



Association Française de Prototypage Rapide
& Fabrication Additive



ETAT ET ENJEUX DE LA FABRICATION ADDITIVE

Alain BERNARD

Professeur des Universités à l'Ecole Centrale de Nantes
Chercheur à l'IRCCyN UMR CNRS 6597

Vice-Président, Association Française de Prototypage Rapide



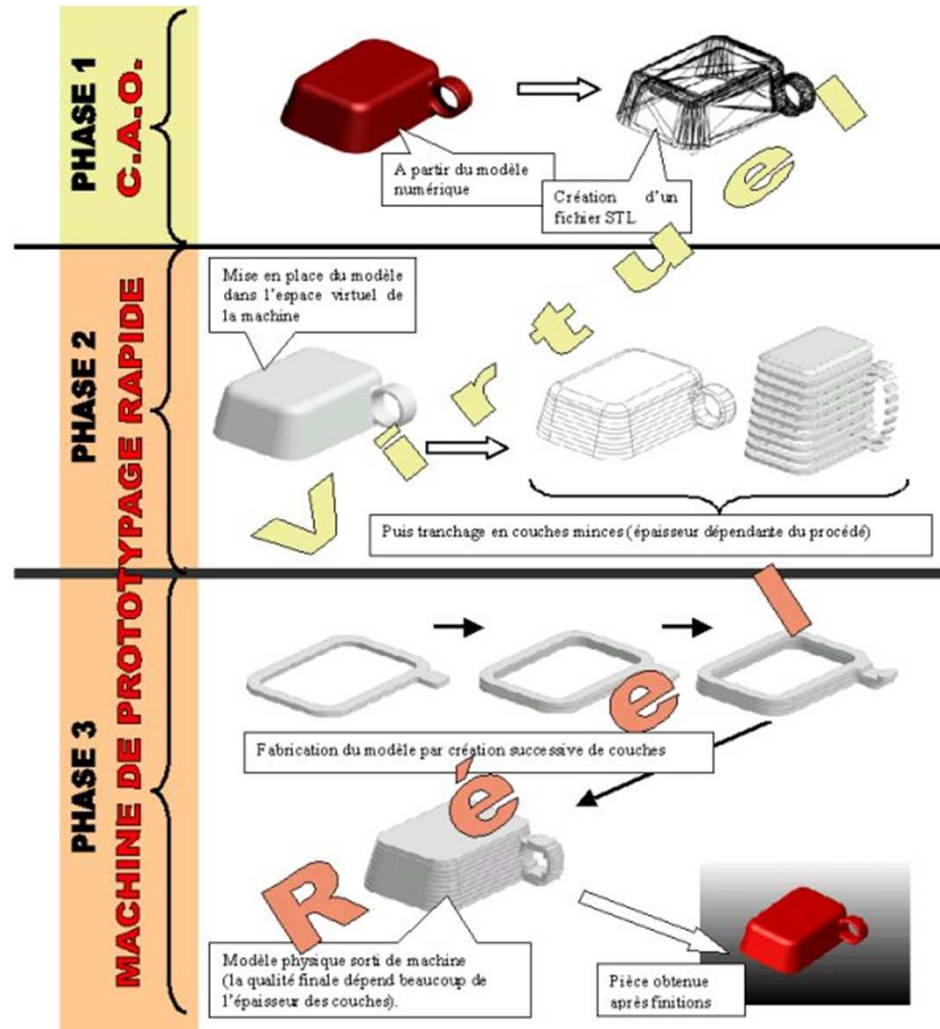
Pierre MANIL

Chef du bureau d'études mécaniques de l'Irfu (SIS/LCAP)



Qu'est ce que la Fabrication Additive ?

**METHODE DE
REALISATION PAR
COUCHES
SUCCESSIVES**



FABRICATION ADDITIVE (historique)

- Brevet 1984 (juillet en France & Août aux USA).
- **Jean Claude André**, (GDR 1080 CNRS)
Institut national polytechnique de Lorraine.
- Conjointement avec **Olivier De Witte**
et **Alain Le Méhauté**
- **Charles W. Hull**, valencia CA 91355 (3D Systems)
 - Utilisation d'un laser pour polymériser une résine photosensible.
 - Informatique (logiciels)
 - Résines
 - Laser
 - CAO 3D avec notion de volume
(peau inter & exter) sortie STL.



AFPR : Association Française du Prototypage Rapide et de la fabrication additive

Créée en 1992

Objectifs de l'AFPR :

- Rassembler les partenaires de la Fabrication Additive
- Répondre à des besoins multisectoriels
- Favoriser la formation et le transfert de technologie
- Rassembler, capitaliser puis diffuser l'information la plus objective et la plus complète
- Soutenir les projets innovants
- Construire un lien d'échange didactique et technique
- Se positionner dans un cadre européen et mondial



Association Française de Prototypage Rapide
& Fabrication Additive

Quelques dates clés

- **1992 : création de l'AFPR – 1ères AEPR (aujourd'hui AEFA)**
- **1995 : création de la GARPA (Global Alliance of Rapid Prototyping Associations)**
- **1995 : première participation à EUROMOLD**
- **1996 : Vigie Prototypage Rapide – premiers membres francophones (Québec, Belgique, Suisse)**
- **2001 : EURORP 2001 avec anglais et allemands**
- **2001 : RP2community.com**
- **2005 : commission FDM (Fab Directe Métal Céramique)**
- **2010 : invitation à la conférence internationale de Pékin**

La normalisation : une nécessité

Décembre 2005 : création au sein de l'AFPR de la commission Fabrication Directe.

Objectifs : réunir les principaux acteurs de la fabrication directe en France et sensibiliser les pouvoirs publics, en France et en Europe, à la normalisation de la Fabrication Additive.

Septembre 2009 : les deux Pôles de Compétitivité ViaMeca et EMC2 appuient l'initiative de l'AFPR et demandent officiellement à l'UNM la normalisation de la Fabrication Additive



Juin 2010 : création de la Commission de normalisation UNM 920

Premiers travaux engagés en septembre 2010 : Terminologie et classification des procédés.

En parallèle, le COS Santé de l'AFNOR va travailler à l'application de la norme dans le domaine de la fabrication de prothèses, en particulier le comité Médecine Buccale (ex comité Art Dentaire).

Juillet 2011 : première réunion du comité technique ISO/TC261

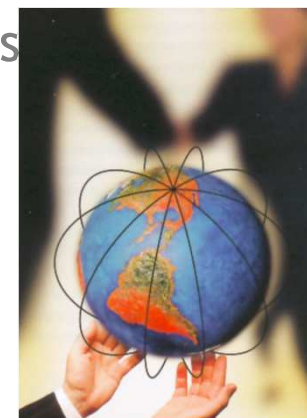


Association Française de Prototypage Rapide
& Fabrication Additive

Comité technique ISO/TC 261

➤ Activité

- ▶ Première réunion en juillet 2011 - Responsabilité allemande
- ▶ Domaine d'activité : Normalisation dans le domaine de la fabrication additive (AM) concernant les procédés, termes et définitions, chaîne du processus (matériel et logiciel), procédures d'essai, paramètres de qualité, les accords clients fournisseurs et tous types d'éléments fondamentaux.
- ▶ Pays participant :
Allemagne, Belgique, Danemark, Espagne, France, Italie, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Suède, Suisse, UK, USA.



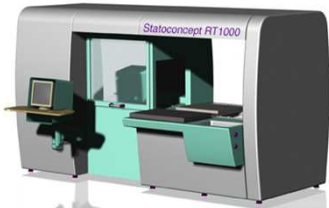


Association Française de Prototypage Rapide
& Fabrication Additive

Comité technique ISO/TC 261

- **Accord ISO/ASTM (2012)**
 - ▶ Deux possibilités de coopération entre l'ISO et l'ASTM (USA)
 - Procédure “Fast Track” : adoption des normes déjà publiées par chaque organisation dans le but d'une reconnaissance mutuelle des normes ASTM et ISO,
 - Développement conjoint de normes communes ASTM/ISO.
 - ▶ Deux normes ASTM en cours de vote : format de fichier AMF (ASTM F2915-12) et systèmes de coordonnées (ASTM F2921-11)
 - ▶ Afin de pouvoir discuter du contenu technique des documents, le développement conjoint est le plus approprié

Technologies de fabrication additive



Courtesy: RealMeca/
Cirtes



Courtesy: Stratasys



Courtesy: Objet



Courtesy: MCP



Courtesy: Trumpf



Courtesy:
CREATE/Centrale
Paris



Courtesy: Z Corp



Courtesy: EOS



Courtesy: Phenix Systems

7 classes de procédés

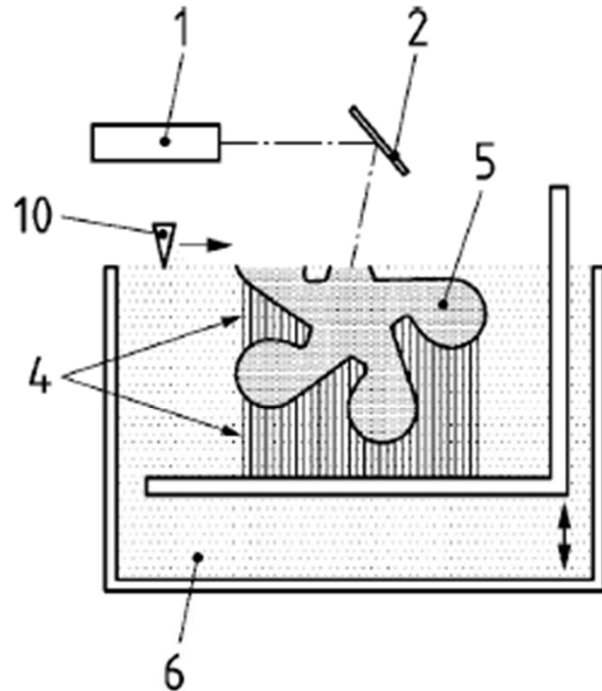
Table 1 — Overview of the processes categories and the typical associated feedstock

Materials	Example materials	Process categories						
		Vat photo-polymerization	Material jetting	Binder jetting	Powder bed fusion	Material extrusion	Directed energy deposition	Sheet lamination
Thermoset Polymers	Epoxies and acrylates	X	X					
Thermoplastic polymers	Polyamide, ABS, PPSF		X	X	X	X		X
Wood	paper							X
Metals	Steel, Titanium alloys, Cobalt chromium			X	X		X	X
Industrial ceramic materials	Alumina, Zirconia, Silicone nitride	X		X	X			X
Structural ceramic materials	Cement, Foundry sand			X	X	X		

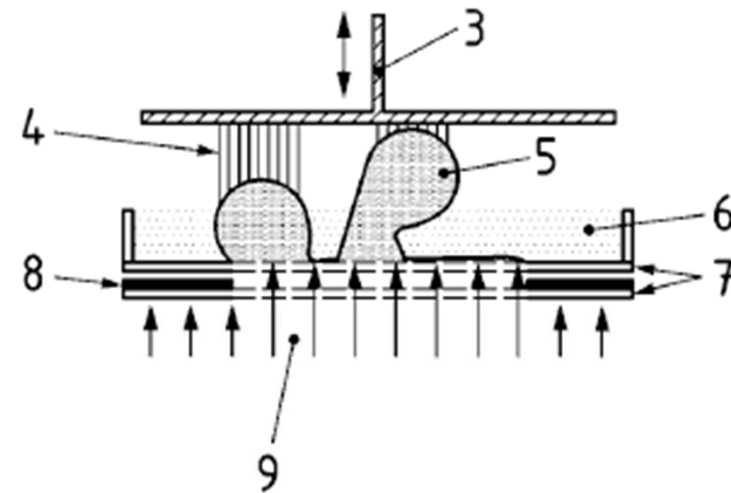
Note: Combinations of the above material classes, e.g. a composite, are possible.

Source : ISO 17296-2:2014E

Vat photopolymerization



a) Vat Photopolymerization by laser light source



b) Vat Photopolymerization by controlled area light source

Source : ISO 17296-2:2014E

Stéréolithographie laser

3D Systems



Exemples de réalisations



Viper Pro

Volume : 298 x 185 x 203 mm

Matériau : Résine photopolymère

Technique : Photopolymérisation de résine

Source: 3D Systems

Stéréolithographie par DLP

PRODWAYS
The new way of producing

Technologie propriétaire MOVINGLight® basée sur l'association de DLP en mouvement et de LEDS UVA de haute puissance, résines chargées

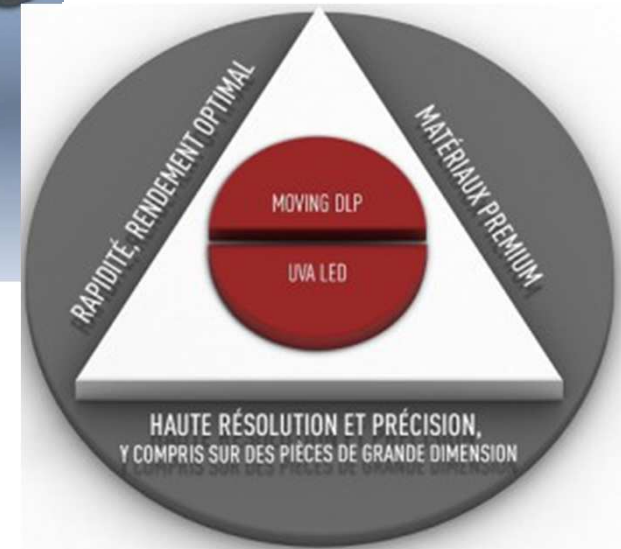
M350 Producer (Haute précision)



D35 Producer (Dentaire)

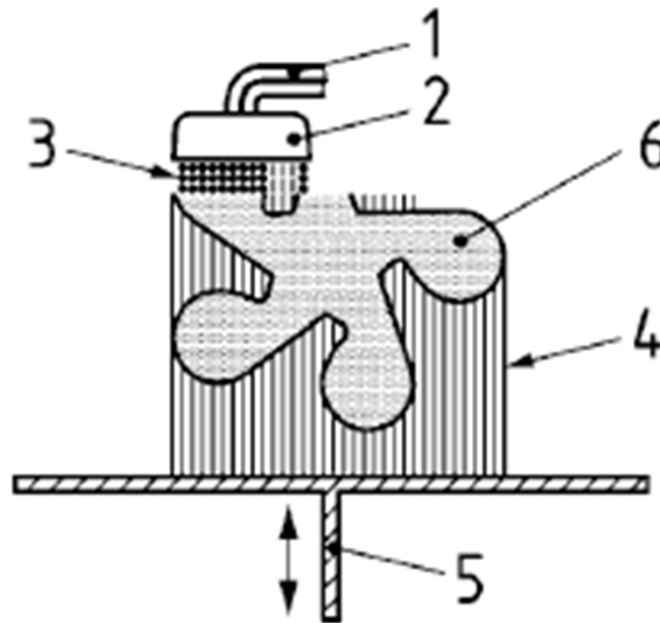


K20 Producer (Céramiques)



http://www.youtube.com/watch?feature=player_detailpage&v=KRpNAw5caN8

Material jetting



Source : ISO 17296-2:2014E

Projection de résine par jets multiples

3D Systems



Avantage :

- Possibilité de fabriquer des **maîtres modèles** pour la fonderie
- Prototypes souples

Exemples de réalisations



Imprimantes InVision SR

Volume : 298 x 185 x 203 mm

Résolution : 328 x 328 x 606 DPI

Matériau : Résine (plusieurs couleurs disponibles)

Technique : Modelage à Jets Multiples avec durcissement UV

Application : Maquette - Validation de forme -
Modèles pour fonderie ou moulage

Projection de résine par jets multiples

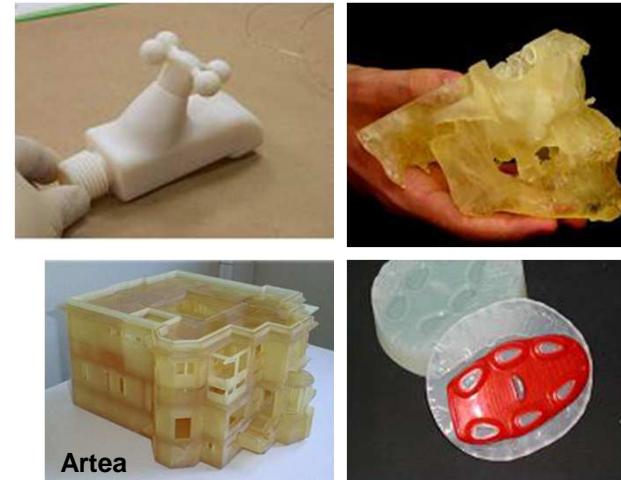
Stratasys/Objet



Avantages :

- **Grand volume** de construction sur la Eden 500
- Prototypes souples

Exemples de réalisations



Imprimante EDEN

Volume : 250 x 250 x 200 mm (mini : Eden 250)
500 x 400 x 200 mm (maxi : Eden 500)

Résolution : 600 x 300 x 1600 DPI

Matériau : Résine (plusieurs couleurs disponibles)

Technique : Modelage à Jets Multiples avec durcissement UV

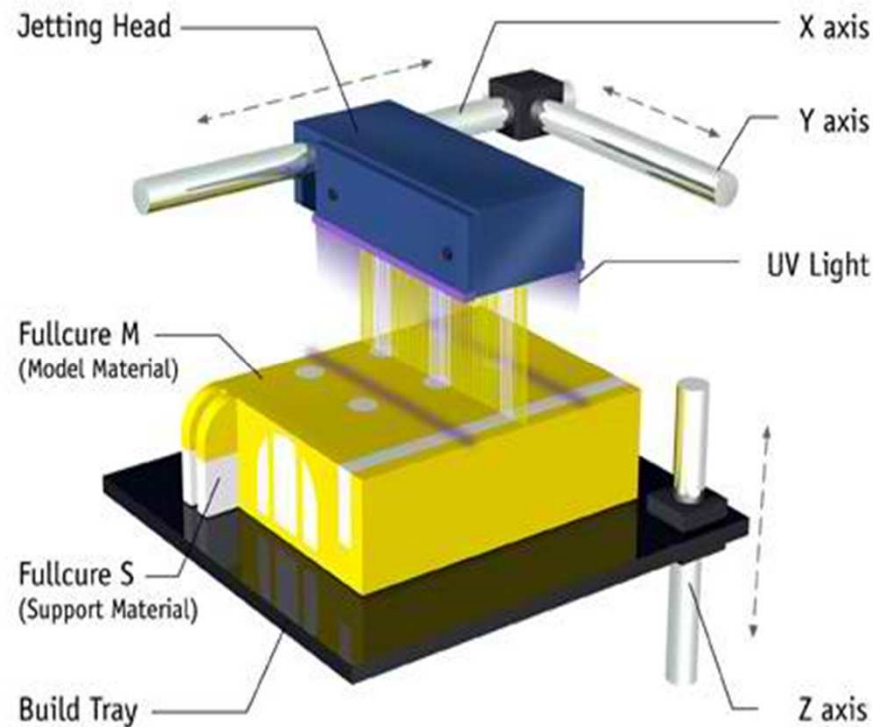
Application : Maquette - Validation de forme -
Moules et Modèles pour fonderie

Source: Stratasys

Projection de résine par jets multiples

Objet Geometries

Desktop PolyJet



<http://www.engagech.com/objet-3d-printing-technology.asp>

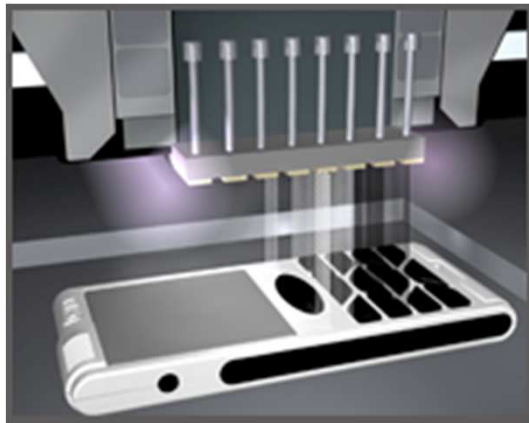
Projection de résine par jets multiples

Objet Geometries

Connex PolyJet: gradient de propriétés du matériau



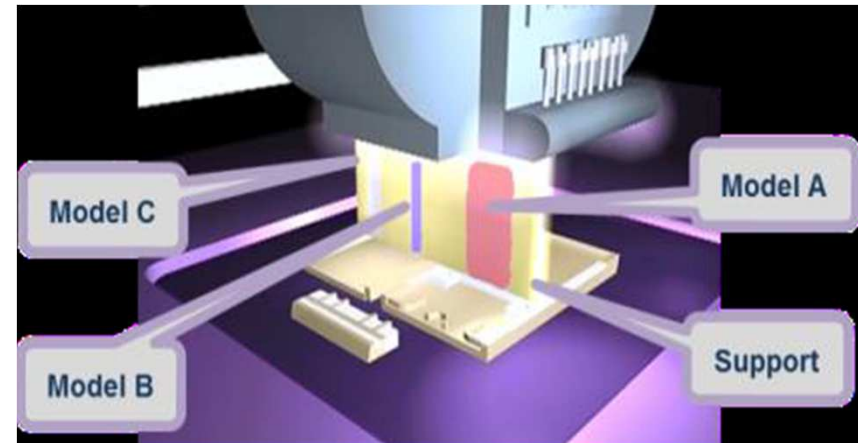
Objet Connex™ Technology works by jetting two distinct Objet FullCure® photopolymer model materials in preset combinations.



Objet Connex™ Technology controls every one of the 96 nozzles in every print head. Full control of the structure of the jetted material and hence of its mechanical properties. “Digital Material”

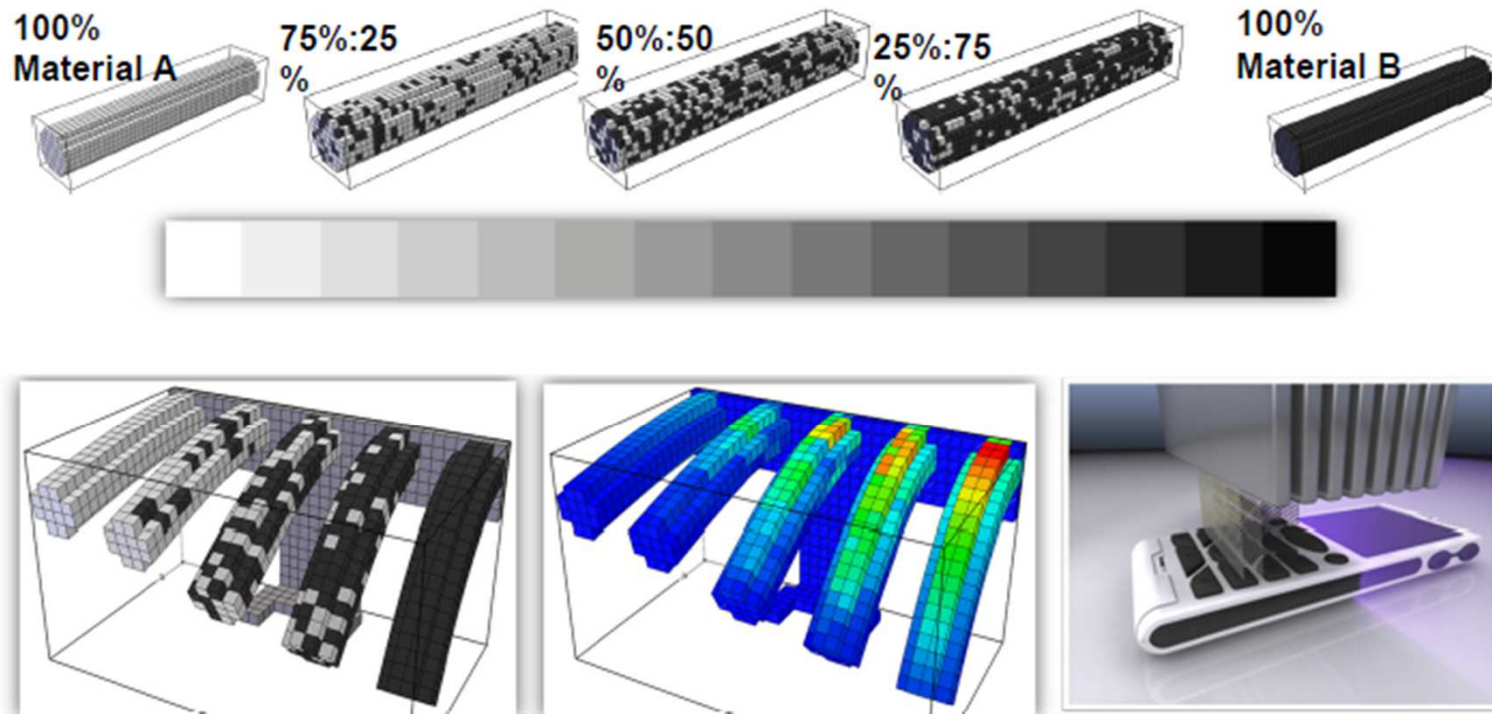
<http://www.engatech.com/objet-3d-printing-technology.asp>

Objet500 Connex 3: multi-matériaux/couleurs



Source: Stratasy, présentation lors des Assises Européennes de la Fabrication Additive, Juin 2014

Gradient de matière



Source: SFF 2012, Daniel Dikovsky, Ph.D.



Projection de résine par jets multiples

Objet1000

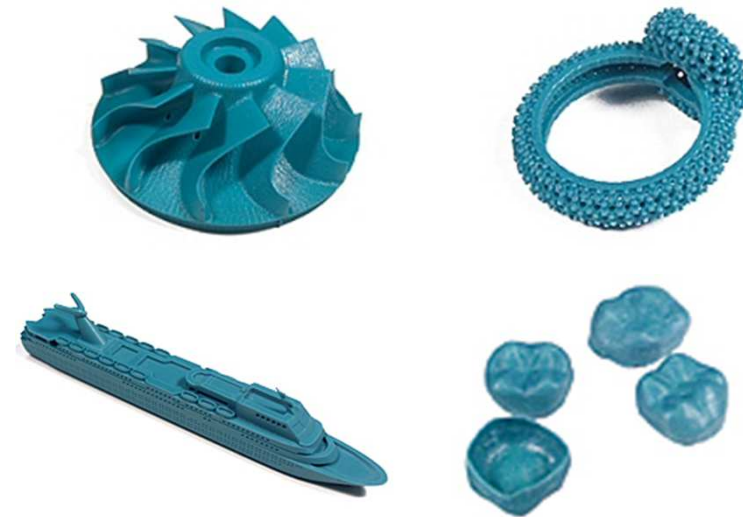


Source: Stratysys

Dépôts gouttelettes cire et usinage

Solidscape (Stratasys)

Exemples de réalisations



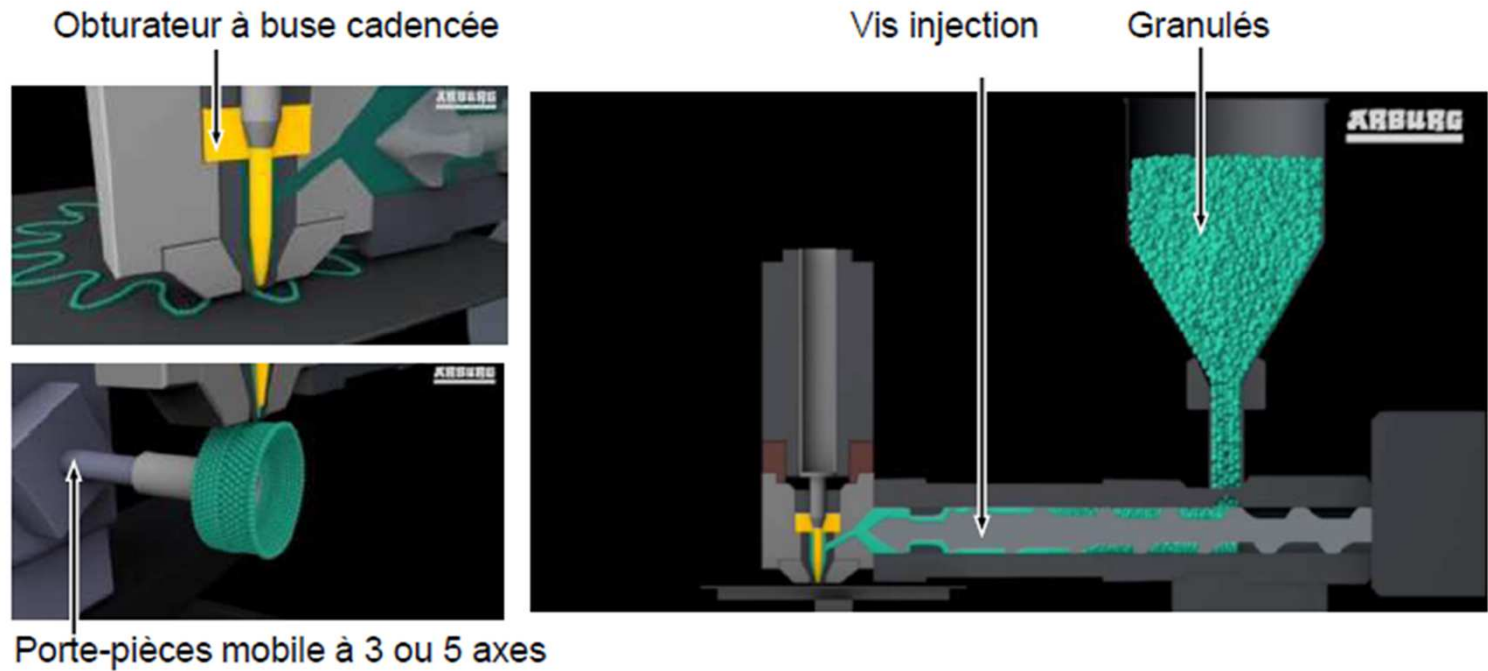
Avantage :

Modèles en cire identiques à ceux utilisés traditionnellement pour la fonderie

Source: Stratasys

Dépôts gouttelettes de plastique

ARBURG (freeformer)

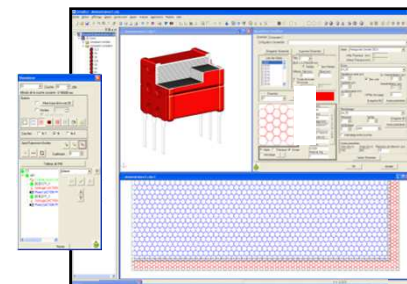
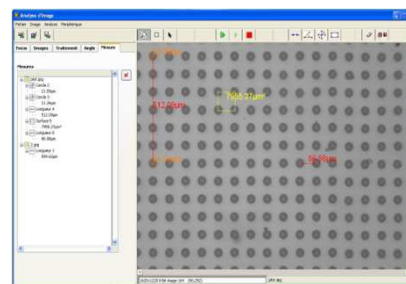
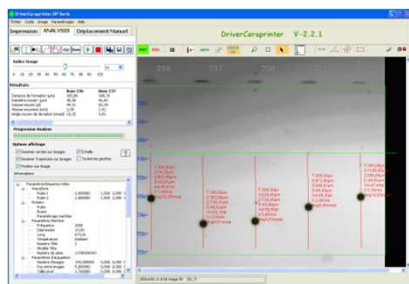
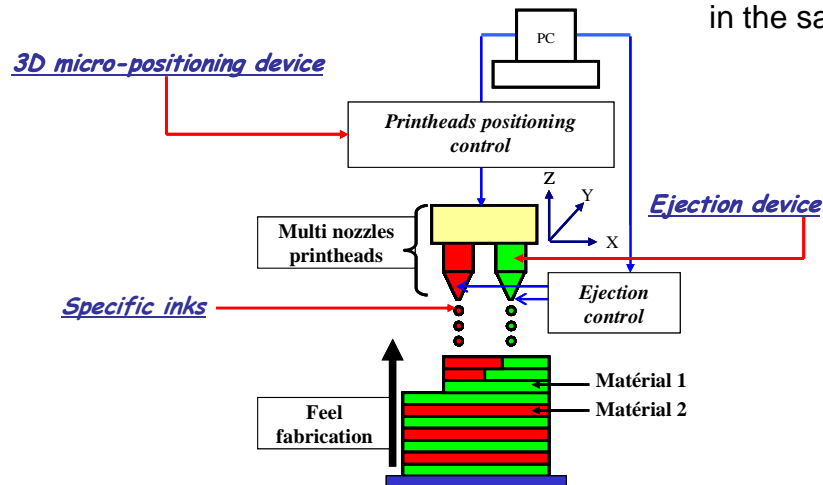


