

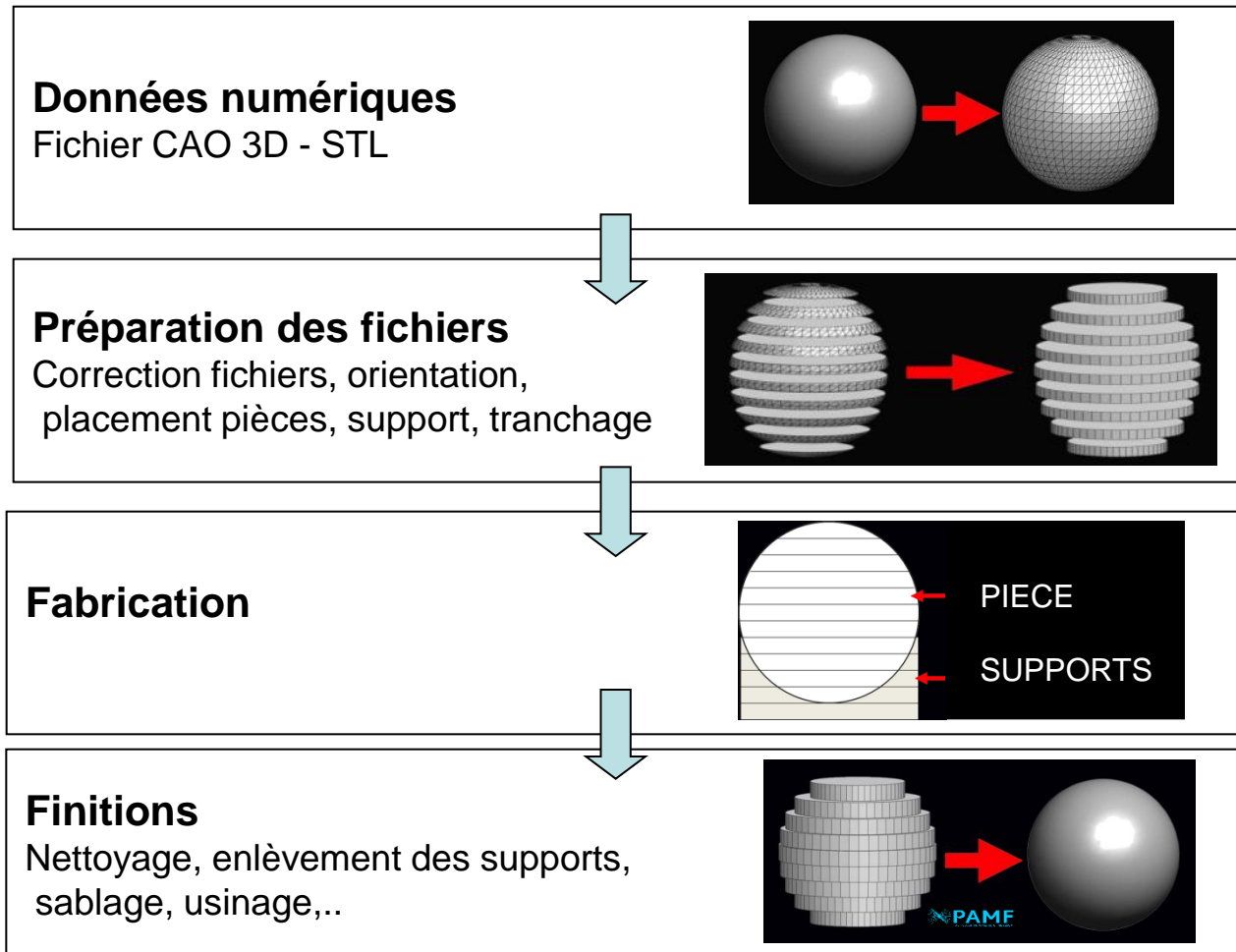
«Tour d'horizon des procédés de fabrication additive»

Benoit VERQUIN

Cetim – Pôle 2PI Procédés Performants Innovants

benoit.verquin@cetim.fr

- Ensemble des procédés permettant de fabriquer , couche par couche , par ajout de matière, un objet physique à partir d'un objet numérique. (NF E 67-001)



Fabrication additive / Additive manufacturing

Impression 3 D / 3D printing

Fabrication directe

ALM (Additive Layer Manufacturing)

Fab Lab

...



President Obama announced his plan to invest \$1 billion to catalyze a national network of up to 15 manufacturing innovation institutes...

Pilote institute : National Additive Manufacturing Institute : 30 M\$ en 2013

« Impression 3 D » VS. Fabrication directe

- Applications grand public

- « Impression 3D » low cost



- Perceuse



VS.

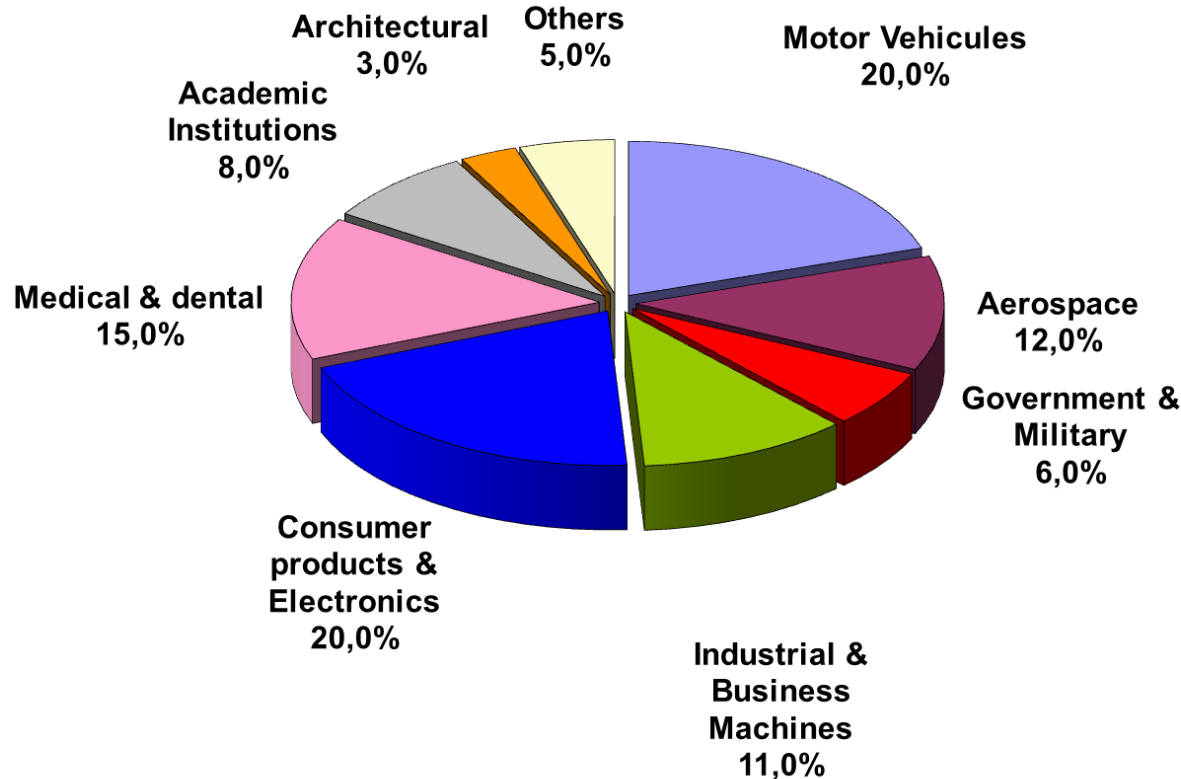
- Applications industrielles à haute valeur ajoutée

- Fabrication directe / Médical



- Perçage / Panneaux composites





CA Fab. additive :

