



Association Française de Prototypage Rapide  
& Fabrication Additive



RENCONTRE STRATEGIQUE INNOVATION  
FABRICATION ADDITIVE - IMPRESSION 3D

# LE SECTEUR DE LA FABRICATION ADDITIVE AUJOURD'HUI

Panorama technique et Marché

**Alain BERNARD**

Professeur des Universités à l'Ecole Centrale de Nantes

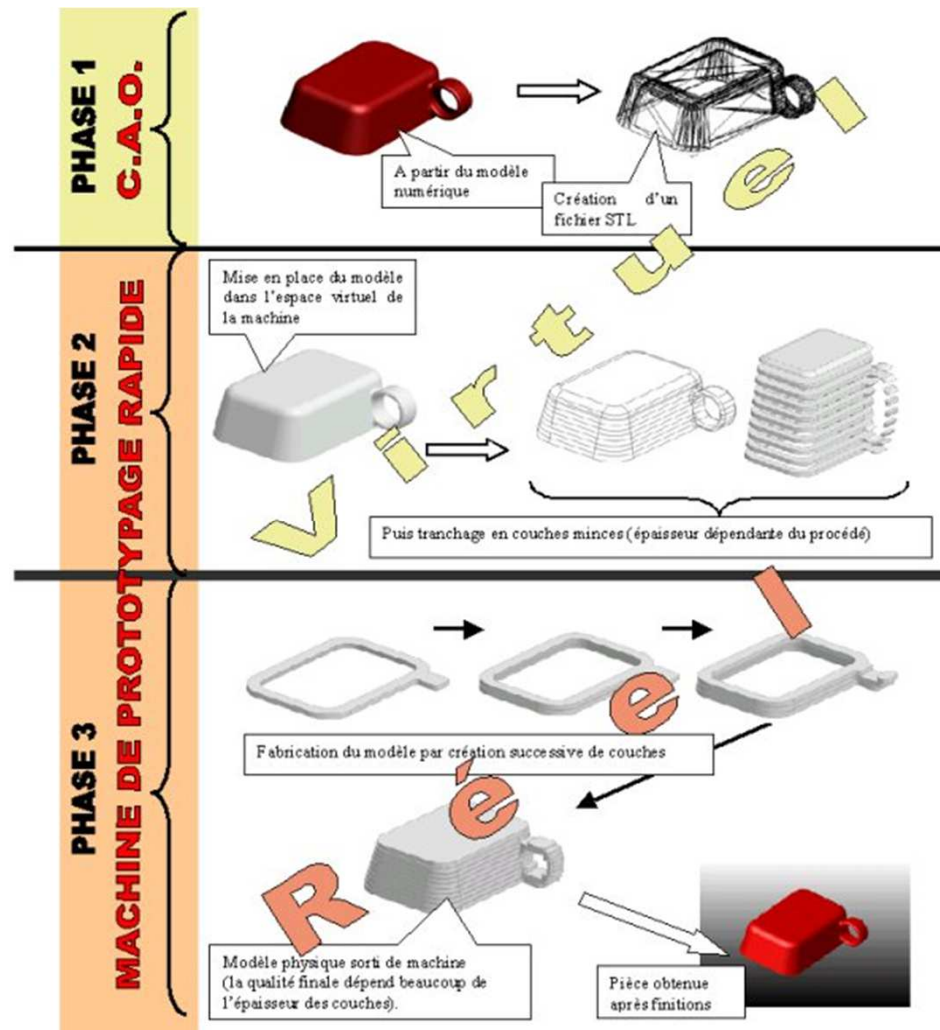
Chercheur à l'IRCCyN UMR CNRS 6597

Vice-Président, Association Française de Prototypage Rapide



# 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



# 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



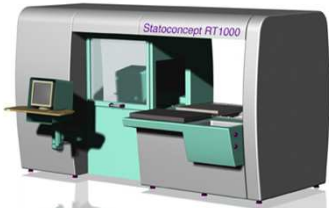
## Juin 2010 : création de la Commission de normalisation UNM 920