Source: ARBURG

Dépôts gouttelettes

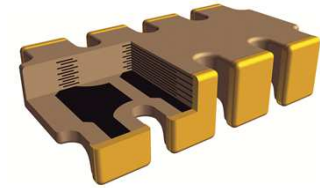
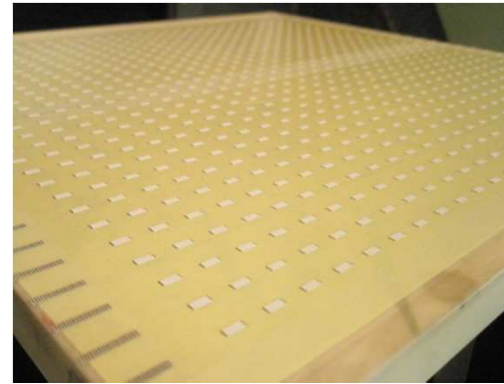
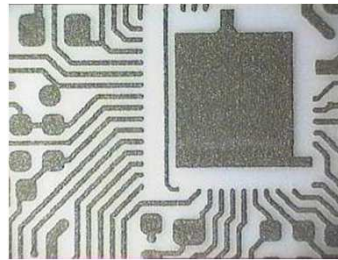
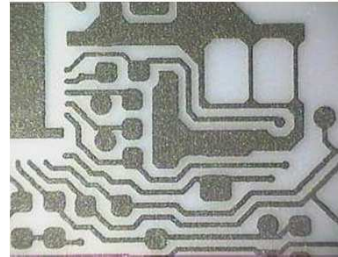
Inkjet printing devoted to rapid manufacturing of ceramic printed electronics components

2D/3D printer with **multimaterials** capability (up to four ceramic or metallic materials in the same component) with CAD/CAM and vision softwares



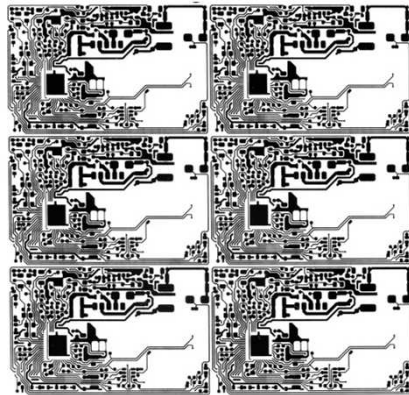
Source : Ceradrop

Dépôts gouttelettes

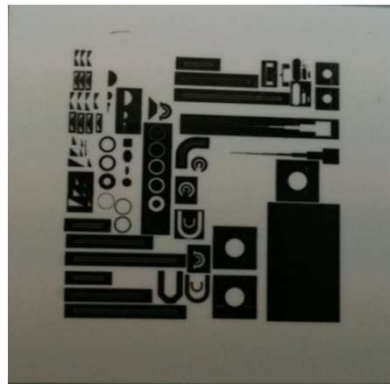


Printed complex multilayer ceramic capacitors

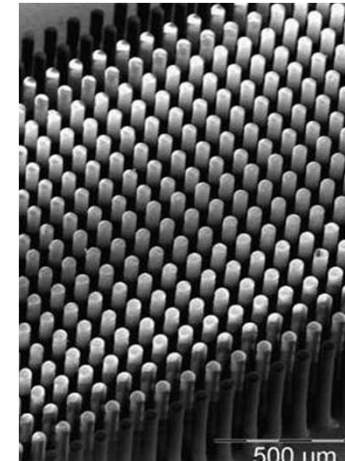
Ag crackless metallization for Thick film application



Silver patterning for automotive
Source : Ceradrop

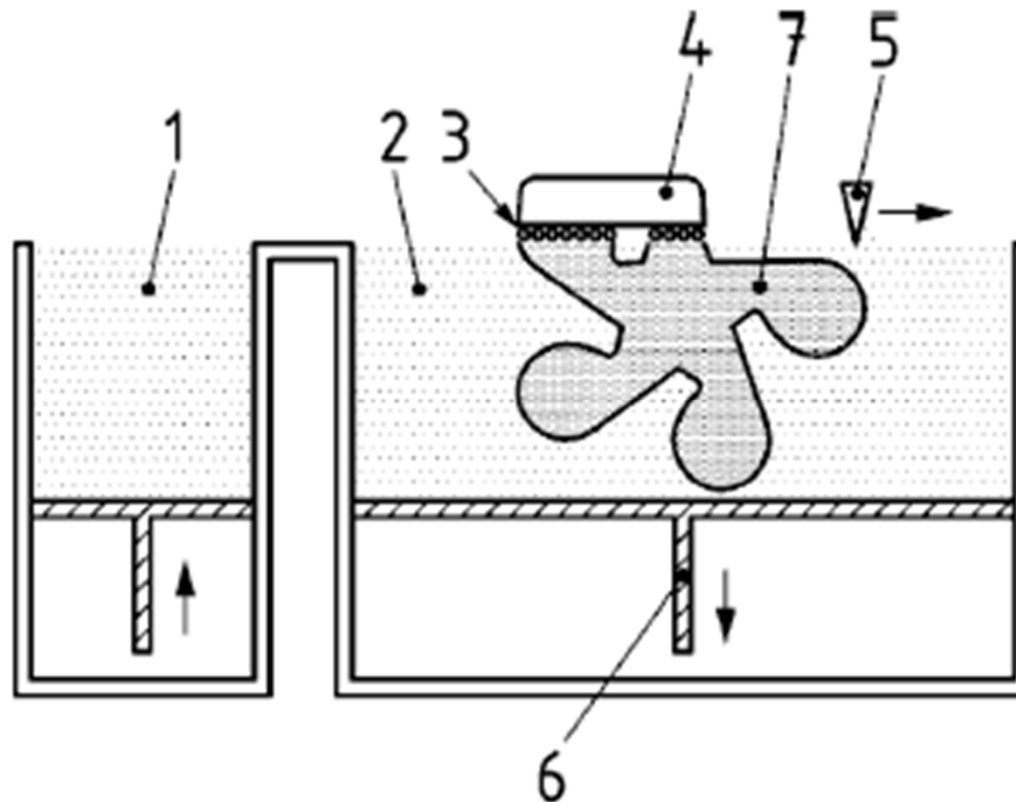


Silver patterning for RF filters



Printed piezoelectric actuator

Binder jetting

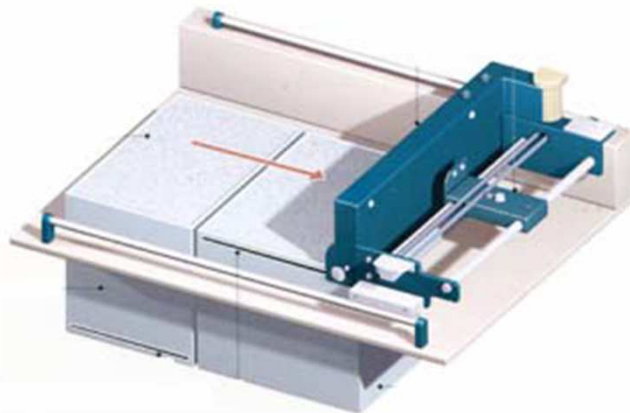


Source : ISO 17296-2:2014E

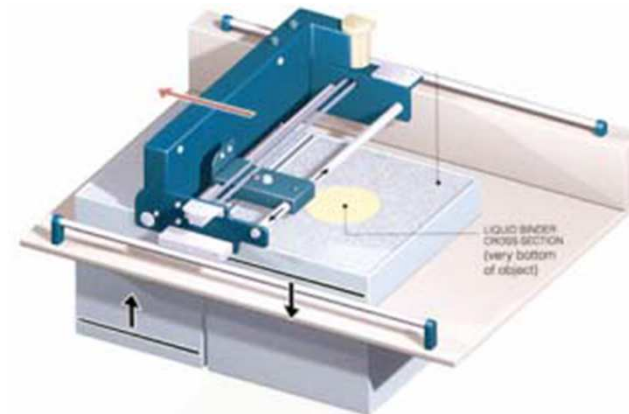
3D printing: the concept... inkjet like!!!

Z Corp. 3D printers use standard inkjet printing technology to create parts layer-by-layer by depositing a liquid binder onto thin layers of powder. Instead of feeding paper under the print heads like a 2D printer, a 3D printer moves the print heads over a bed of powder upon which it prints the cross-sectional data.

Principe de la technologie Z-Corp



Spread a layer of powder



Print cross section

http://www.zcorp.com/documents/108_3D%20Printing%20White%20Paper%20FINAL.pdf

Projection liant sur poudre

Z Corporation



Z310Plus

Avantages :

- Impression couleur
- Possibilité de fabriquer des **maîtres modèles** et de **moules céramique** pour la fonderie

Exemples de réalisations



Z310Plus



Spectrum Z510



Z810

Imprimante Spectrum Z510

Volume : 203 x 254 x 203 mm (mini : Z310Plus)
500 x 600 x 400 mm (maxi : Z 810)

Matériau : Poudres : composite plâtre, simili plastique, élastomère, céramique et composite cellulose

Technique : Modelage à Jets Multiples avec durcissement UV

Application : Validation du design, prototypes de forme, modèles pour moulage

Projection liant sur poudre

Gamme de machines de Z-Corporation (USA)



ZPrinter® 150



ZPrinter® 250



ZPrinter® 350

<http://www.zcorp.com/fr/Products/3D-Printers/>

Gamme de machines de Z-Corporation (USA)



ZPrinter® 450

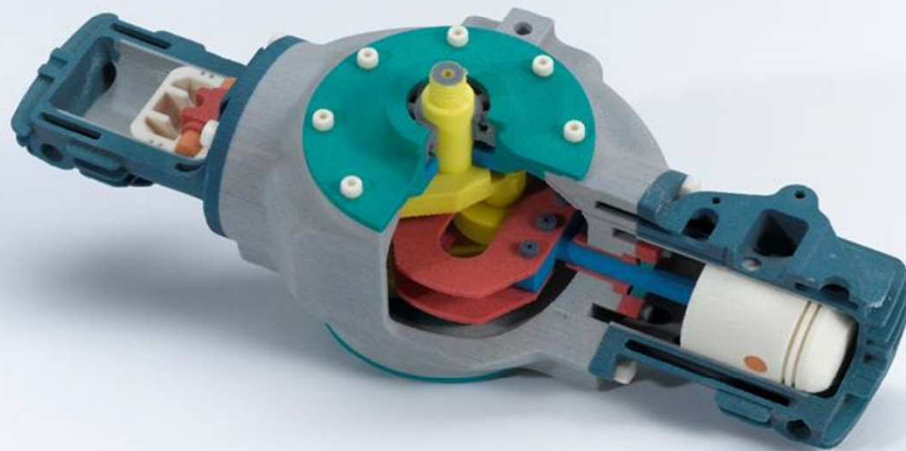


ZPrinter® 650



ZPrinter® 850

ZCorp Spectrum Z510



Projection liant sur poudre

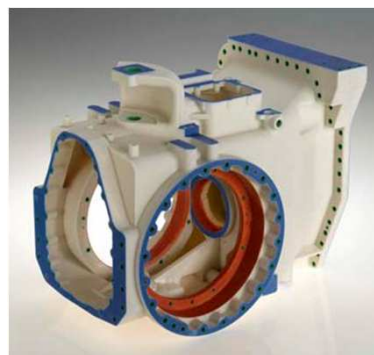
3D printing: pièces couleurs/souples et moules



Reebok® shoe and
color prototype



Model produced
using elastomeric
material

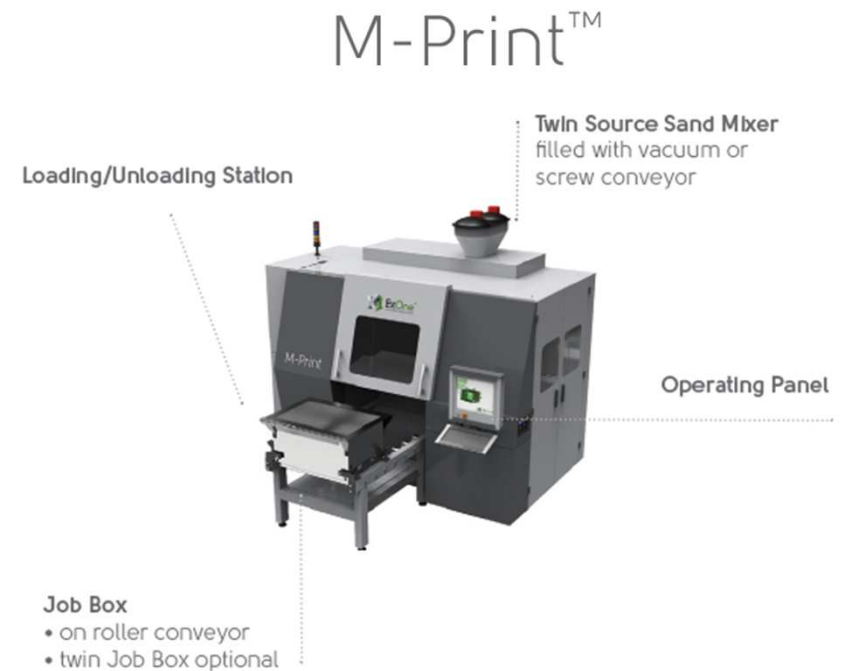


ZCast 3D Printed
mold and cast
aluminum part

http://www.zcorp.com/documents/108_3D%20Printing%20White%20Paper%20FINAL.pdf

Projection liant sur poudre

**agglomération de la poudre
(sable ou métal) par un liant
puis cuisson de la pièce**



Imprimantes MFlex et MPrint

Volume : 250 x 250 x 400 mm (MFlex)
500 x 400 x 800 mm (MPrint)

Matériau : Alliages d'acier inox 420&316, Bronze, Tungsten

Technique : Projection de liant sur substrat poudre

Application : Fabrication de pièces métalliques

Projection liant sur poudre



**agglomération de la poudre
(sable ou métal) par un liant
puis cuisson de la pièce**

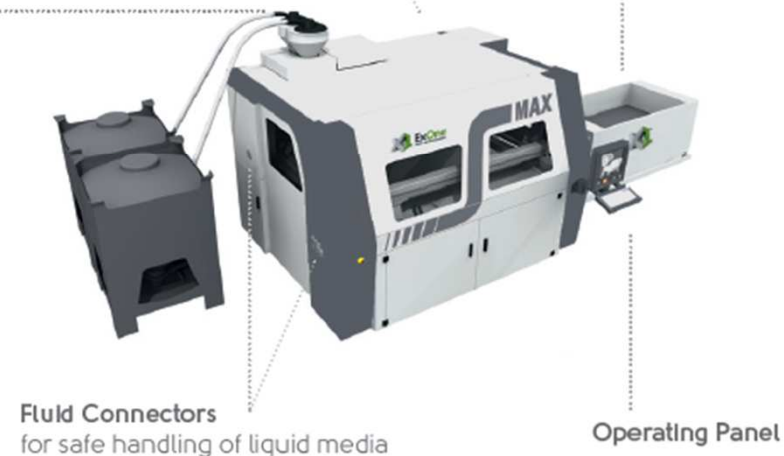
S-Max™

Twin Source Sand Mixer
filled with vacuum or
screw conveyor

Control Cabinet

Job Box

- for building and unloading process
- on motorized roller conveyor
- twin Job Box optional



Imprimantes S-Max

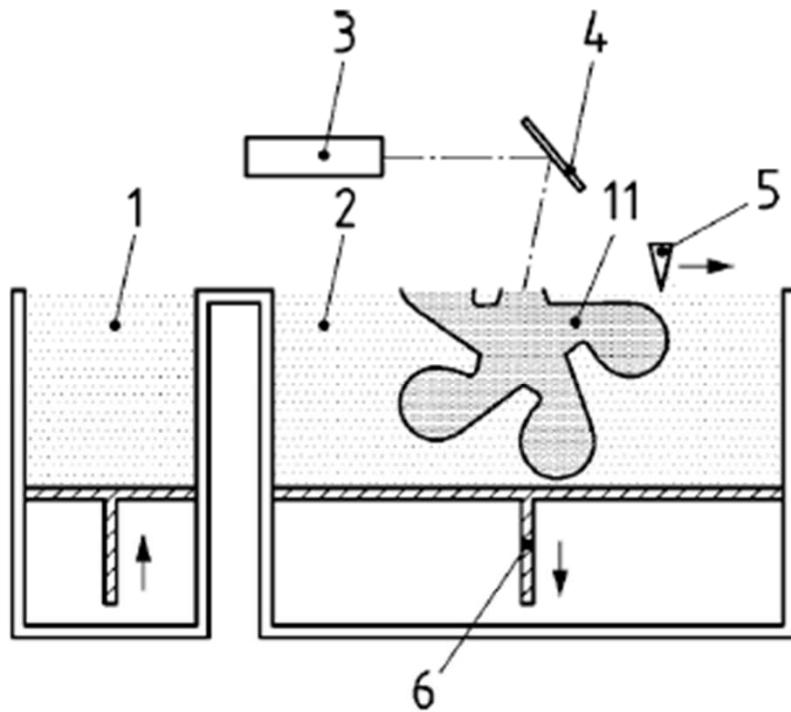
Volume : 1000 x 7000 x 1800 mm

Matériau : Sable de fonderie

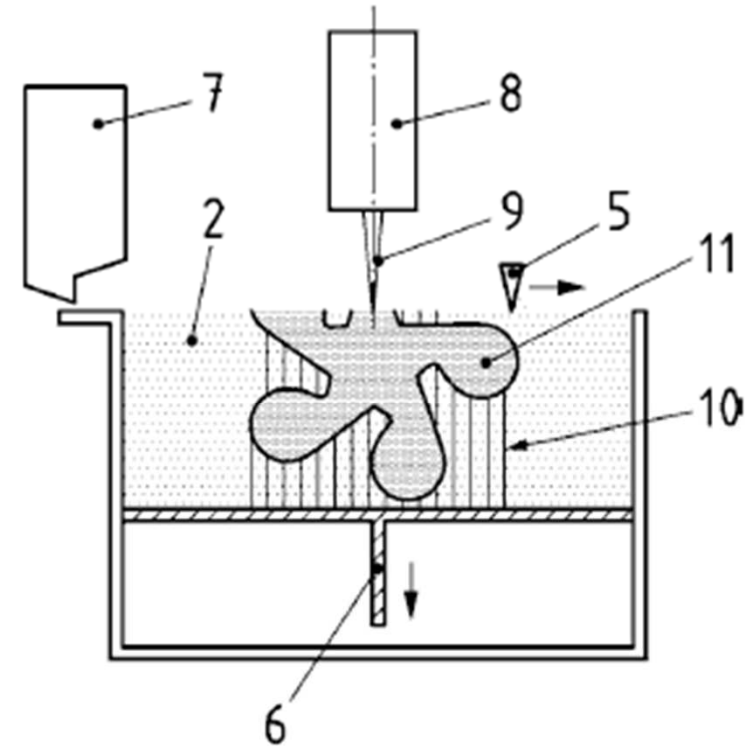
Technique : Projection de liant sur substrat poudre

Application : Fabrication de moules et noyaux sable pour la fonderie

Powder bed fusion



a) Laser based powder bed fusion



b) Electron beam powder bed fusion

Source : ISO 17296-2:2014E

Frittage de poudres par laser

Frittage de poudre plastique sous l'action d'un laser


EOSINT P 396



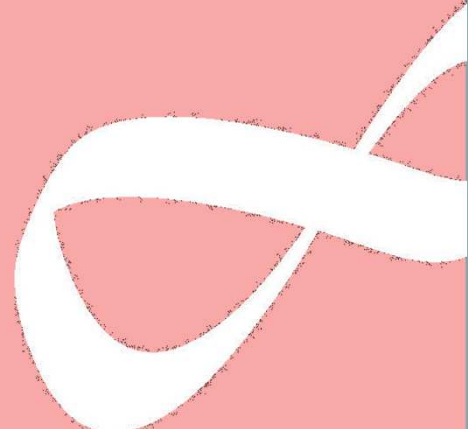
Exemple de réalisation



Source: EOS



Parenthèse locale :
Stéréolithographie
et frittage de poudre
plastique à l'Irfu



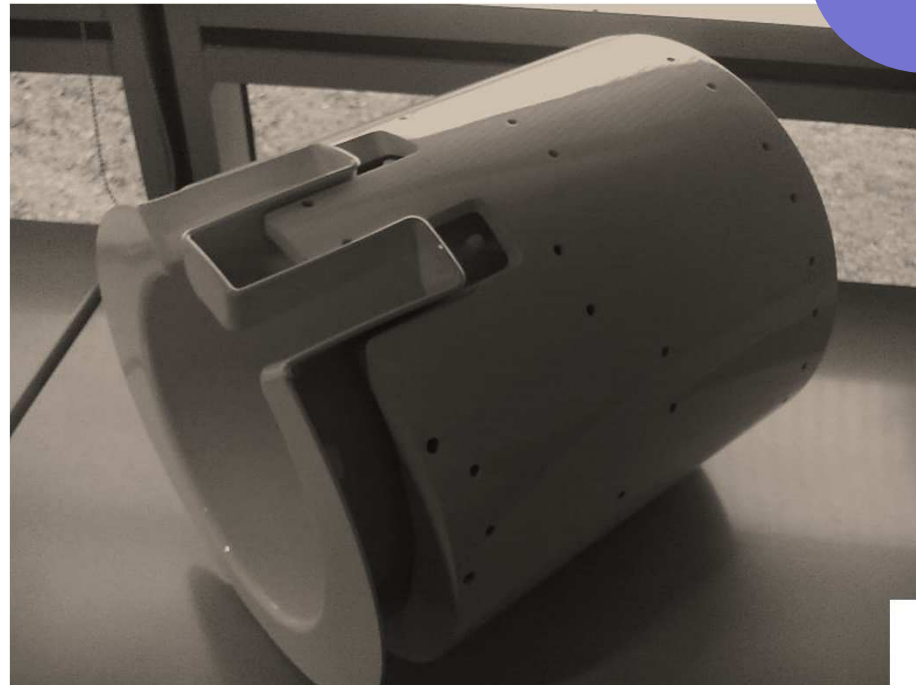
Les antennes RF d'Iseult

ont été fabriquées chez un industriel successivement par

- stéréolithographie
- frittage de poudre polyamide



Objectif :
Simplifier la conception
en limitant les
problèmes d'assemblage.



2010



© M. Luong, O. Tellier, H. Neyrial

Antennes RF d'Iseult : retour d'expérience

- **Stéréolithographie**

- + polymérisation amorcée par UV à basse température : faible rétreint thermique
- + finition, meilleure tolérance géométrique
- processus de nettoyage, coulures
- pièces plus fragiles dans la zone de faible épaisseur
- coût supérieur

- **Frittage de poudre polyamide**

- + conception/assemblage simplifiés
- + transition vitreuse ~ 90 °C → pièces plus stables
- chauffe élevée → rétreint thermique → moindre précision sur grandes tailles
- état de surface rugueux → apprêt peinture
- + coût inférieur

Frittage de poudres par laser

Frittage de poudre métallique sous l'action d'un laser

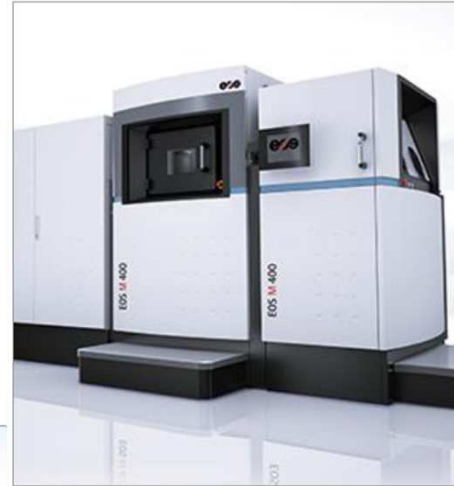
EOSINT M280

EOSINT M 280 with Comfort Powder Module



M400

EOS M 400 Process & Set-up Stations with periphery



M290

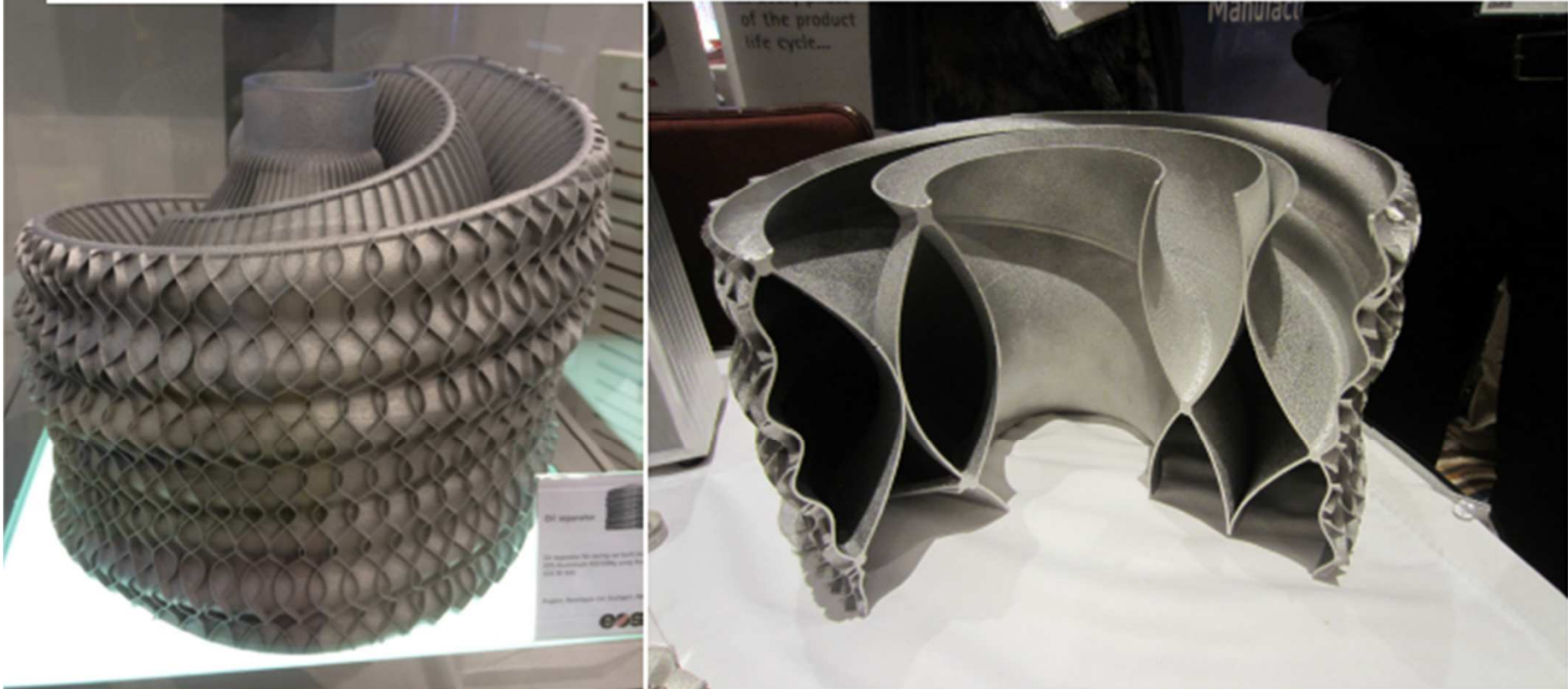


Source: EOS

Frittage de poudres par laser

Frittage de poudre métallique sous l'action d'un laser

Heat exchanger 450x4050x500 mm



Source: EOS

Frittage de poudres par laser

Frittage de poudre métallique sous l'action d'un laser

EOS PRECIOUS M080



Source: EOS/Cooksongold





3DSYSTEMS

PHENIX
SYSTEMS



Centrale
Nantes



A F
P R



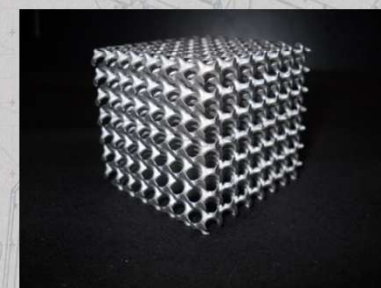
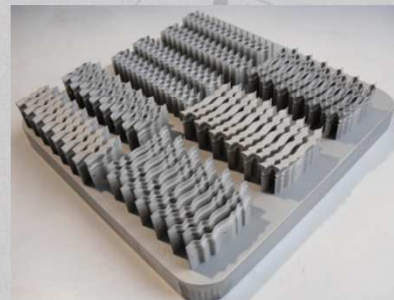
PXS




PXM

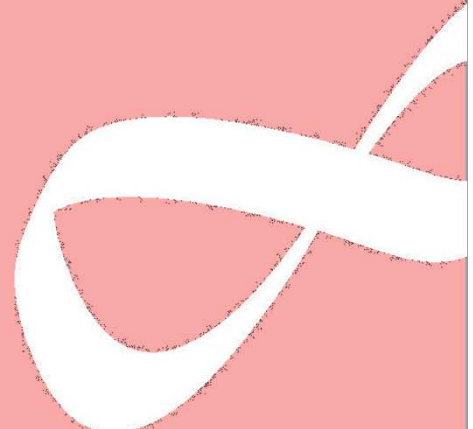


PXL





Parenthèse locale :
Le frittage de poudre
métallique à l'Irfu

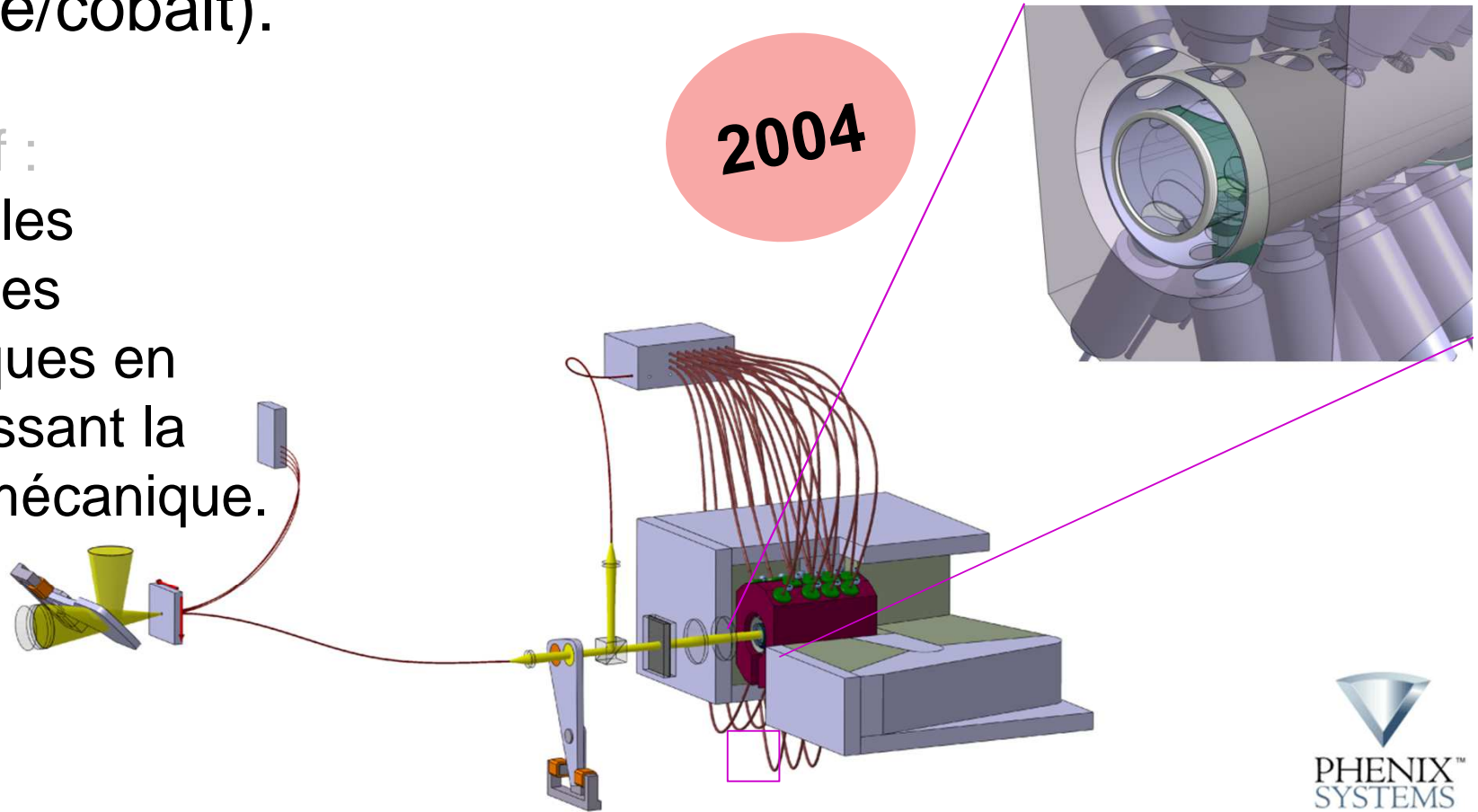




L'anneau-support de GOLF-NG

a été fabriqué chez un industriel par frittage de poudre métallique (superalliage médical de chrome/cobalt).