2001 : 538 M\$

2012 : 2 204 M\$

2017 : 6 000 M\$

2020 : 10 800 M\$



■ + 27,4%/an sur les 3 dernières années

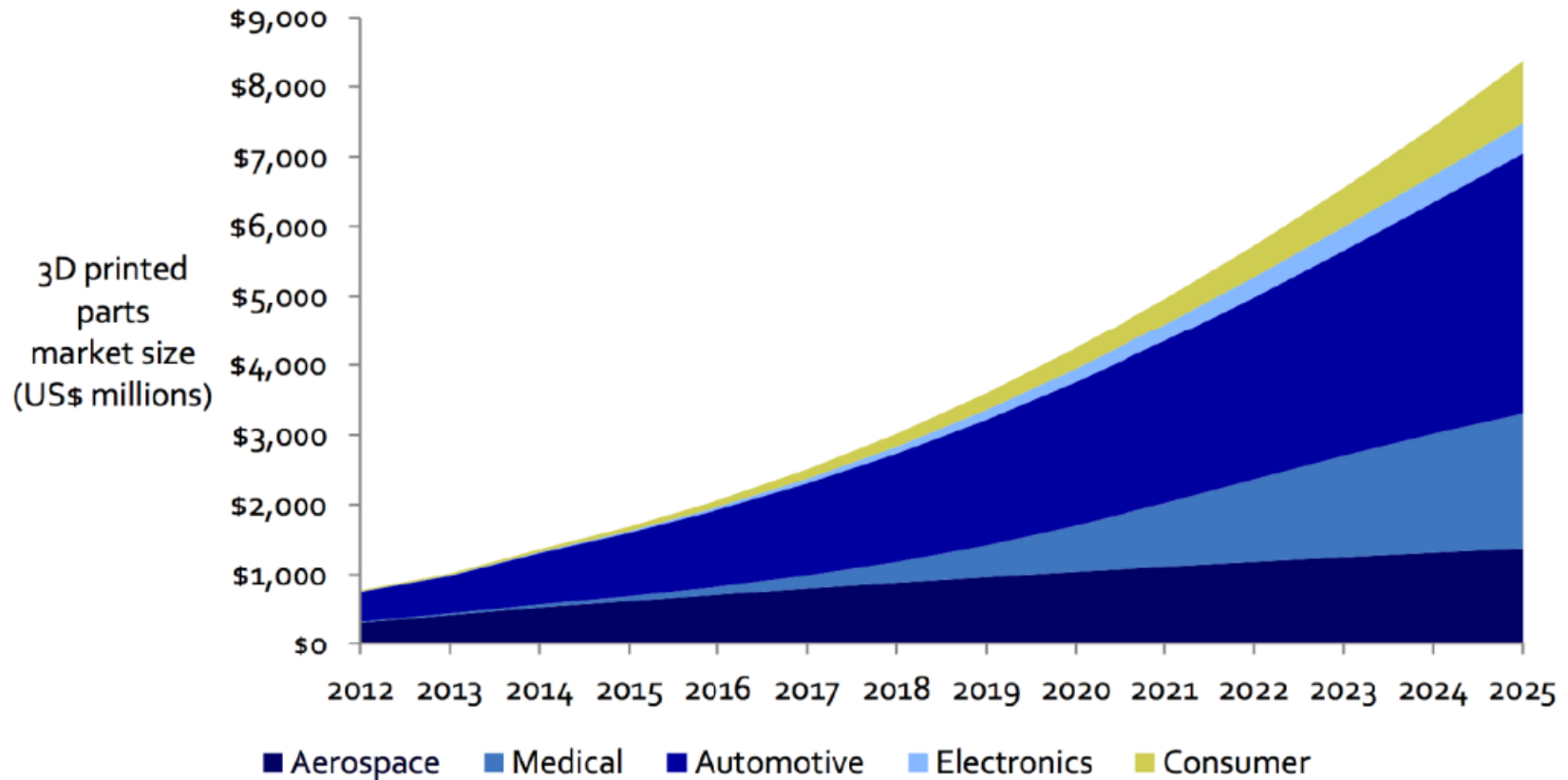
■ X 4,9 d'ici 2020

● Fabrication directe :

■ 4 % en 2001

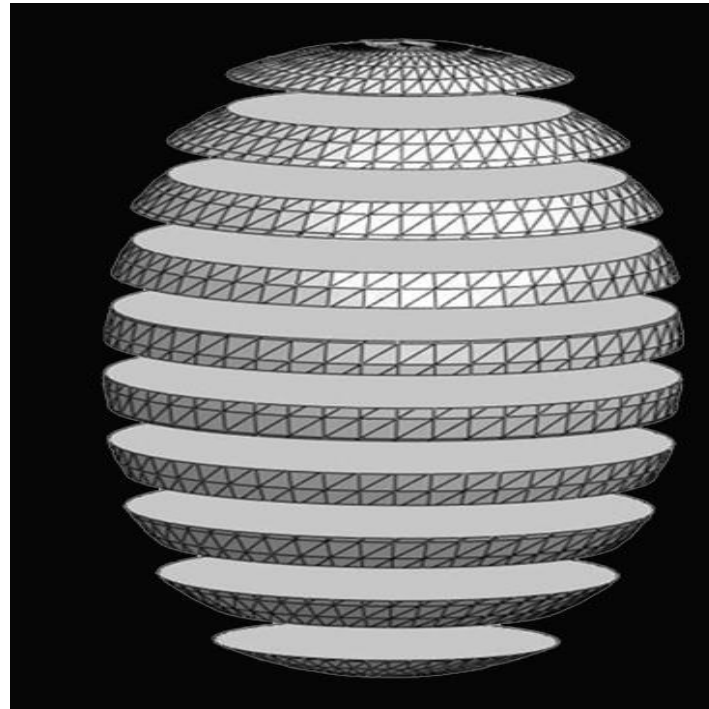
■ 19 % en 2012

3D Printed Part Market Grows to \$8.4 Billion in 2025



Source : Lux Research

Fabrication additive - Avantages





Rapidité

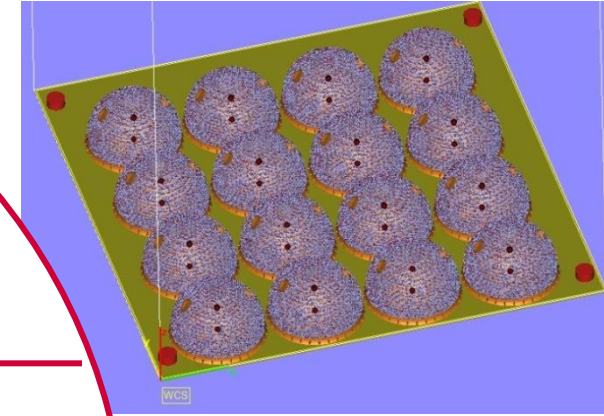
Canaux internes

Allègement

Fabrication sans outillage

Personnalisation

....



Temps de fabrication pour
16 cotyles :
15h (ec=60 μ m)
28h (ec=30 μ m)

Rapidité

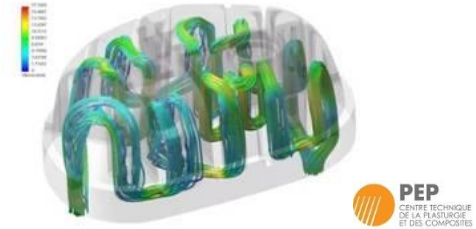
Canaux internes

Allègement

Fabrication sans outillage

Personnalisation

....

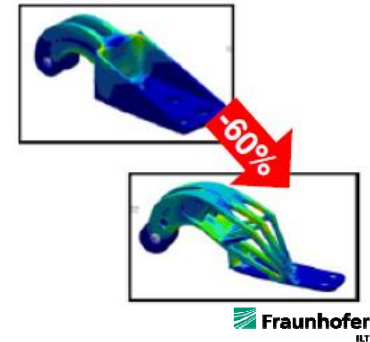
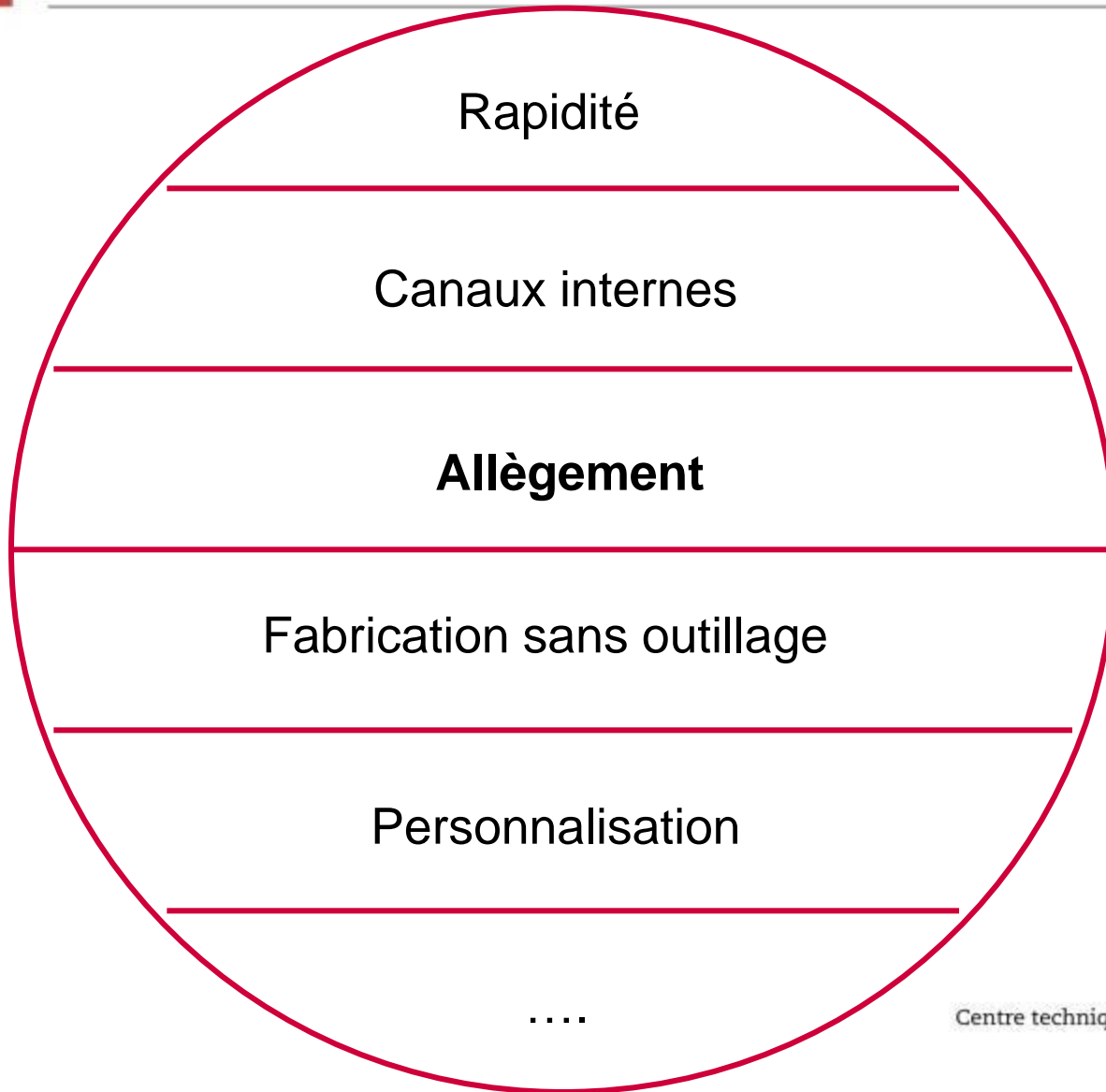


PEP
CENTRE TECHNIQUE
DE LA FUSION
ET DES COMPOSITES

PEP-Technimold

Gain temps cycle en
injection :10 à 40%







Rapidité

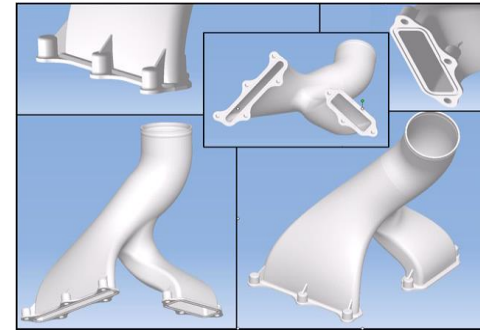
Canaux internes

Allègement

Fabrication sans outillage

Personnalisation

....