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

# 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

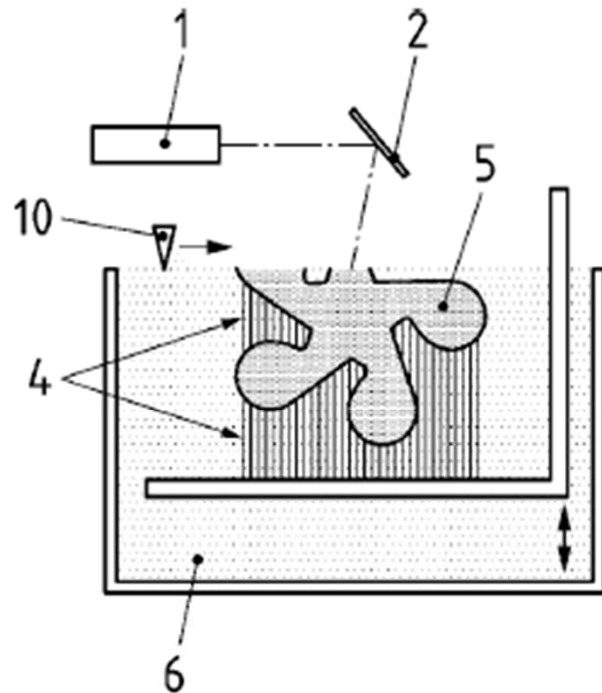
# 7 classes de procédés

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

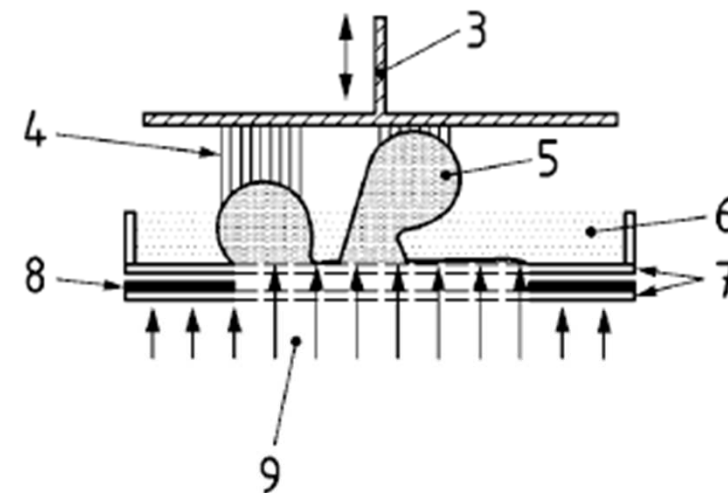
Materials	Example materials	Process categories						
		Vat photo-polymerization	Material jetting	Binder jetting	Powder bed fusion	Material extrusion	Directed energy deposition	Sheet lamination
Thermoset Polymers	Epoxies and acrylates	X	X					
Thermoplastic polymers	Polyamide, ABS, PPSF		X	X	X	X		X
Wood	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