Objectif :
Limiter les échanges thermiques en garantissant la tenue mécanique.

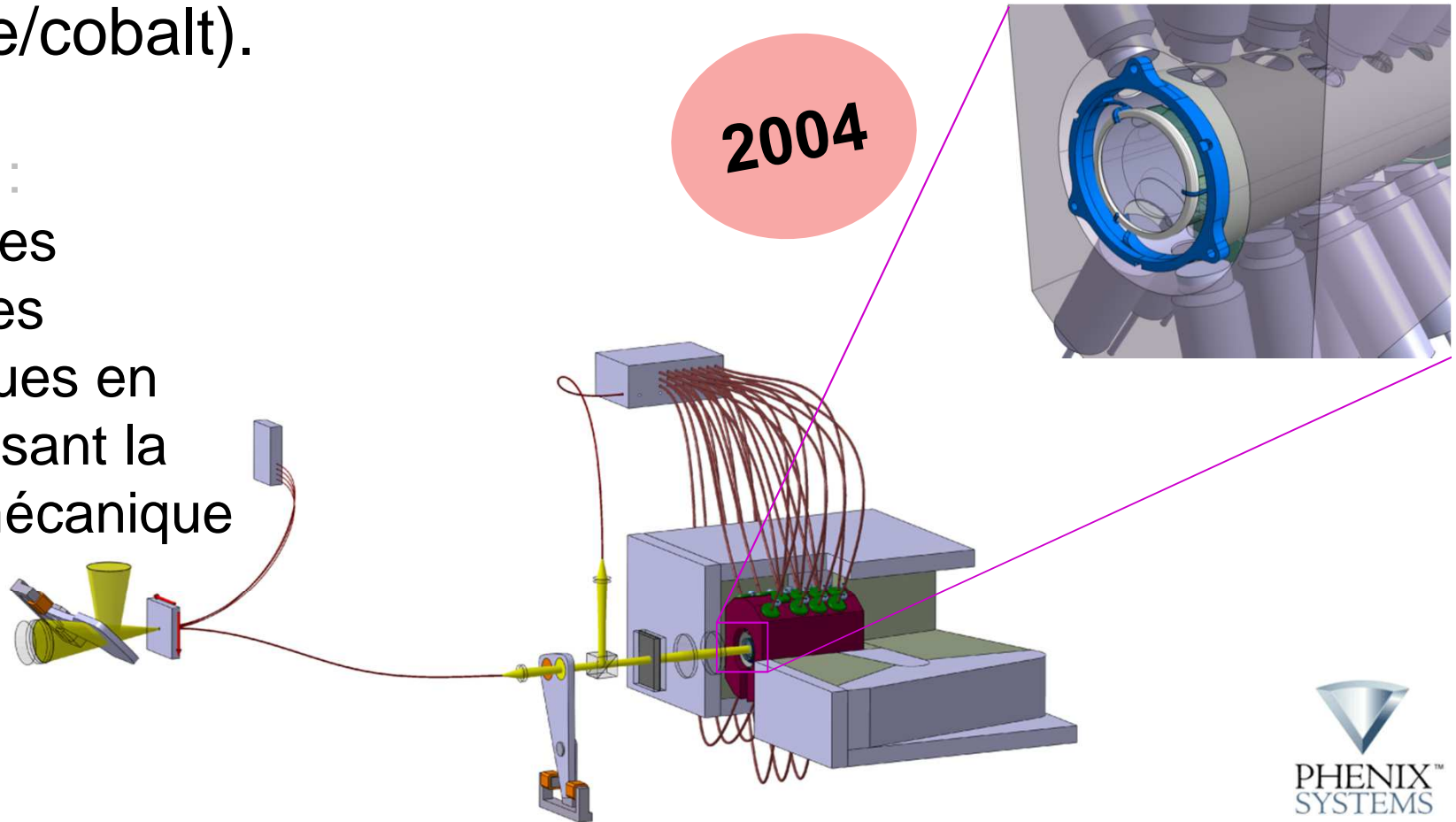


© F. Nunio, Ph. Daniel-Thomas, P.H. Carton, R. Granelli

L'anneau-support de GOLF-NG

a été fabriqué chez un industriel par frittage de poudre métallique (superalliage médical de chrome/cobalt).

Objectif :
Limiter les échanges thermiques en garantissant la tenue mécanique

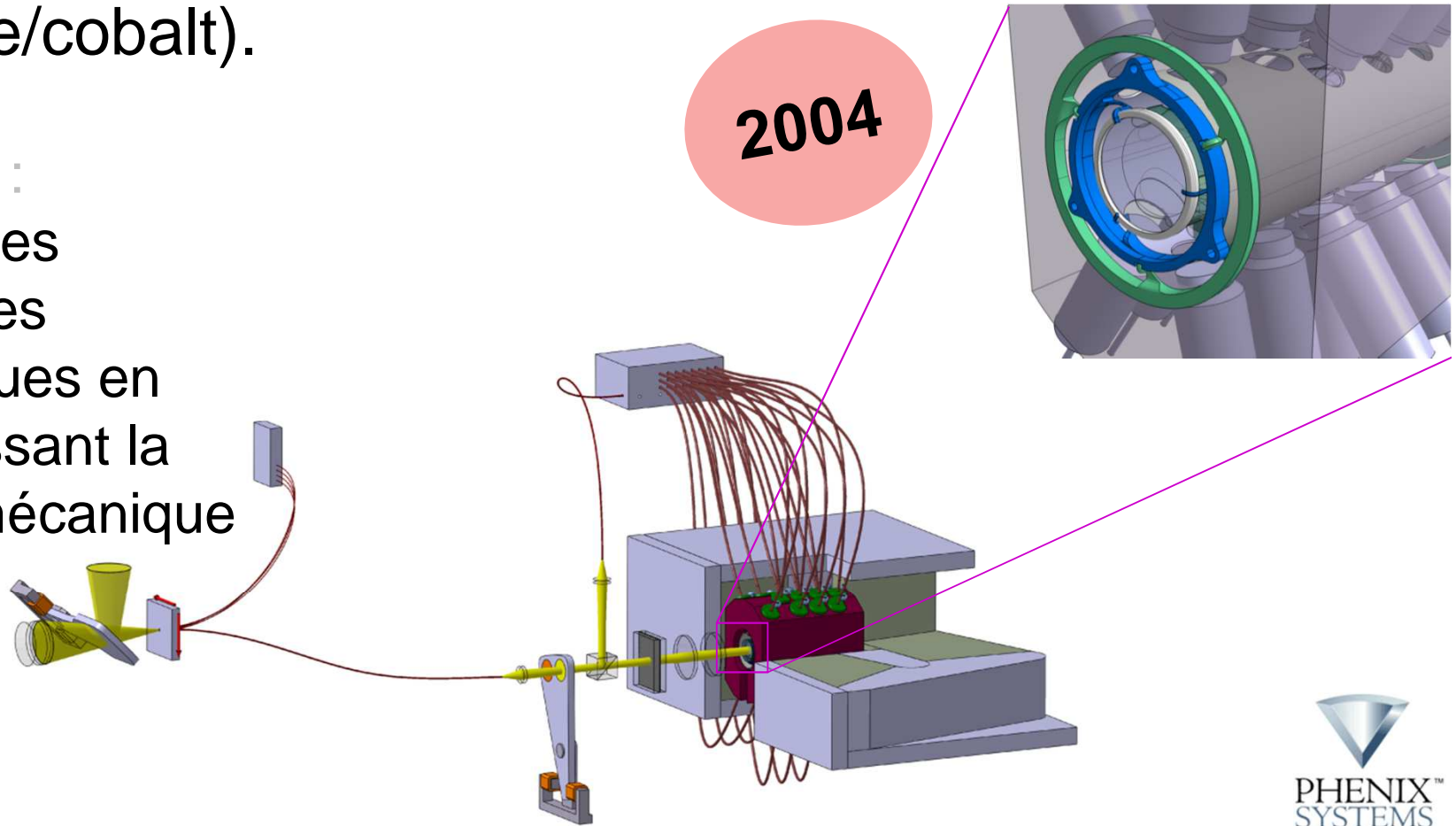


© F. Nunio, Ph. Daniel-Thomas, P.H. Carton, R. Granelli

L'anneau-support de GOLF-NG

a été fabriqué chez un industriel par frittage de poudre métallique (superalliage médical de chrome/cobalt).

Objectif :
Limiter les échanges thermiques en garantissant la tenue mécanique

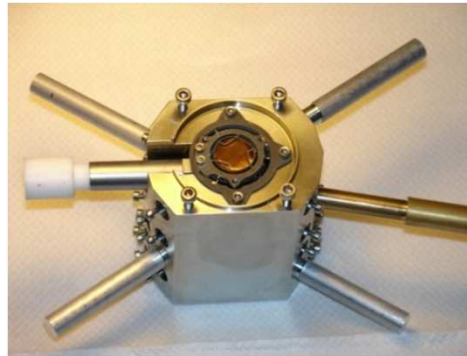


© F. Nunio, Ph. Daniel-Thomas, P.H. Carton, R. Granelli

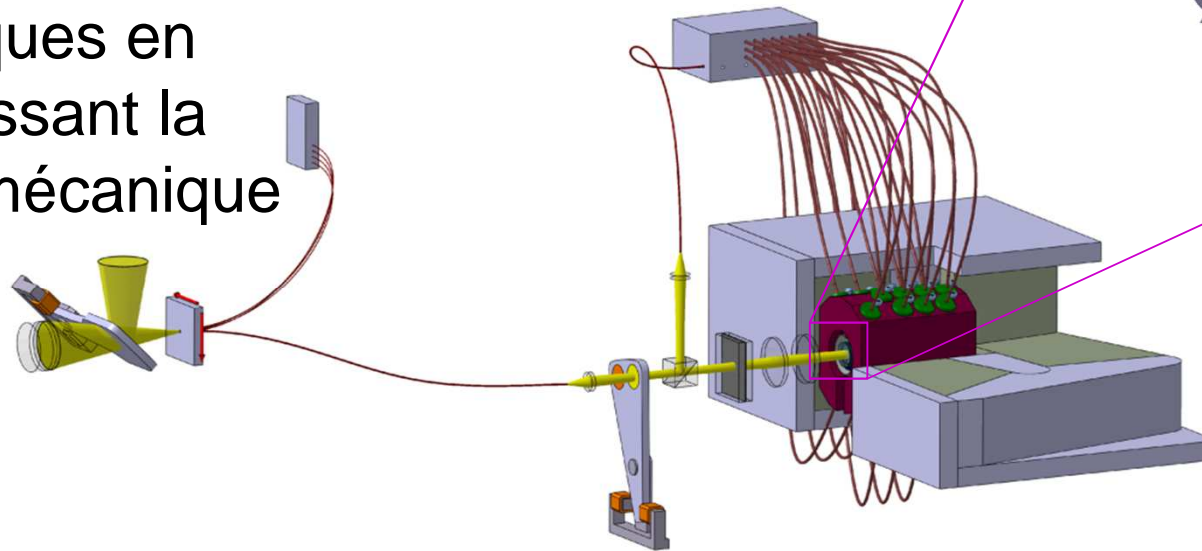
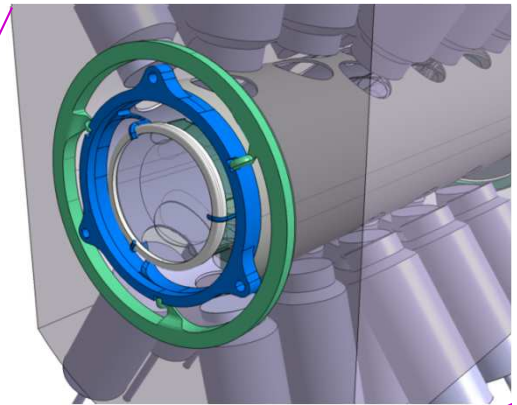
L'anneau-support de GOLF-NG

a été fabriqué chez un industriel par frittage de poudre métallique (superalliage médical de chrome/cobalt).

Objectif :
Limiter les échanges thermiques en garantissant la tenue mécanique



2004



© F. Nunio, Ph. Daniel-Thomas, P.H. Carton, R. Granelli

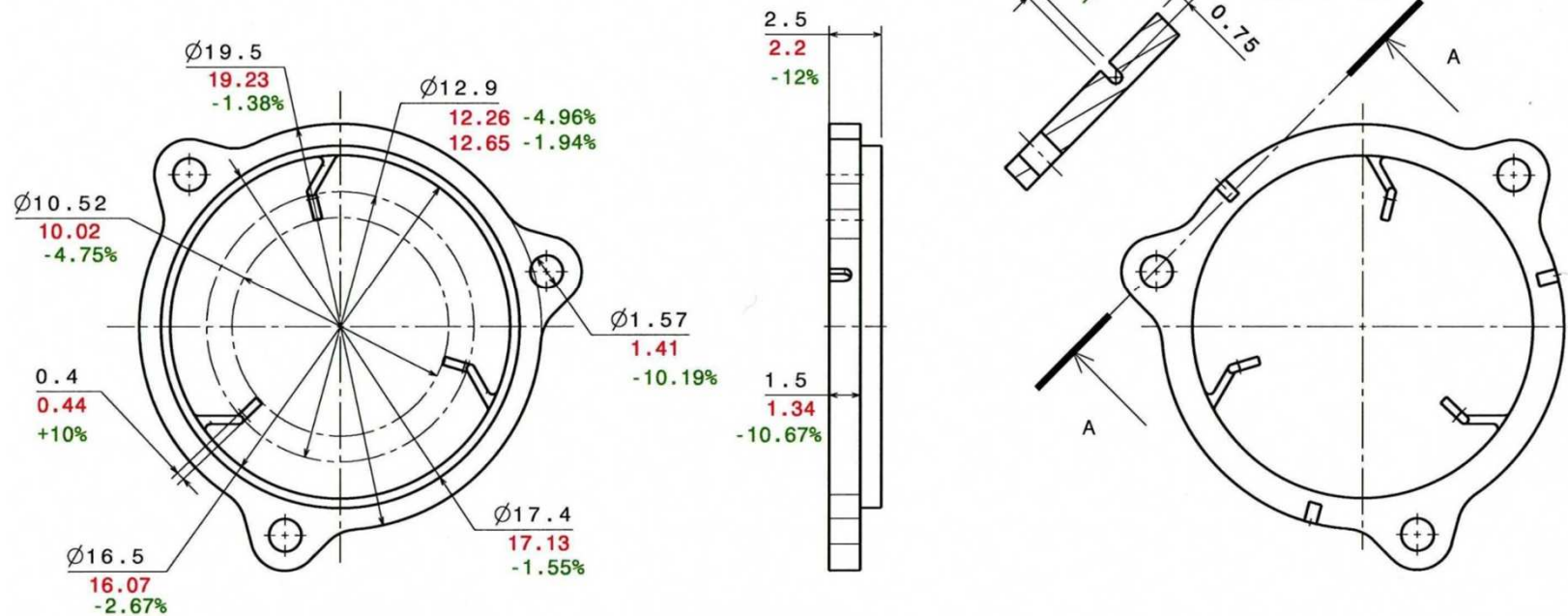
Support GOLF-NG : retour d'expérience

- Frittage de poudre métallique

- + géométries difficilement accessibles par usinage standard

- +++ réactivité

- bouclage nécessaire pour la maîtrise des cotes (principalement en épaisseur)



© F. Nunio, Ph. Daniel-Thomas, P.H. Carton, R. Granelli

Frittage de poudres par laser

Frittage/fusion de poudre métallique sous l'action d'un laser

Renishaw (laser melting)



AM 250

Source : Renishaw

Exemples de réalisations



Fusion de poudre par laser

Frittage/fusion de poudre métallique sous l'action d'un laser

CONCEPTLASER
hofmann innovation group

Exemple de réalisation

LaserCUSING®



M1 cusing

Die ideale Maschine für Einsteiger in die LaserCUSING®-Technologie.

The ideal machine for newcomers to LaserCUSING® technology.



M2 cusing

Anlagentechnologie zur sicheren Verarbeitung von Aluminium- und Titanlegierungen.

Machine technology for safe processing of aluminium and titanium alloys.



M3 linear

LaserCUSING® mit einer der zur Zeit größten Metallmaschinen am Markt.

LaserCUSING® with what is currently one of the largest metal machines available on the market.



Source : Concept Laser

Fusion de poudre par laser

Frittage/fusion de poudre métallique sous l'action d'un laser



Source : SLM Solution GmbH

Fusion de poudres métal par faisceau d'électrons

ARCAM Q10 (Q20)



ARCAM A1



Exemples de réalisations



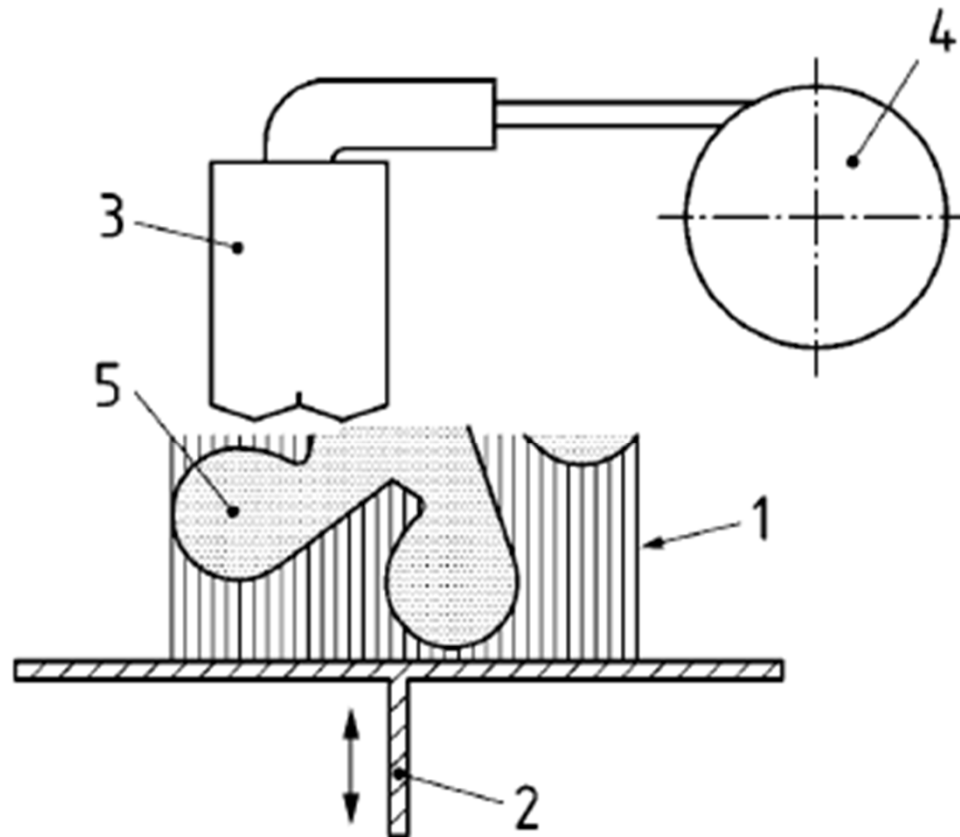
ARCAM A2X



Source : ARCAM AB

Source : 3A

Material extrusion



Source : ISO 17296-2:2014E

Extrusion fil

Stratasys



Avantage :

Imprimante vendue à bas prix
Système automatisé d'enlèvement
des supports de construction en option

Imprimante Dimension

Volume : 203 x 203 x 305 mm

Matériau : ABS en fil (plusieurs couleurs disponibles)

Technique : Modelage par dépôt de fil en fusion

Application : Maquette – Validation de forme -
Modèles pour moulage

Exemples de réalisation



<http://www.stratasys.com/>

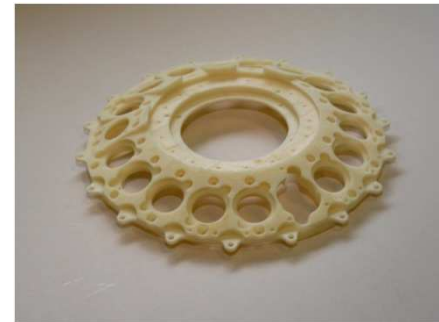
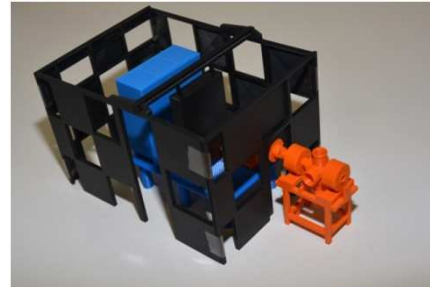


Parenthèse locale :
L'imprimante 3D
à fil polymère
du LCAP



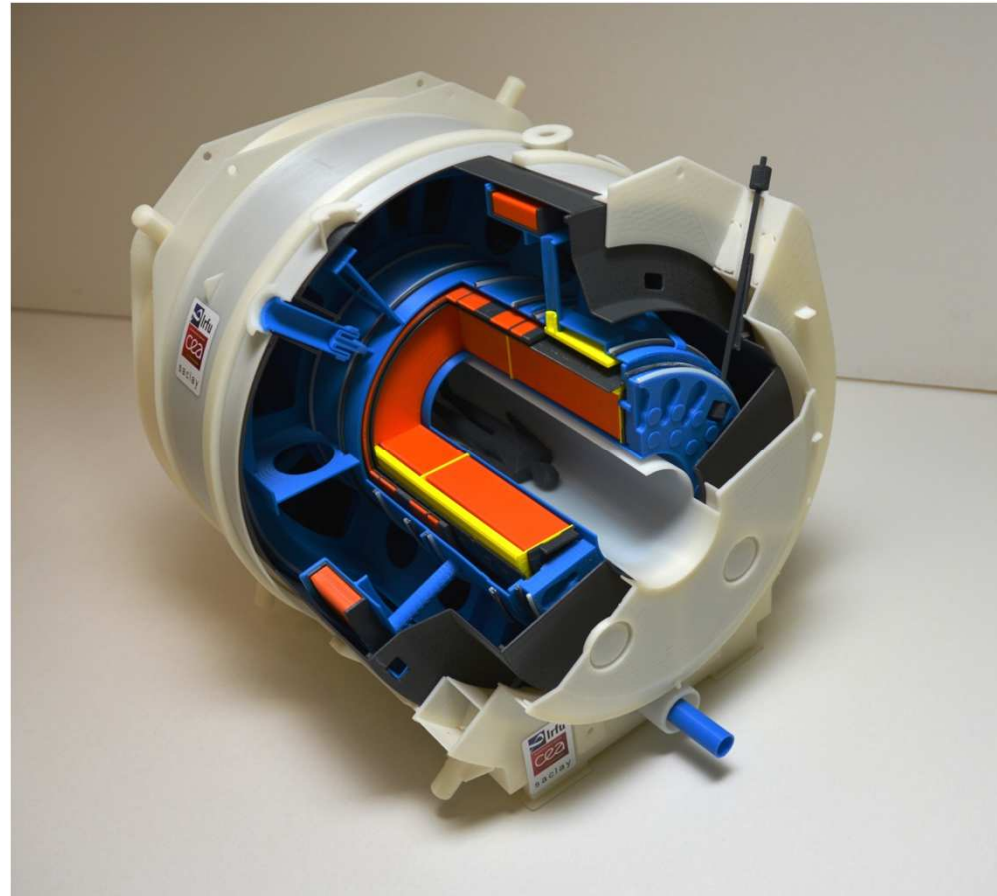
L'imprimante 3D de l'Irfu /LCAP

2014



1600 h de fonctionnement...

Maquette ISEULT



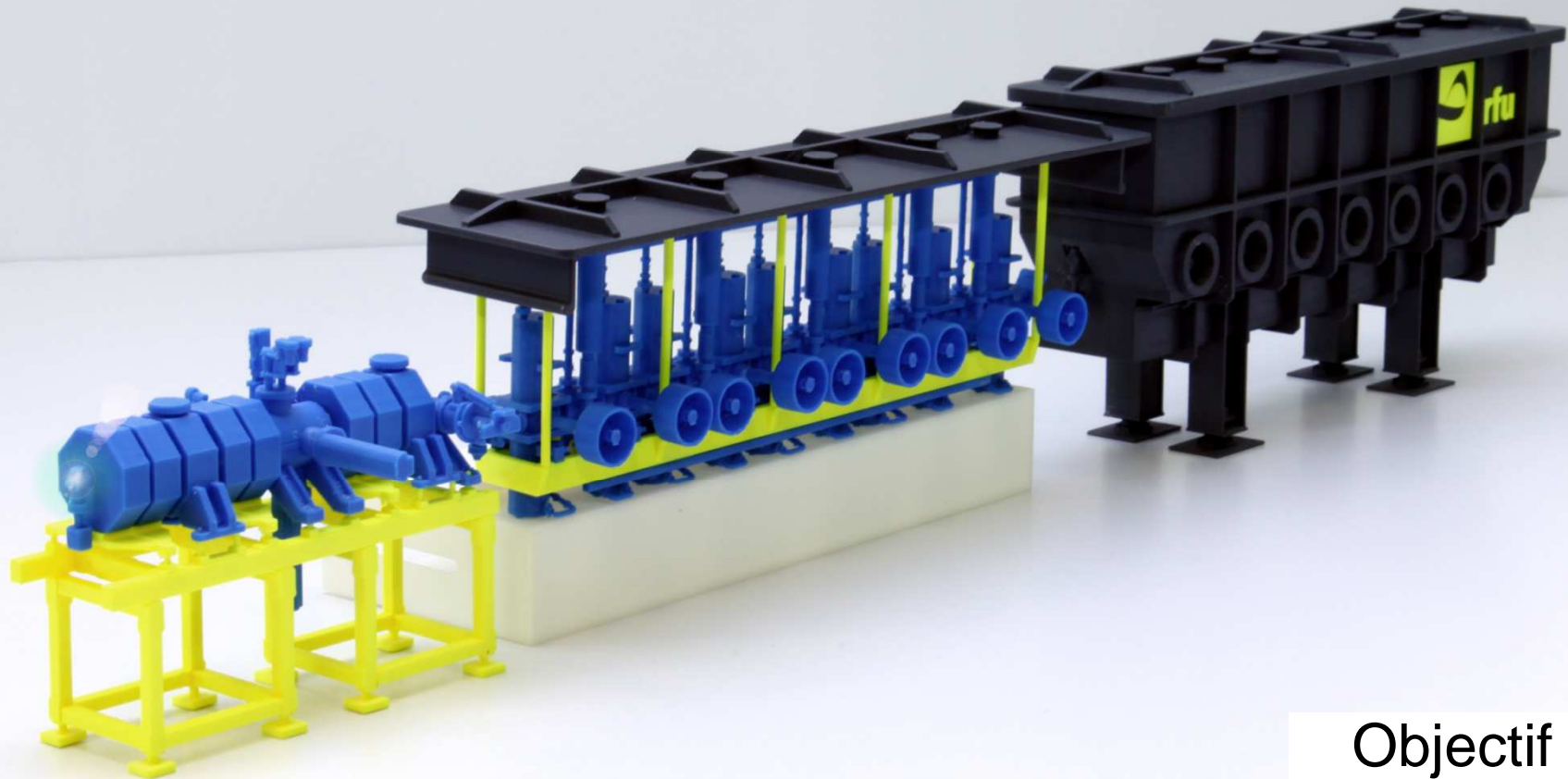
Objectif :

Communication.

Maquette de conception finale = « un siècle de CAO *in-a-box* ».

© O. Tellier, J.C. Guillard, F. Nunio, L. Scola

Avant-projet SARAF



Objectif :
Communication.

Présentation explicite aux décideurs
de la solution technique Irfu.

© J. Neyret, F. Leseigneur, Ph. Hardy, P. Girardot

Maquette PETAL+



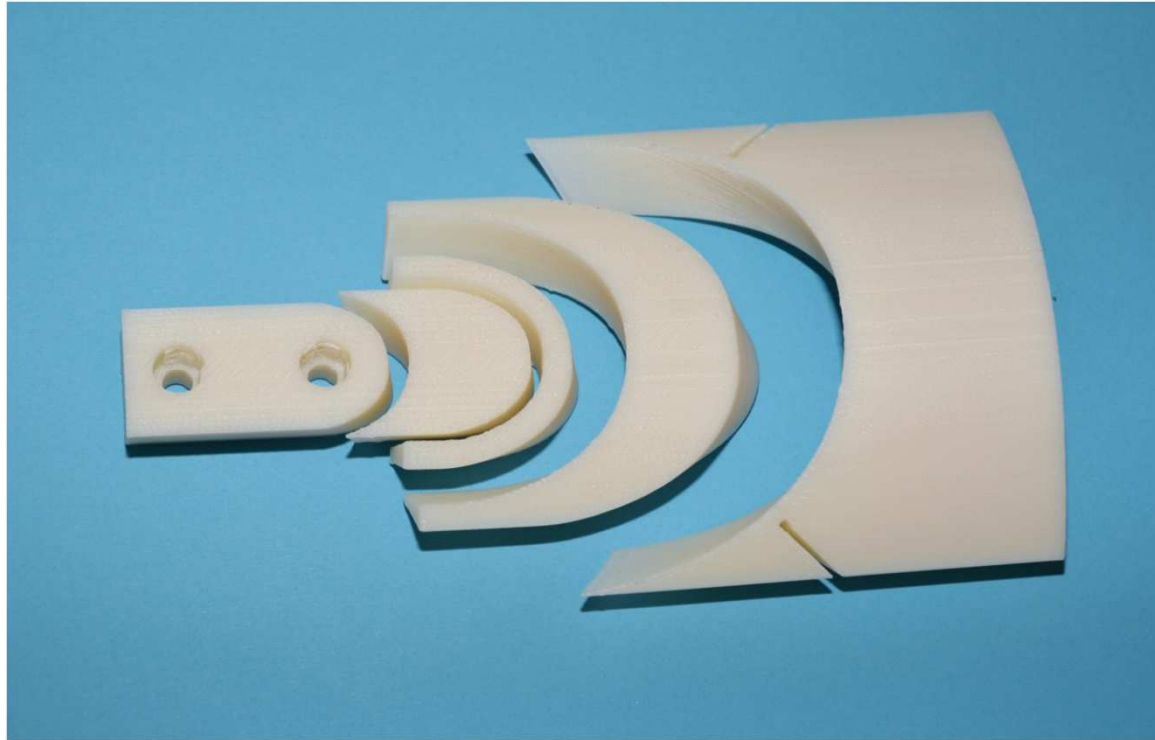
Objectif :

Cycle projet.