Rapidité

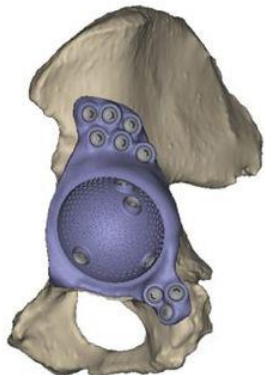
Canaux internes

Allègement

Fabrication sans outillage

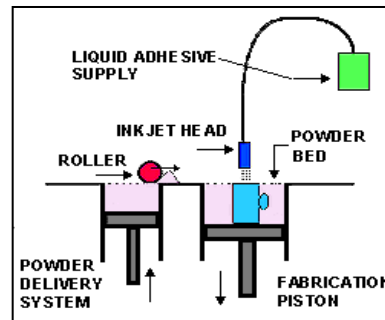
Personnalisation

....

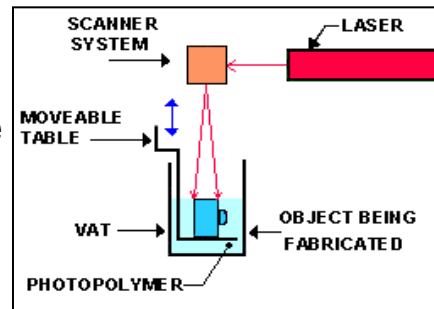


● Fabrication de pièces polymères

■ Impression 3D



■ Stéréolithographie



■ Autres procédés (...)

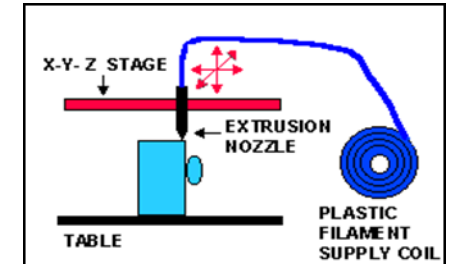
■ Applications : prototypes et pièces finales selon type de machine et matériau

■ Fabrication directe : Aéronautique, médical

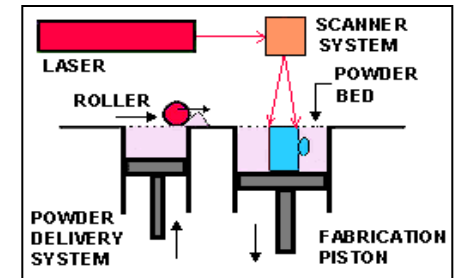
■ 7 700 machines « industrielles » vendues en 2012

■ 35 000 « imprimantes 3D » vendues en 2012

■ Dépôt fil



■ Frittage laser



Les objectifs du client :

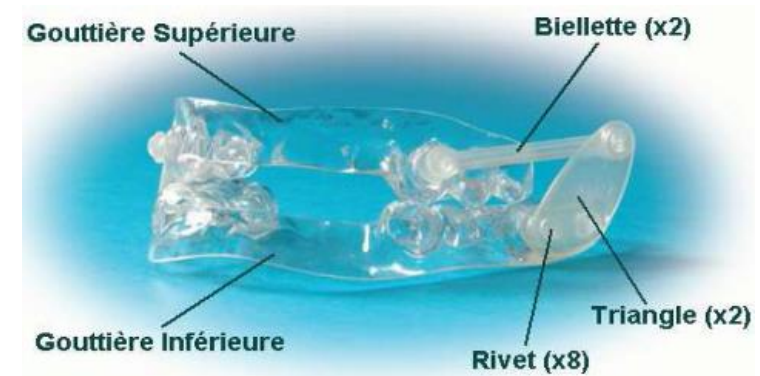
- Augmenter sa capacité de fabrication (industrialisation)
- Réduire le coût marginal unitaire

Les contraintes :

- Biocompatibilité / ISO 10993 - 10
- Environnement d'utilisation (salive, T=37.5° C)
- Durée de vie du produit : 2 ans

Solution :

- Frittage laser thermoplastique



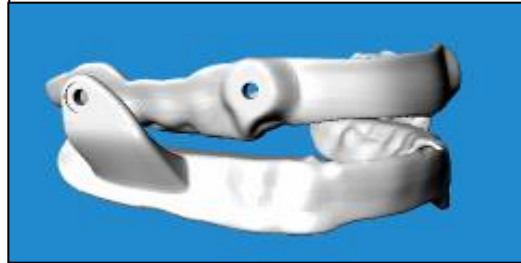
Assemblage de
22 pièces

Chaîne de fabrication numérique

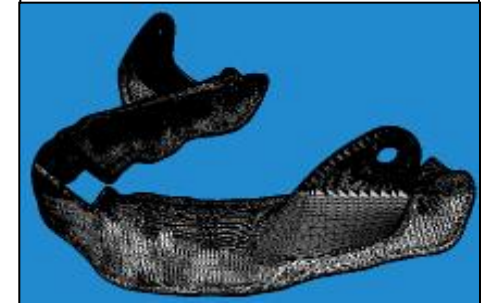
Empreinte – moulage



Digitalisation + CAO



Fichier STL



Frittage + revêtement








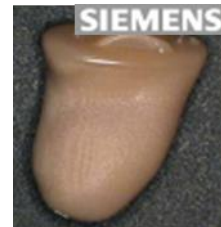
Assemblage



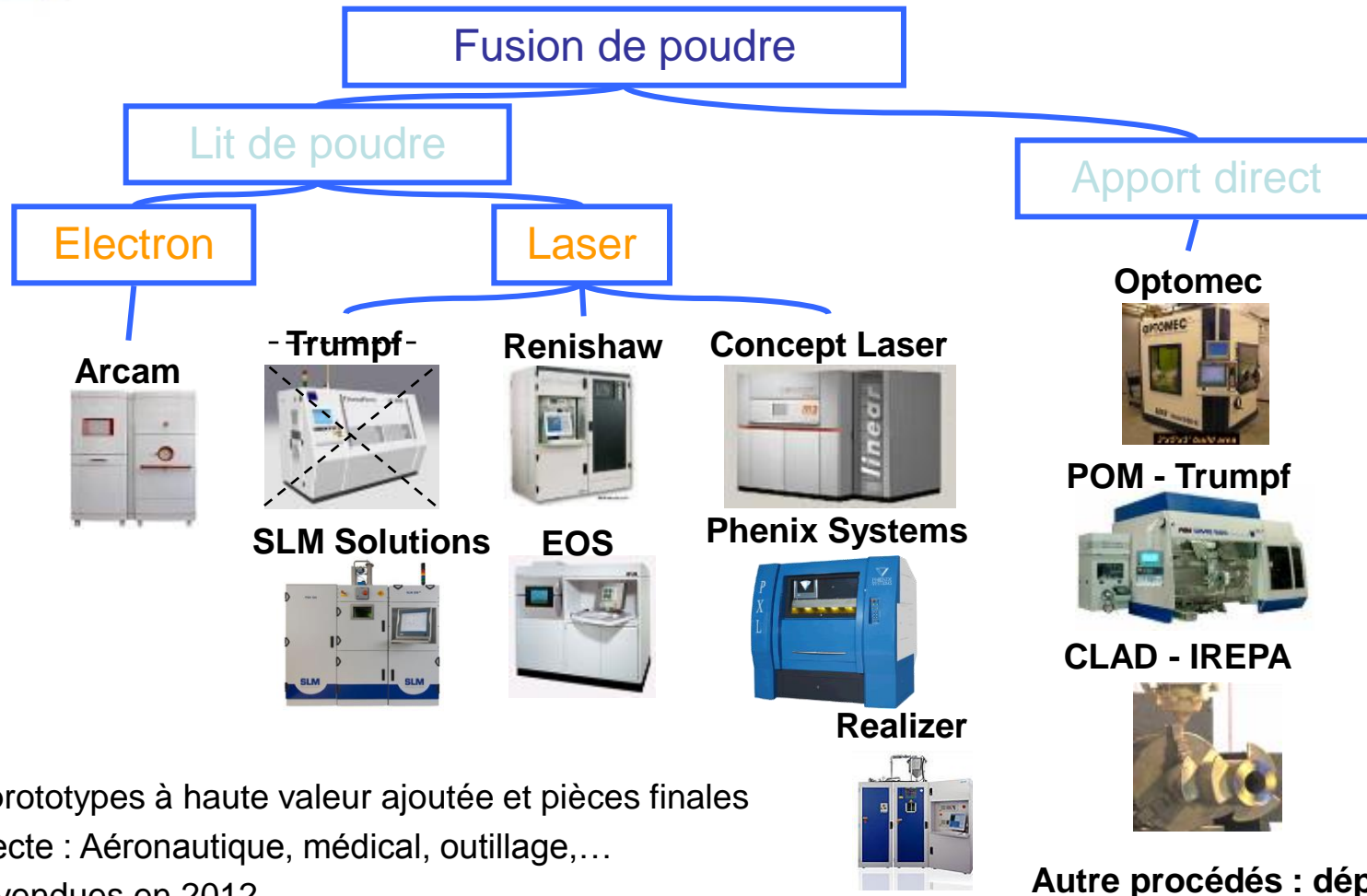
4 pièces

Accompagnement du CETIM :

	Choix matériau et revêtement
	Redimensionnement produit
	Choix procédé
	Essais de caractérisation bio-mécanique
	Mise au point fabrication