Source: 3D Systems

## Exemples de réalisations



### Viper Pro

Volume : 298 x 185 x 203 mm

Matériau : Résine photopolymère

Technique : Photopolymérisation de résine



# Stéréolithographie par DLP

**PRODWAYS**  
The new way of producing

**M350 Producer (Haute précision)**

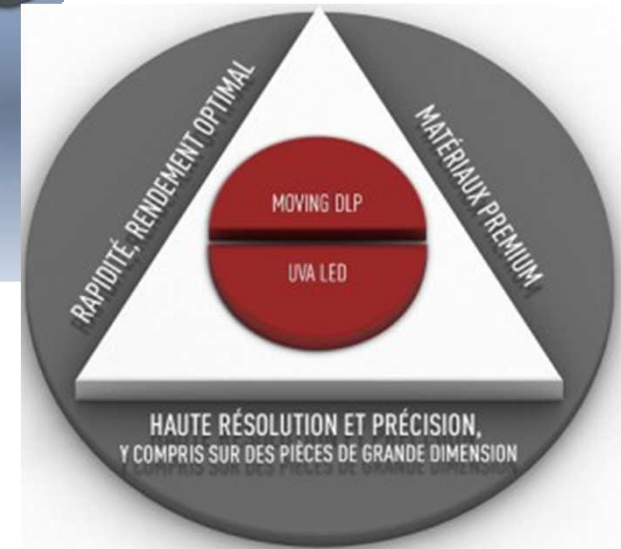


**K20 Producer (Céramiques)**



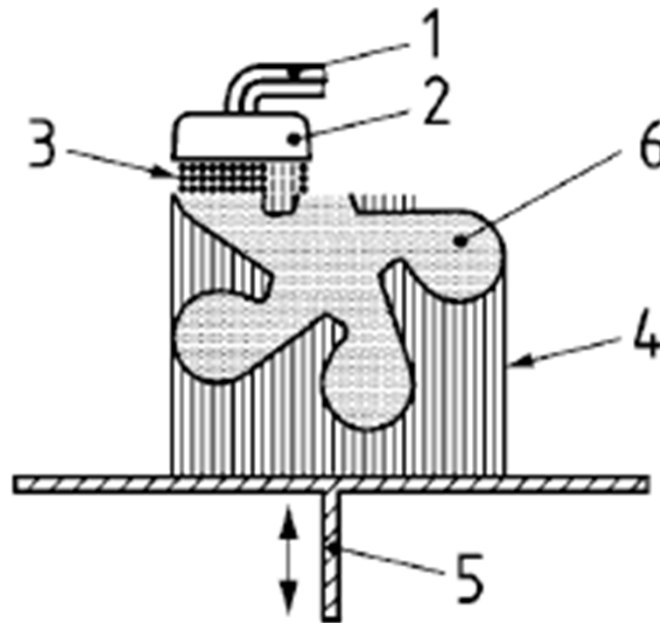
Technologie propriétaire MOVINGLight®  
basée sur l'association de DLP en mouvement et de LEDs UVA de haute puissance, résines chargées

**D35 Producer (Dentaire)**



[http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_detailpage&v=KRpNAw5caN8](http://www.youtube.com/watch?feature=player_detailpage&v=KRpNAw5caN8)

# Material jetting



Source : ISO 17296-2:2014E



# Projection de résine par jets multiples

## Stratasys/Objet



### Avantages :

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

### Imprimante EDEN

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

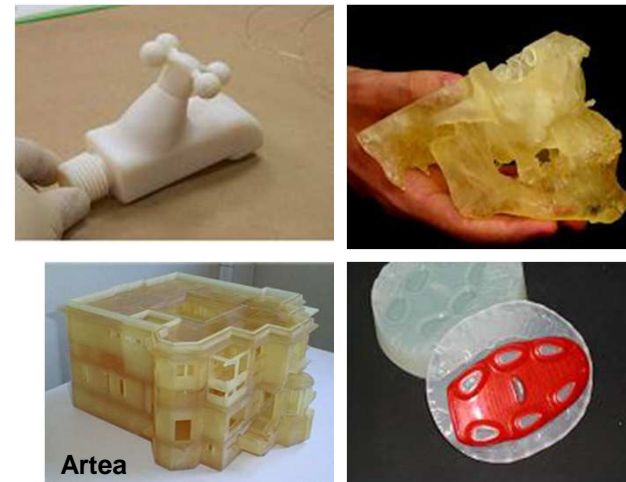
Résolution : 600 x 300 x 1600 DPI

Matériau : Résine (plusieurs couleurs disponibles)