Test d'intégration et d'ergonomie au LMJ,
validation de la géométrie des ouvertures.

© J.C. Guillard, D. Leboeuf, J.C. Toussaint

Cales de tête HL-LHC



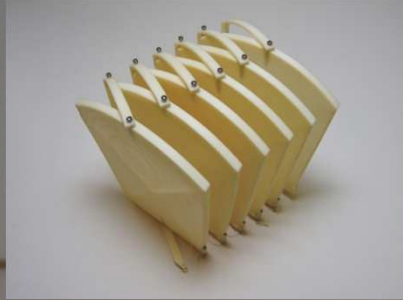
Objectif

Cycle projet.

Essai de bobinage d'un câble supraconducteur,
validation de la géométrie des espaceurs de tête.

© W. Gamache, A. Acker, P. Graffin, D. Leboeuf, M. Segreti + CERN

Avant-projet TALC



© G.A. Durand, S. Correia...

Objectif :
Démonstrateur simplifié
de la cinématique de déploiement.

Supports de connecteurs (SEDI)



Objectif

Pièces fonctionnelles pour prototype.

© R. Granelli, M. Riallo...

Extrusion fil

Stratasys (Fortus)

Exemples de réalisation

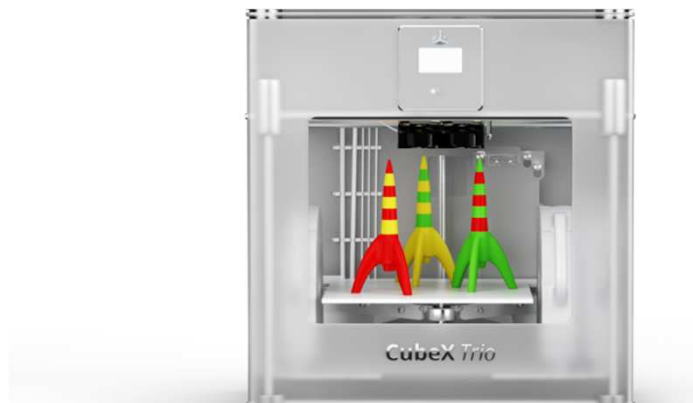


Source : Stratasys

Extrusion fil

La fabrication rapide chez les particuliers

CubeX



<http://www.3dsystems.com/3d-printers/personal/cubex>

MakerBot



<http://www.engadget.com/2013/01/29/3d-printer-guide/>

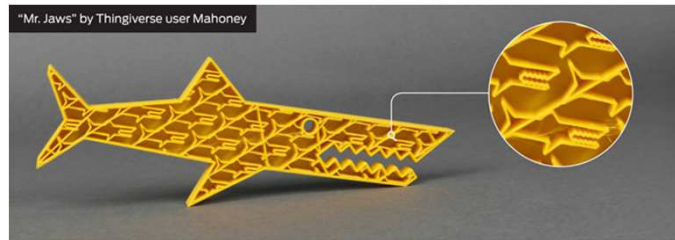
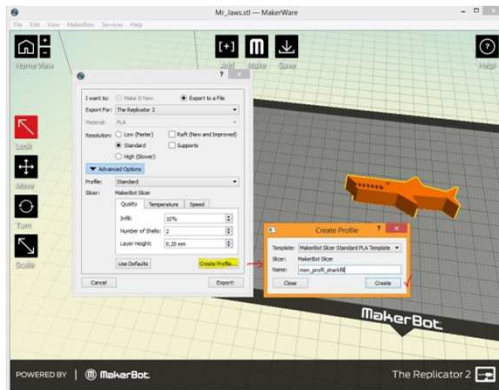
DeltaMaker



<http://www.engadget.com/2013/01/29/3d-printer-guide/>

Un des points critiques : le modèle numérique

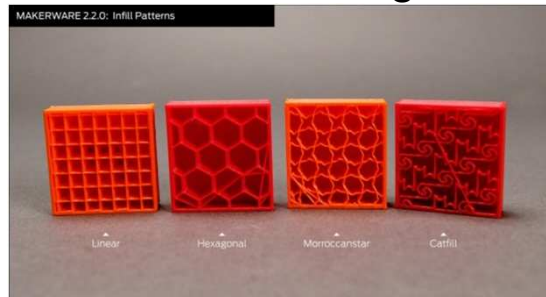
Design softwares



<http://www.lefabshop.fr/shar-kfill-leaster-egg-de-makerware-et-lastuce-pour-changer-le-motif-du-infill/>



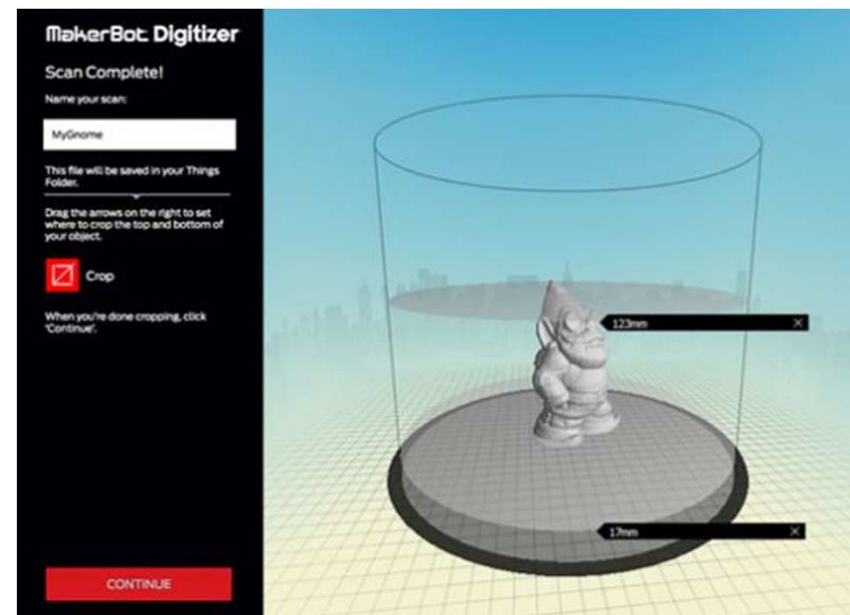
ZEdit™ Pro



<http://www.kickstarter.com/projects/pirate3d/the-buccaneer-the-3d-printer-that-everyone-can-use>

Scanning d'objets

Makerbot Digitizer



<http://www.lefabshop.fr/digitizer-scannez-vos-objets-grace-au-nouveau-ne-makerbot/>

Assistance à la conception

La fabrication rapide chez les particuliers

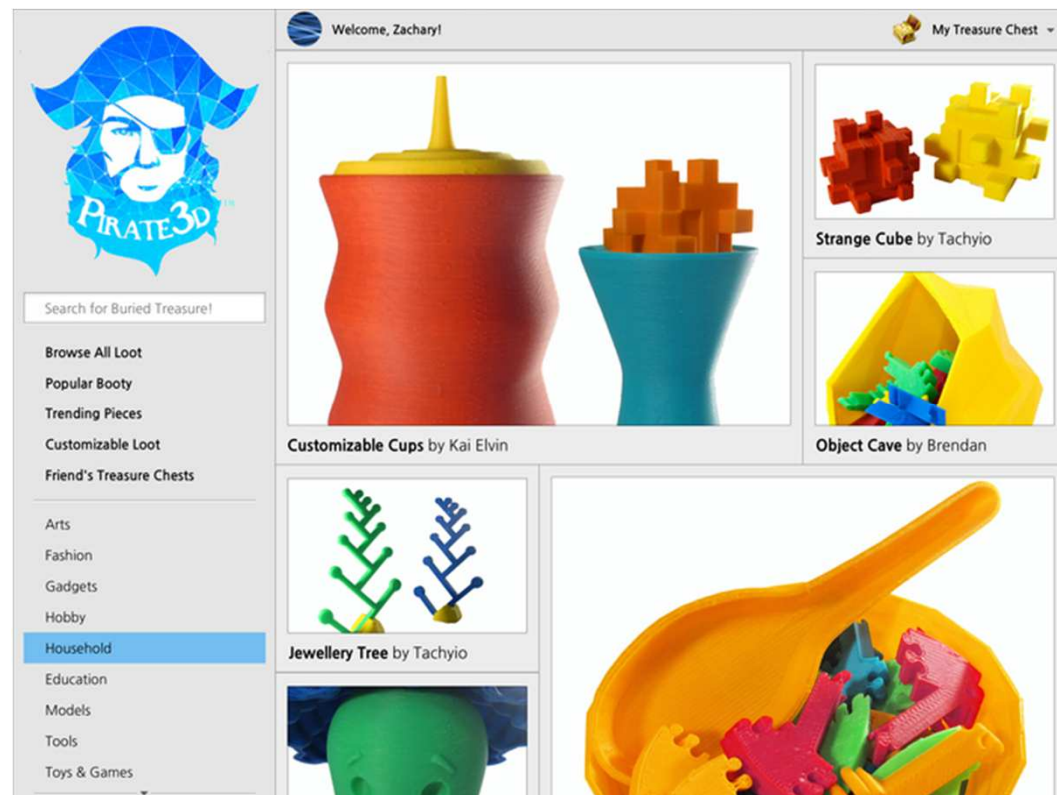
Before Manufacturing: Creation of the digital model

[The Buccaneer® - The 3D Printer that Everyone can use!](#) by [Pirate3D Inc](#)



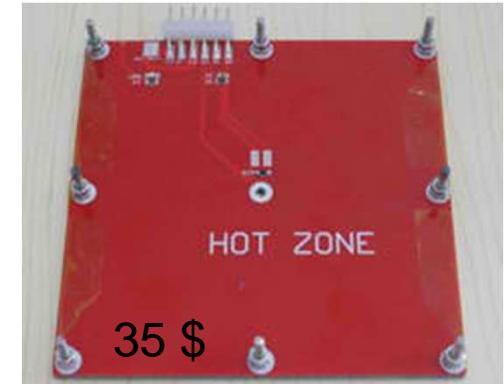
\$ 347 (USA or Canada!)
\$ 497 (Other countries)

<http://www.kickstarter.com/projects/pirate3d/the-buccaneer-the-3d-printer-that-everyone-can-use>



Supermarché en ligne

MakerBot Cube 3D printer



<http://www.mbot3d.com/?gclid=CLX0gcHlgrgCFXMPtAodNHcAoQ>

Recyclage du matériau : Filabot



<http://www.kickstarter.com/projects/rocknail/filabot-plastic-filament-maker?ref=live>



<http://www.cnetfrance.fr/news/filabot-recycler-le-plastique-pour-creer-du-fil-pour-imprimante-3d-39786583.htm>

Recyclage du matériau

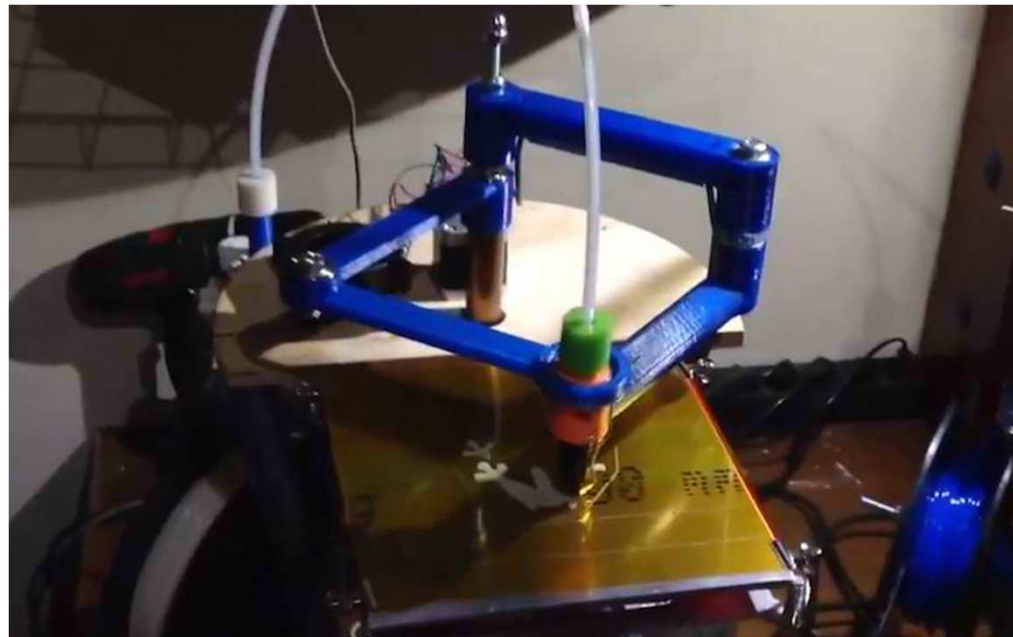
Filabot



<http://www.filabot.com/>

Principe de construction le plus simple

**“The RepRap Morgan
aims to be first
3D printer under
\$100”**



<http://www.3dprinter.net/reprap-morgan-to-be-first-3d-printer-under-100>

Une entreprise par jour : BOXbasic2



[http://www.amcubed.com/...](http://www.amcubed.com/) Encore en construction...

Une entreprise par jour : AHA! 3D



Une entreprise par jour : Drawn

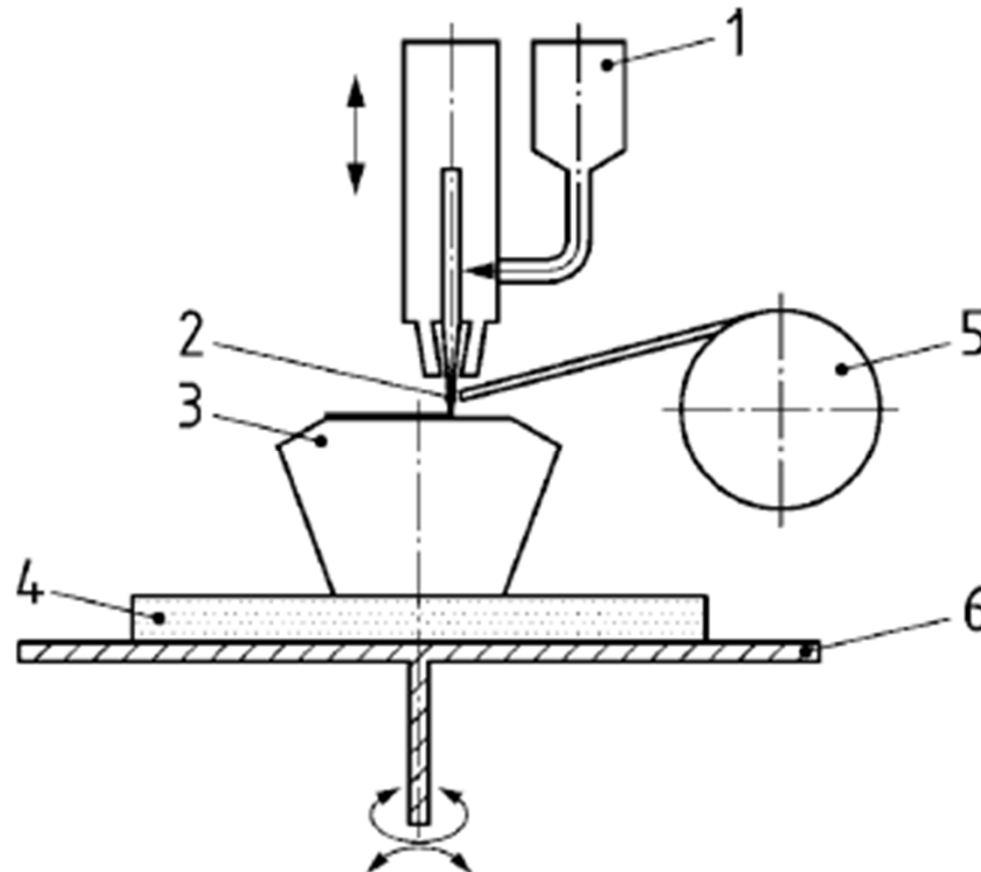


drawn™

All rights reserved - Tous droits réservés

No copy or diffusion allowed without author agreement - Aucune copie ou diffusion autorisée sans accord de l'auteur.

Directed energy deposition



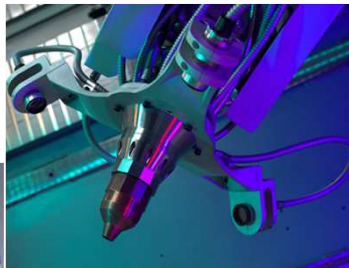
Source : ISO 17296-2:2014E

Fabrication par dépôt de poudre métal

Trumpf



Direct Metal Deposition
TrumaForm DMD 505



**Machine DMD de Trumpf (utilisée à
l'ENISE)**

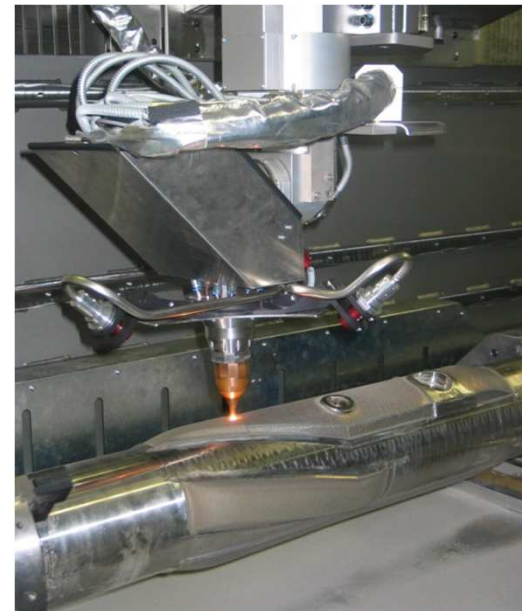
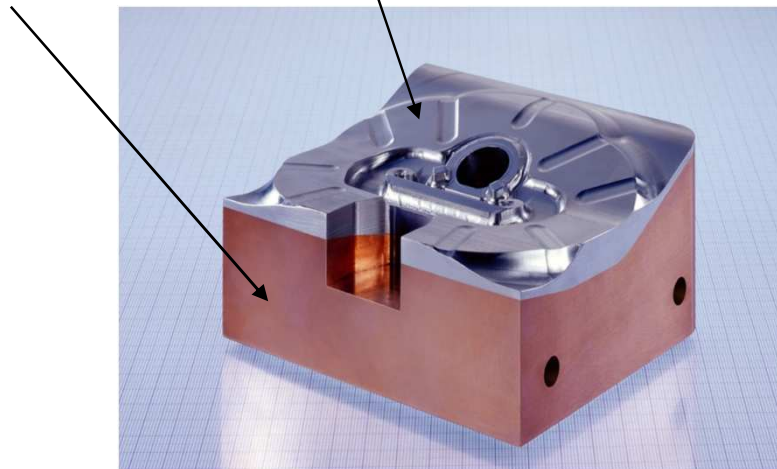
Fabrication par dépôt de poudre métal

Exemples Trumpf

Surface fonctionnelle :

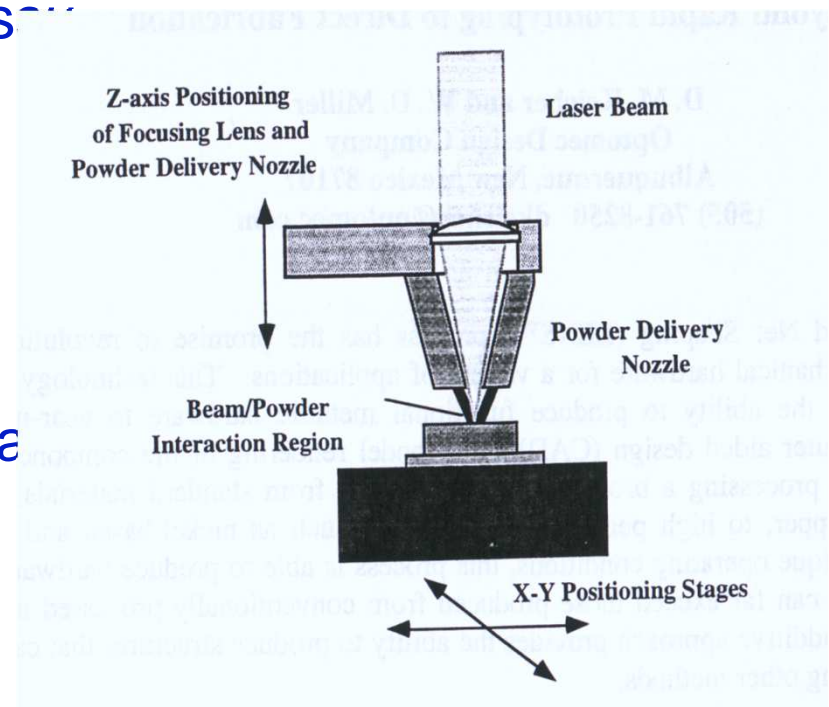
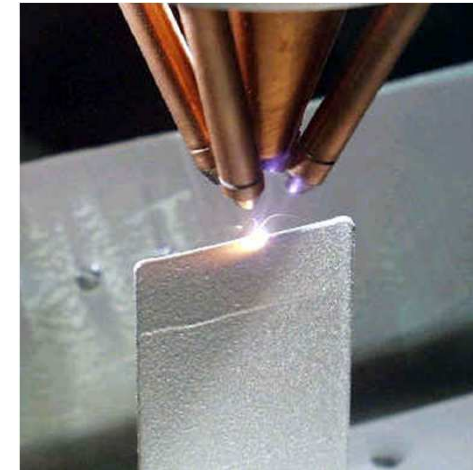
acier moule 1.2344
(finition par usinage)

Matériau de la base :
Alliage (Ampco 940)



Fabrication par dépôt de poudre métal

- Procédé Laser Cladding LENSTM : issu des Sandia National Laboratories
- commercialisé par Optomec
- fabrication directe de pièces ou outillages métalliques (cuivre, aciers, bases nickel ou titane)
- distribution de poudre dans un faisceau laser
- dépôt d'une couche solide
- pas de liant, pas d'infiltration
- graded materials



Source : Optomec

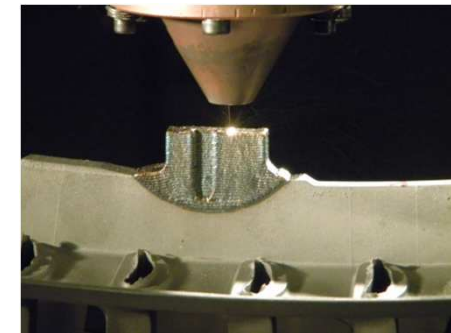
Dépôt de poudre métallique

Projection de poudre dans un faisceau d'énergie

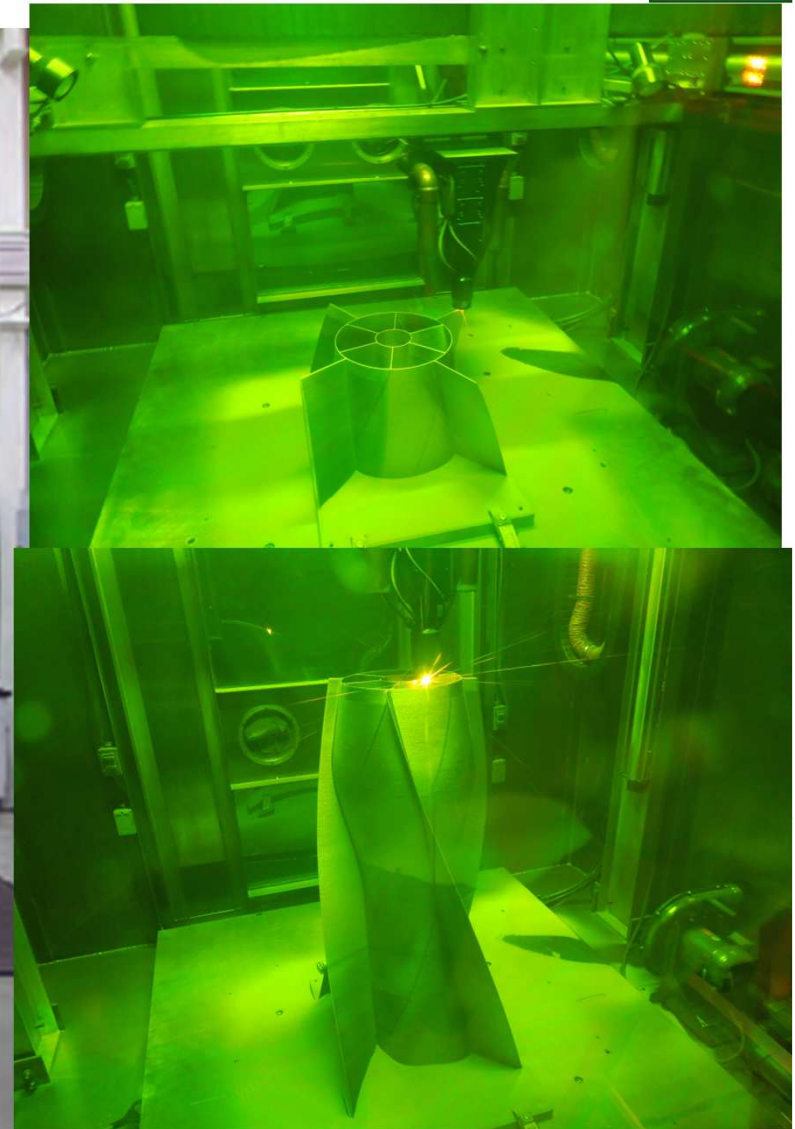
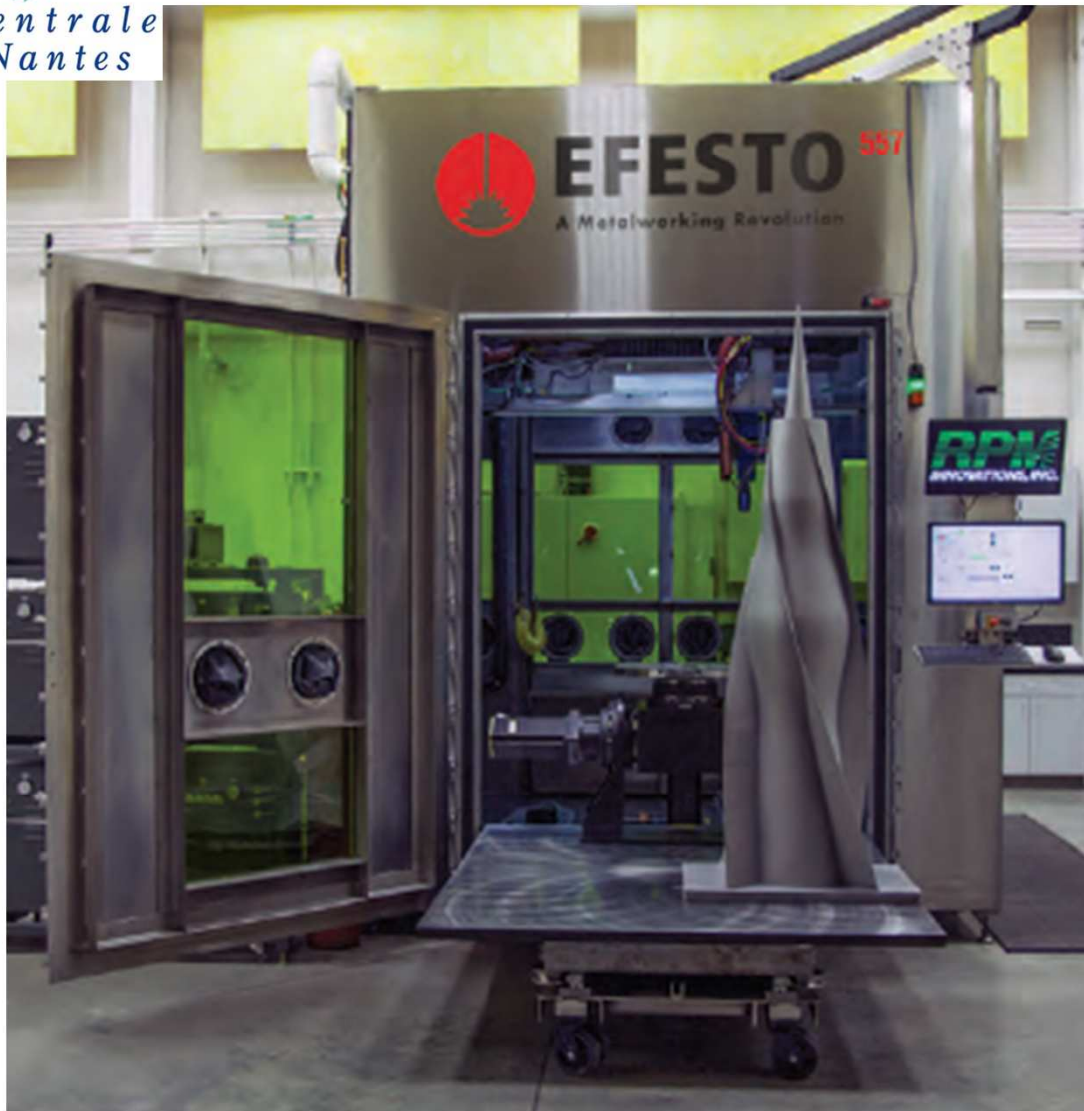
Lens (Optomec)