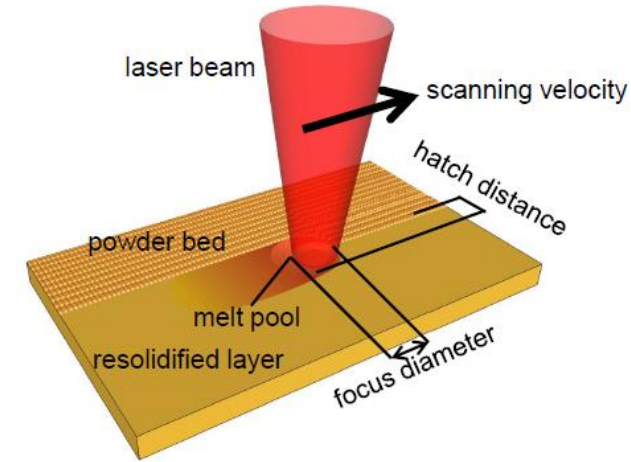
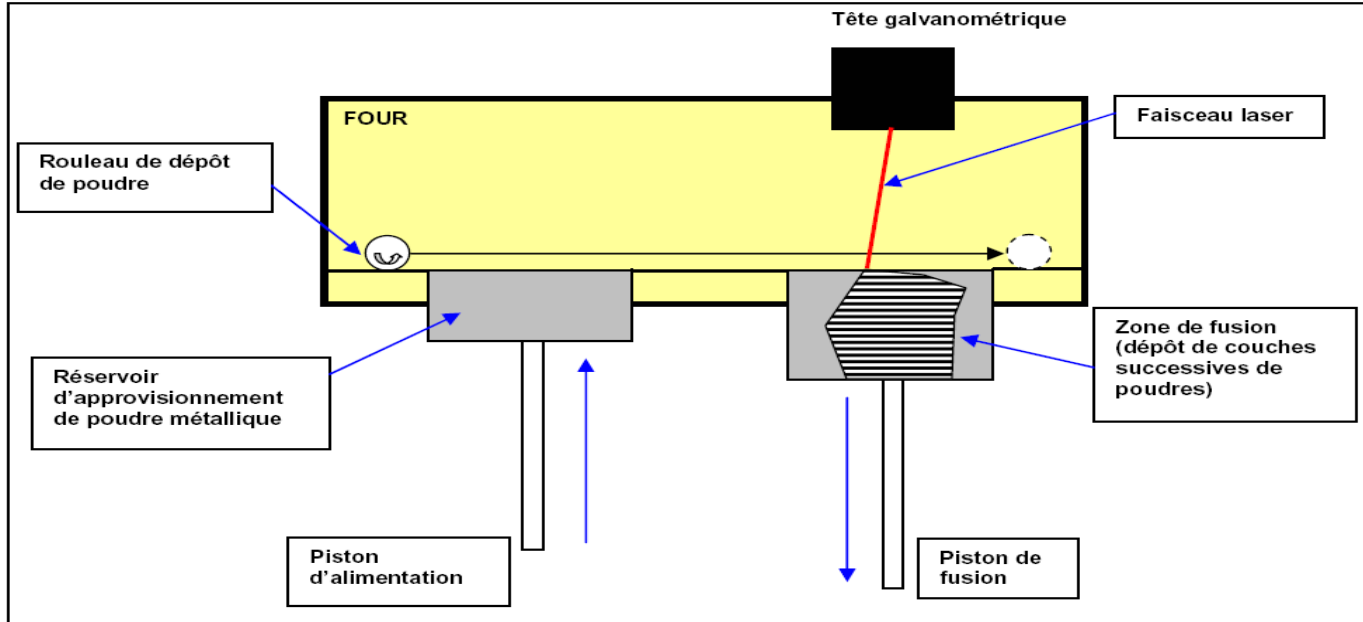


Fabrication additive - Métal



- Applications : prototypes à haute valeur ajoutée et pièces finales
- Fabrication directe : Aéronautique, médical, outillage,...
- 200 machines vendues en 2012
- Il existe d'autres procédés FA métal : 3D printing, ultrasonique et d'autres matériaux : céramiques,

Schéma de fonctionnement :



- **Mise en couche :**
 - Monté piston d'alimentation
 - Descente piston fusion
- **Fusion de la poudre localement :**
- **Itération successive**



Commercialisés	
Titane	TiAl6V4 TiAl6V4 ELI T40 Ti Al6Nb7
Co-Cr	MP1, SP2
Aluminium	AlSi10Mg AlSi12
Acier Outils	Maraging 1.2709 H13
Base Nickel	Hastelloy X, Inco 625, Inco 718
Inox	Austénitique : 316L, 304L Martensitique : 15-5 PH, 17-4 PH
Autres	Or, Argent

	Fournisseur machine	Fournisseur Poudre 1	Fournisseur Poudre 2
NUANCE	€/kg		
Maraging	130		
316L	80	50	
AlSi10Mg	110	56	35
Co-Cr (médical)	220		
TiAl6V (médical)	590	303	
Inconel	135		

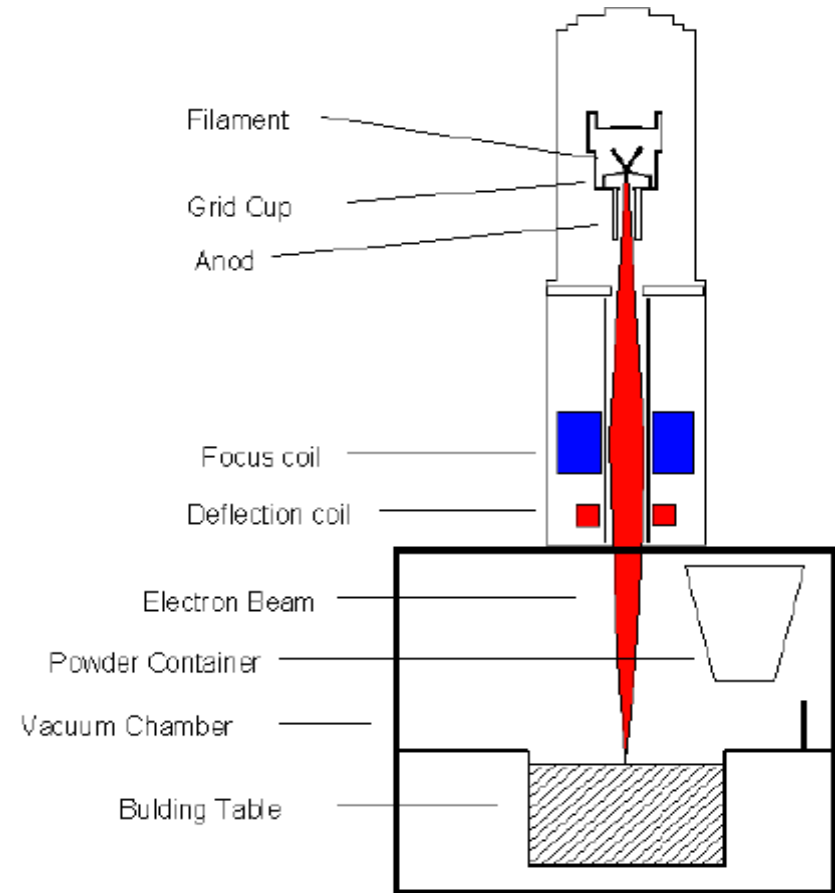
Prix indicatifs à ajuster selon :

- *Négociations commerciales*
- *Granulométrie (rendement atomisation)*
- *Stock ou sur-mesure*
- *Coût des matières premières*
- ...

Machines de fusion laser du marché

Fabricants	Concept Laser, EOS, SLM Solutions, Phenix Systems, Realizer, Renishaw
Puissance laser	50 W à 1x(1kW + 400 W)
Zone de fabrication (mmxmmxmm)	de 100 x 100 x 80 à 630 x 400 x 500
Epaisseur de couche (µm)	de 10 à 200
Prix (€)	de 150 k€ à <1500k€