Technique : Modelage à Jets Multiples avec durcissement UV

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

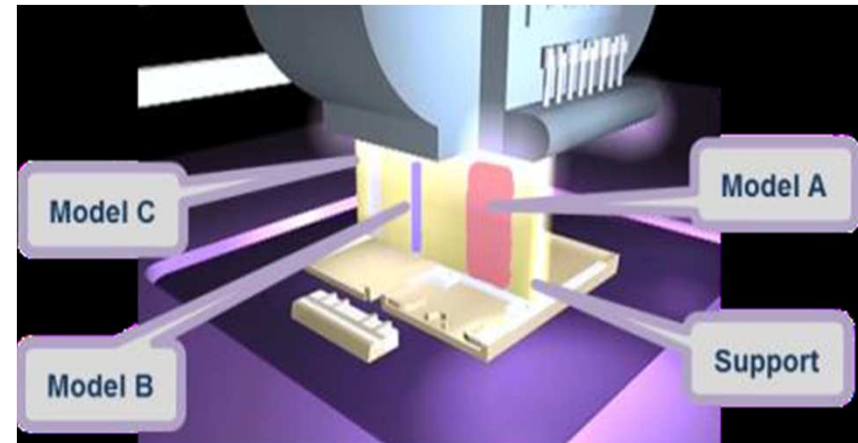
## Exemples de réalisations



**Source: Stratasys**

# Projection de résine par jets multiples

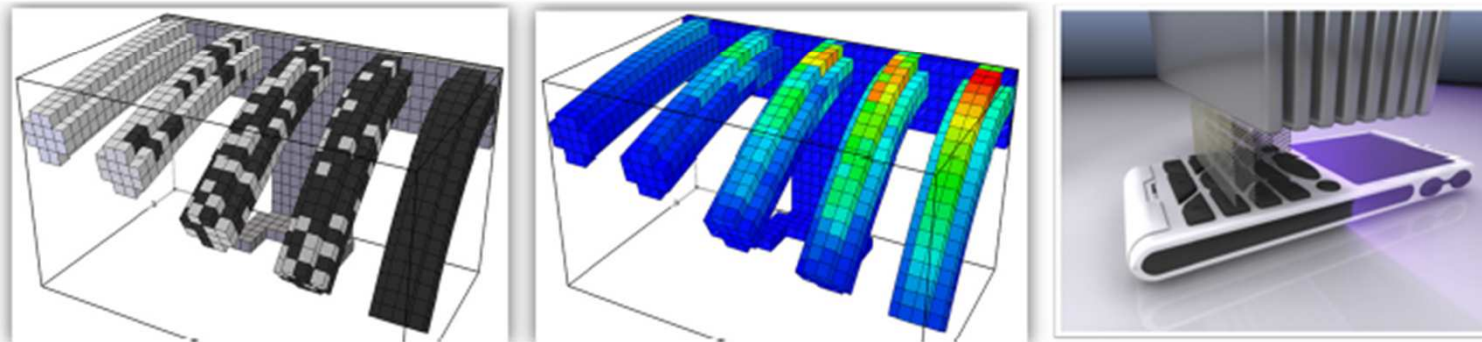
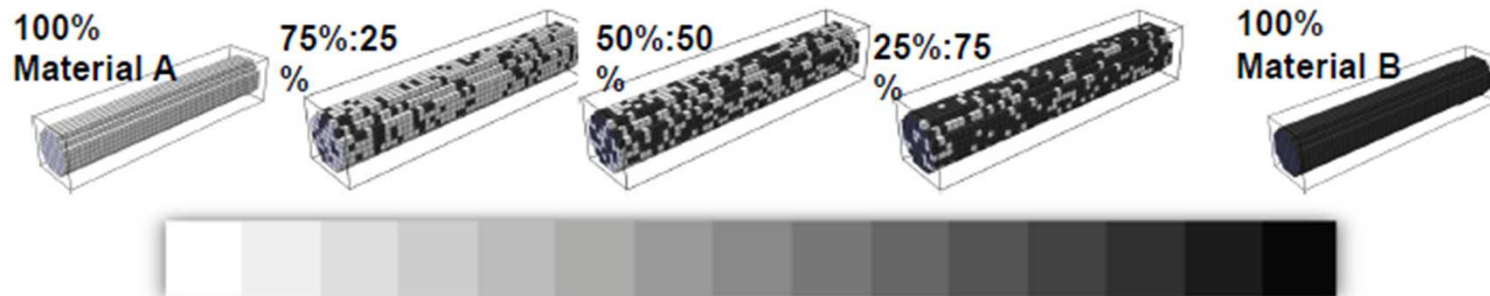
## Objet500 Connex 3: multi-matériaux/couleurs



