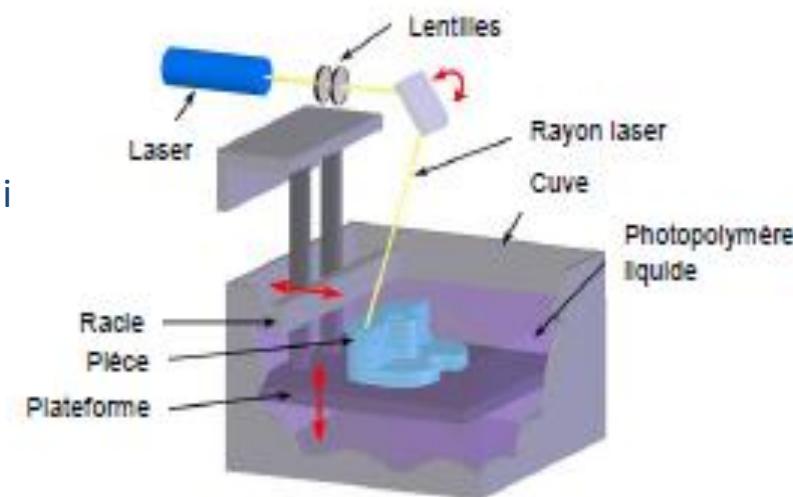
Fused Deposition Modelling

- **Fab. Additive**
 - Fil fondu
 - Stérolithographie
 - Lit de poudre
 - Projection
 - Rechargement
 - Analyse Eco.
 - Impact env.
- * Fil plastique en bobine
 - * Buse chauffante
 - * Dépôt par couche



Stéréolithographie (SLA)

- **Fab. Additive**
 - Fil fondu
 - Stéréolithographie
 - Lit de poudre
 - Projection
 - Rechargement
 - Analyse Eco.
 - Impact env.
- * Matière liquide dans une cuve, polymère ou résine photosensible
 - * Laser ou rayonnement UV qui vient polymériser une résine
 - * Post-traitement au four
 - * Excellente finition mais mauvaise résistance aux UV

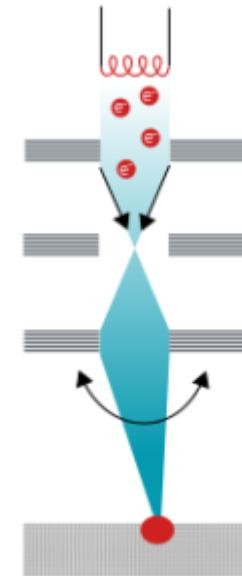


Nom Anglais	Nom Français	Matériaux		Principe
		Matières	Etat	
Selective Laser Melting/Sintering (SLM/SLS)	Fusion/Frittage laser sur lit de poudre	Métaux, poly-mères, céramiques	Poudre	Un laser ou un faisceau d'électrons vient fondre ou friter une couche fine d'un matériau poudreux. Une seconde couche est ensuite déposée puis fondu/frittée.
Laser Metal Deposition (LMD)	Fusion/Frittage laser par projection de poudre	Métaux	Poudre	Un laser vient fondre la surface métallique de la pièce sur laquelle est simultanément projeté un jet de poudre. Cette poudre fond et forme une couche qui fusionne avec le substrat.

Fusion sur Lit de poudre par Faisceau d'électrons

Electron Beam Melting

- Fab. Additive
 - **Lit de poudre**
 - Technologie
 - Géométrie
 - Constructeurs
 - SWOT
 - Projection
 - Rechargement
 - Analyse Eco.
 - Impact env.
- * Frittage différent de la fusion, permet d'obtenir des propriétés différentes
 - * Utilisation d'un faisceau d'électrons à la place du laser
 - * Matériaux conducteurs
 - * Possibilité de séparer le faisceau d'électrons pour augmenter la vitesse du procédé



Lit de poudre - Géométrie

- Fab. Additive
 - **Lit de poudre**
 - Technologie
 - Géométrie
 - Constructeurs
 - SWOT
 - Projection
 - Rechargement
 - Analyse Eco.
 - Impact env.
- * Géométries extrêmement complexes
 - * Poudre non frittée sert de support pour les formes en contre-dépouille
 - * Nécessité d'avoir une surface plane
 - * Anisotropie dans le sens de la construction



Lit de poudre - Constructeurs

- Fab. Additive
- **Lit de poudre**
 - Technologie
 - Géométrie
 - **Constructeurs**
 - SWOT
- Projection
- Rechargement
- Analyse Eco.
- Impact env.