Electron Beam Melting

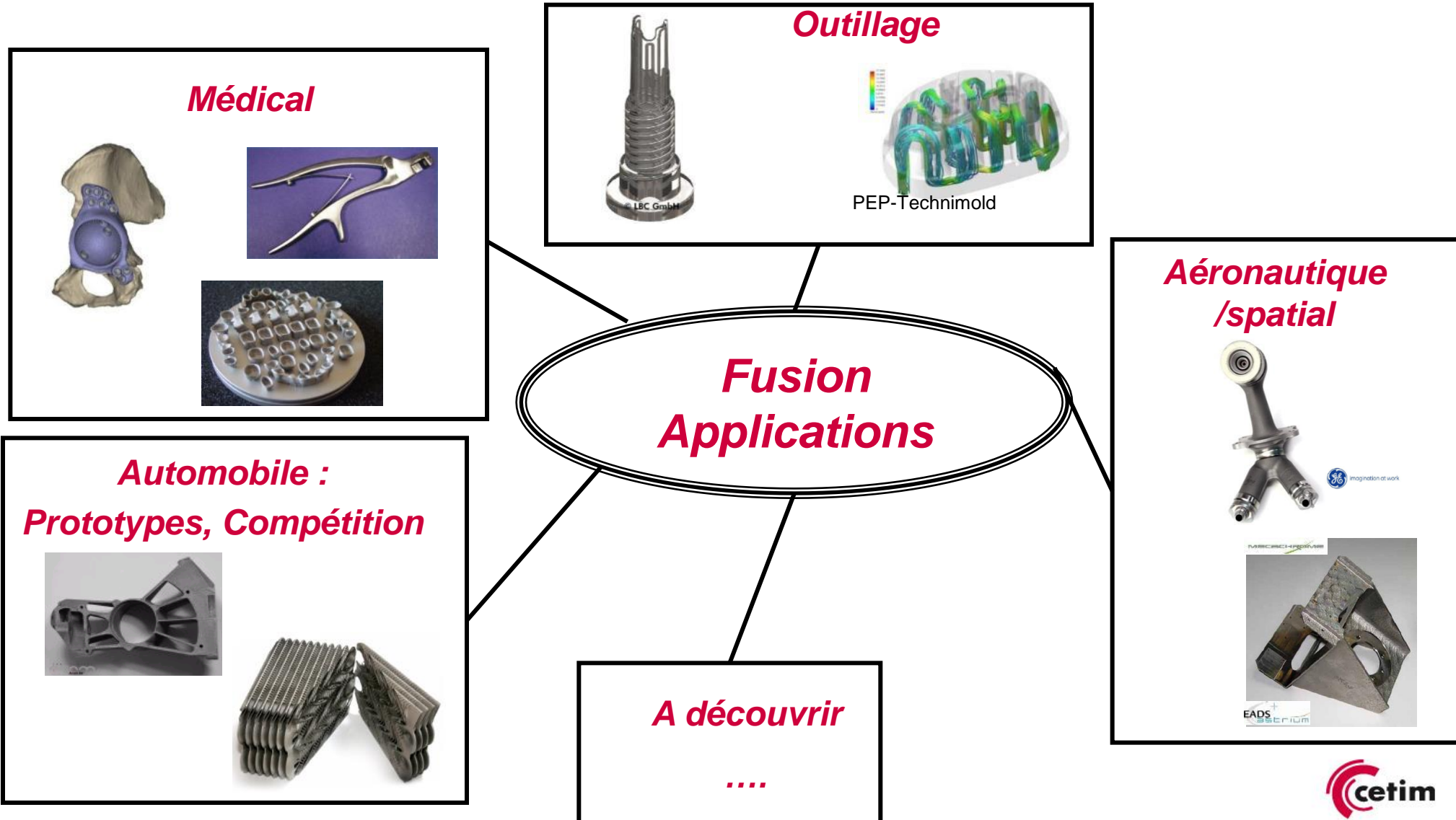


Matériaux : Ti6Al4V, Ti6Al4V ELI, ASTM F75 CoCr

Volume de fabrication : \varnothing 300mm , H = 208mm

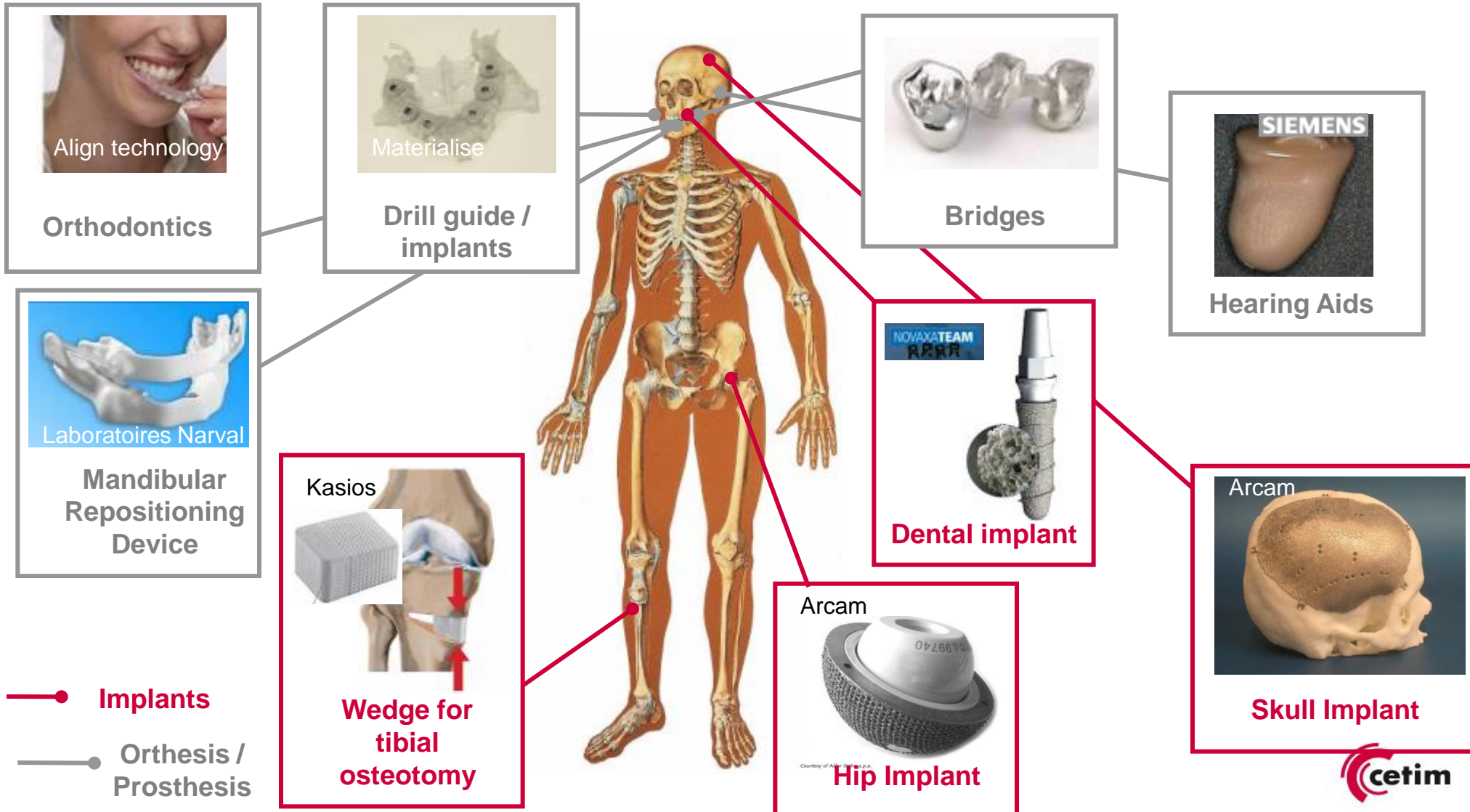
La fusion par faisceau d'électrons

- Avantages
 - Productivité
 - Faibles contraintes résiduelles
 - Peu de supports
 - Possibilité d'empilement de pièces
- Inconvénients
 - Etat de surface
 - Temps de refroidissement
 - Enlèvement de la poudre
 - Offre matériau faible



Médical & fabrication directe

D'autres applications



La fabrication additive par projection

● Les procédés :

■ Projection laser

- ➔ Direct Metal Deposition / Trumpf-POM
- ➔ EasyCLAD / IREPA
- ➔ LENS / Optomec
- ➔ Accufusion

■ Avantages

- ➔ Débits importants

■ Application

- ➔ Rechargement / réparation
- ➔ Ajout de fonctions sur pièce existante
- ➔ Fabrication de bruts Near Net Shape

■ Matériaux

- ➔ Alliages Ti, Base Ni, Co-Cr,...

■ Dépôt fil

- ➔ Electron Beam Fabrication Free Form / Sciaky
- ➔ Gas Metal Arc Welding / Cranfield University
- ➔ Plasma / NTiC
- ➔ Ion Fusion Formation (IFF) / Honeywell



Procédés Hybrides

Additif + soustractif



Projet FADIPERF

- **Objectifs :**

- Accompagner quatre fabricants d'implants orthopédiques dans l'évaluation et la qualification du procédé fusion laser.
- Mettre à disposition sur le territoire, sous forme d'une plateforme partagée, un équipement de fabrication additive à destination des industriels afin de favoriser le transfert de ces nouvelles technologies, tout en limitant les risques liés à l'investissement.