Exemple de réalisation



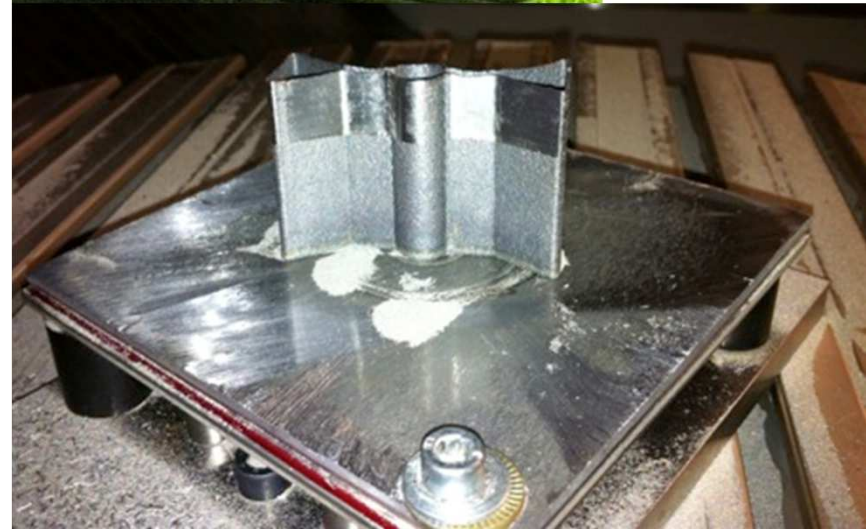
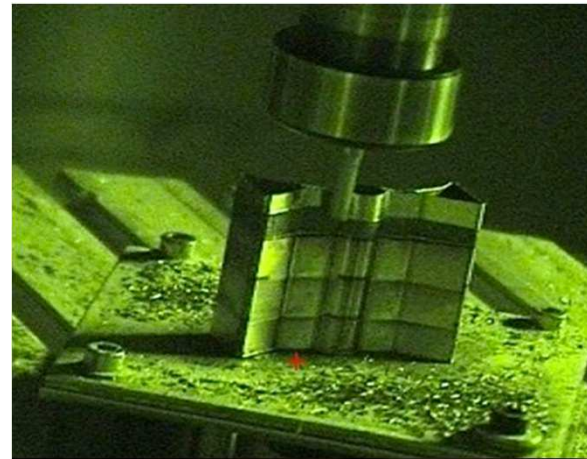
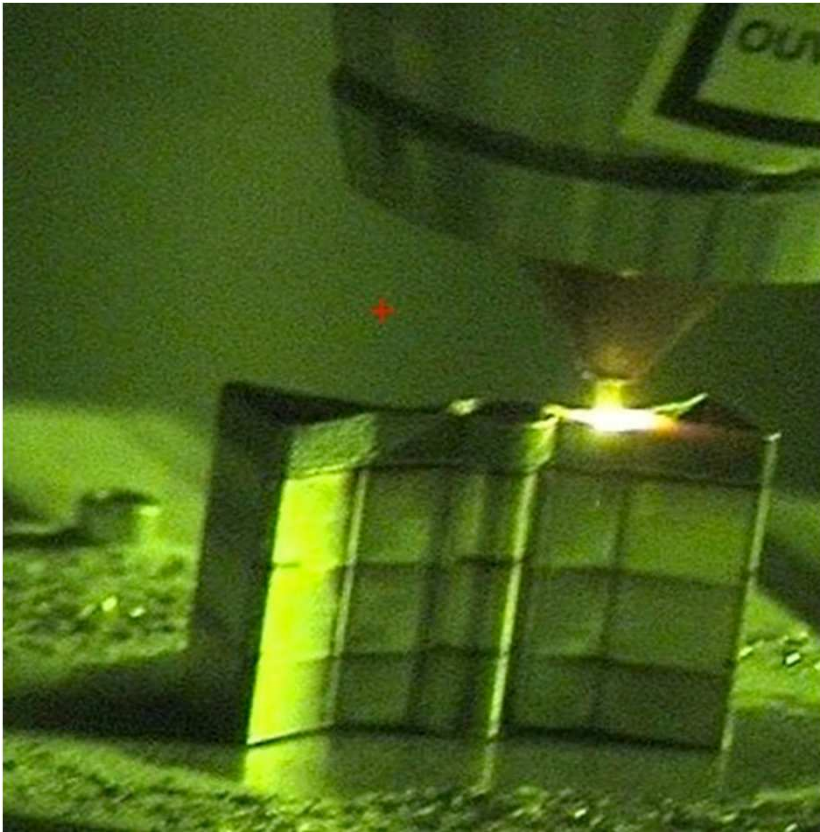
Courtoisie: © EFESTO LLC,
Ashok H. Varma, Chairman & CEO



"Courtesy of Optomec Inc. All Rights Reserved"

IRCCyN/ECN - IREPA Laser

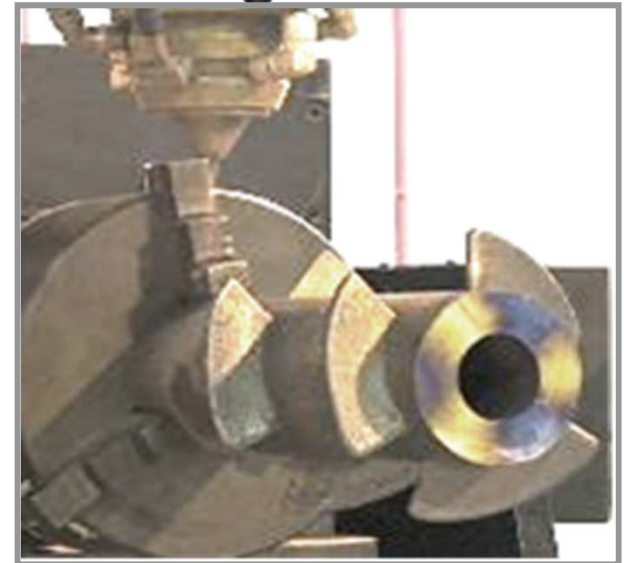
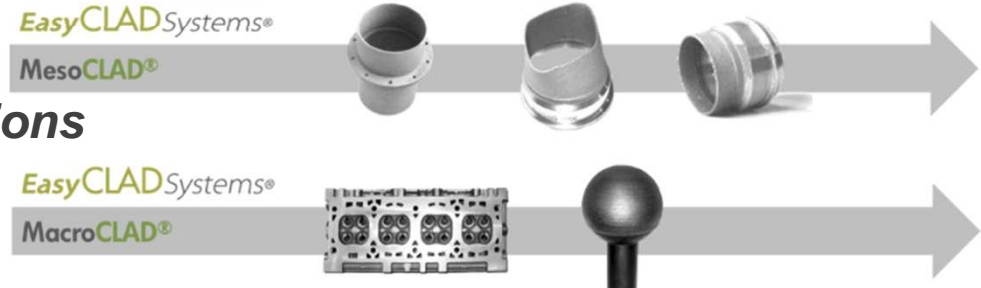
- Fabrication hybride



Source: IRCCyN équipe MO2P (Prof. MOGNOL – Prof. HASCOET)

➤ **Technological possibilities**

➤ **Adding shapes and functions**



Ø tube : 80mm
Material : Inox 316 L
Deposite :- Width for two deposits(≈ 5 mm)
 - Height 20 mm

Manufacturing time for 1 blade :
 4min26s

Industrial proof of concept

Metal parts repair



Material	Coupe métallographique d'une pièce réparée avant usinage
Nuance of substrate: titanium alloy Post-repair thermal treatment	
Nuance of powder : Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	
Granuloma : 45 – 75 μm	
Width of deposit : 1,2mm Hardness : 400Hv	

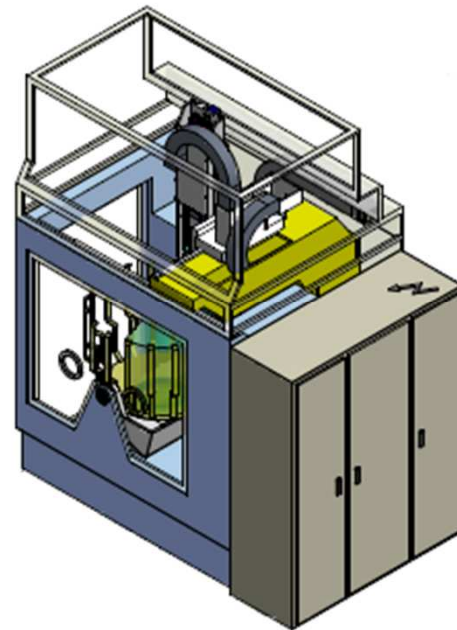


Machines industrielles

La gamme machines



Magic



CLADUnit



MobileCLAD

Machines sur-mesure

Options standards/spécifiques

Machines industrielles

La gamme machines



Caractéristiques	MobileCLAD	CLADUnit	Magic
Taille des pièces (mm x mm x mm)	400x250x200	1000x700x700	1500x800x800
Axes (Nb)	3-5 continus	5 Continus	5 continus
MesoCLAD	oui	oui	oui
MacroCLAD	en option	en option	oui
Atmosphère contrôlée	en option	en option	oui
Bol pour distribution de poudres	1 ou 2	1 ou 2	1 ou 2
Puissance Laser	300W	750W	1 à 4kW
Disponible en	Janv-13	Juin-13	Sept-12

Machines sur-mesure

Options standards/spécifiques



Centrale
Nantes



Global Services

Fives Machining Systems, Inc.

- Single source for **optimized plant operations**
- Only source for **OEM parts**

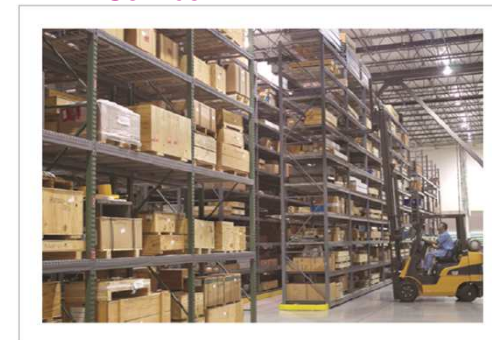
24/7 service from central warehouse
186 factory-trained support staff
Online parts ordering
Support for over 50,000 installations



Preventive maintenance



Service



Parts



Alternance de dépose de matière et d'usinage

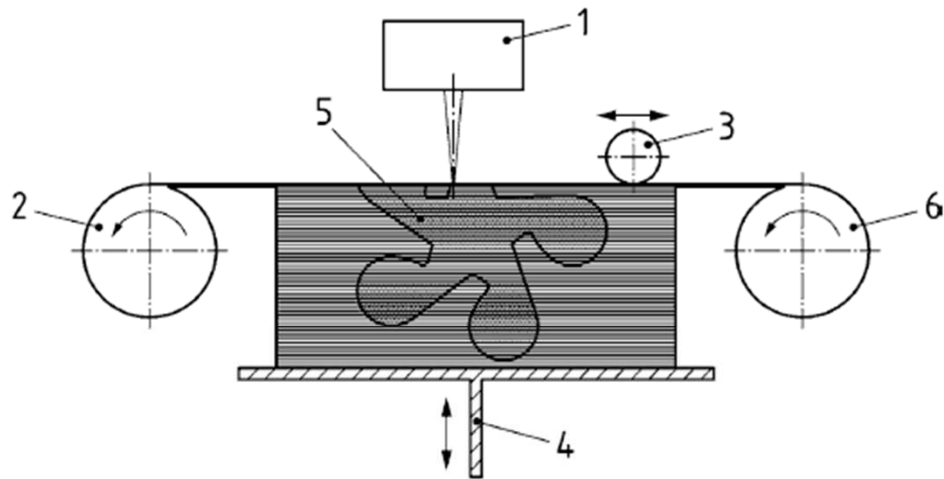
DMG MORI (Japon)

LaserTech 65

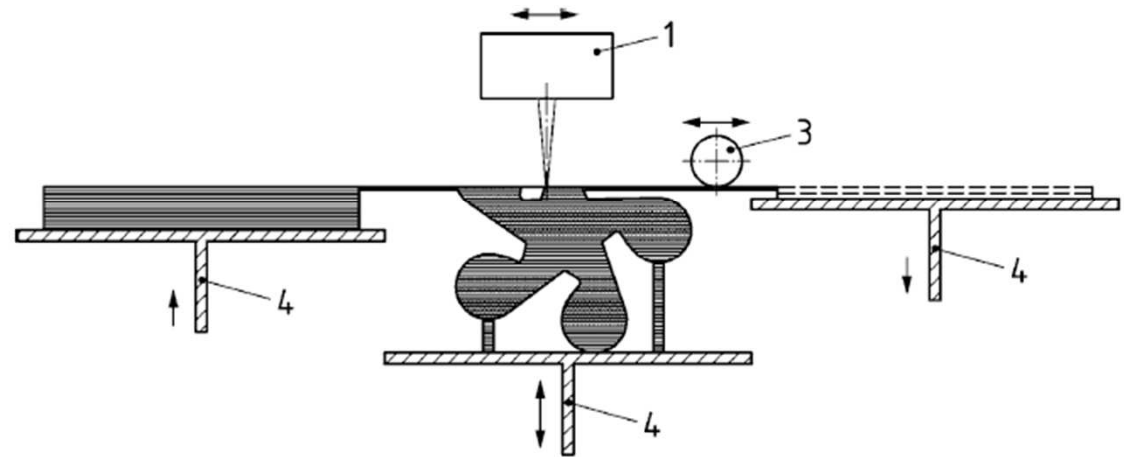


<https://www.youtube.com/watch?v=s9ldZ2pl5dA>

Sheet lamination



a) sheet lamination of continuous roll



b) sheet lamination of discontinuous roll

Source : ISO 17296-2:2014E

Collage/découpage feuilles

Solidimension



Imprimante SD 300

Volume : 220 x 170 x 145 mm

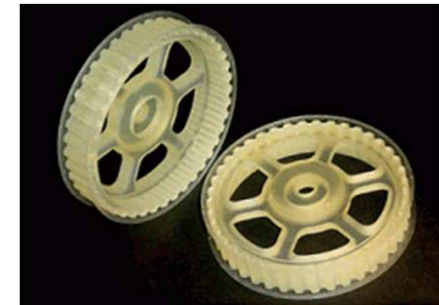
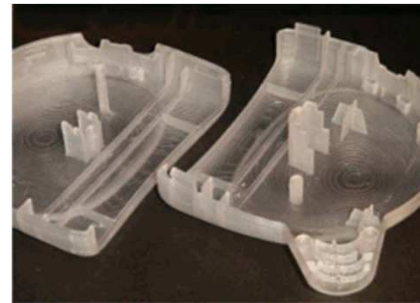
Résolution : 0,2 x 0,2 x 0,165 mm

Matériau : chlorure polyvinylique en rouleau

Technique : Collage sélectif et découpage de couches par cutter

Application : Maquette - Validation de forme

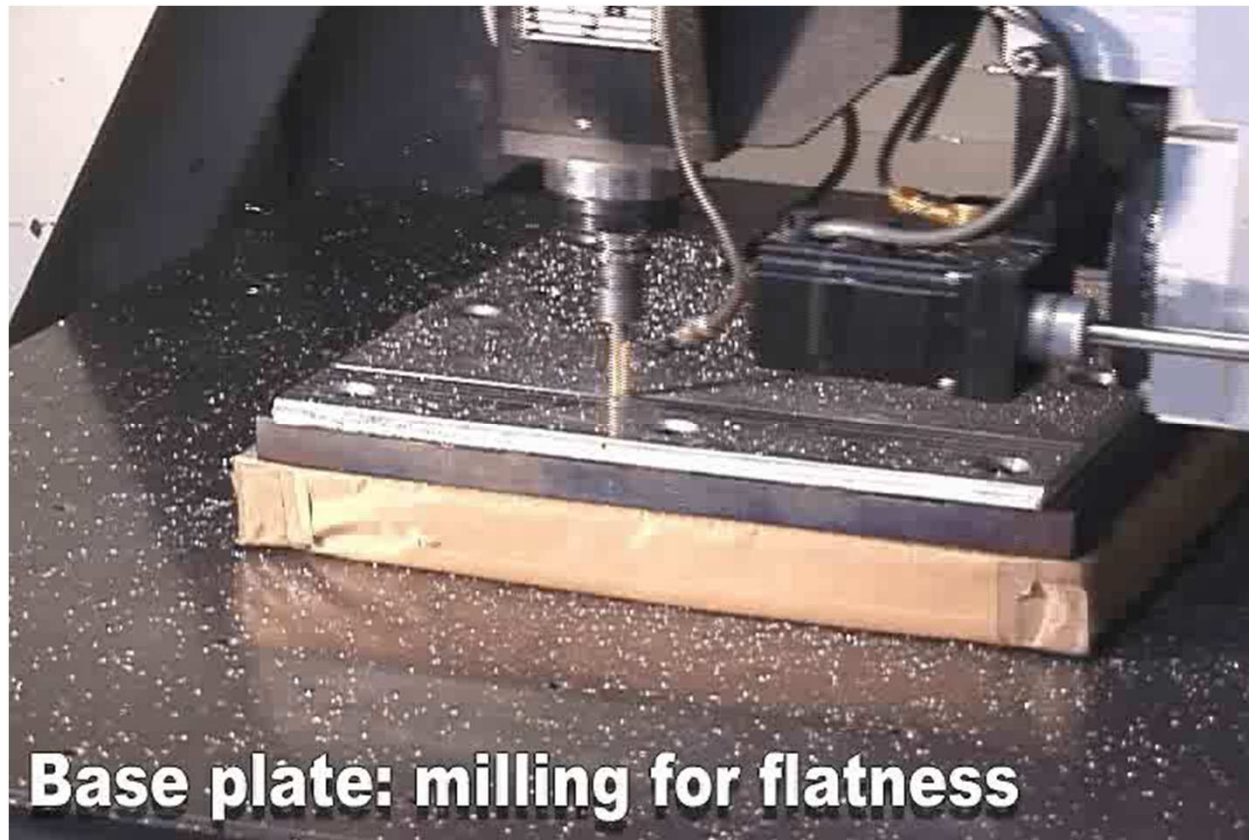
Exemples de réalisations



Soudage de feuilles métalliques

Soudage de feuilles métalliques par ultrasons et usinage

EWI (USA)



Collage/découpage feuilles

Pressage, collage et découpe de feuilles de papier



(Société Irlandaise)

Machines : Matrix 300 +
et Iris (couleur, 1 million+
de couleurs et 5760 x
1440 x 508dpi)



Collage/découpage feuilles

Pressage, collage et découpe de feuilles de papier

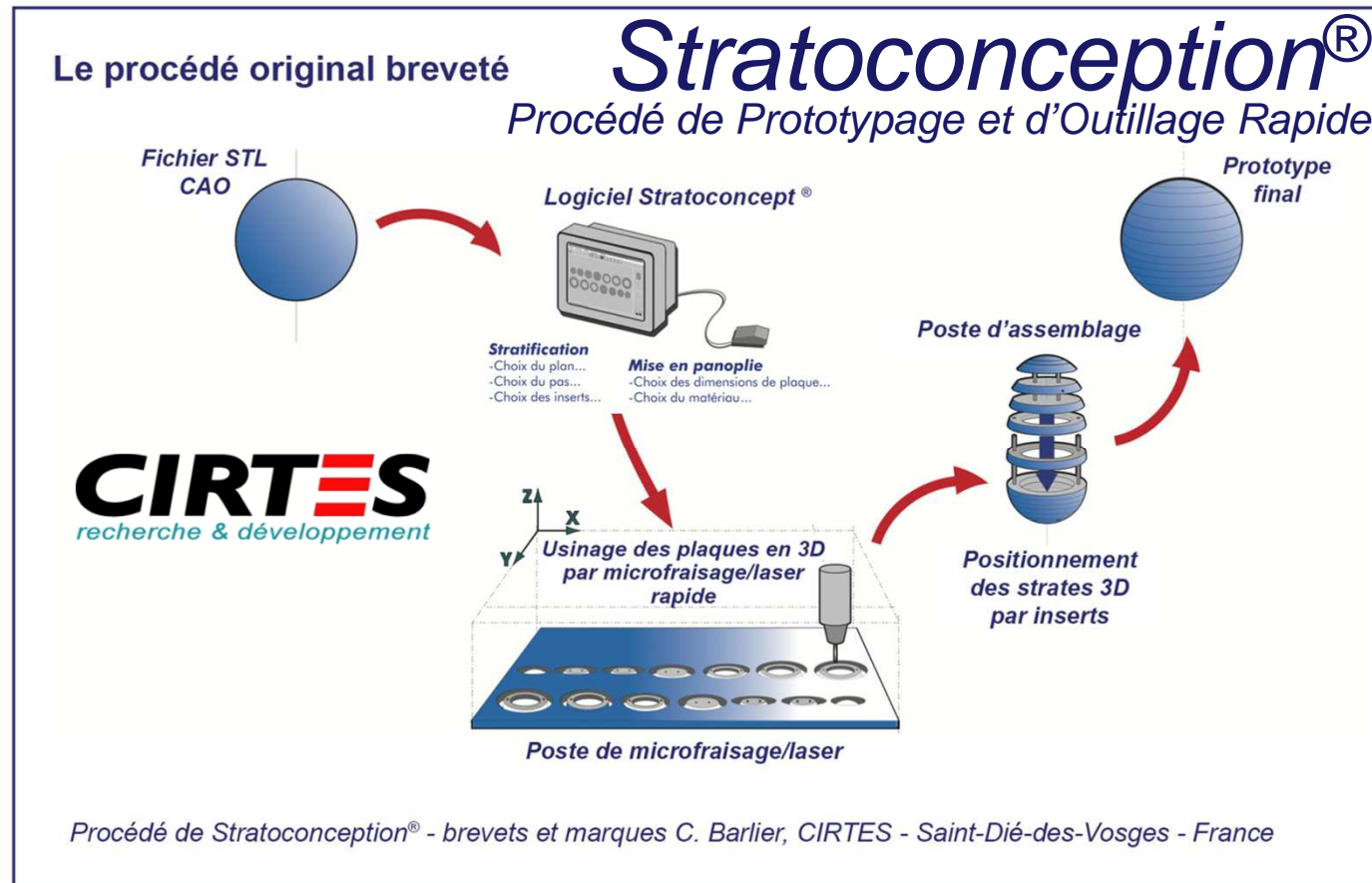


Exemples de pièces



Collage/découpage plaques

Découpe et assemblages de strates découpées



Collage/découpage plaques

Découpe et assemblages de strates découpées

Stratoconception®

Procédé de Prototypage et d'Outillage Rapide

Pack&Strat



Outillage soufflage



Vase



CIRTES
recherche & développement

<http://www.stratoconception.com>



Centrale
Nantes



Fabrication Directe

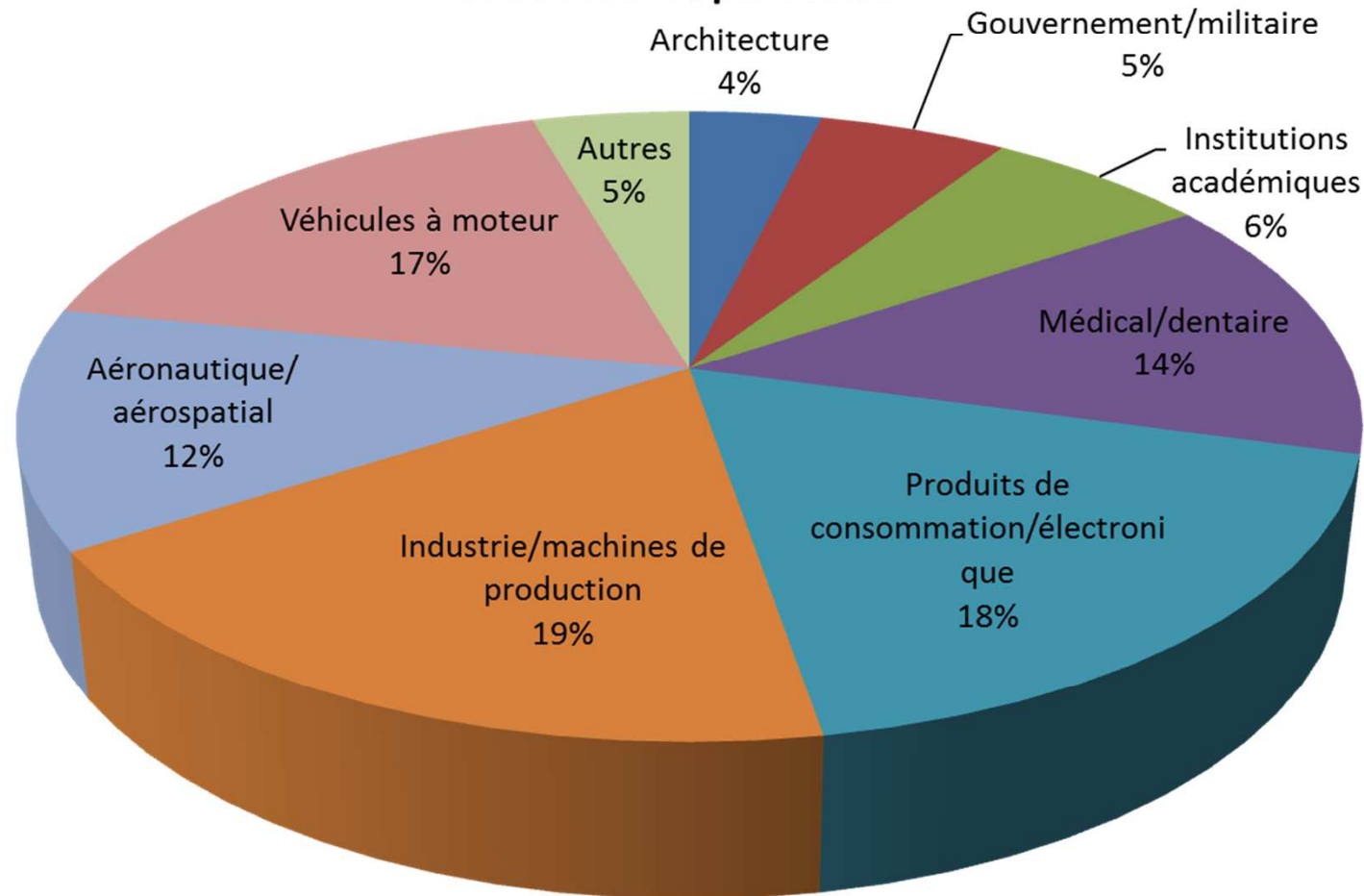
Les principales statistiques

Données économiques

- ❖ 30 à 35% de pièces fonctionnelles
- ❖ 1/3 machines installées Europe/Asie/Amérique
- ❖ 38% USA – 9% Allemagne - 3% France
- ❖ 80% de machines produites en Israël et USA
- ❖ 55% ventes Stratasys – 18% 3D Systems
- ❖ Ventes machines métal : x2 en 2 ans
- ❖ Machines métal : quasiment toutes européennes (EOS, Concept Laser, Arcam, Phenix)
- ❖ Ventes imprimantes 3D : 2x en 1 an
- ❖ Revenus production + services : x2 en 2 ans

Données économiques

% de revenus par secteur





Centrale
Nantes

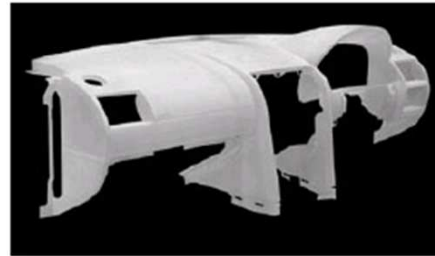
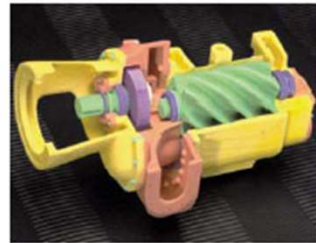


Fabrication Directe

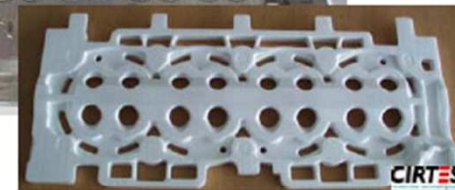
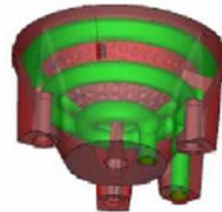
Les grands enjeux

Évolution du DRP

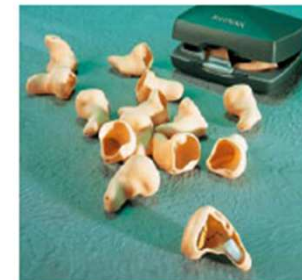
Prototypage : A partir de la fin des années 80



Outillage rapide : Début ~ 1992



Fabrication rapide : Maintenant!



