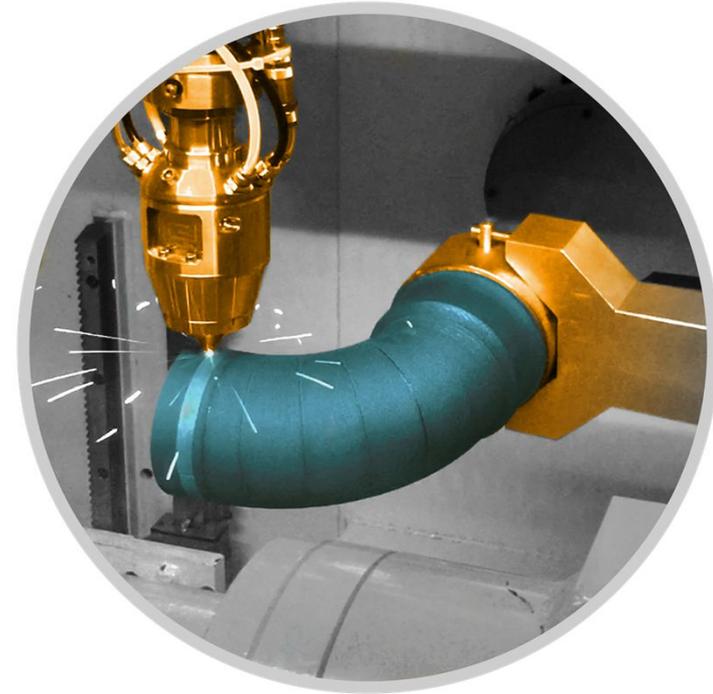
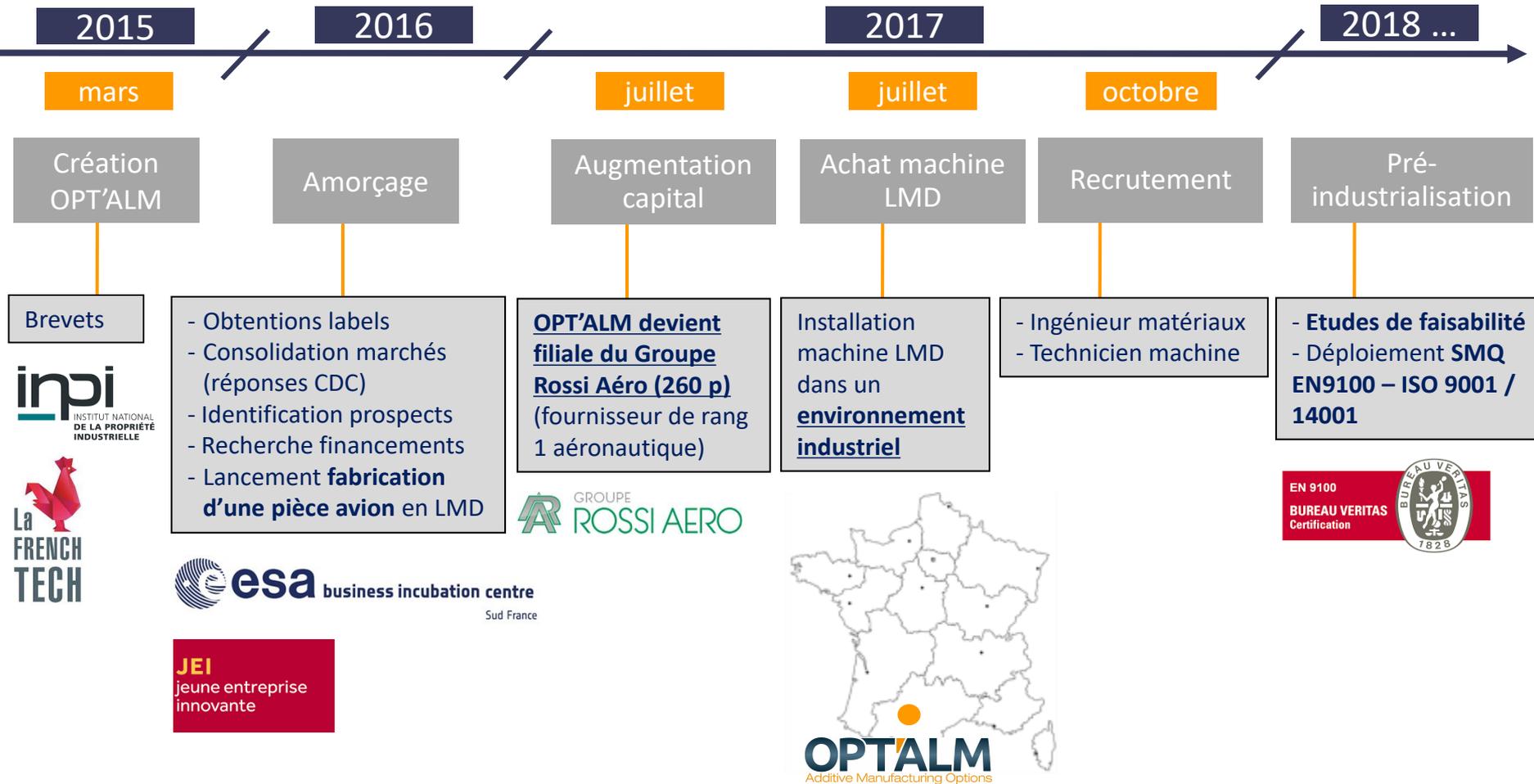


Fabrication / Réparation
Additive Métal
-
Procédé LMD
Laser Metal Deposit



17.10.2018

Présentation séminaire CNRS

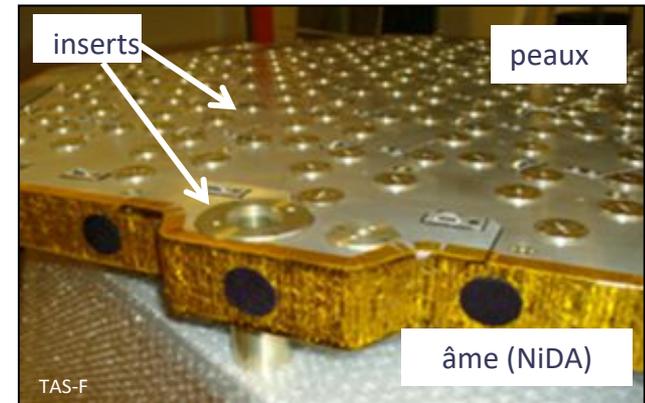


- **La maturité « industrielle »** du Groupe Rossi Aéro permet à **OPT'ALM** d'introduire ses innovations en phase de **production**,
- Et de **livrer une pièce finie** selon les **standards qualité clients**.

Le Brevet : procédé de **conception** et de **fabrication de structures anisotropes** de type sandwich, fonctionnalisées mécanique et thermique.

Problèmes avérés lors de la production des panneaux sandwich équipés.