- **Les partenaires :** Aston, Cetim, Evolutis, Serf, Tornier

- **Budget :** 1 290 k€

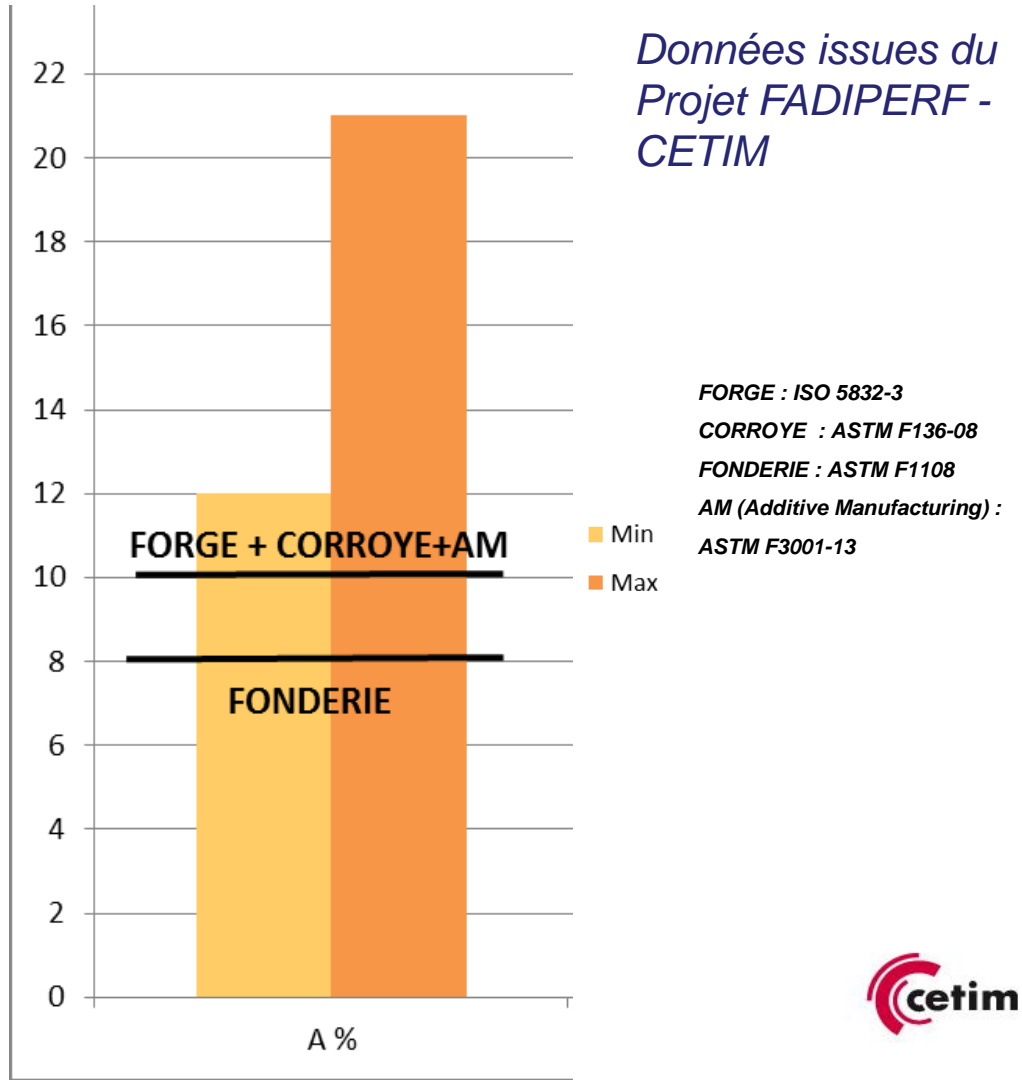
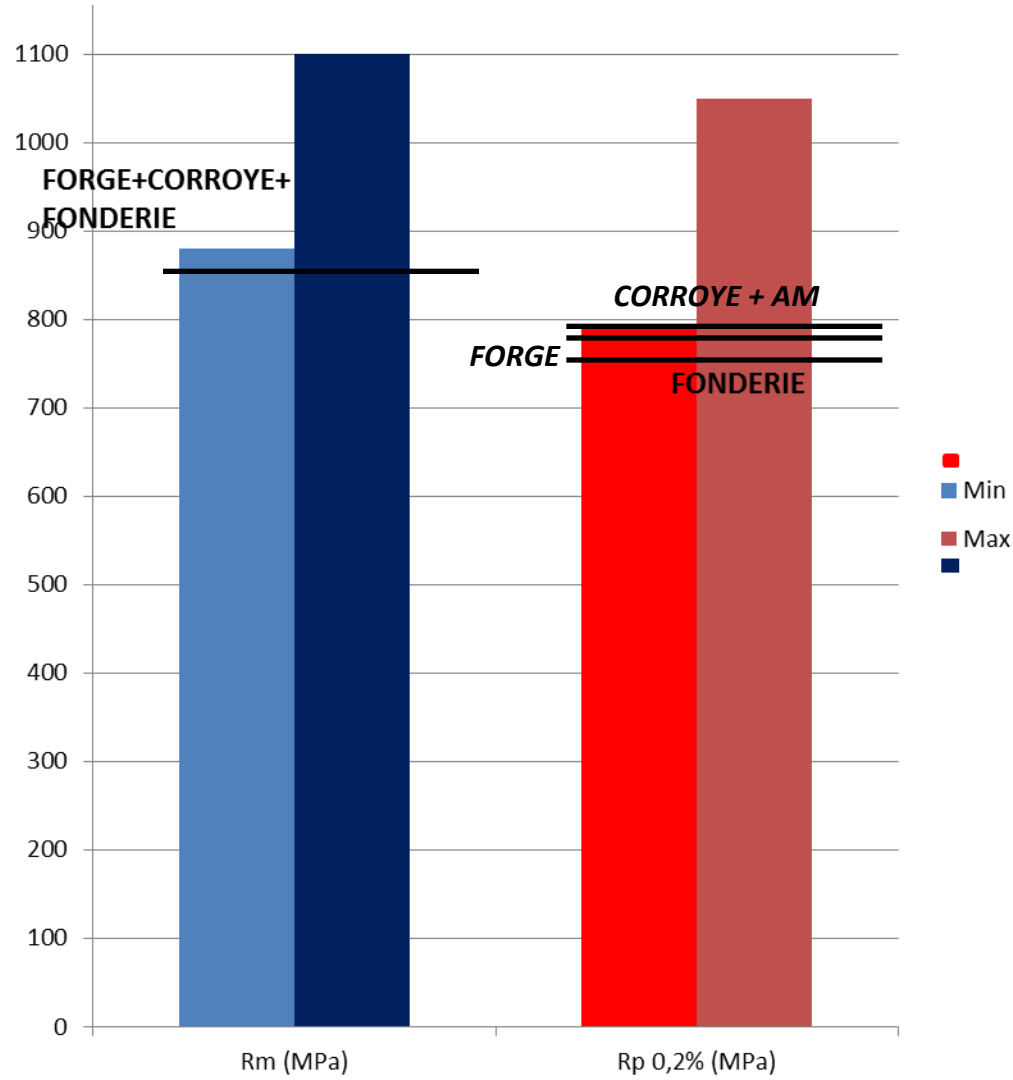
- **Financement :** Industriels, Cetim, CG 42 et Feder via Région Rhône Alpes

- **Durée:** sept 2011 – mars 2014



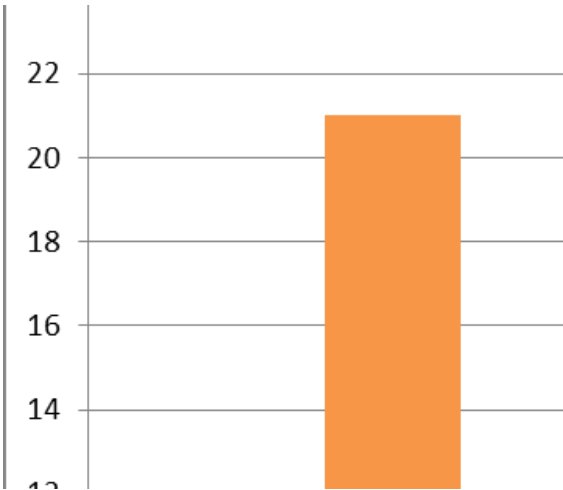
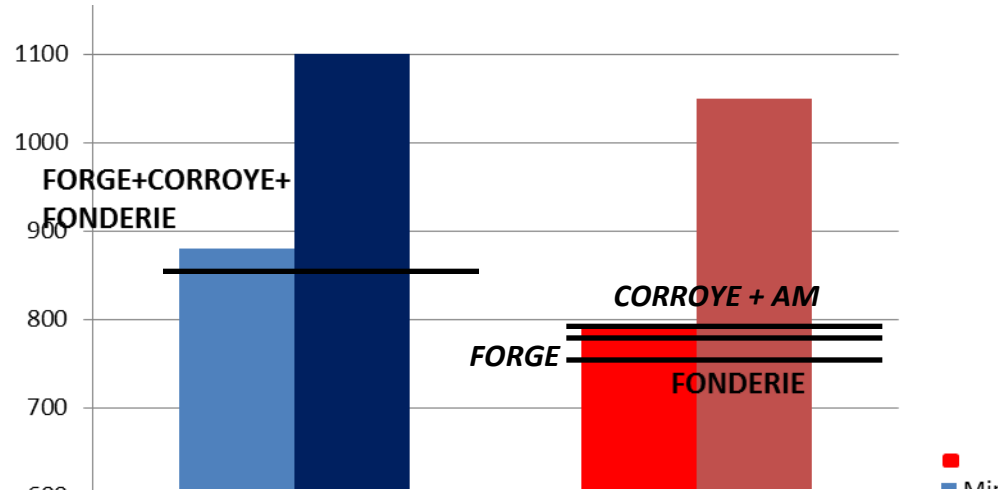
Fusion laser Comparatif avec normes

● Evaluation d'échantillons FL et EBM (3 fournisseurs) +TTH – Matériau : TA6V ELI



Fusion laser Comparatif avec normes

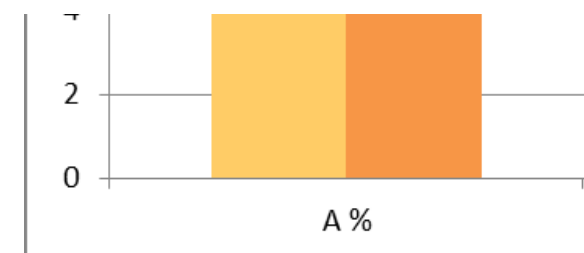
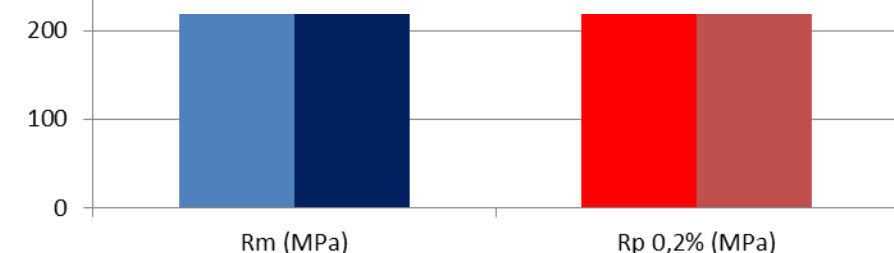
● Evaluation d'échantillons FL et EBM (3 fournisseurs) +TTH – Matériau : TA6V ELI



Données issues du
Projet FADIPERF -
CETIM

FORGE : ISO 5832-3
CORROYE : ASTM F136-08
FONDERIE : ASTM F1108
AM (Additive Manufacturing) :
ASTM F3001-13

- Des propriétés mécaniques comparables à des procédés conventionnels
- Influence importante des traitements thermiques