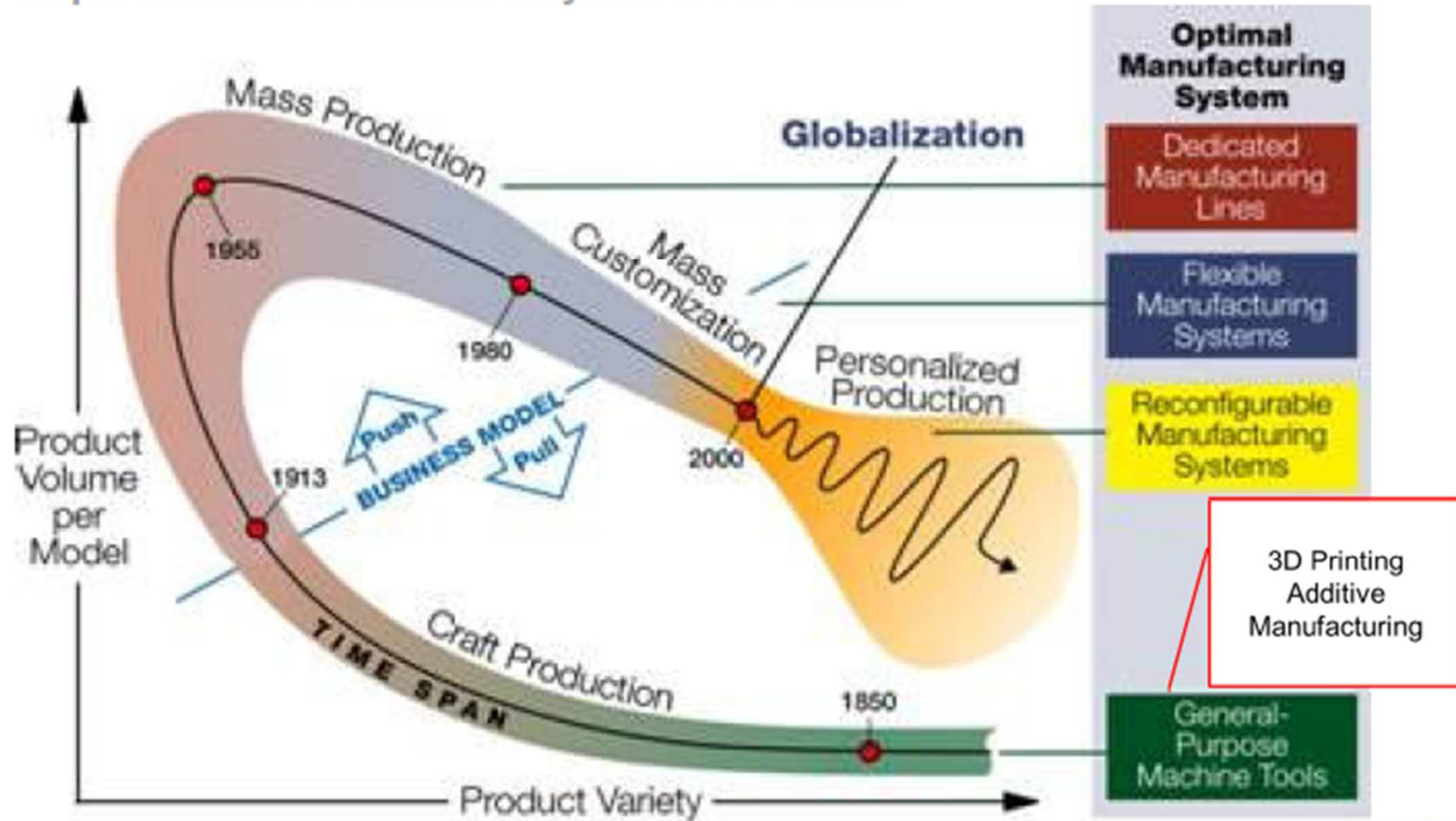
Domaines adressés



Source : présentation Mary Visser, Assises Européennes de la Fabrication Additive, juin 2014

Evolution de la demande

<http://sitemaker.umich.edu/ykoren/education>



Source: Gideon Levy, Industry Days, Bologne

Fabrication à la demande

Exemple Materialise : fabrication à la demande

Materialise.MGX Collection 2006



En partenariat avec des designers, Materialise propose une collection de produits virtuels dont la fabrication est réalisée sur commande par procédé de frittage laser de poudres polyamides



Centrale
Nantes



Fabrication à la demande

InvisAlign



ToyBuilders inyourimage

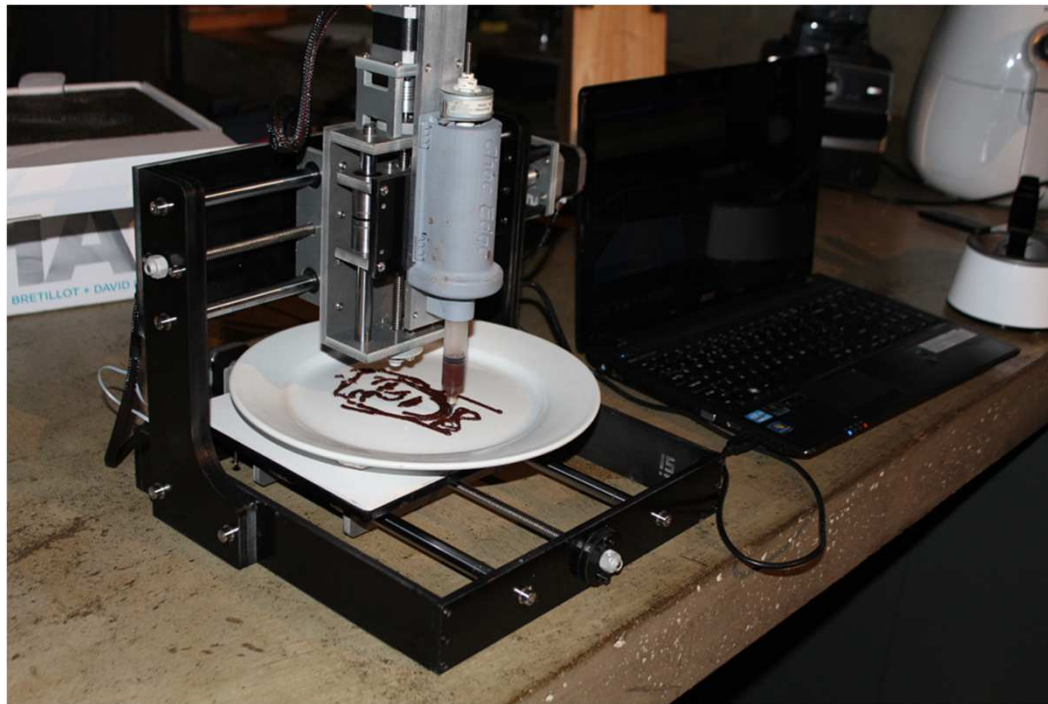


Courtoisie : Elaine HUNT

Fabrication à la demande

Fabrication de chocolats personnalisés

ChocEdge: Choc Creator V1 (£2888.00)



Caractéristiques :

Enveloppe de fabrication :

175(X)mm x 175(Y)mm x
70(Z)mm

Résolution: approx. 0.5mm to
1.5mm

https://chocedge.com/product_list.php

Fabrication à la demande

Fabrication de sucres personnalisés



<http://www.fubiz.net/2014/10/11/3d-printed-sugar/>

Imprimantes 3D

La fabrication rapide chez les particuliers

HP Designjet 3D and HP Designjet color 3D
12 500€ **16 500€**



Characteristics :

Printing volume: 152 mm x 203 mm x 152 mm (standard model) or 203 mm x 203 mm x 152 mm (Color model)

Weight: 59 kg

Size: 660 x 660 x 762 mm

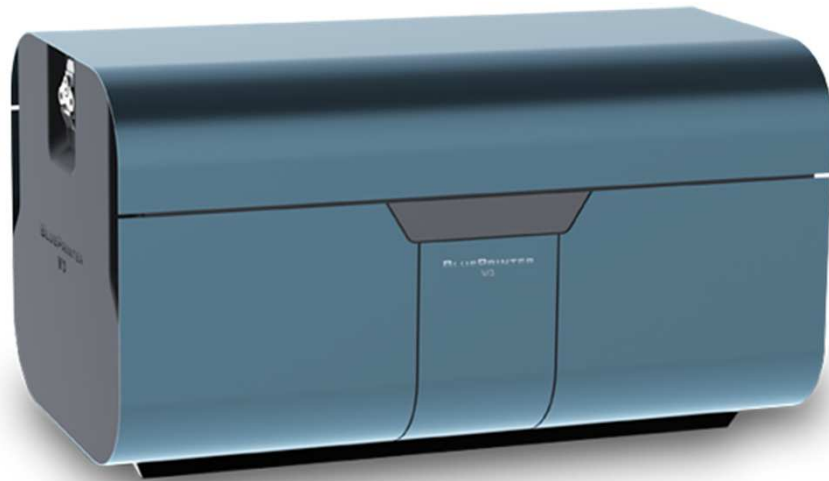
Colors: natural, blue, red, black, yellow, green, grey métal...

Material: ABS plastic high mechanical resistance

Volume of printing cartridges : 655 cm³

<http://www.cadvision.fr/>

BluePrinter: Selective Heat Sintering (SHS™)



Characteristics :

Printing volume: 120 mm x 200 mm x 140 mm

Printing speed: 5 mm/hour Layer

Thickness: 0.1 mm

File formats: STL

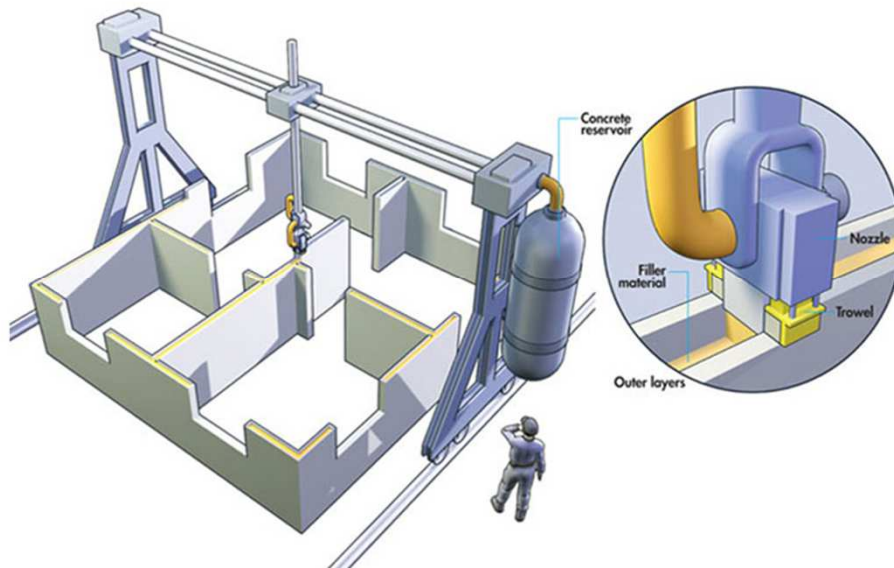
Printer dimensions (cm): 100 x 60 x 60 (W x L x H)

Material: Thermoplastic powder optimized to work with SHS™ Technology (Monochrome white), Unused powder 100% recyclable

No need for additional support materials - models being build are supported by the powder in the build chamber

<http://www.blueprinter.dk/>

Production personnalisée



Source: Contourcrafting

Production personnalisée



Suzhou-based construction-materials firm **Winsun New Materials** says it has built 10 200-square-meter homes using a gigantic 3-D printer that it spent 20 million yuan (\$3.2 million) and 12 years developing.

Winsun's 3-D printer is 6.6 meters (22 feet) tall, 10 meters wide and 150 meters long, the firm said, and the "ink" it uses is created from a combination of cement and glass fibers. In a nod to China's green agenda, Winsun said in the future it plans to use scrap material left over from construction and mining sites to make its 3-D buildings

Source: Gideon Levy, Industry Days, Bologne

Production personnalisée



Source: Gideon Levy, Industry Days, Bologne

Fabrication personnalisée

■ Mass customization



■ Mass Individualisation

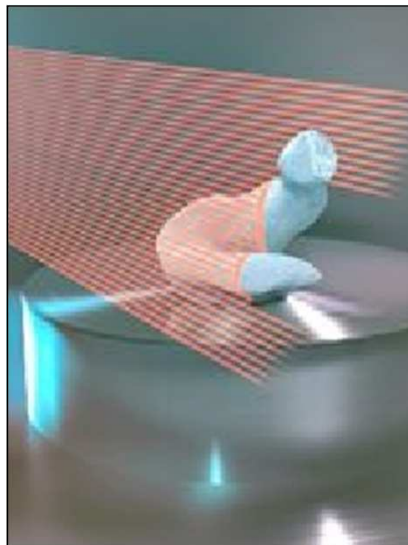


Source: Gideon Levy, Industry Days, Bologna

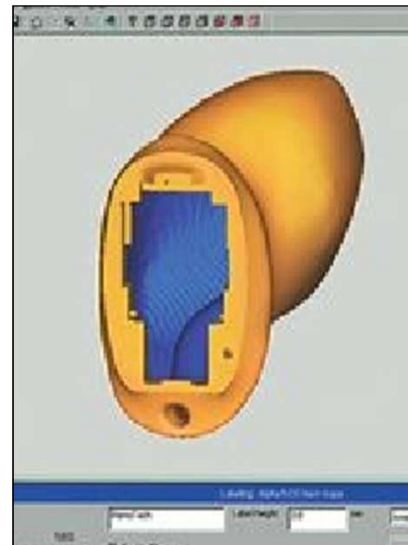
Production personnalisée

Exemple EOS dans le domaine de la fabrication directe de prothèse auditive

1400 coquilles prothèses auditives sont fabriquées quotidiennement
par Frittage Laser sur une EOSINT P 380 avec poudre PA 2200 et épaisseur de couches de 0.10 mm



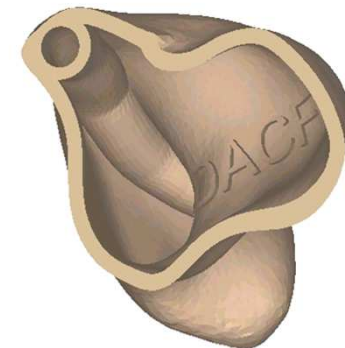
Numérisation 3D
De l'empreinte



Conception de la
coquille



Production par
Frittage de poudre



PHONAK
hearing systems

Oser la complexité sans surcoût



Bathsheba GROSSMAN



- Fabrication d'objets 3D à géométrie complexe

- fabrication d'objets multi fonctionnels et multi matériaux



16 pièces
+ collage



1 pièce

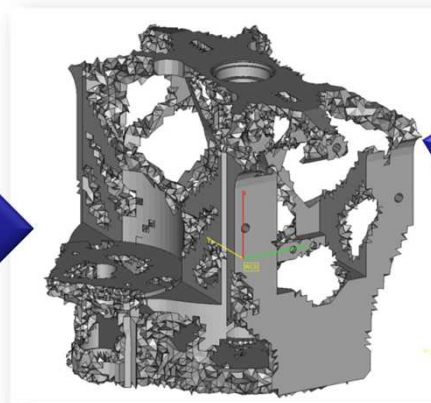
- Intégration de fonctions (un objet à la place de plusieurs assemblés)

- Définitions des contraintes mécaniques par Flying Cam Application
- Re-conception spécifique du châssis (Logiciel Topol) par Sirris Topologie
- Fabrication du châssis en Aluminium MB Proto Matière/ Géométrie

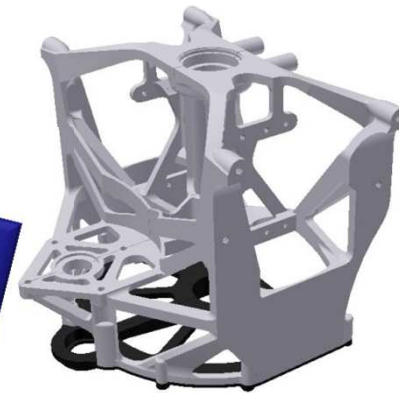
Re-conception pour RM technologie



7 composants
3 matériaux



Re-conception via le logiciel Topol. Fichier STL



2 composants
(facilite le montage)
1 matériau

Fabrication SLM
Aluminium

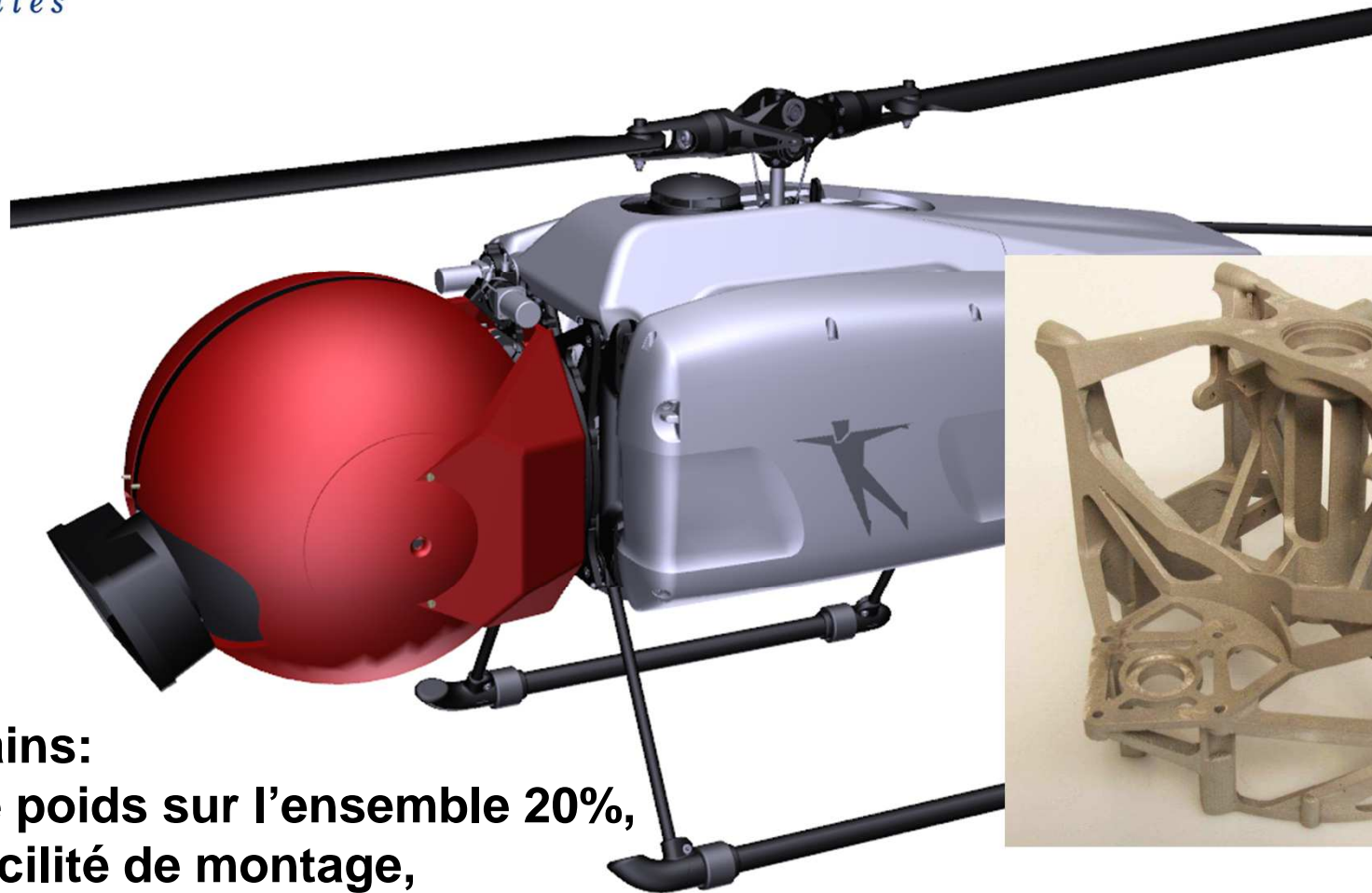
Allègement

530g ⇒ 438g

Résistance.

Source : MBProto

Ré-industrialiser

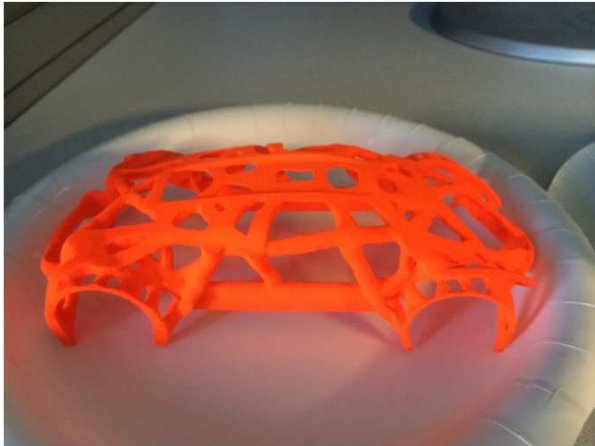


Gains:
De poids sur l'ensemble 20%,
Facilité de montage,
Diminution du nombre de composants,
Economie de 15%.

Source : MBProto

La juste matière

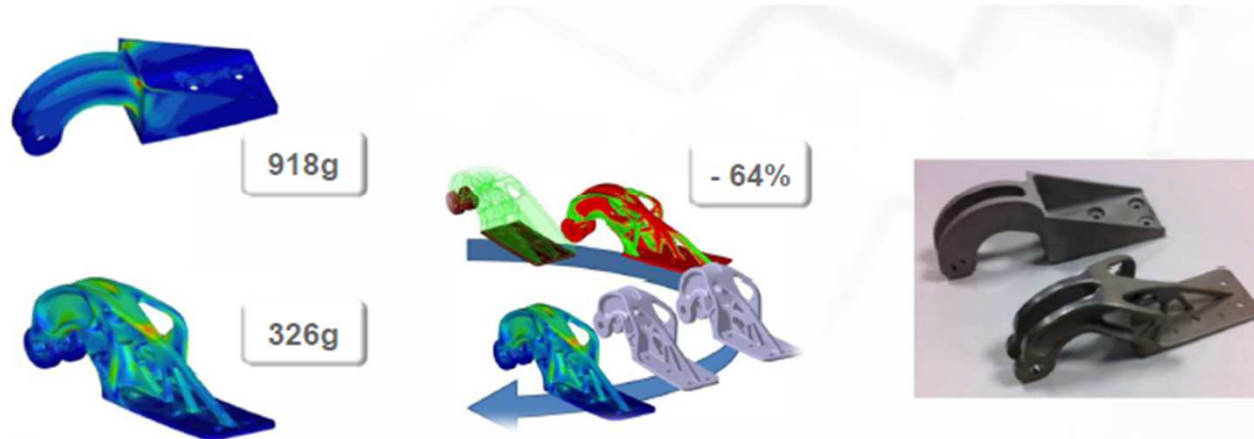
Optimisation topologique



<http://innovationintelligence.com/rapid-2014-solidthinking-slam/>

La juste matière

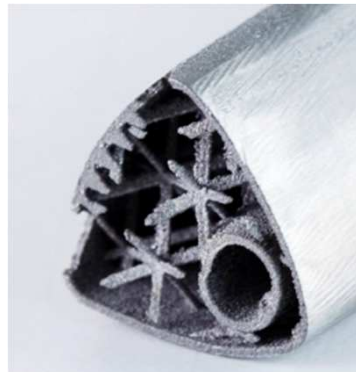
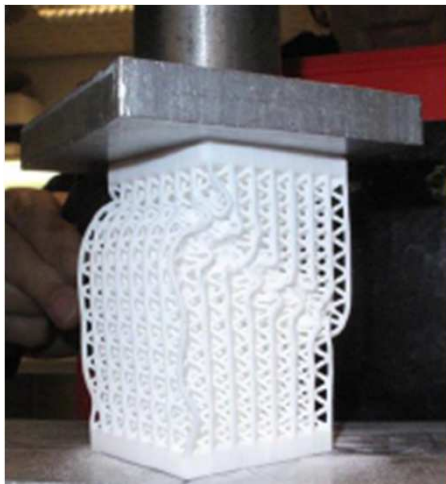
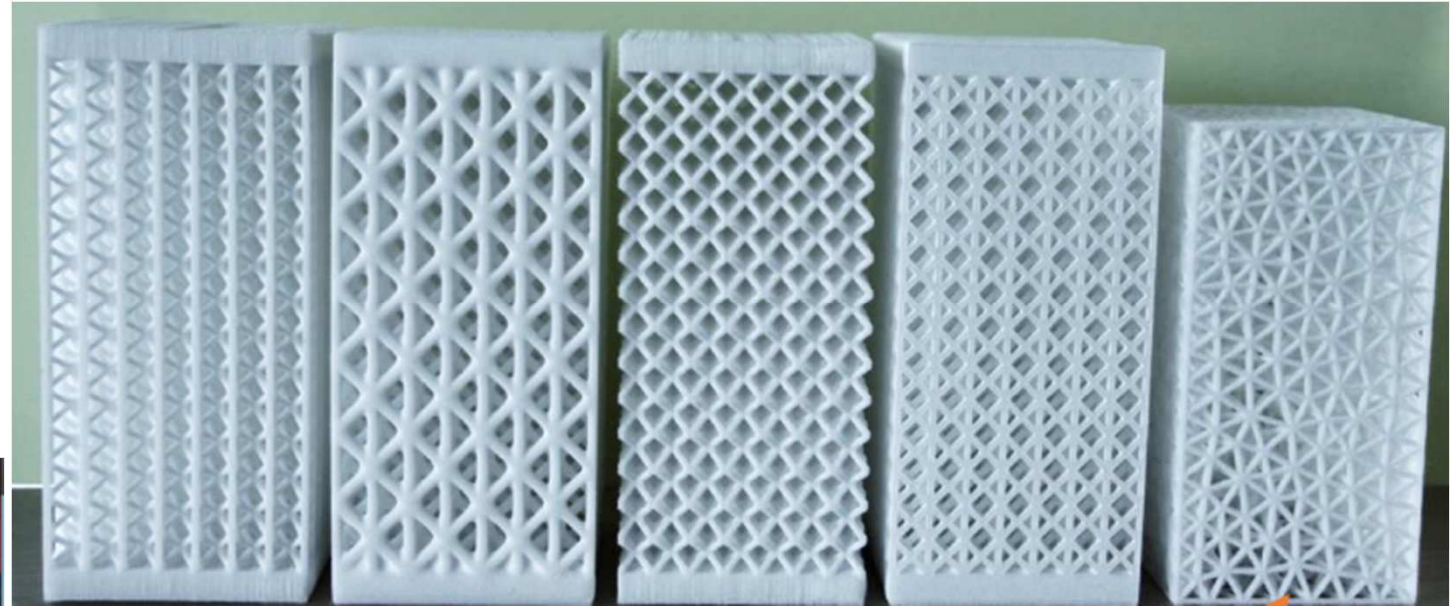
Optimisation topologique



Source : Multistation, Assises Européennes de la Fabrication Additive, juin 2014

La juste matière

Structures lattices



Source : Olivier Jay, Industry Days, Bologne

Simuler pour valider

Simulation of Additive
Manufacturing Technologies

WWW.3DSIM.COM



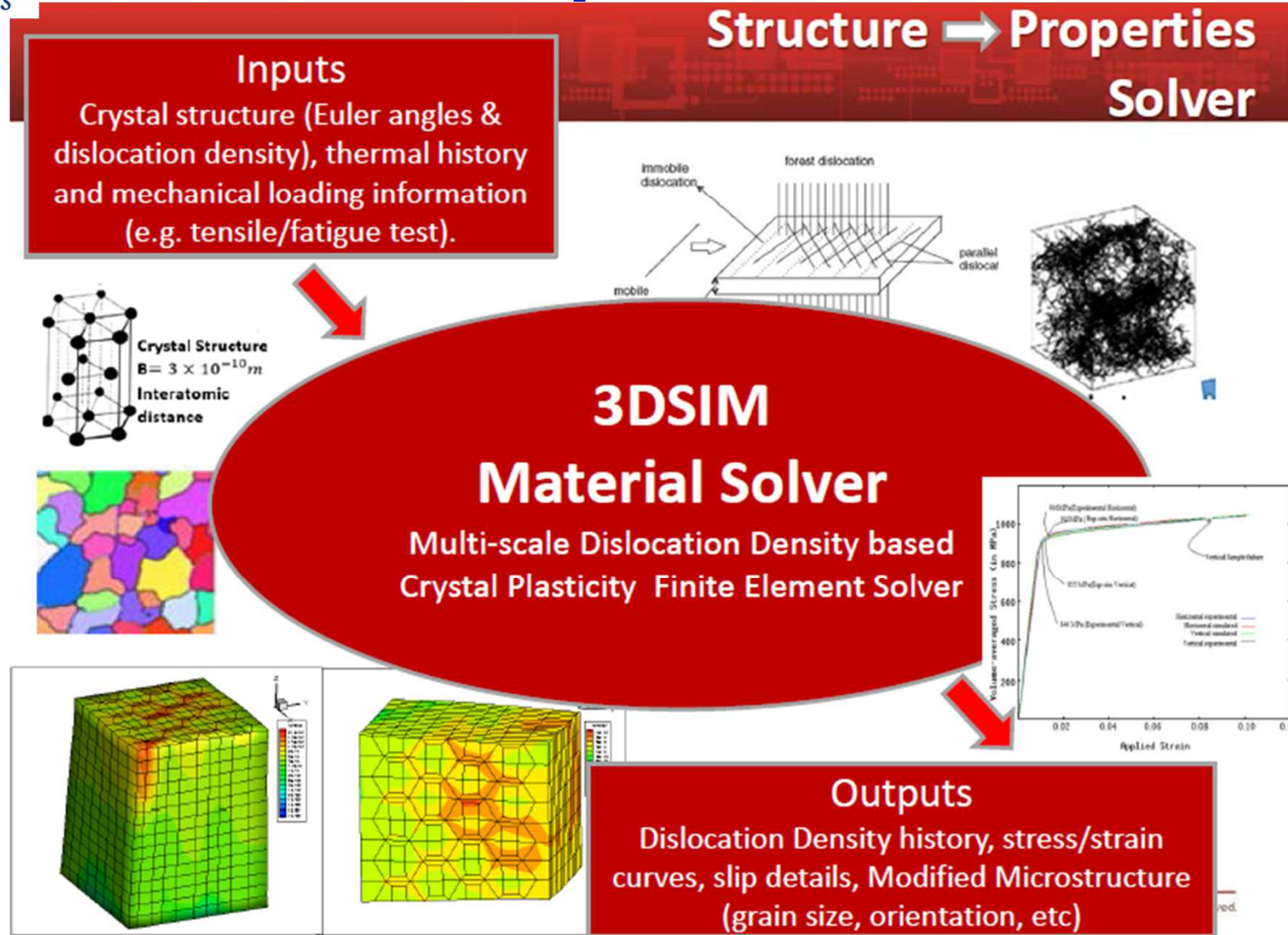
Brent Stucker

Chief Executive Officer

Professor & Edward R. Clark Chair of Computer Aided Engineering
Department of Industrial Engineering, University of Louisville

Copyright ©2014, 3DSIM, LLC. All rights reserved.

Simuler pour valider





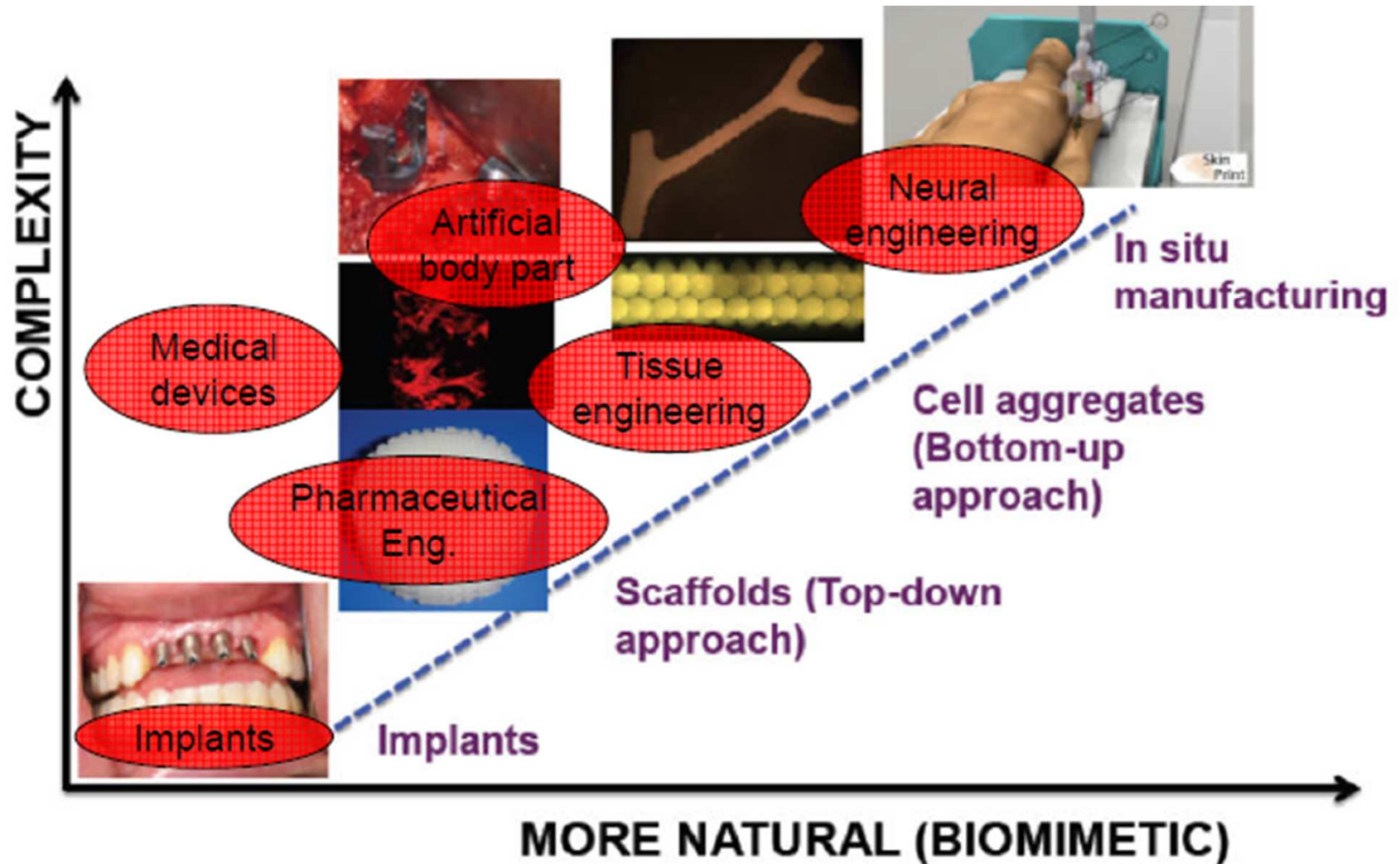
Parenthèse locale :
**Adapter nos méthodes
de conception**



Adapter nos méthodes de conception

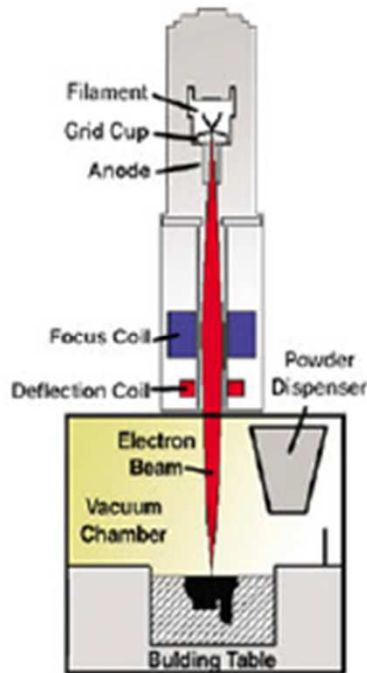
- De nouveaux horizons pour la conception...
 - ▶ Nouveaux modes d'assemblage
 - ▶ La notion de « pièce » revisitée...
 - ▶ Nouveaux matériaux (ou mélanges de matériaux)
- ...et la simulation !
 - ▶ Juste matière (optimisation topologique)
 - ▶ *Material-on-demand*
- Le retour du prototype ?