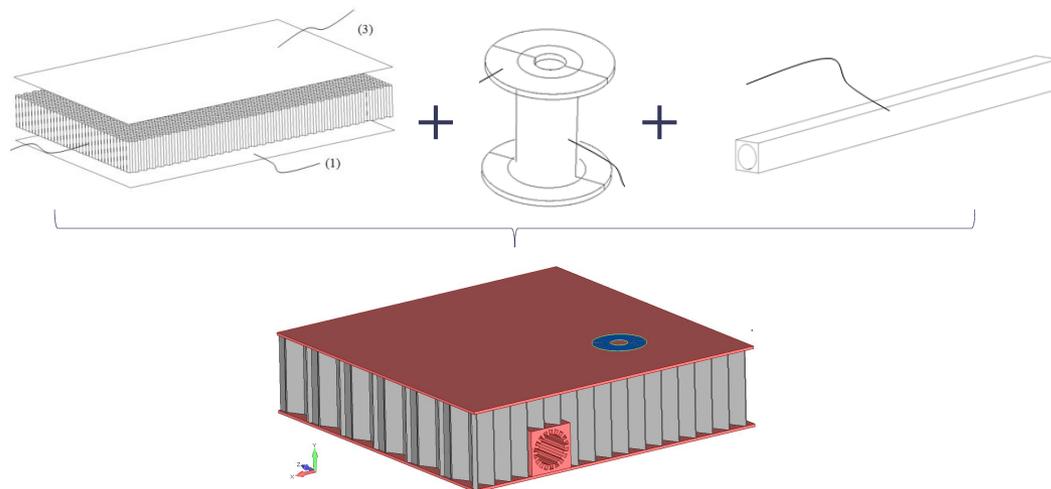
- Opérations longues et manuelles,
- Moyens lourds, Non conformités,
- Délais très longs,
- Très cher : $1m^2 \approx 50 \text{ k€}$.



Variation des pourcentages métallurgiques en cours de fabrication afin d'obtenir des multi matériaux inédits.

Repenser les structures sandwich à l'aide de la fabrication additive

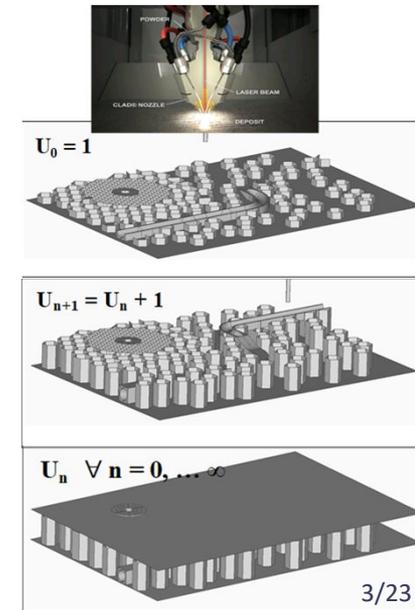
Avant : plusieurs assemblages de composants



Maintenant

- 1 seule opération
- Meilleure :
 - qualité,
 - reproductibilité,
 - performance

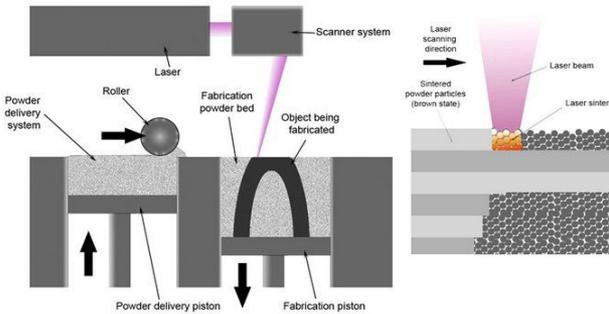
FUNCTIONNALISATION



- Les technologies METAL -

Fusion sur lit de poudre

- Selective Laser Melting (SLM)
- Electron Beam Melting (EBM)



- Pièce 300 x 300 x 300 mm,
- Beaucoup de détails géométriques,
- « Bon » état de surface
- Lent et plan.

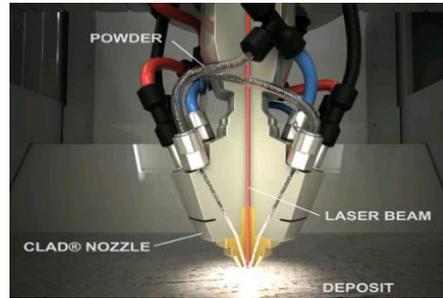


OPTALM

Additive Manufacturing Options

Dépôt de métal en fusion (poudre)

- Directed Energy Deposition (DED)
- Construction Laser Additive Directe (CLAD)
- Laser Metal Deposition (LMD)

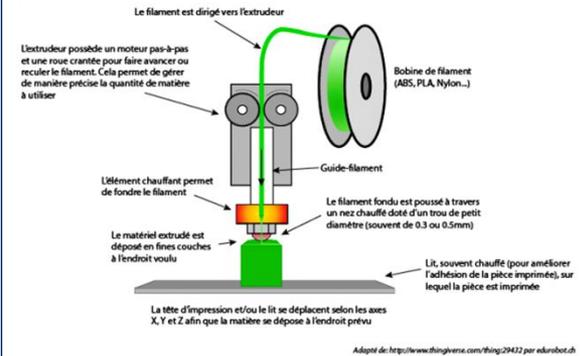


- Pièce 800 x 800 x 1200 ≈ 1 m³ (configuration « MAGIC »)
- Construction en 5 axes continus
- Pièce sans support construites en 3D,
- Ajout de formes et de fonctionnalités,
- Réparation.

Dépôt de fils

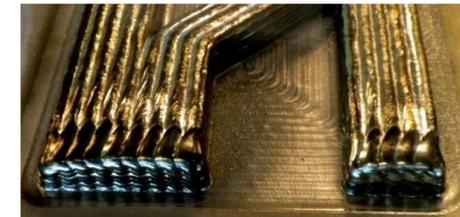
- Fused Filament Fabrication (FFF)

Principe de fonctionnement d'une imprimante 3D FFF (Fused Filament Fabrication)



- Très forte énergie (laser de très forte puissance)
- forte déformation pièces / substrats

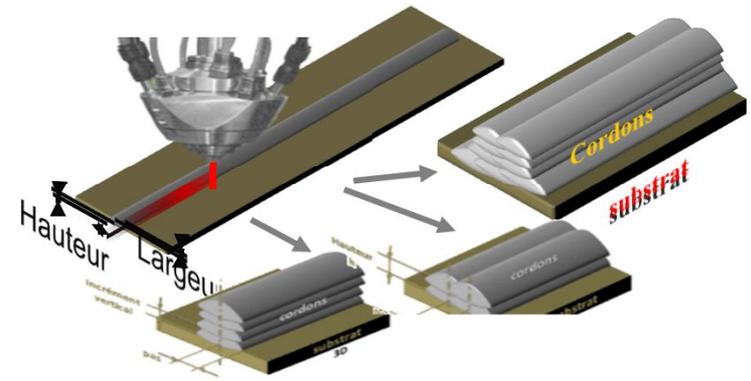
- Préparation de bruts d'usage
- Pièce > 1000 x 1000 x 1000,
- Rapide et plan.