Fabricant	Machine	Dimensions de la zone de travail (mm ³)
Arcam	Arcam Q10	200*200*180
	Arcam Q20	φ350*380
	Arcam A2X	200*200*380
3D Systems	ProX 100	100*100*80
	ProX 200	140*140*100
	ProX 300	250*250*300
	ProX 400	500*500*500
EOS	EOSINT M280	250*250*325
	EOSINT M290	250*250*325
	EOS 400	400*400*400
	PRECIOUS M 080	φ80*100
	SLM 125 HL	125*125*125
SLM Solutions	SLM 280 HL	280*280*350
	SLM 500 HL	500*280*325

Lit de poudre - SWOT

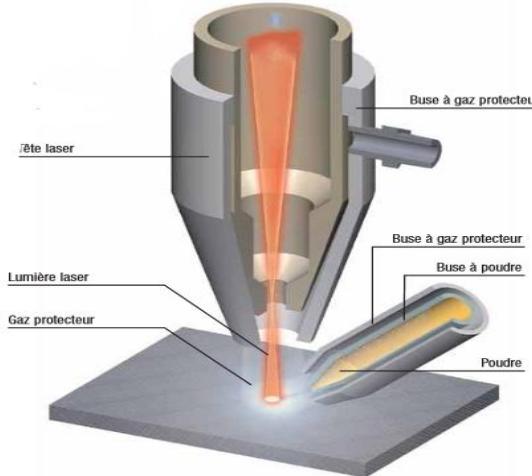
- **Fab. Additive**
- **Lit de poudre**
 - Technologie
 - Géométrie
 - Constructeurs
 - **SWOT**
- **Projection**
- **Rechargement**
- **Analyse Eco.**
- **Impact env.**

<p>Forces</p> <p>Géométrie de pièces complexes</p> <p>Rapidité d'exécution grâce au multi-lasers</p> <p>Machines moins chères que pour la projection de poudre</p>	<p>Faiblesses</p> <p>Technologies relativement récentes</p> <p>Inadapté aux grandes séries actuellement</p> <p>Nécessité d'avoir un support plan</p> <p>Gestion de l'anisotropie et des contraintes internes par TTH</p>
<p>Opportunités</p> <p>Nouvelles possibilités de fabrication</p> <p>réalisation de pièce impossible en usinage traditionnel</p> <p>→ nouvelles opportunités de conception</p> <p>Variation continue de propriétés fonctionnelles</p>	<p>Menaces</p> <p>Obsolescence rapide des machines dûe aux développements de nouvelles technologies</p> <p>Qualification des performances des pièces en fonctionnement réel</p>

Projection de poudre - Technologie LMD

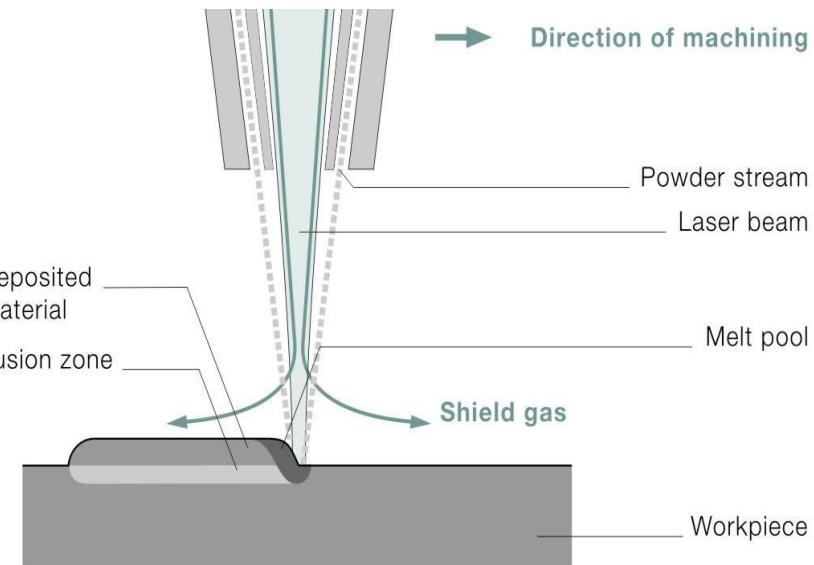
- Fusion de la surface d'une pièce métallique
- Projection d'un jet de poudre

- Fab. Additive
- Lit de poudre
- **Projection**
 - Technologie
 - Géométrie
 - Constructeurs
 - SWOT
- Rechargement
- Analyse Eco.
- Impact env.