Ingénierie biomédicale

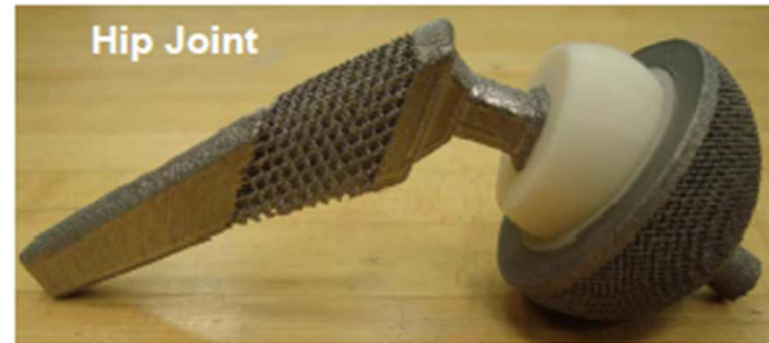


Source: Gideon Levy, Industry Days, Bologne

Powder bed fusion processes (EBM). Applications II

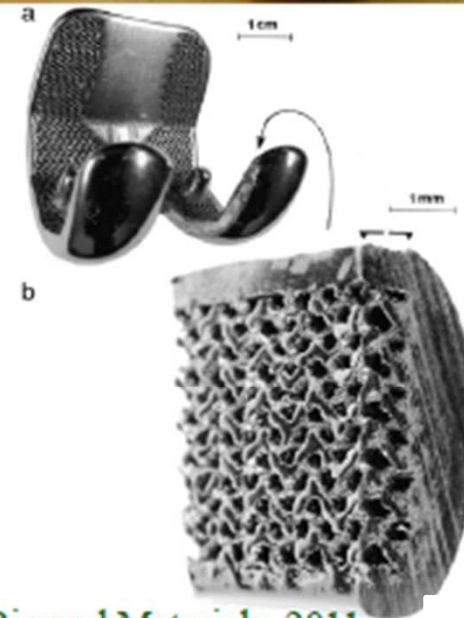


Schematic representation of the EBM process



Source: Syam and Mannam, CIRP CWG on Biomanufacturing, 2011

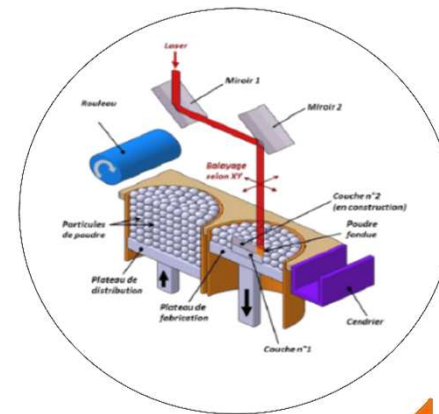
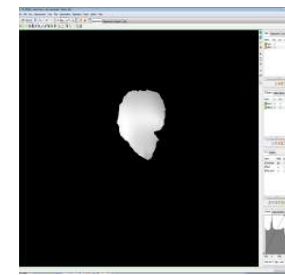
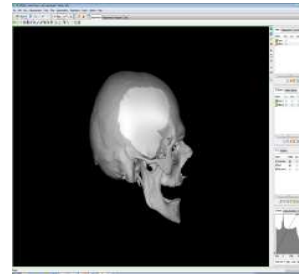
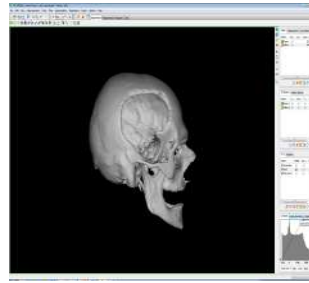
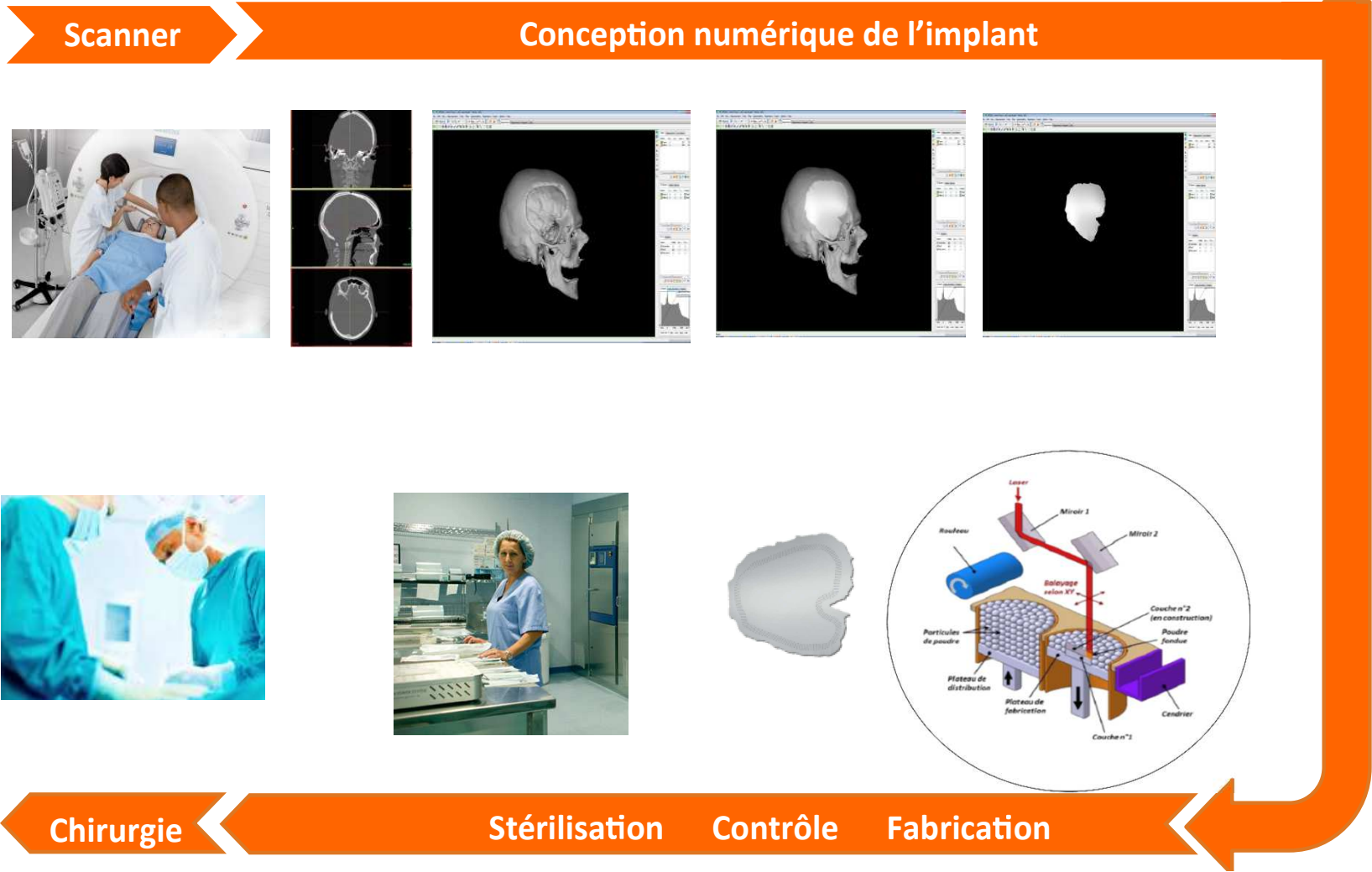
a) Co-29Cr-6Mo femoral prototype with mesh structure produced by EBM, HIP-annealed using ASTM-F75 standard, machine finished and partially polished; **b)** Magnified view of the mesh structure section



Source: Murr et al, J. Mech Behav of Biomed Materials, 2011

Source: Biomedical production of implants by additive electro-chemical processes, P.J. Bàrtolo et al., CIRP STC E keynote 2012, CIRP Annals – Manufacturing technology 61/2/635-655

Implants



De nombreux utilisateurs de la fabrication additive

- Designers
- Artistes



<http://www.3dprinter.net/emerging-objects-has-big-plans-for-big-bold-prints>

De nombreux utilisateurs de la fabrication additive

- Designers
- Artistes



<http://cubify.com/products/guitars/>

De nombreux utilisateurs de la fabrication additive

- Fablabs



Bootcamp: Make your machine

L'association PiNG anime un atelier participatif de construction de machines de fabrication numérique, à destination des membres du projet Fab Lab Squared et du réseau des Fab Labs français. L'axe privilégié est de fabriquer par soi-même ces machines nécessaires à un Fab Lab, dans une logique propre à la culture libre. Il s'agira également de se nourrir de ce temps collectif pour échanger sur le réseau français des lieux "estampillés" Fab Labs.

<http://fablab.fr/>



Centrale
Nantes



De nombreux utilisateurs de la fabrication additive

The FabShop : atelier de fabrication digitale



« **De la fabrication digitale à l'art numérique**

Le FabShop est à la fois une philosophie, une communauté, un lieu. Nous avons l'ambition de devenir la référence Française en fabrication assistée par ordinateur et l'ambassadeur européen de l'artisanat numérique. En plus d'être importateur de la célèbre marque d'imprimantes 3D Makerbot, le FabShop est à la racine de projets d'envergure qui encouragent et supportent la créativité. »

<http://www.lefabshop.fr/>

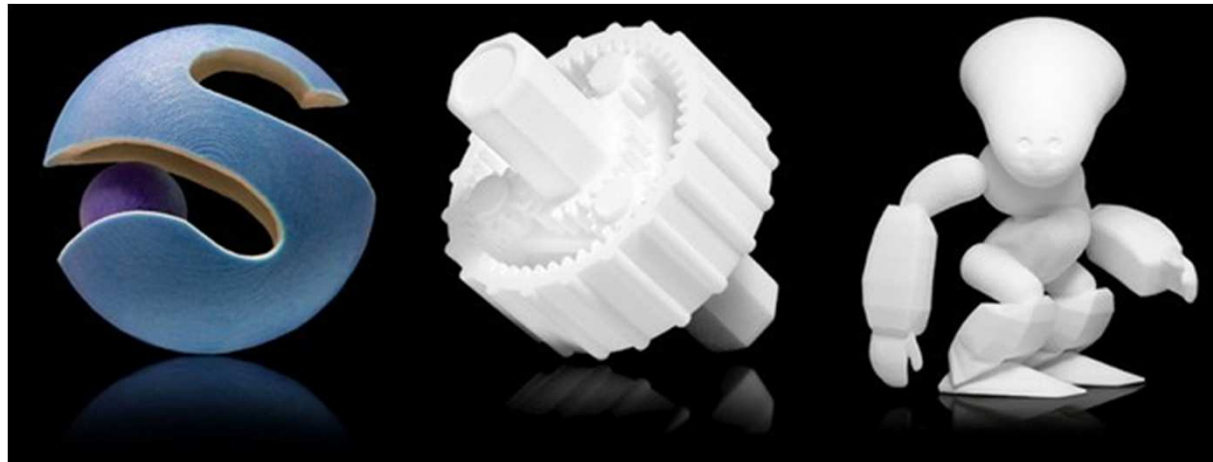
... même dans l'espace...



“3D printing is probably the most exciting new technology being developed in the world today, and its scope of influence is not limited to Earth. NASA has recently contracted a company called [Made In Space](#) to develop the first-ever 3D printer for microgravity, which it's planning to use on the International Space Station (ISS) and beyond.”

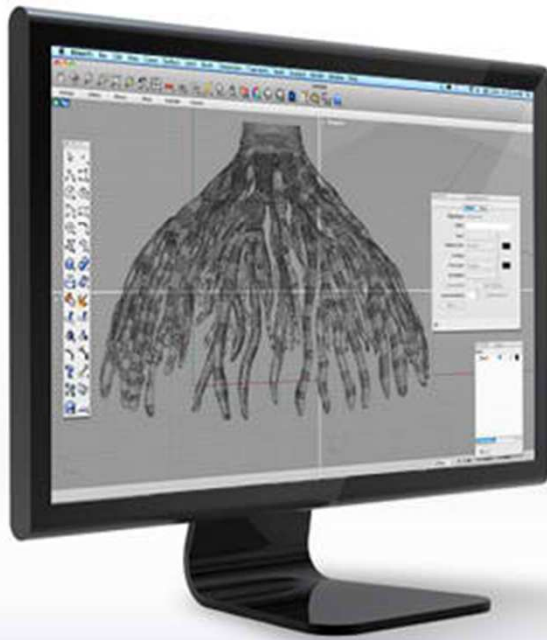
<http://mashable.com/2013/06/12/3d-printer-microgravity/>

Web Business – Production de pièces pour les particuliers



<http://www.sculpteo.com/>

Web Business – Production de pièces pour les particuliers



Rejoignez la révolution de l'impression 3D

Sculpteo imprime vos modélisations 3D facilement. Nous nous engageons à vous apporter le meilleur de l'impression 3D en travaillant avec les technologies les plus innovantes. Le prototypage rapide a une réelle signification pour nous. Nous sommes rapide, efficace et nous assurons la livraison dans le monde entier. Vous recevrez votre objet en quelques jours. Découvrez nos services et téléchargez votre fichier 3D pour une estimation dans l'instant







<http://www.sculpteo.com/fr/services/>

Web Business – Production de pièces pour les particuliers


AUJOURD'HUI

Classer par: [note](#) | [date](#)

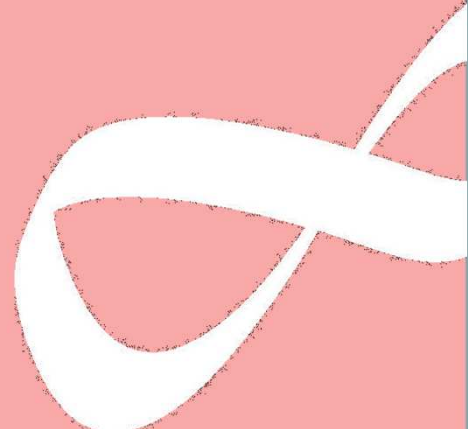
<< précédent 1 2 ... 862 863 suivant >>

 <p>1" Mars Globe boutique : Darklight Studi... 1" solid globe of Mars. Surface features are slightly exaggerated for texture. 8 €</p>	 <p>Water tank boutique : EmmeDueTi Shop Converts four plastic bottles in a tank of water up to 8 liters. . The distance betwe... 136 €</p>	 <p>Venetian Pot boutique : MY3DSCANNER.CI It's a pot scanned by my photcamera in Venioe and processed at 16 €</p>
 <p>flor de lee ring 8 boutique : schmnr's shop 8 €</p>	 <p>Pendentif sonore boutique : hugoarcier's sh... Ce pendentif est créé à partir de sons. Vous pouvez générer un objet unique à 9 €</p>	 <p>LG Optimus cas treil. boutique : idea design étui de protection conçues inspiré dans le tissu épithélial. Le tissu d'épithélium es... 48 €</p>

<http://www.sculpteo.com/fr/gallery/today/>



Parenthèse locale :
**Comment utiliser
l'imprimante 3D
de l'Irfu ?**



Comment utiliser l'imprimante 3D de l'Irfu ?

① Je prépare mon fichier 3D

- ▶ Une documentation « client » fournit consignes et conseils
- ▶ Format accepté : STL

② J'envoie mon fichier 3D à « SIS.imprimante3D@cea.fr » + la ligne d'imputation projet

③ Je reçois et je valide une estimation du coût / délai

- ▶ Coût : voir page suivante
- ▶ Délai indicatif : 8 j

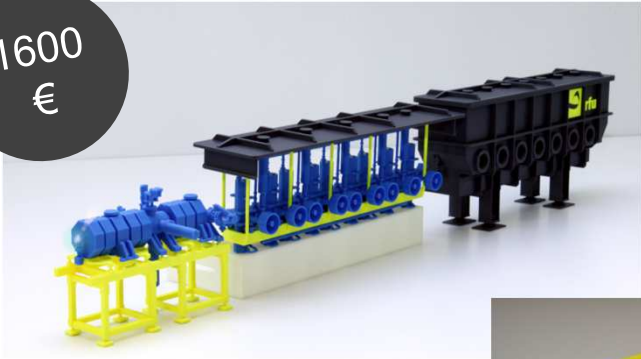
④ Je prends en charge l'assemblage (si nécessaire)

- ▶ Le LCAP met à disposition un « espace maquettage » avec plan de travail et outils simples pour réaliser des assemblages : perceuse à colonne, colle, lime...

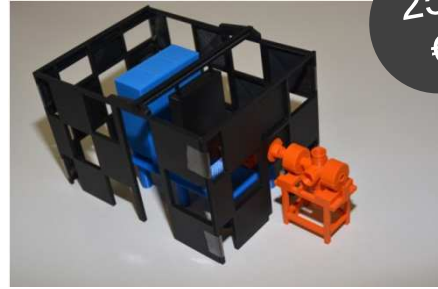
Contact : Jean-Michel LE STER, bât. 123



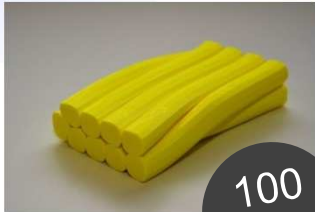
1600
€



250
€

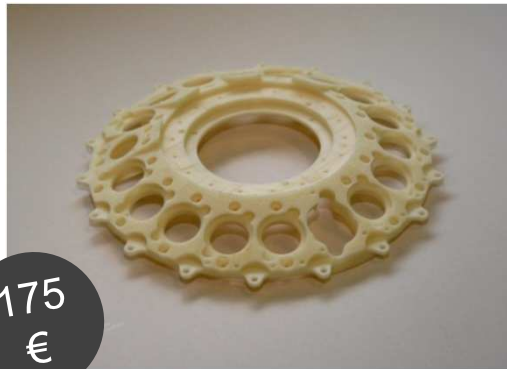


2500
€



100
€

3300
€

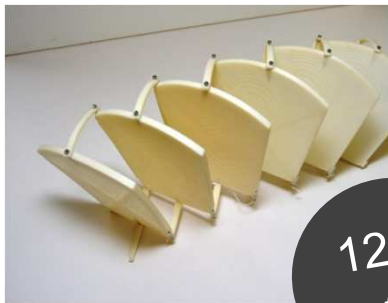
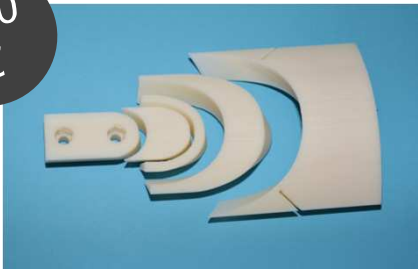


175
€



850
€

200
€

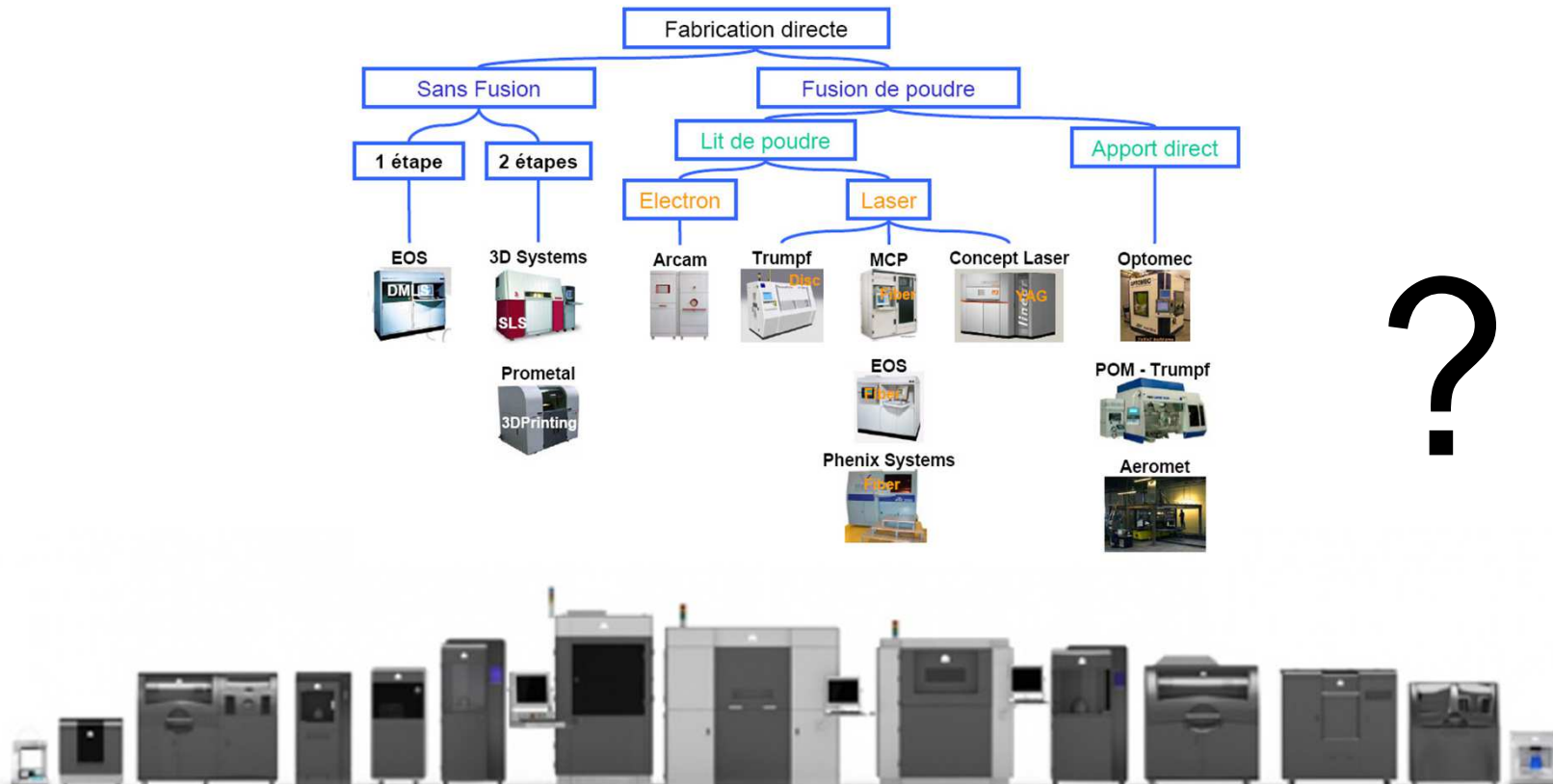


1200
€



50
€

Finalelement que et comment choisir ?

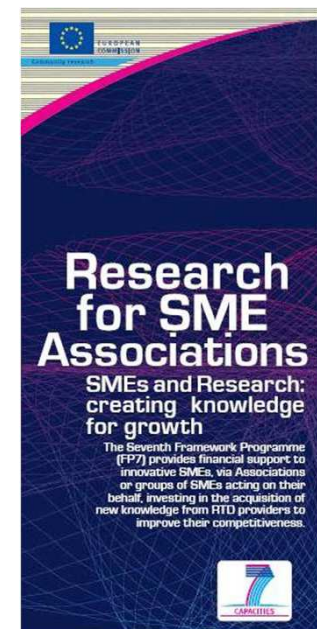


<http://www.3dsystems.com/>

KARMA Project



Grant n° 243631-2



KARMA partners and their roles



SME
AG
(customers
& owners)



RTD
(execution)



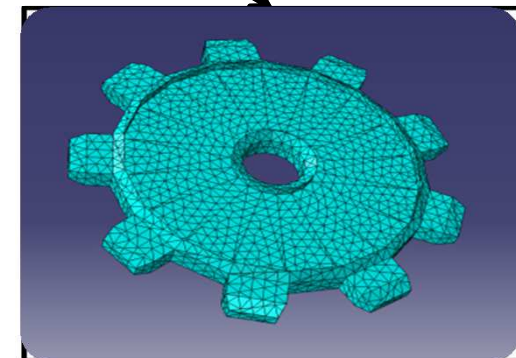
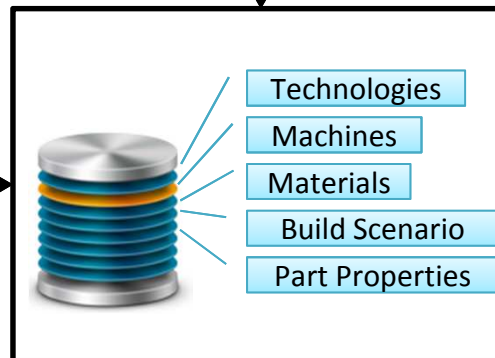
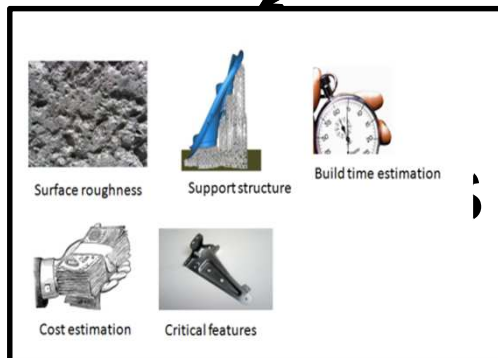
SME
(end-users)

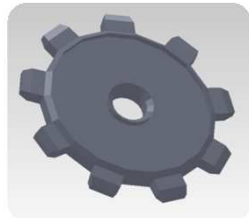


Why KARMA?

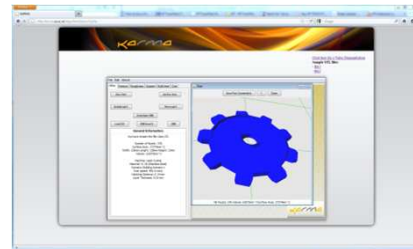
- “**Knowledge Assisted Rapid MAnufacturing**”
- To design a KBE system for ALM that can efficiently guide the end user towards the optimized fabrication scenario selection & process planning for ALM (Service Bureau or Novice User).
- To create an EU of ‘intelligent AM customers’ who understand the capabilities and constraints of different ALM technologies
- To provide contrasted knowledge about AM machine capabilities and constraints

KARMA System





Input - STL



KARMA Tool



- ✓ AM technology
- ✓ Material
- ✓ Machine parameters
- ✓ Optimal orientation
- ✓ Prediction of
 - Cost
 - Build time
 - Surface roughness
- ✓ FEA Export
- ✓ STL file

Output



Defining AM Feature for Knowledge Reuse

➤ Orientation optimization method based on AM feature and knowledge

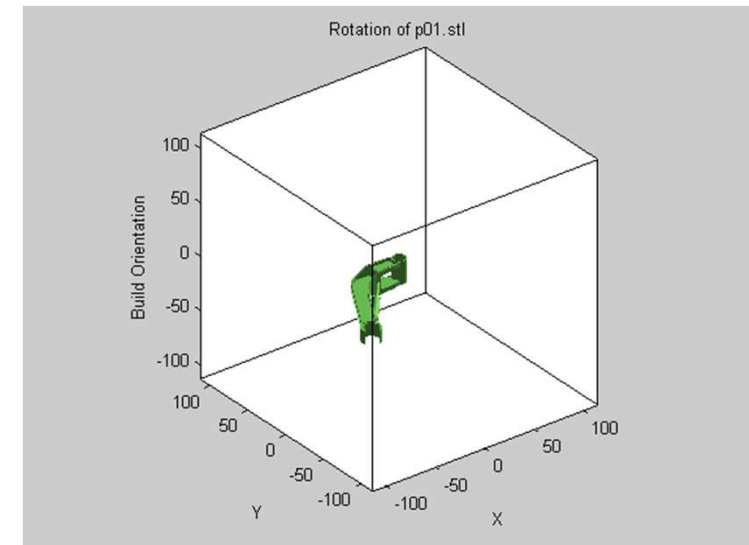
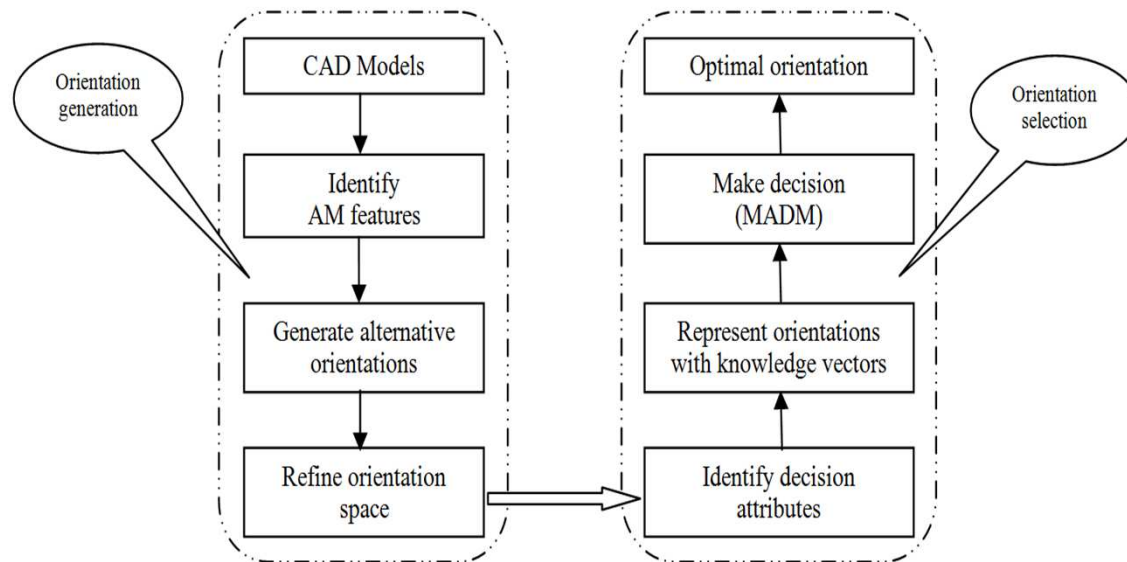


Figure 23, Flow chart of a proposed orientation optimization method.

Advantages:

- a. Improve the orientation generation efficiency;
- b. Facilitate the reuse of knowledge;
- c. Facilitate the decision making & reduce computation.