- Description procédé LMD -

Le principe :

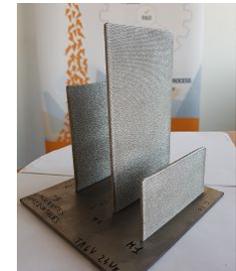
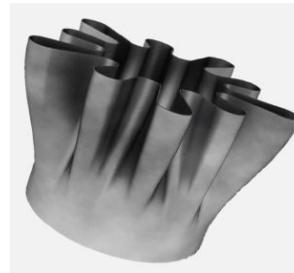
- Injection de poudres dans un faisceau laser focalisé
- Fusion des poudres
- Dépôt localisé des poudres fondues sur un substrat
- Empilage des couches



Applications :

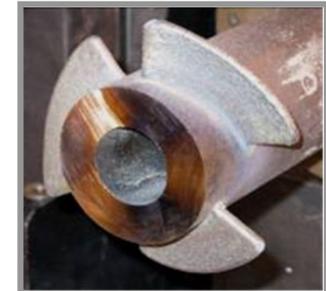
❖ Fabrication directe 3D

- Ex : Profils évolutifs, Matériau : Ti-6AL-4V, H =100 mm



❖ Ajout de formes et de fonctionnalités

- Ex : Ajout de pales sur un tube de $\varnothing_{80\text{mm}}$,
Matériau : Inox 3616L,
L = 5mm et H=20mm,



❖ Réparation

- Ex : Réparation de lèvres usées sur pièces d'étanchéité moteur
Matériaux : Alliage Titane
5 cycles de réparation possibles (durée de vie de la pièce multipliée par 6)



OPT'ALM dispose de moyens permettant de livrer un **produit fini** selon les **standards qualité** clients.

• **OPT'ALM** → machine LMD - configuration « MODULO » :

- Machine 5 axes continus
- Fibre laser 2 kW
- Atmosphère contrôlée : configuration avec un gaz inerte (< 40 ppm O2)
- Zone de dépôt de fusion : 500 mm x 500 x 500

Taux de dépôt (largeur)	0.8 à 2.4 mm
Précision	+/- 0.1 à 0.2 mm
Vitesse de construction (moy)	20 à 130 cm ³ /h
Rugosité	Ra de 7 à 20 µm



Même outillage

• **ROSSI Aéro** → Moyens « conventionnels » :

- Usinage (tournage / fraisage – 3/4/5 axes) : métaux durs
- Tôlerie : métaux durs
- Formage à froid
- Assemblages Complexes
- Outillage & équipement
- Contrôle tridimensionnel
- Ressuage

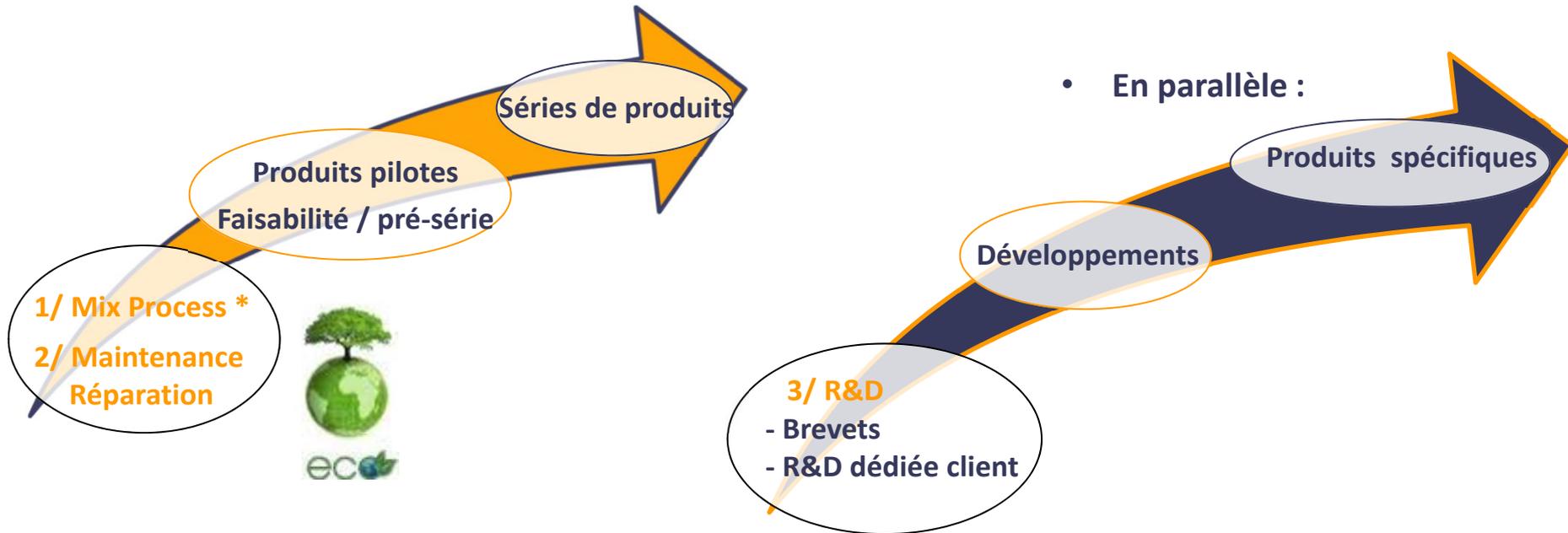


→ **Livraison produit fini**

- **OPT'ALM : Intégrateur de la technologie LMD dans le cycle de production**



- **Développement sur les marchés des pièces et des structures :**



- **Secteur d'activités ciblés**



- *** Mix Process : Ajout de formes et de fonctions sur des structures existantes**

• **Une offre intégrée : Expertise / conseil en Industrialisation & Production**

— **Etudes de faisabilité**

- Plan de développement et industrialisation

— **Adaptation design / fabrication**

- Du / des produit(s) pilote(s), **détermination des NRC / RC**,
- Projection coût série (quantité de 100 à 300 pièces /an) sur pièce finie.

Ingénierie

Design for manufacturing
Modification design
Optimisation design
Calculs méca/thermic

Préparation

Etude accès / trajectoires
« Produit pilote »
Validation process

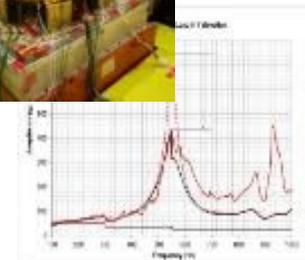
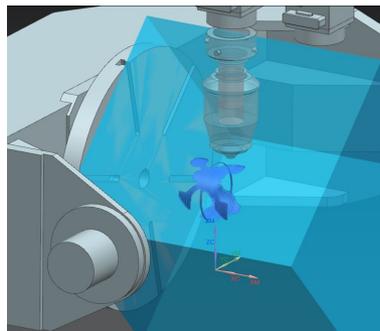
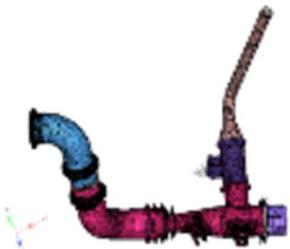
Production

Post-traitement

Traitements thermiques
Reprises usinage
Traitements surface

Contrôles / Essais

CND / CD
Contrôles 3Dim
Qualification process environnements



• **Les matériaux travaillés :**

Alliages Titane

Aciers Inox

bases Nickel

Bases cobalt

Aciers outillage

Ex: Fabrication d'un conduit soudé



Fabrication actuelle

5 pièces assemblées :

- 2 demies coquilles,
- 3 pièces tournées.