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

# Projection de résine par jets multiples

## Gradient de matière



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



# Projection de résine par jets multiples

## Objet1000



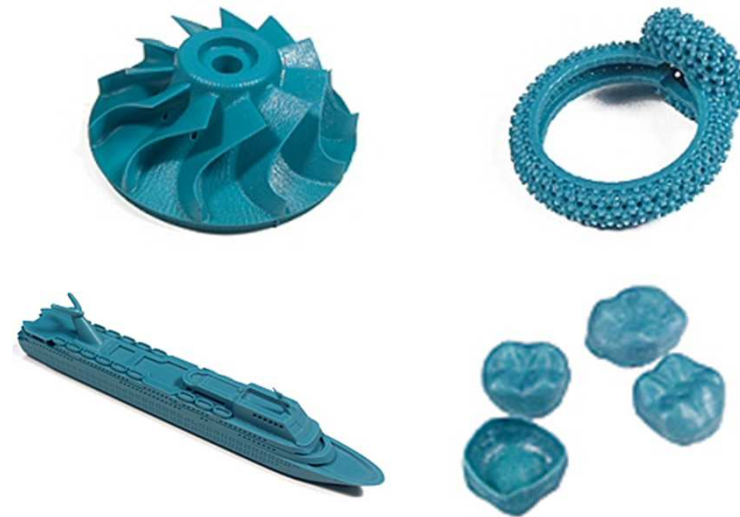
**Source: Stratasys**



# Dépôts gouttelettes cire et usinage

Solidscape (Stratasys)