Defining AM Feature for Knowledge Reuse

➤ Case study

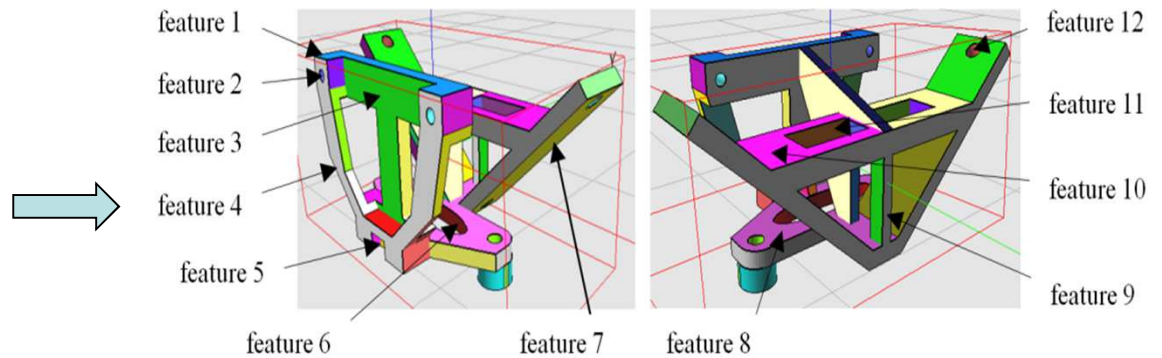
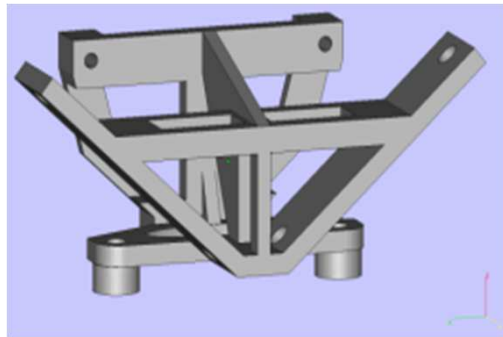
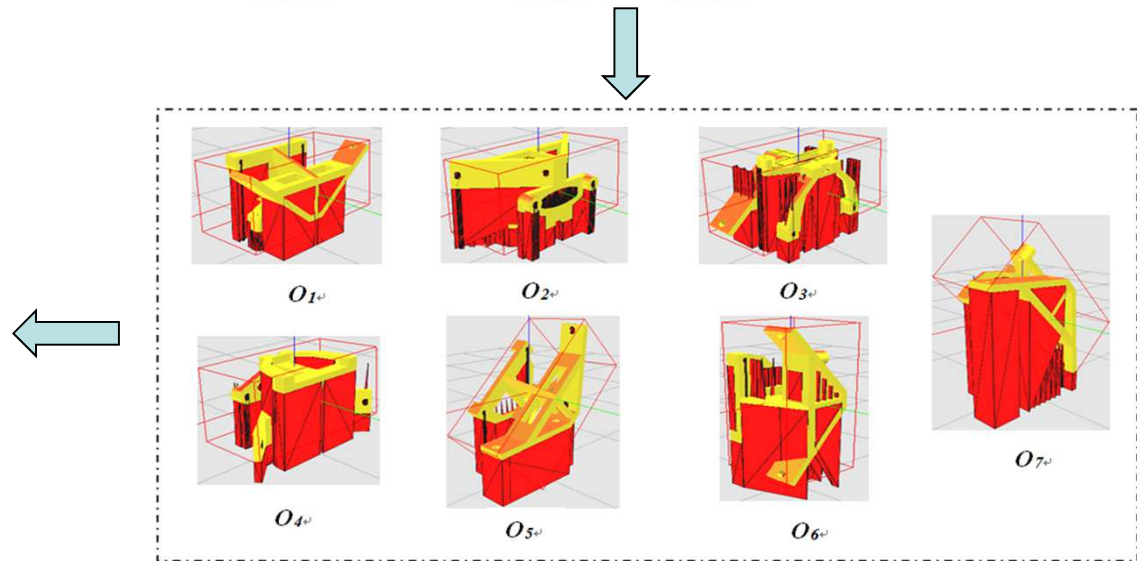


Table 17, Ranking result for orientation selection.

Orientatio n	Decision Index	Ranking
O_1	0.87	2
O_2	0.77	4
O_3	0.72	6
O_4	0.73	5
O_5	0.89	1
O_6	0.70	7
O_7	0.78	3



Implementing Main Modules

1. Orienting 16 parts for an SLA machine

Problem description: optimize build orientation with 5 global objectives

$$\text{Min: } \mathbf{F}(\mathbf{x}) = \left[Z_{max}(x), \text{std}(Z)(x), A_a(x), V_a(x), R_a(x) \right]^T$$

$$F(X) = \begin{cases} Z_{max}(x) = \text{Max}(Z_i); \\ \text{std}(Z)(x) = \text{std}(Z); \\ A_a(x) = \frac{1}{n} \sum_i^n A_i; \\ V_a(x) = \frac{1}{n} \sum_i^n V_i; \\ R_a(x) = \frac{1}{n} \sum_i^n R_i. \end{cases}$$

Zmax-total build height; **std(Z)**-difference of build height;
Aa-average projection area; **Va**-average support volume;
Ra-average surface roughness.

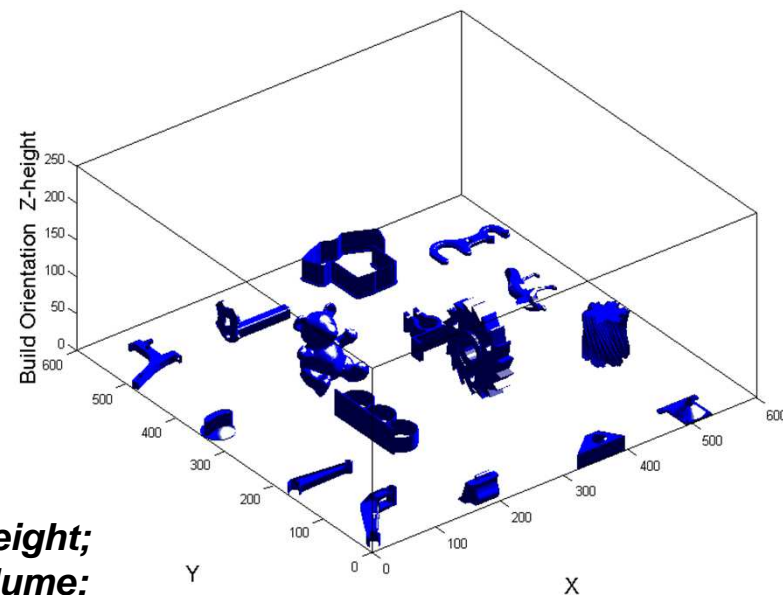


Figure 33, 16 parts to be oriented .

Implementing Main Modules

Step two:

applying the improved GA to find out the optimal orientation combination

Global optimization: Five-objective optimization

Optimal solution: $C = [1\ 3\ 1\ 3\ 1\ 1\ 2\ 1\ 4\ 1\ 1\ 1\ 1\ 2\ 1\ 2]$

Best value: $[80.4300, 16.7977, 4.8181, 393.5944, 5.5069]$

Aspired goal: $[80.4300, 16.1420, 2.4712, 376.4075, 4.1769]$

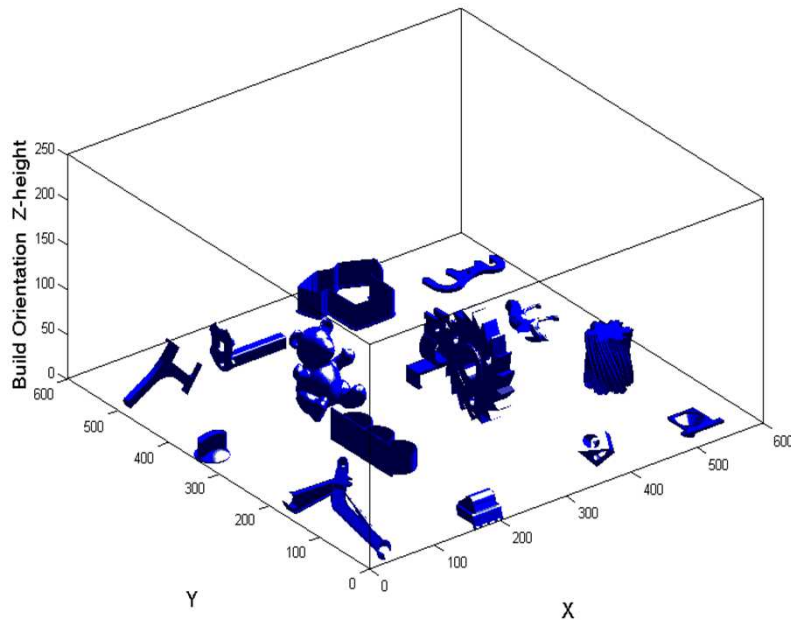


Figure 35, Optimization result.

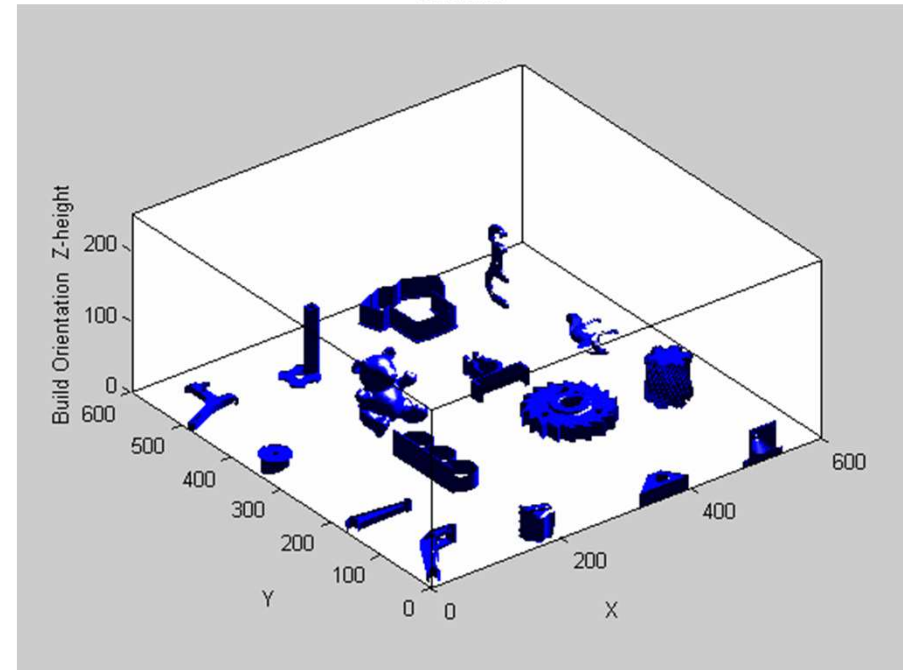
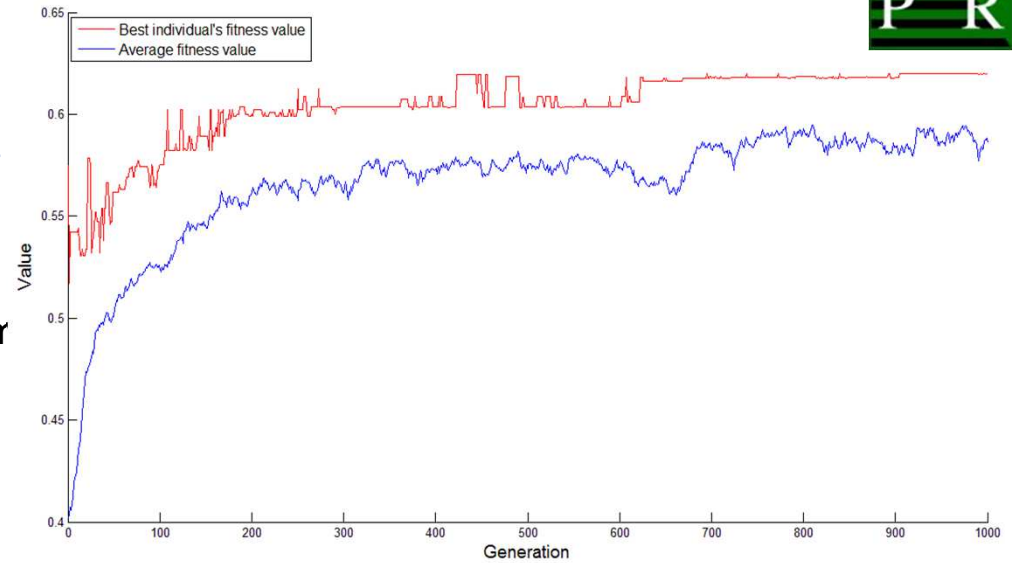


Figure 36, Optimization procedure.

Implementing Main Modules

Nesting procedure and result: *the 6 parts can be nested into the specified region*

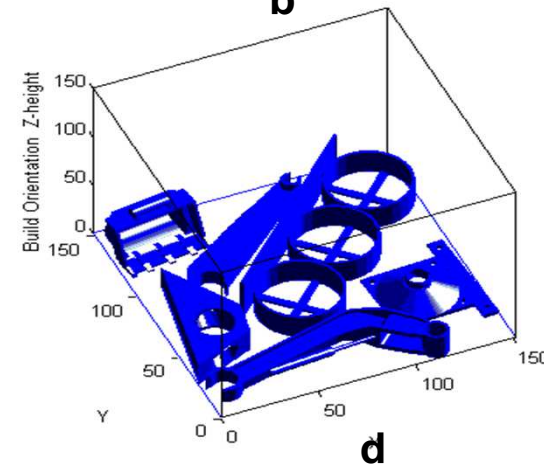
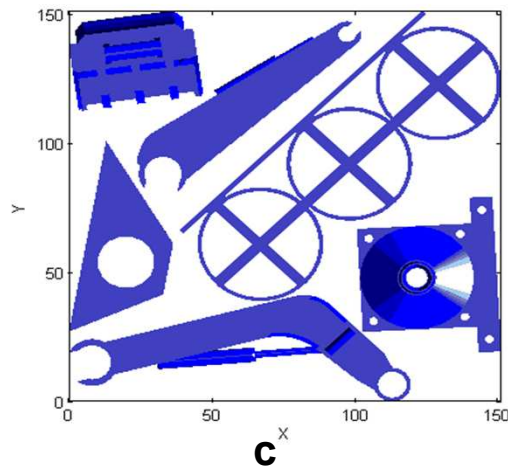
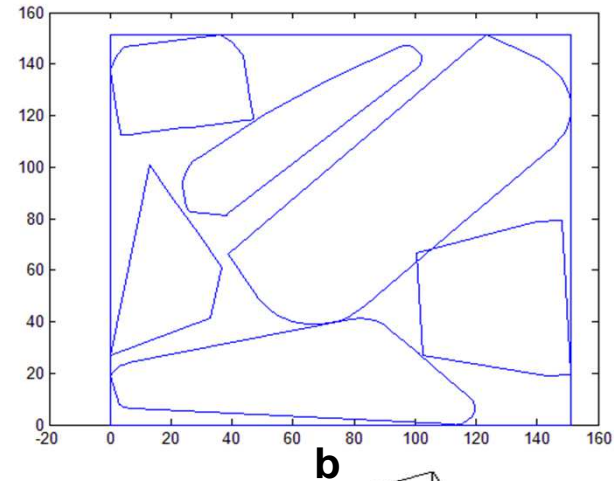
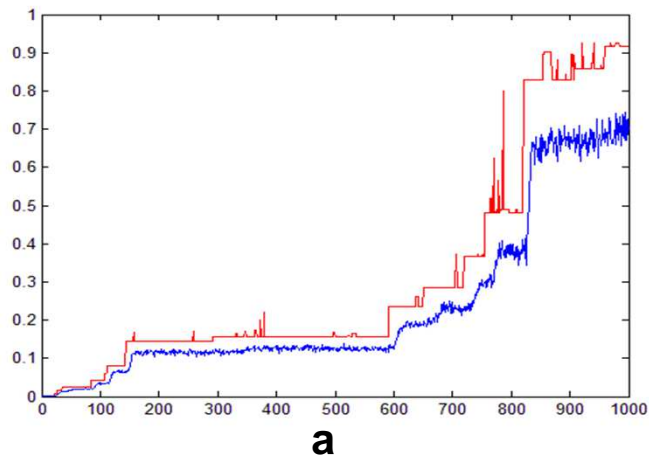


Figure 38, Nesting procedure and result: a, optimization procedure; b, nested projection profiles; c and d, nested parts.

Implementing Main Modules

Nesting result for the first group:

Best fitness value: 0.7494

Iteration times: 1000

Computation time: 3759.64

Nesting results: tiny collision among several parts

Judging result: cannot be nested with a compactness of 0.7

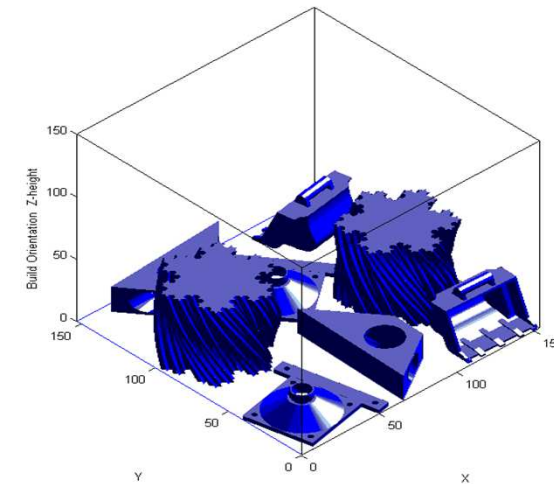
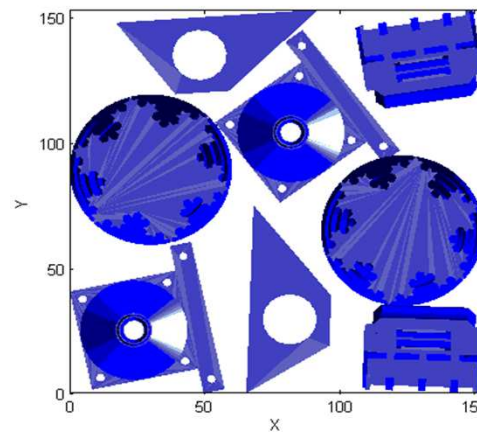
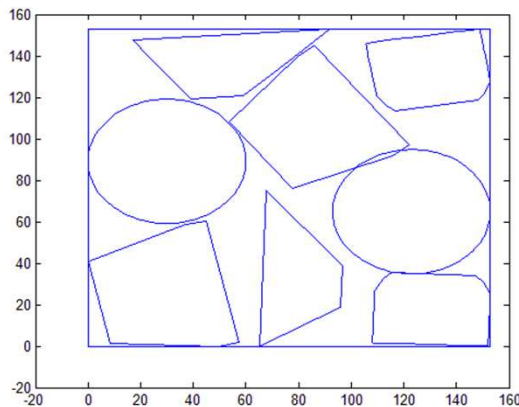
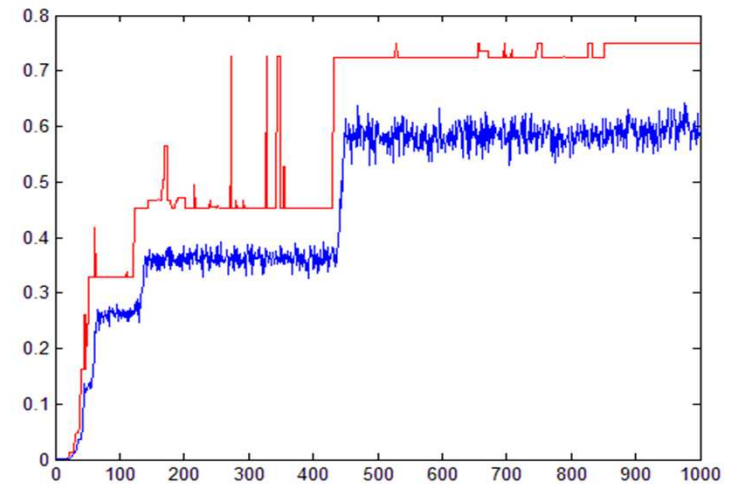


Figure 40, Nesting result of the mixed part group.

Implementing Main Modules

Application Study

Nesting result for the first group:

Best fitness value: 1

Iteration times: 169

Computation time: 642.39

Nesting results: No collision

Judging result: can be nested with a compactness of 0.7

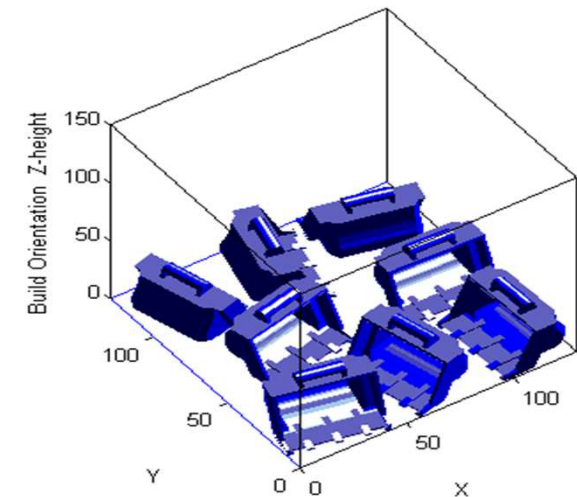
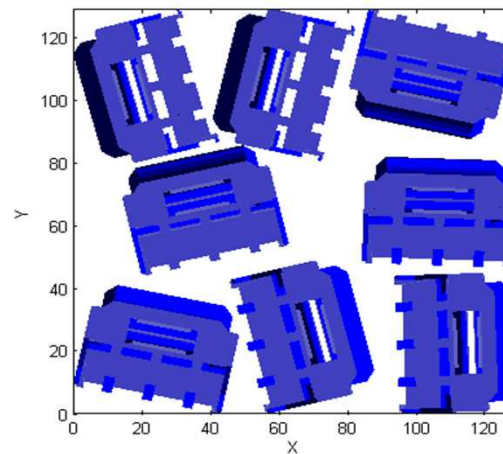
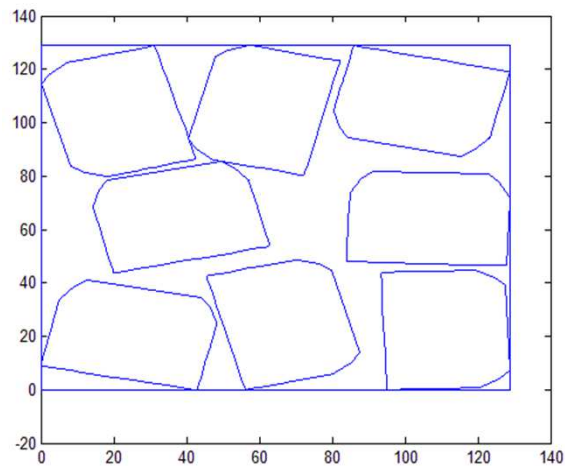
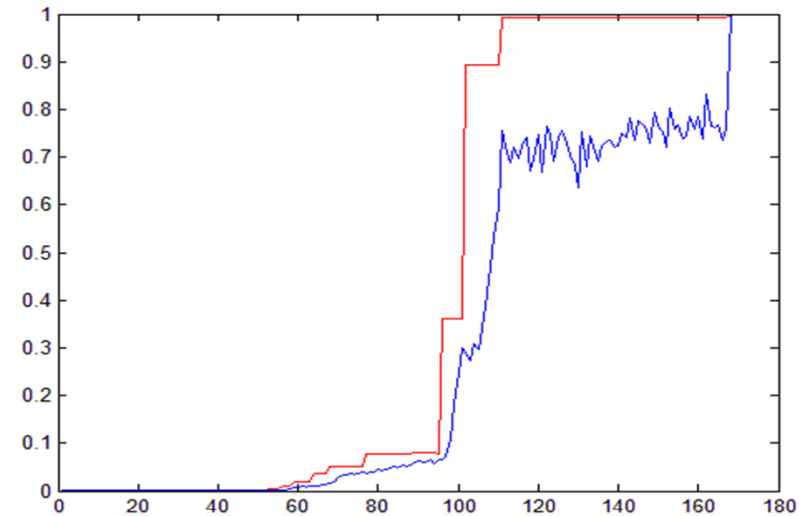


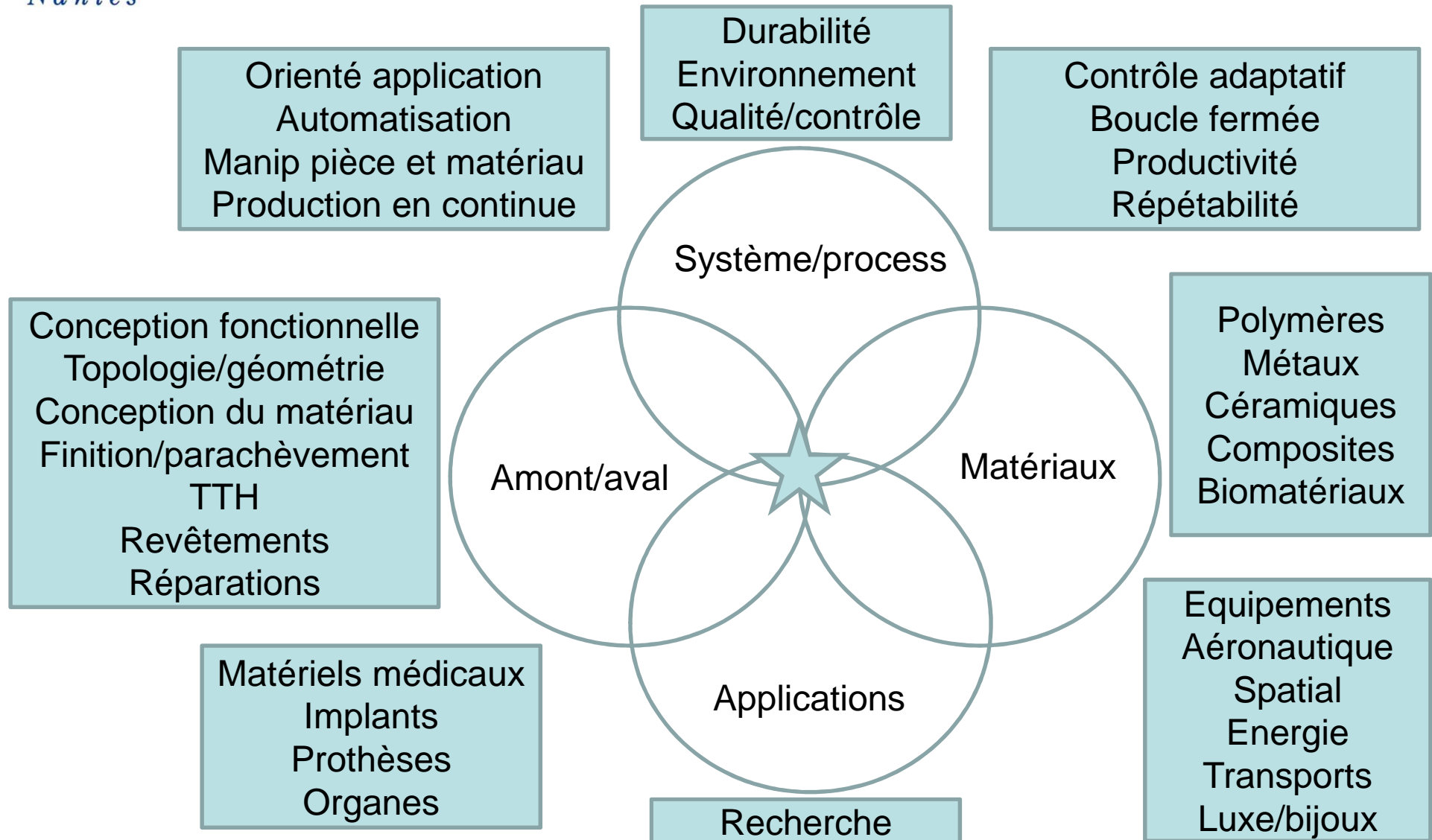
Figure 41, Nesting result of the part group with same copies.

Fabrication Directe

Quelle politique ? Quels moyens ?

Quelle stratégie pour demain ?

Fabrication Directe



Conclusions

- La fabrication additive **n'est pas une solution viable pour toute fabrication**
- La fabrication additive **est un moyen supplémentaire qui doit prendre sa place dans les filières productives**
- La fabrication additive **permet la complexité et la diversité à surcoût nul**
- La fabrication additive **a besoin d'aide à la création du modèle numérique**
- La fabrication additive **permet de repenser la conception des pièces et les caractéristiques des matériaux après fabrication**
- La fabrication additive **a besoin de compétences humaines clefs**
- La fabrication additive **est un moyen de revaloriser les aspects technologiques**
- La fabrication additive **permet « la juste matière à la juste place, moins d'énergie consommée, moins de temps de fabrication, moins d'impact environnemental »**
- La fabrication additive **est un marché en très forte croissance car elle a acquis une vraie maturité et dispose déjà de standards**

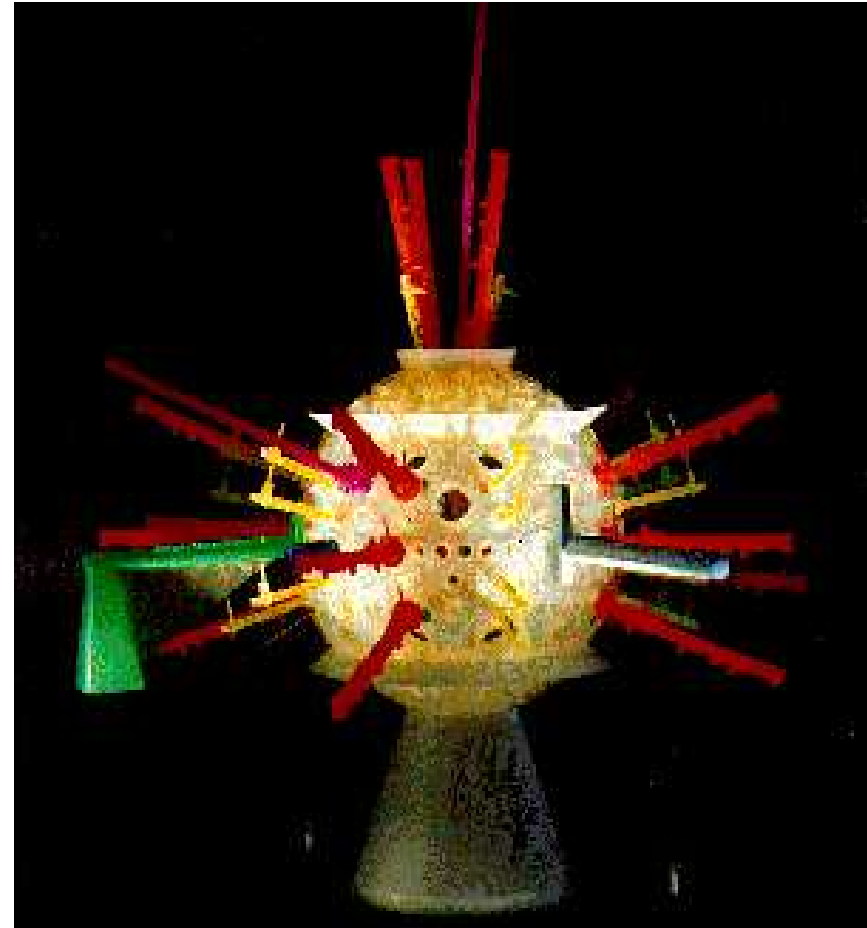
Coeur du Laser Mégajoule

Modèle

CAO



Assemblage de 540 pièces
(fabriqué en 1994)

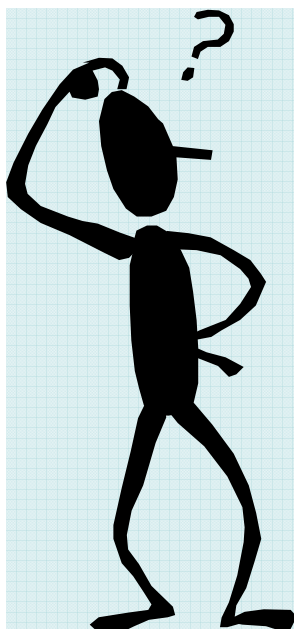




Association Française de Prototypage Rapide
& Fabrication Additive



Centrale
Nantes



Merci pour votre attention

Questions / Réponses

Alain BERNARD
alain.bernard@ec-nantes.fr

www.afpr.asso.fr