<u>Solution actuelle</u>	<u>Analyse Technico-économique</u>	<u>Alternative LMD</u>
	Matières Premières (poudre)	
	Substrat	
	Consommables	
	Total coût matériaux	
	Préparation + suivi	
	Fabrication pièce + échantillons	
	Total fabrication	
	Reprise d'usinage	
	Traitement thermique	
	Traitement de surface	
	Total post traitement	
	Contrôle Tridimensionnel	
	Ressuage	
	CND (μTX, analyse optique, ...)	
	CD (essais mécaniques, ...)	
	Total contrôles	

Alternatives LMD

(Réduction des phases d'assemblage)



Solution 1: construction complète

(solution retenue)



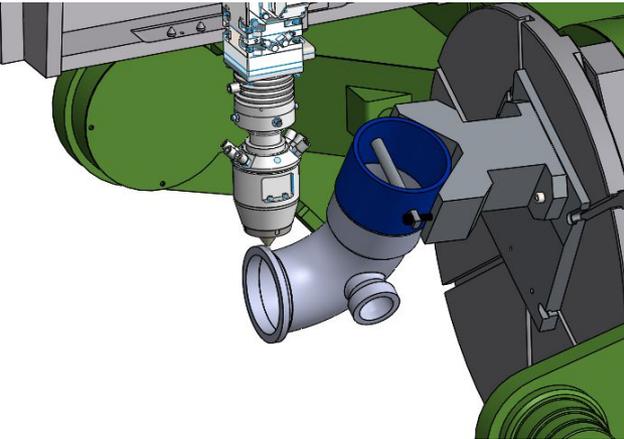
Solution 2 mix process, à partir d'un substrat issu d'un procédé « connu »



Solution 3 mix process, 2 fonctions sont ajoutées

→ **BILAN**

Ex: Fabrication d'un conduit soudé



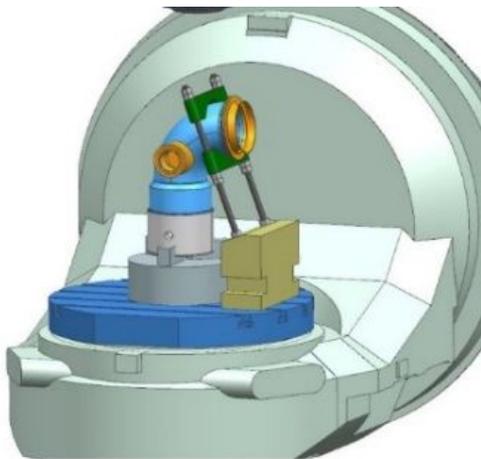
1/ CFAO pour l'Additive Manufacturing



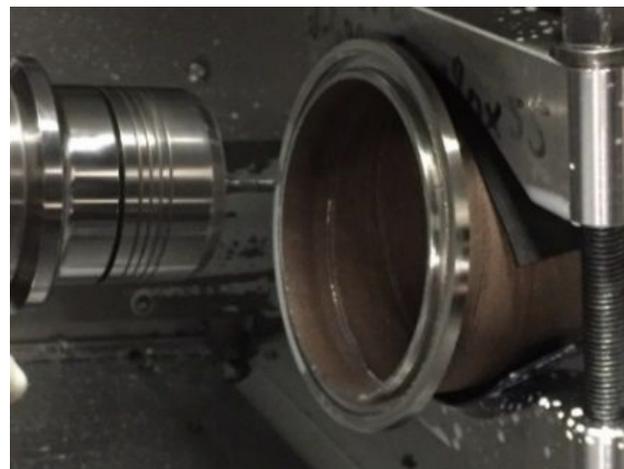
2/ Construction LMD



3/ Pièce « brute » LMD



4/ CFAO reprise d'usinage



5/ Reprise d'usinage (tour / fraisage)



6/ Pièce finie

Réparation (MRO) de pièces

- Proposition d'un **nouveau mode opératoire de réparation** :
 - Type d'endommagement ciblé : usure / corrosion / fissure / perforation