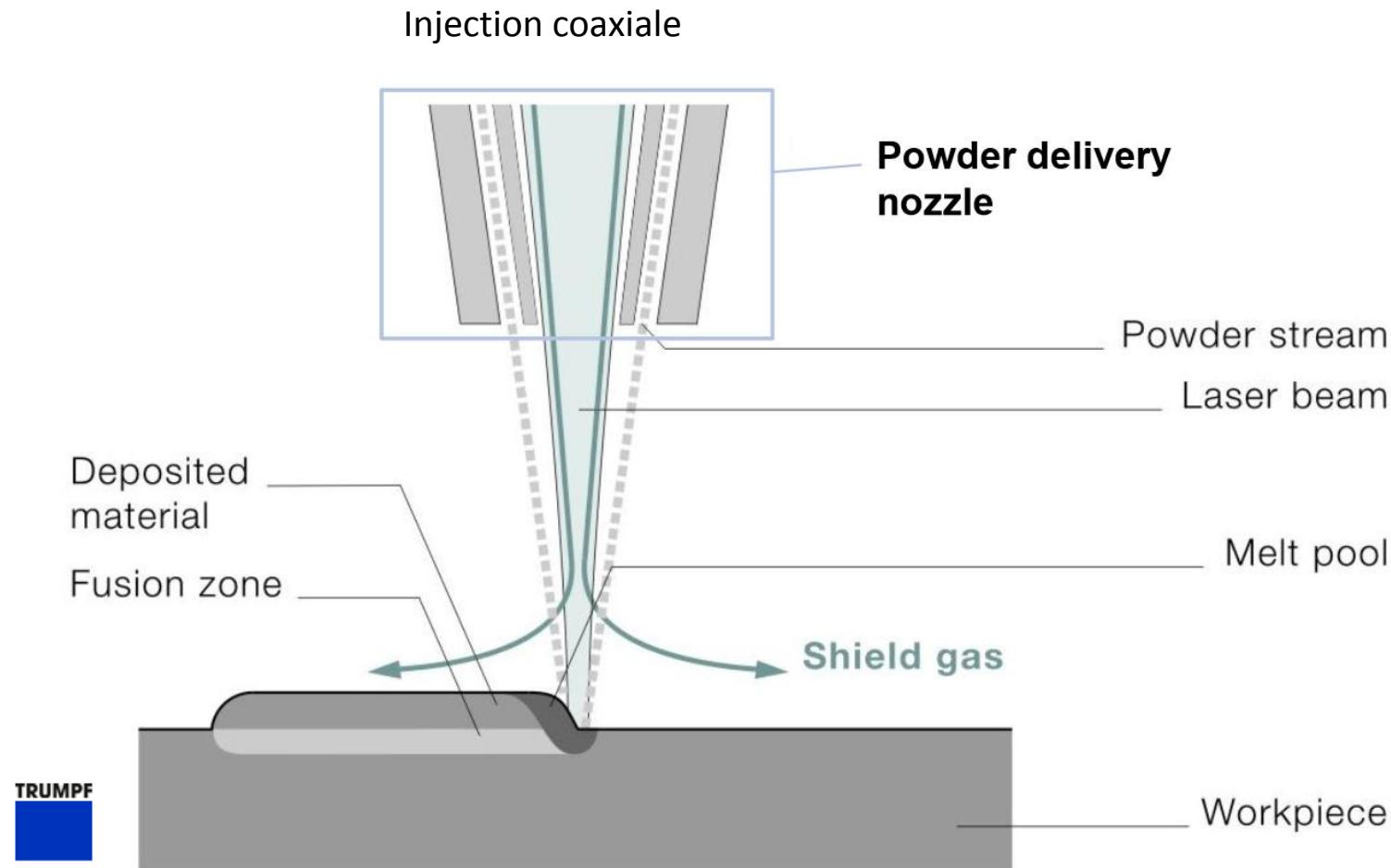
- Injection latérale

- Injection coaxiale



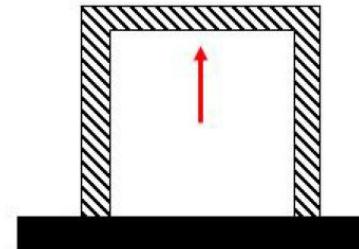
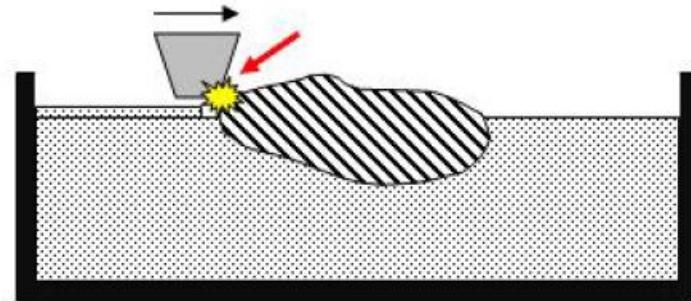
Projection de poudre - Technologie LMD

- Fab. Additive
- Lit de poudre
- **Projection**
 - **Technologie**
 - Géométrie
 - Constructeurs
 - SWOT
- Rechargement
- Analyse Eco.
- Impact env.