Fusion laser - traitements thermiques

● Optimisation de traitements thermiques

■ Résultats d'essais issus du projet FADIPERF

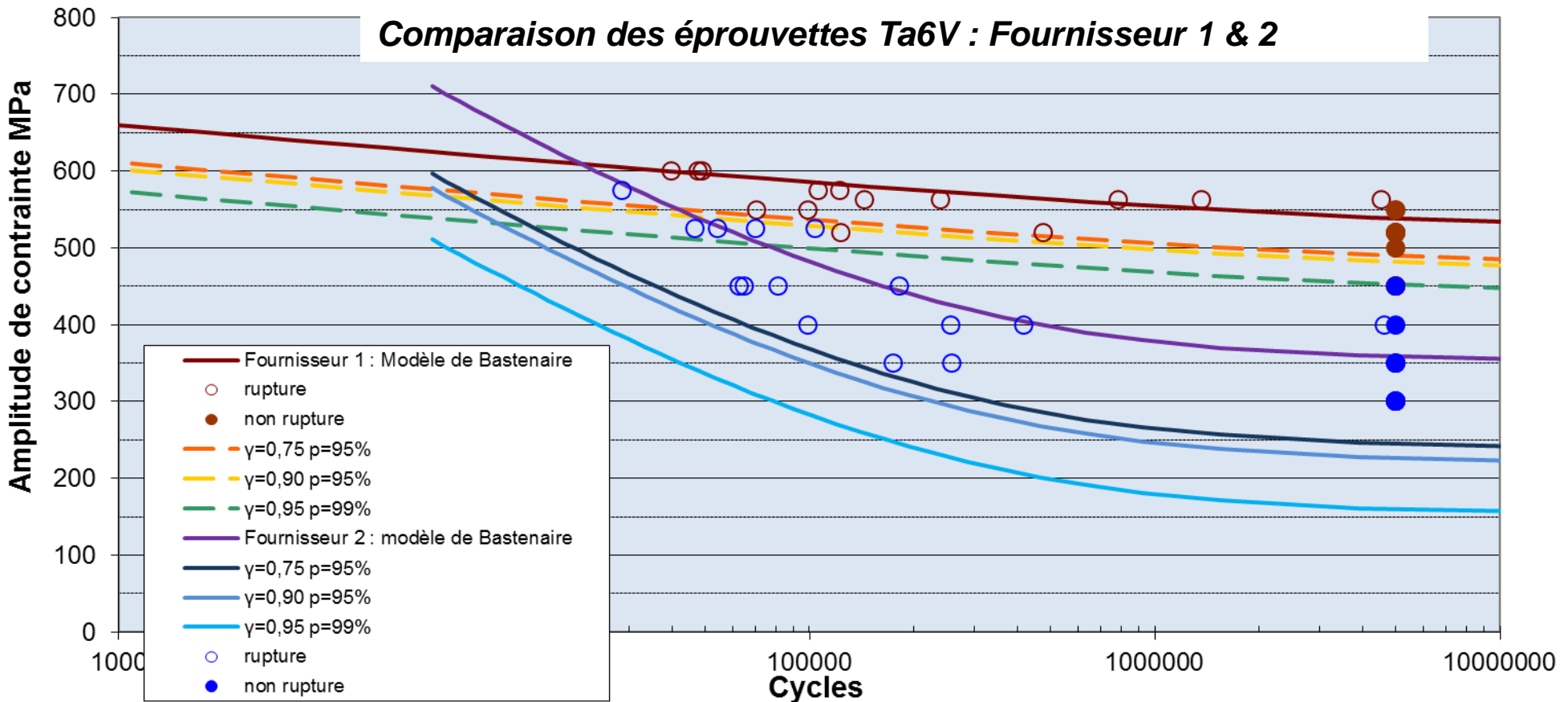
➔ Ti6Al4V ELI

	Rm (MPa)	Re (MPa)	A (%)
Ti64 ELI sans TTH	1280	1160	10,5
Ti64 ELI + TTH data sheet Fournisseur	1100	1000	11
Ti64 ELI + TTH FADIPERF	939	864	19,1

➔ Co-Cr MP1

	Rm (MPa)	Re (MPa)	A (%)
Co-Cr sans TTH	1250	835	19,5
Co-Cr+ TTH data sheet Fournisseur	1100	600	20
Co-Cr + TTH FADIPERF	1238	670	37,5

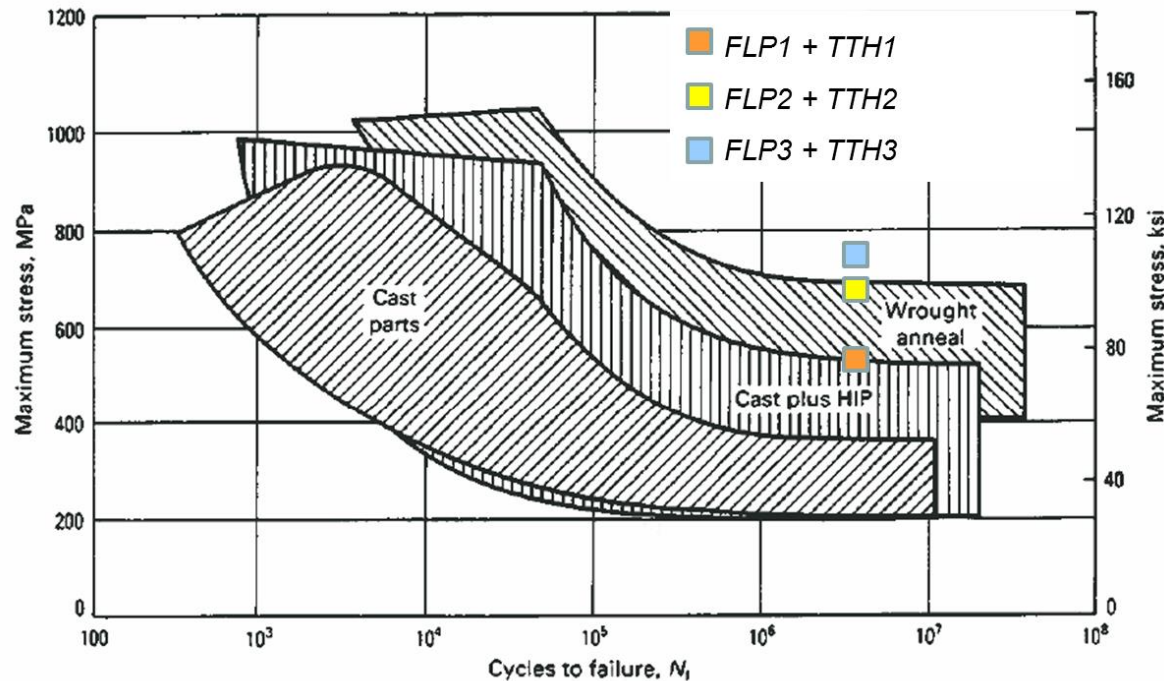
- Essais en flexion rotative : $R\sigma = -1$



- Essais en flexion rotative sur éprouvettes de FL et EBM (3 fournisseurs) +TTH :

σ_D varie de 358 à 600 MPa

- La limite d'endurance en Fabrication Additive peut être équivalente voire supérieure à la limite haute de produits laminés.
- La différence de performance peut être liée à la différence de TTH.



FLP1,2,3 : Procédés de fusions sur lit de poudre (FL et EBM).

Résultats issus du projet FADIPERF

Des procédés en cours de normalisation :

● UNM 920

- Créée en juillet 2010 sous l'égide de l'AFNOR et le soutien de Viaméca, EMC2 et CETIM
- Normes publiées : Terminologie : NF E 67-011, spécification technique des poudres : NF E 67-003
- Travaux en cours : Conditions de réception des pièces : XP E 67-XXX

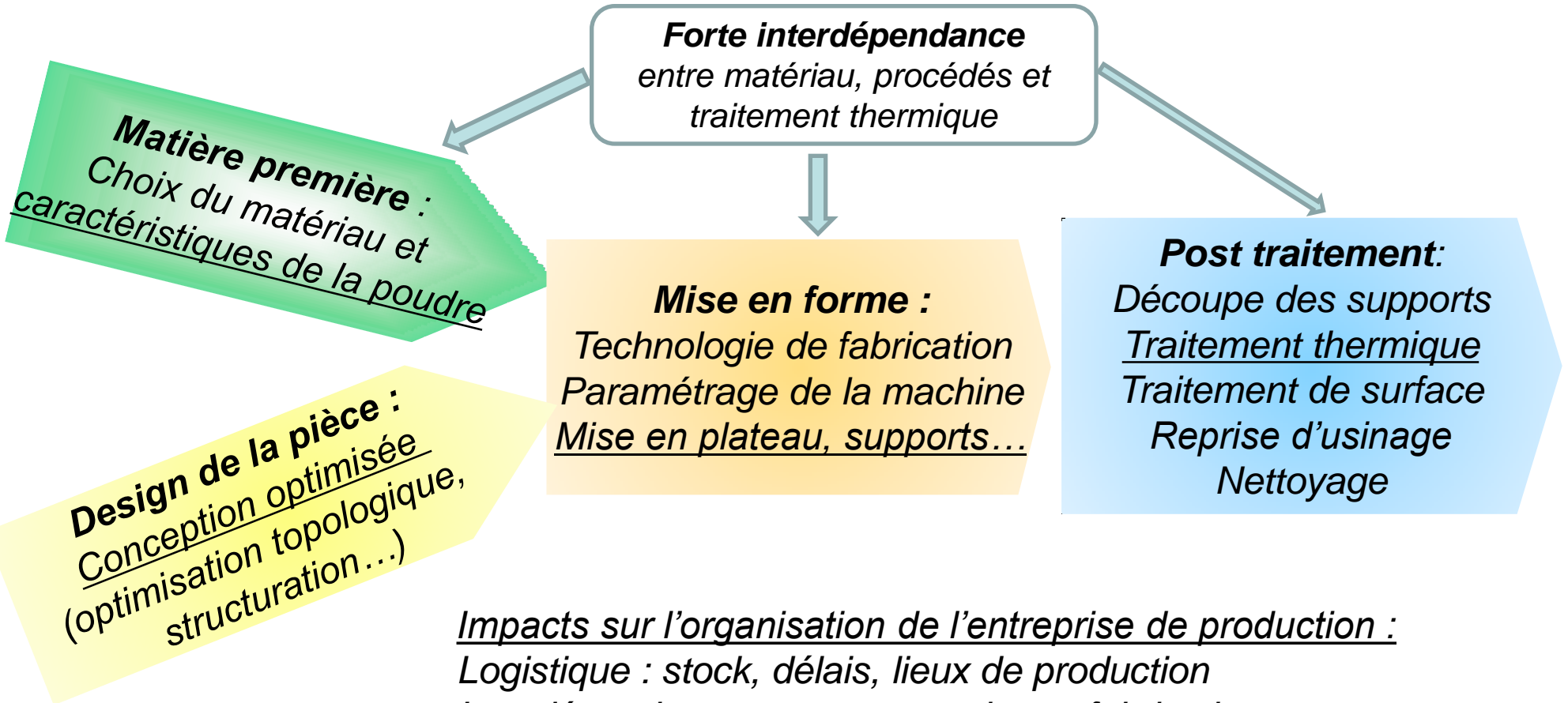
● ISO TC 261

- Créée en juillet 2011 à l'initiative des allemands.
- 4 axes de travail : WG1 : Technologies , WG2 : Méthodes, procédés et matériaux , Tests et méthodes, WG4 : Processus numériques