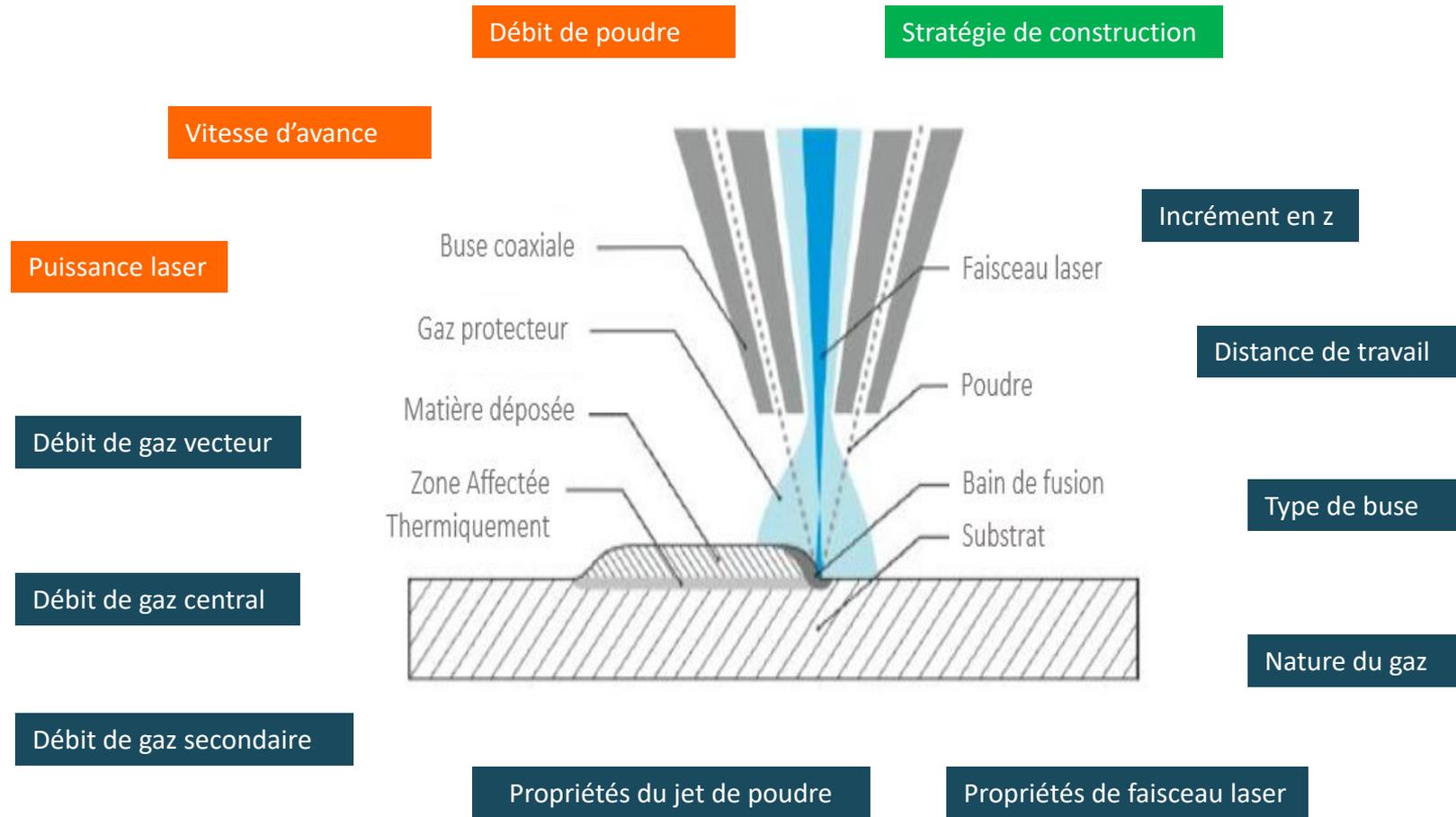
Fissure



Reconstruction d'une fonction perdue

- **OPT'ALM vise à identifier de nouvelles familles de pièces à réparer – avantages LMD** :
 - Réduction de l'impact thermique local (ZAT faible),
 - Automatisation du procédé (régularité du dépôt, meilleure reproductibilité).
- **L'objectif**
 - remettre rapidement en service les pièces réparées
 - **augmenter la robustesse** des réparations (rallonger la durée de vie)
 - accroître les intervalles d'inspection avion
- **Comment**
 - Mise en place d'une **chaîne numérique dédiée** (intégration du type d'endommagement dans l'outil CFAO)
 - Démontrer que le LMD répond aux problématiques de réparation et augmente la productivité :
 - En proposant des **standards** : modes opératoires, parachèvements, contrôles appropriés
 - Groupe ROSSI AERO/OPT'ALM démarrera **en 2018 une station PART 145** (maintenance aéronefs).

Paramètres du 1er et 2nd ordre → Procédé complexe



Paramètres 2nd ordre → configuration de travail

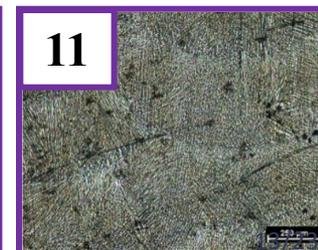
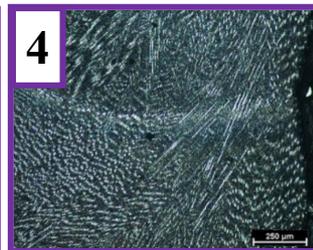
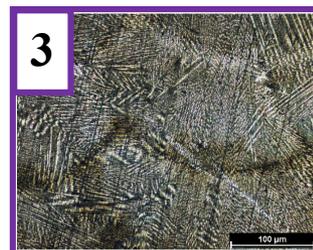
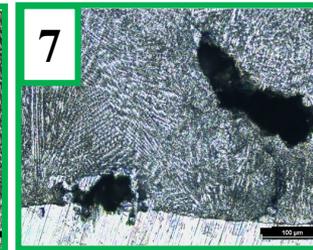
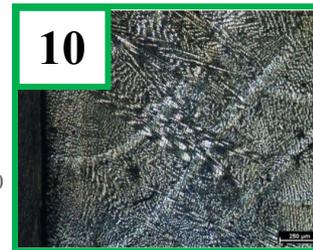
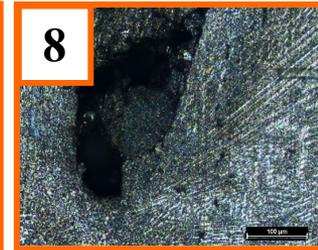
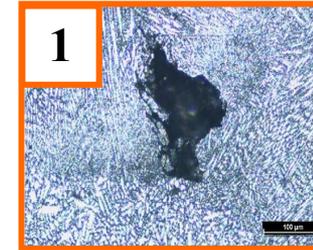
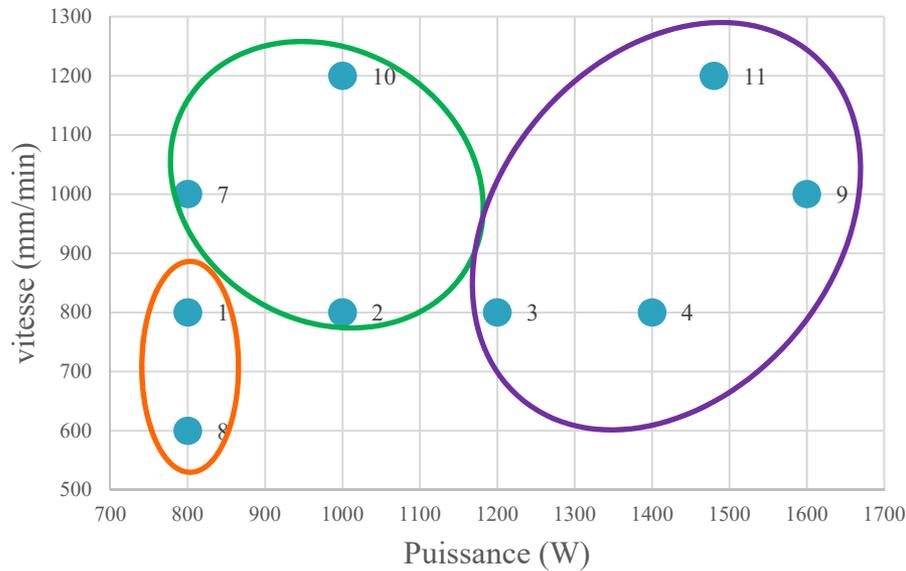
Paramètres 1^{er} ordre → changement métallurgique et géométrique de la pièce

Caractéristiques géométriques

- Etat de surface
- Hauteur du cordon

Caractéristiques métallurgiques

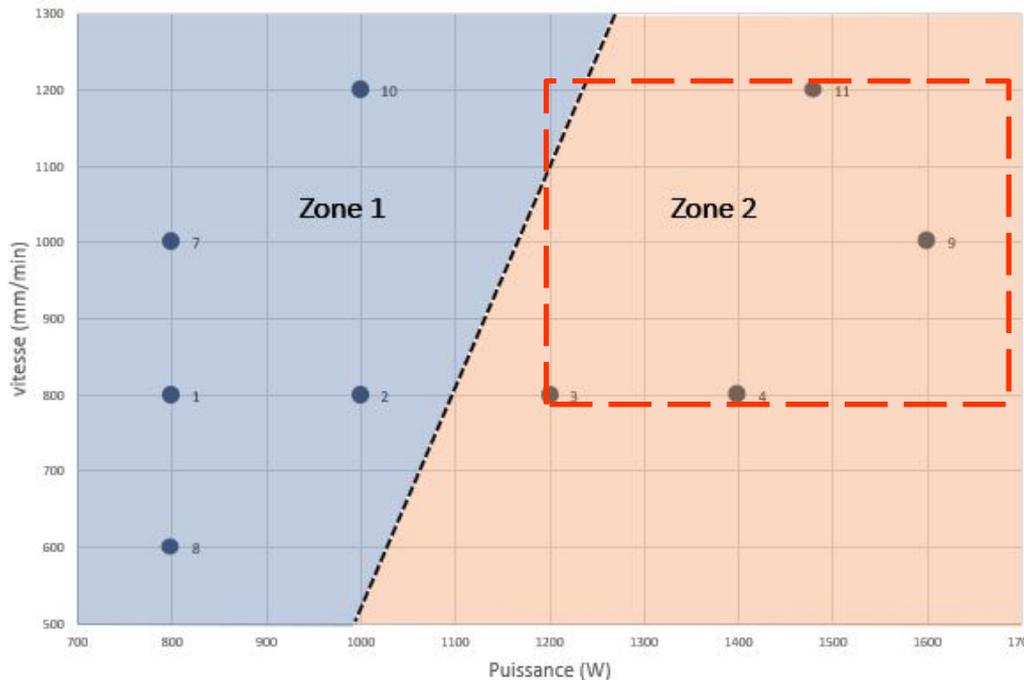
- Pas de porosité
- Cordons parallèles
- Cordons qui ne s'affaissent pas
- Microstructure fine, homogène et dendritique