Projection de poudre - Géométrie

- Fab. Additive
 - Lit de poudre
 - **Projection**
 - Technologie
 - **Géométrie**
 - Constructeurs
 - SWOT
 - Rechargement
 - Analyse Eco.
 - Impact env.
- Machine 3 ou 5 axes
 - Support non plan
 - Géométries impossibles



Projection de poudre - Constructeurs

- Fab. Additive
- Lit de poudre
- **Projection**
 - Technologie
 - Géométrie
 - **Constructeurs**
 - SWOT
- Rechargement
- Analyse Eco.
- Impact env.

Fabricant	Machine	Dimensions de la zone de travail (mm ³)
BeAM	Mobile CLAD	400*250*200
	CLAD Unit Q20	1000*700*700
	MAGIC	1500*800*800
Optomec	LENS 450	100*100*100
	LENS MR-7	300*300*300
	LENS 850-R	900*1500*900
DMG Mori Seiki	LASERTEC 65 3D	650*650*560
	NT 4300	φ650*360 à 1000
Trumpf	TruLaser Cell 7006	650*1500*750
	TruLaser Cell 7020	2000*1500*750
	TruLaser Cell 7040	4000*1500*750

Projection de poudre - SWOT

- Fab. Additive
- Lit de poudre
- **Projection**
 - Technologie
 - Géométrie
 - Constructeurs
 - **SWOT**
- Rechargement
- Analyse Eco.
- Impact env.

Forces	Faiblesses
<p>Géométrie de pièces très complexes</p> <p>Ajout de formes sur support complexe</p> <p>Gain de temps pour des formes complexes</p> <p>Anisotropie réduite</p>	<p>Technologies relativement récentes</p> <p>Inadapté aux grandes séries actuellement</p> <p>Géométries impossibles à réaliser (murs horizontaux)</p> <p>Coût d'investissement élevé</p>
Opportunités	Menaces
<p>Nouvelles possibilités de réalisations</p> <p>Réalisation de pièce impossible en usinage traditionnel</p> <p>→ nouvelles opportunités de conception</p> <p>Variation continue de propriétés fonctionnelles</p>	<p>Obsolescence des machines dûe aux développements de nouvelles technologies</p> <p>Qualification des performances des pièces en fonctionnement réel</p>

Analyse économique FAM

- Fab. Additive
- Lit de poudre
- Projection
- Rechargement
- **Analyse Eco.**
 - * Lit de poudre
 - * Projection
- Impact env.

Informations de Arcam

- Investissement machine
 - Arcam Q10 : 625 k€
 - Arcam Q20 : 850 k€
 - Arcam A2X : 775 k€
- Matière
 - Poudre de titane : 185 €/kg
- Consommable machine
- Autres consommables
- Opérateurs

Informations de Beam et Multistation

- * Investissement machine
 - * Beam:
 - * Magic: 1,2 à 1,6 M€
 - * CLADUnit : 700 à 1,2 M€
 - * MobileCLAD : 350 à 700 k€
 - * Optomec:
 - * Lens 450 : 400 à 450 k\$
 - * MR-7: 900 k\$
 - * Lens 850 : 1,6 M\$
 - * Print engine : 200 k\$
 - * Matière
 - * Inox 316L (env. 30 €/Kg)
 - * Inconel 718 (env. 80 €/Kg)
 - * Titane TA6V (env. 320 \$/Kg)
 - * Consommable machine :
Environ 15 000 €/an (lentilles, pièces d'usure)
 - * Autres consommables
 - * Gaz, Electricité, poudres, ...
 - * Opérateurs
 - * Temps de programmation et de fabrication

Impact environnemental FAM

- Fab. Additive * Gain de matière (LMB)
- Lit de poudre * Conception optimisée
- Projection * Réutilisation de la poudre non transformée
- Rechargement
- Analyse Eco.
- **Impact env.** * Possibilité de réparer des pièces, on évite du gâchis