● ASTM F42

- Créée en 2009
- Normes publiées : F2792 : Terminologie, F2915 : Spécification pour un nouveau format de fichier, F2921 : Système de coordonnées, F2924-12 : Spécification pour la fabrication sur lit de poudre du Ti6Al4V, F3001-13 : Spécification pour la fabrication sur lit de poudre du Ti6Al4V ELI

Les étapes clés pour la maîtrise de la technologie



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

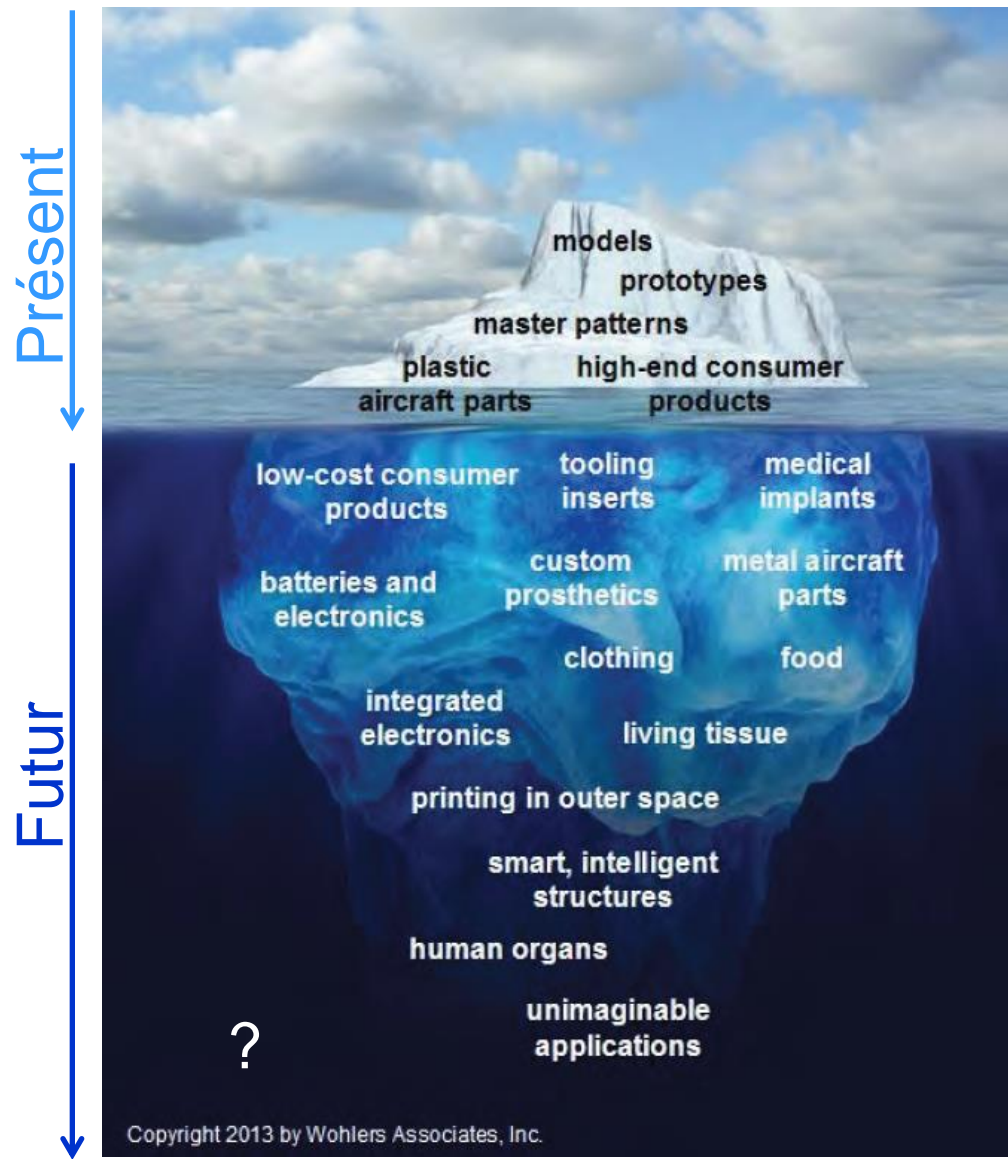
Logistique : stock, délais, lieux de production

Interdépendance entre conception et fabrication

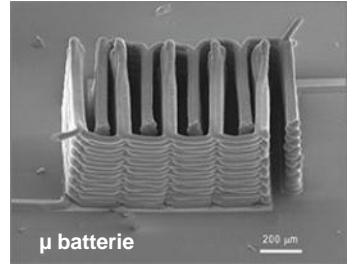
Nouvelles frontières entre MO, concepteur, fabricant

Numérisation totale de la chaîne d'informations

Nouveaux profils et compétences du personnel



LZ



Notre positionnement :

Accompagner les industriels dans l'intégration de ces nouvelles technologies, de la conception au contrôle.



Poudres :
Choix et caractérisation

Machine :
Choix et paramétrage

Conception pièces :
Optimisation conception
produit-process

Logiciels – préparation :
Mise en plateau

Fabrication :

- Mise au point fabrication et traitement thermique,
- Réalisation de pièces de démonstration,
- Plateformes partagées



Contrôle :
Caractérisation
métallurgique,
métrologique
et mécanique (fatigue),
CND,..

Domaines d'intervention :

- ✓ Etudes de faisabilité technico-économiques
- ✓ Accompagnement à l'industrialisation
- ✓ (re)Conception de produits
- ✓ Mise en forme de nouveaux matériaux
- ✓ Formation
- ✓ Développement collaboratif (FADIPERF...)

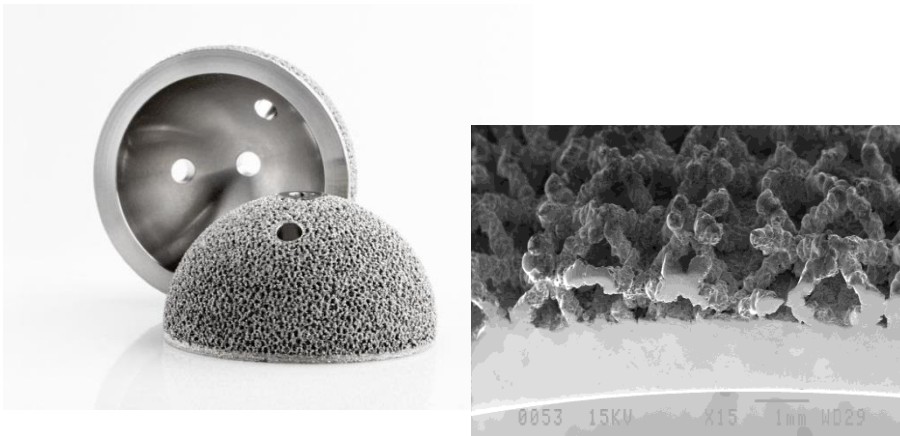
Équipements accessibles :

- Fusion Laser Métallique
- Frittage Laser Thermoplastiques
- Faisceau d'électrons (partenaire)
- Autres techno (sous-traitance)

La fabrication directe au CETIM, les moyens :

Le procédé : Fusion Laser

- Machine : EOS M280
- Capacité de fabrication : 250mm x 250mm x 325mm
- Puissance du laser : 400 W
- Matériaux : Ti6Al4V ELI, Co-Cr



Le prototypage rapide et la fabrication directe au CETIM, les moyens :



Le procédé : Frittage thermoplastique



- Machine : EOS Formiga P 100
- Capacité de fabrication : 200mm x 250mm x 330mm
- Puissance du laser : 30 W
- Epaisseur de couche : 0.1mm



Le procédé : Fusion laser



- 2 PHENIX PM100 - Laser 100 W et 200W
- Volume utile Ø100mm H150mm
- Matériaux disponibles : 904L, alliages Co-Cr, 17-4PH....



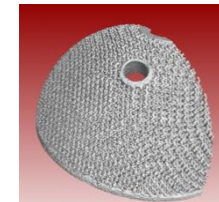
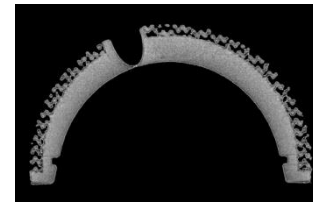
Accès à d'autres machines en partenariat

Contrôle : offre de services

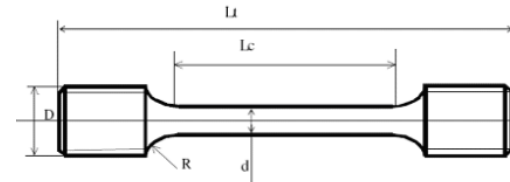
■ Analyses métallurgiques



■ CND – Tomographie, thermographie,...



■ Essais mécanique



■ Essais de fatigue