Plan d'expérience : TAGUCHI

Démarche :

1. Définition de l'objectif à atteindre : **Maximiser le rendement de poudre déposée**
2. Détermination des paramètres à étudier et de leurs niveaux : **P, v, D et Δz**
3. Choix de la matrice d'expérience → **TAGUCHI L9**

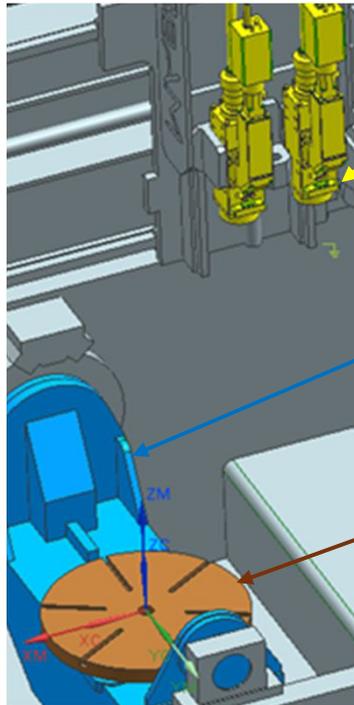


	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
P (W)	1200	1400	1600
V (mm/min)	800	1000	1200
D (g/min)	A définir		
Δz (mm)			

	P	v	D	Δz
1	1200	800		
2	1200	1000		
3	1200	1200		
4	1400	800		
5	1400	1000		
6	1400	1200		
7	1600	800		
8	1600	1000		
9	1600	1200		

Détermination des paramètres opératoires pour avoir une rendement maximal

Présentation de la machine



- **2 Porte-outils :**

3 translations

X de -475 à +340 mm

Y de -250 à +210 mm

Z de -25 à +460 mm

- **Berceau :**

1 rotation

B de -110° à +110°

- **Plateau (ou table) :** **1 rotation infinie**

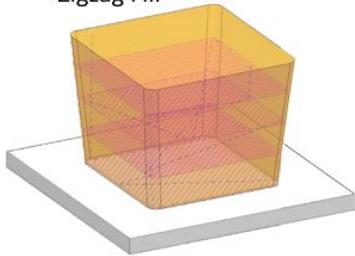
C de $-\infty$ à $+\infty$

- **Volume utile : ~ 500 x 500 x 500 mm**

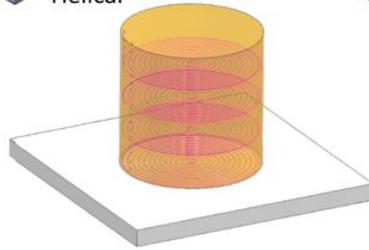
NX Multi-axis deposition



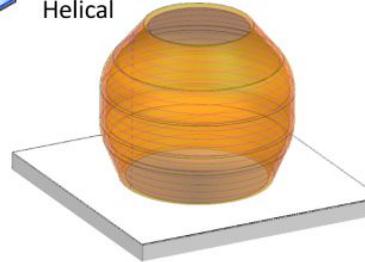
 Planar Additive Profile with Zigzag Fill



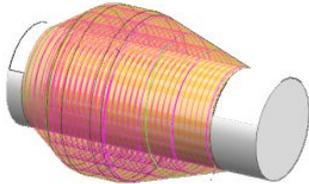
 Planar Additive Spiral Helical



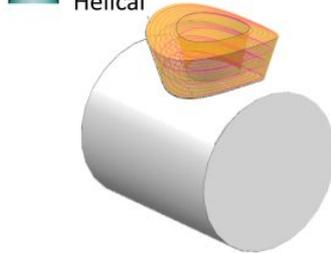
 Planar Additive Thin Wall Helical



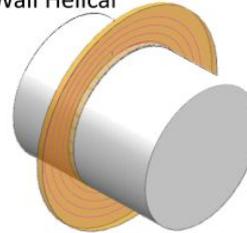
 Rotary Additive Helical Around Part



 Rotary Additive Spiral Helical



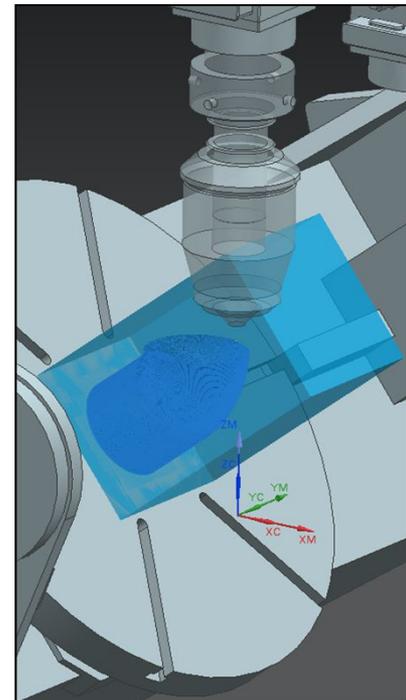
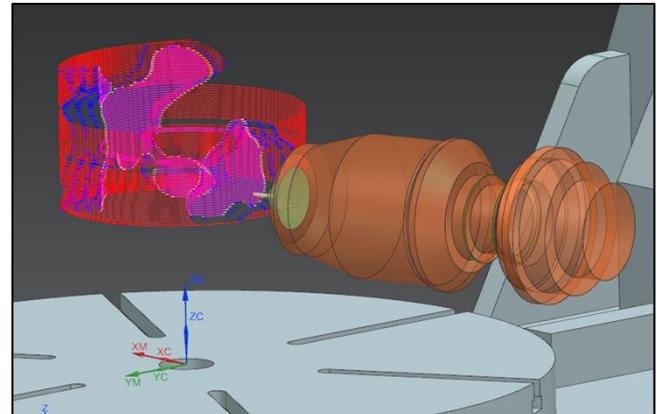
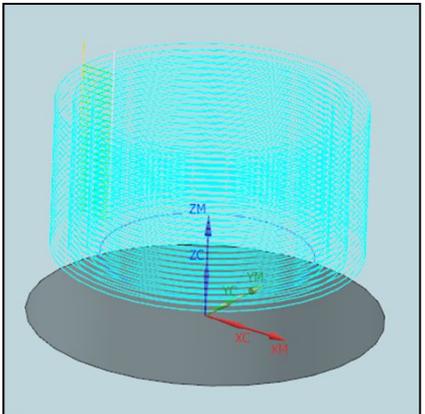
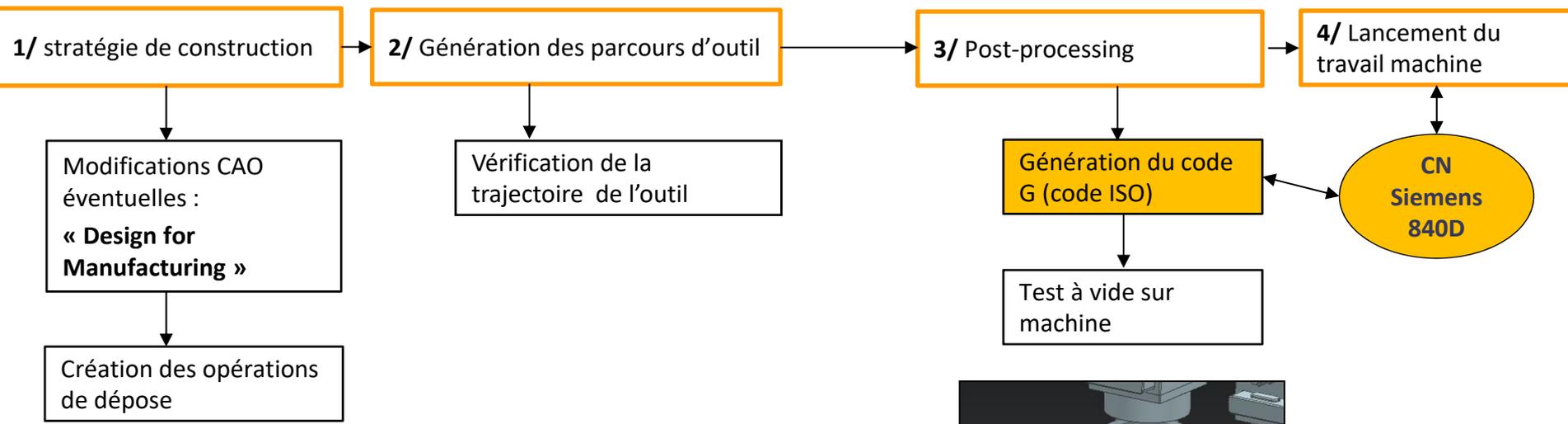
 Rotary Additive Thin Wall Helical