Impact environnemental FAM LBM

Exemple hélice

- Fab. Additive
 - Lit de poudre
 - Projection
 - Rechargement
 - Analyse Eco.
 - Impact env.
- Hélice à 3 pales
 - Diamètre de base : 80 mm
 - Diamètre au sommet: 125 mm
 - Série de 100 pièces



	Usinage classique	Procédé CLAD
Coût rechargement (€)	0	106
Coût fraisage (€)	175	30
Coût pièce finie	326,50	137,50
Temps de rechargement	0	15 min
Temps d'usinage	3h30	30min
Temps pièce finie	3h30	45min

Lit de Poudre vs Projection de poudre

	Fusion/Frittage lit de poudre	Fusion/Frittage projection de poudre
Géométrie par construction ex nihilo	XXX	XX
Géométrie par ajout de forme	X	XXX
Complexité des pièces	XXX	XXX
Diversités des matériaux	XX	XX
Propriétés mécaniques	XXX	XXX
Textures	X	X
Consommation de poudres	€ € €	€ €
Prix des machines	€ €	€ € €

Légende : X=pas adapté ou peu performant

XXX=très adapté ou très performant

SWOT FAM

Forces

Géométrie de pièces très complexes

Technologie innovante

Gain de temps pour des formes complexes et petites séries

Opportunités

Nouvelles possibilités de réalisations

Réalisation de pièce impossible en usinage traditionnel

→ nouvelles opportunités de conception

Variation continue de propriétés fonctionnelles

Faiblesses

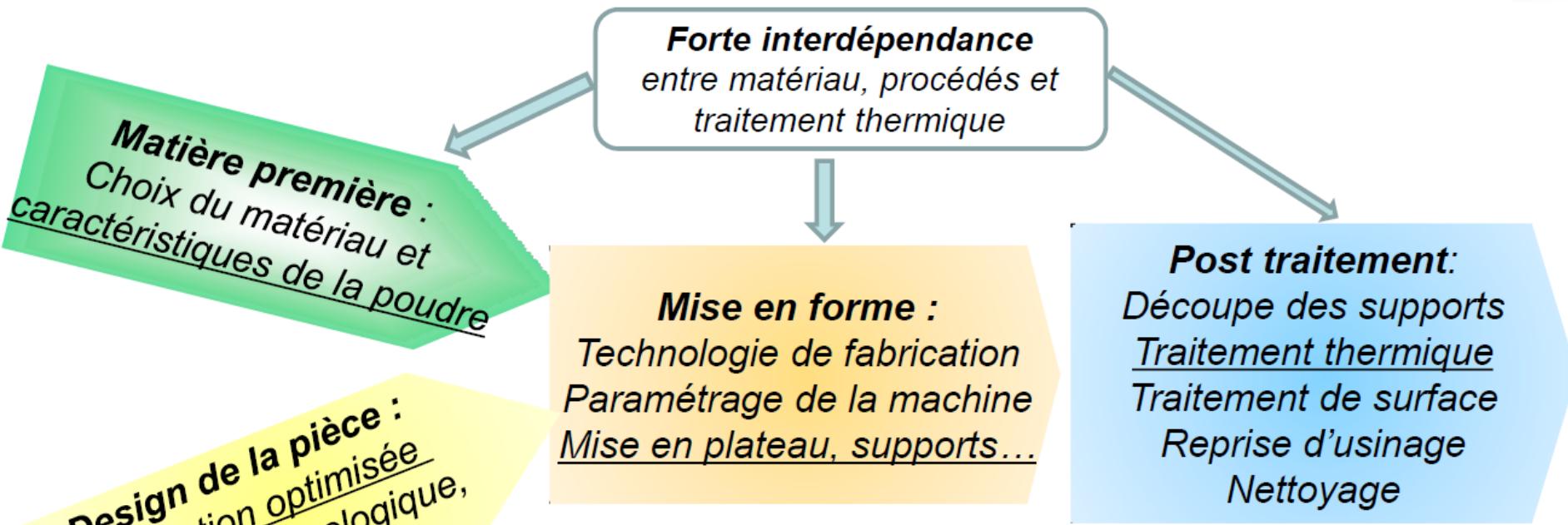
Technologies relativement récentes
Inadapté à la production en grandes séries actuellement

Menaces

Obsolescence des machines dûe aux développements de nouvelles technologies

Qualification des performances des pièces en fonctionnement réel

FA → Interactions de domaines de compétences



Impacts sur l'organisation de l'entreprise de production :

Logistique : stock, délais, lieux de production

Interdépendance entre conception et fabrication

Nouvelles frontières entre MO, concepteur, fabricant

Numérisation totale de la chaîne d'informations

Nouveaux profils et compétences du personnel