Siemens PLM Software

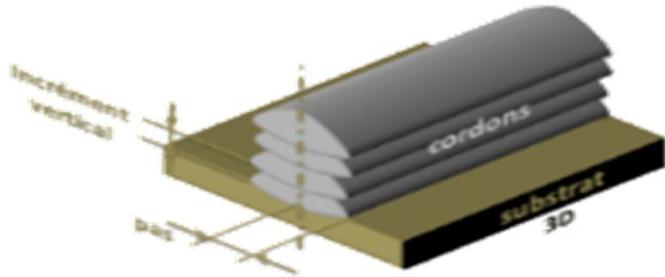
Déposition sur des surfaces planes et cylindriques

Programmation générale

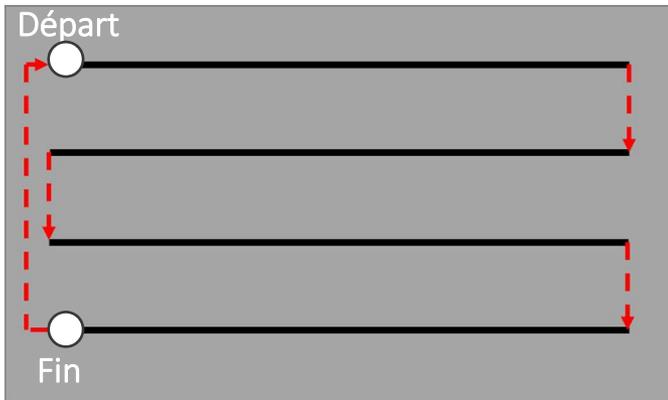


Construction des éprouvettes mono-cordon

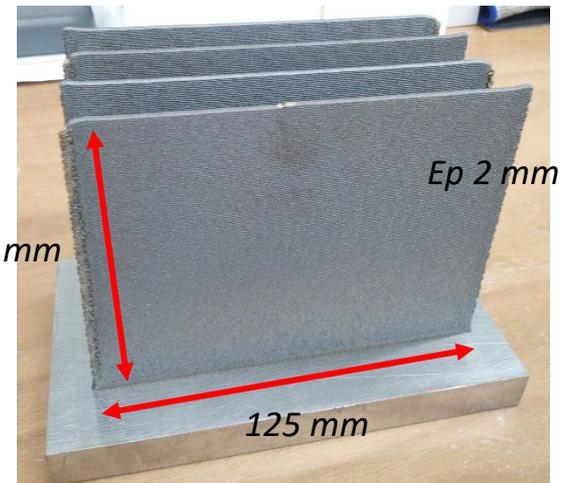
Construction des 4 murs en mono-cordon : env. 2 heures



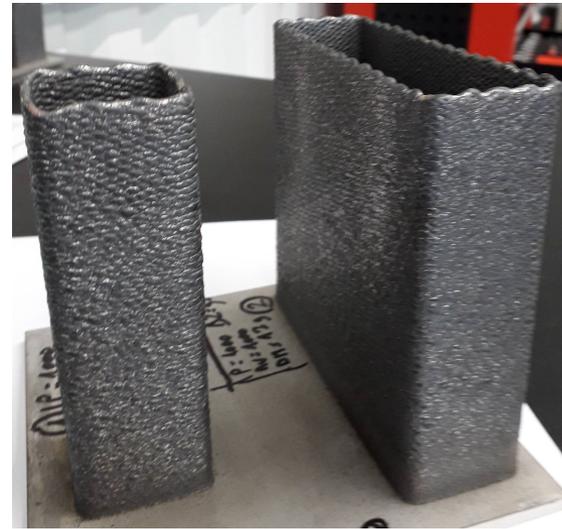
Temps de construction : 1h30



déplacements sans tir laser



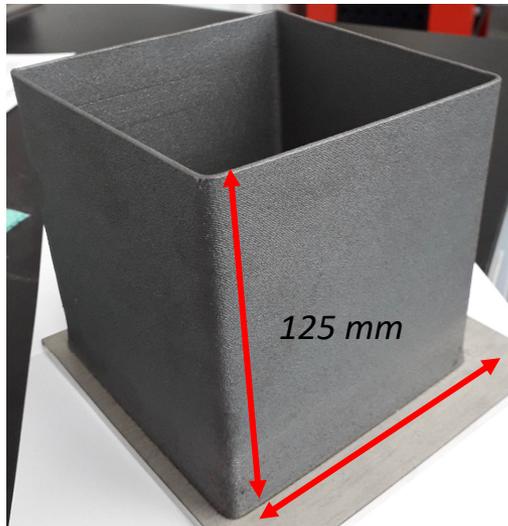
Construction des éprouvettes mono-cordon



Construction **NOK**
→ Trop de puissance



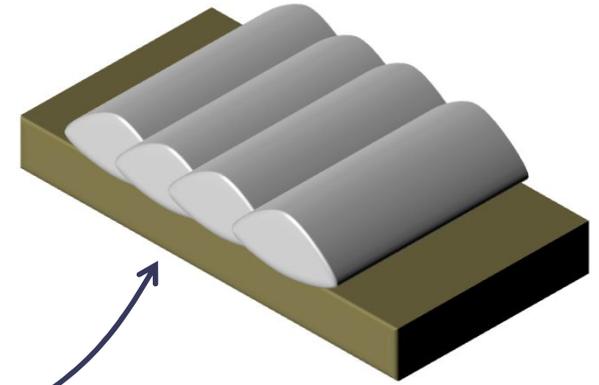
Construction **NOK**
→ Pas assez de débit



Construction **OK (paramétrie)**
mais déformation constatée

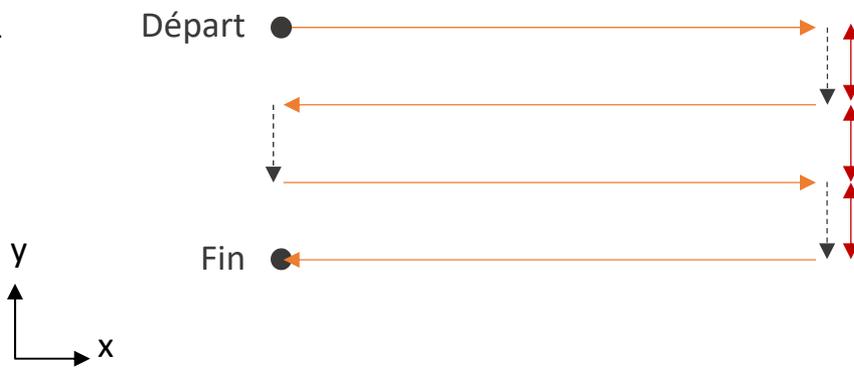


Eprouvettes multi-cordons - stratégie

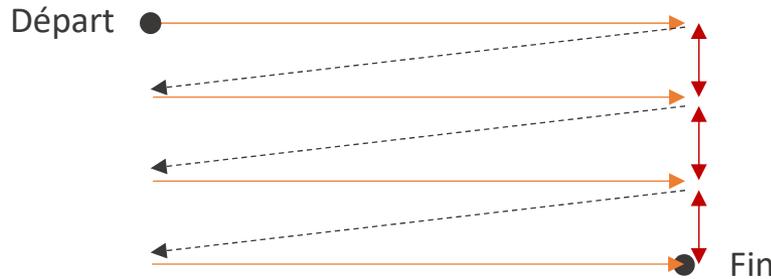


Parcours de buse pour construire un mur multi-cordons :

Cas n°1

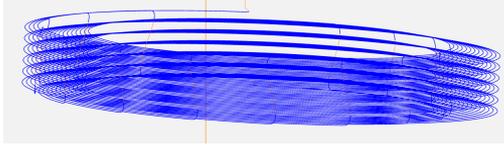


Cas n°2



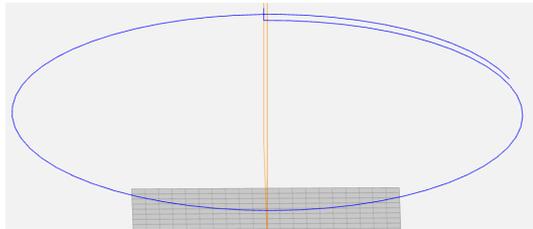
-  Cordon
-  Recouvrement entre deux cordons (40%)
-  Parcours buse quand le laser est éteint. (Temporisation)

3/ Colerette haute (multi-cordons)



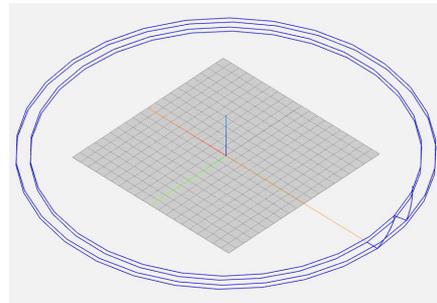
Rechargement du tube avec des cercles concentriques et décalage de 13° entre deux couches ou une hélice mono-cordon

2/ Tube mono-cordon



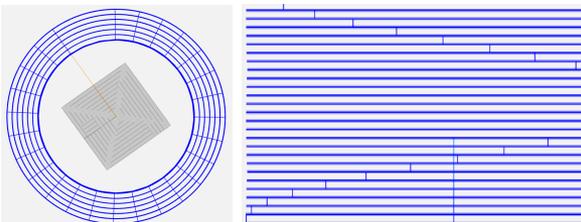
Construction en hélice

2/ Tube multi-cordons (2 cordons)

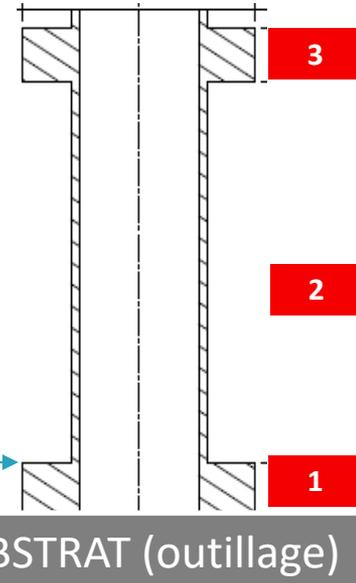


cercles concentriques avec décalage de 13° entre deux couches

1/ Colerette basse (multi-cordons)



8 cercles concentriques avec décalage de 13° entre deux couches



OPT'ALM atelier de production :

OPT'ALM analyse **l'intérêt et la faisabilité technico économique** de la Fabrication Additive LMD sur vos produits.

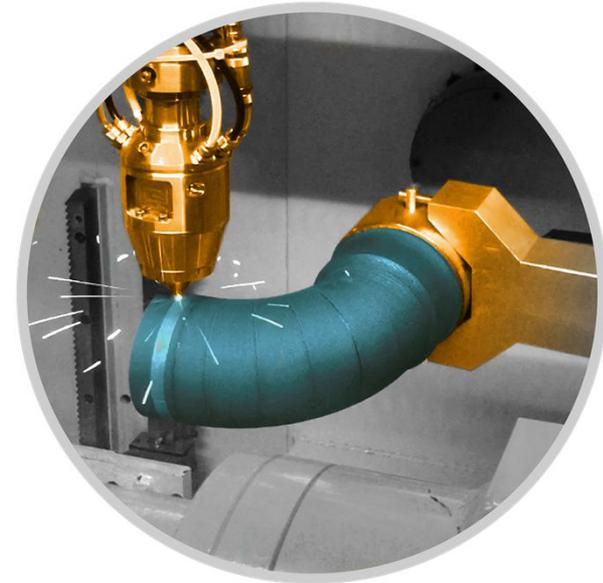
Le procédé CLAD® (LMD) a été **validé et qualifié** par un motoriste pour la **réparation** de pièces moteur en Titane → Le procédé LMD est **mature**.

Quelques avantages du LMD :

- Réduction du temps de fabrication / réparation
- Gain en masse (avec un design adapté au LMD, fonctionnalisation)
- Réduction du « buy to fly » → économie de matière
- Combinaison possible avec d'autres modes de fabrication : ajout de formes et de fonctions sur des structures existantes
- Multi-matériaux : création nouveaux alliages
- Réparation de pièces (limitation des rebuts)

Excellentes propriétés mécaniques (proches du forgé et de la fonderie)

MERCI POUR VOTRE ATTENTION



alain.toufine@optalm.fr

05 82 99 29 31

loic.mesmin@optalm.fr

05 82 99 29 30

OPTALM (chez Groupe Rossi Aéro), Lieu Dit Saint Caprais 31330 GRENADE

www.optalm.fr