Exemples de réalisations



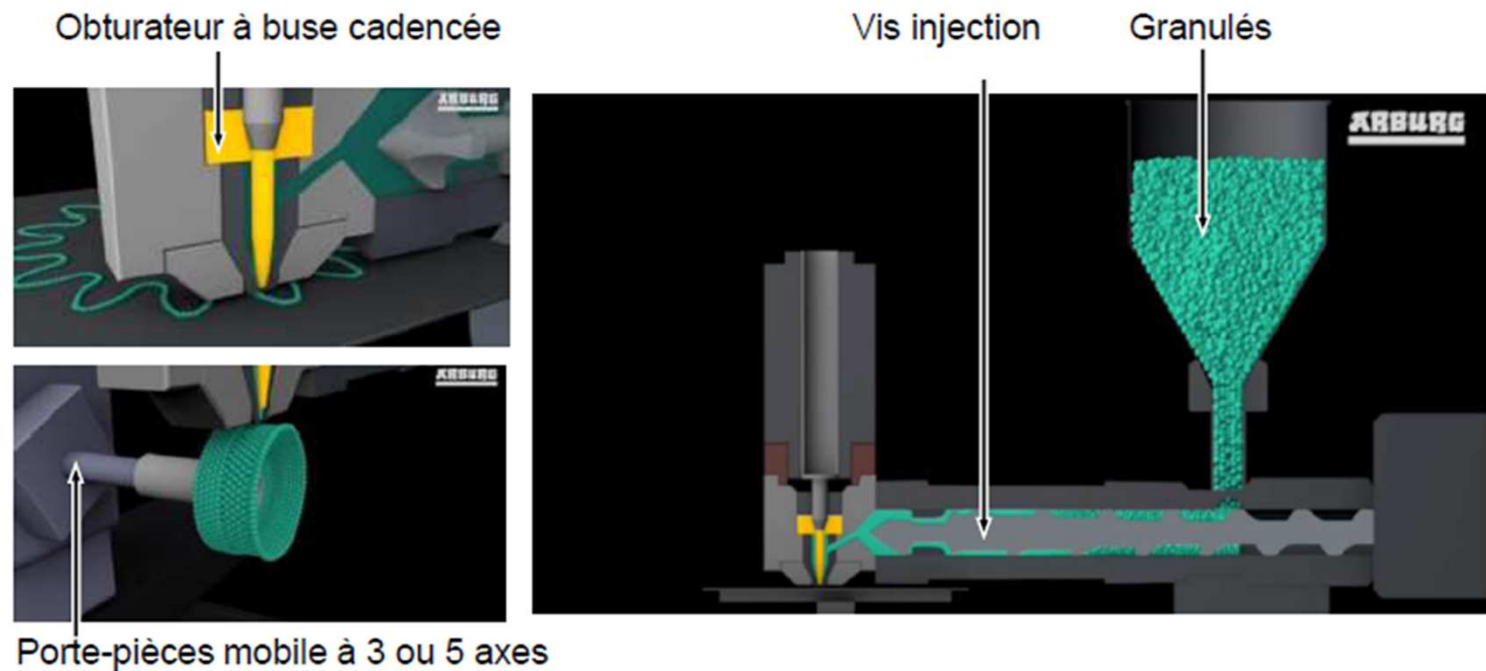
**Avantage :**

Modèles en cire identiques à ceux utilisés traditionnellement pour la fonderie

Source: Stratasys

# Dépôts gouttelettes de plastique

## ARBURG (freeformer)

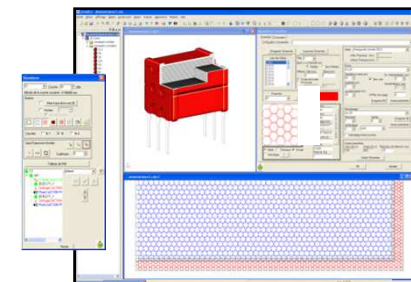
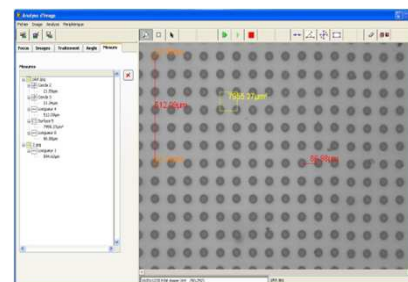
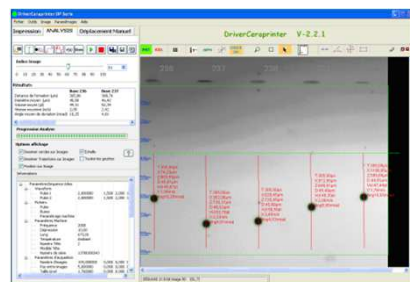
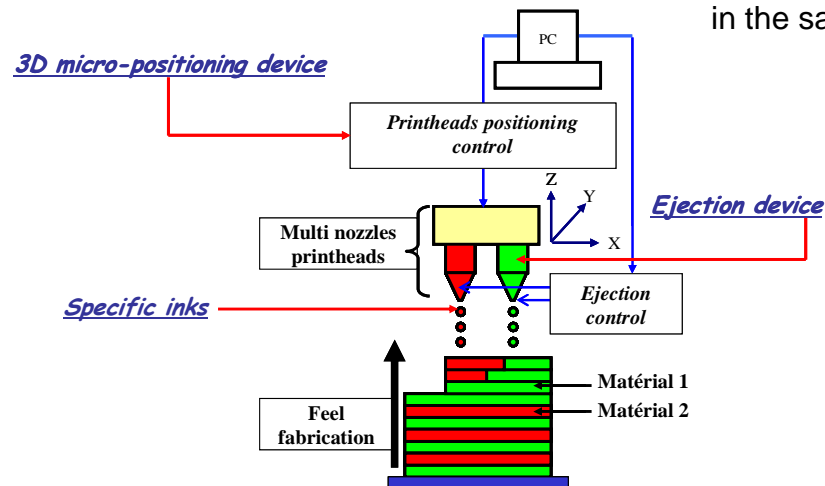


Source: ARBURG

# Dépôts gouttelettes

Inkjet printing devoted to rapid manufacturing of ceramic printed electronics components

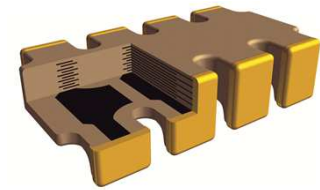
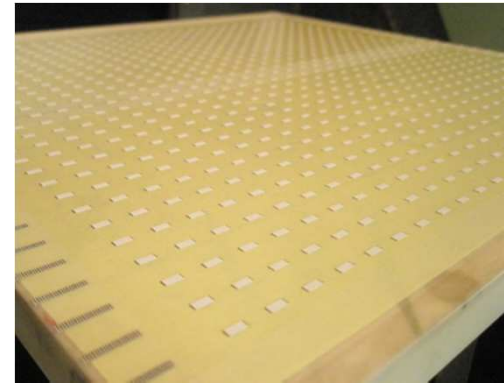
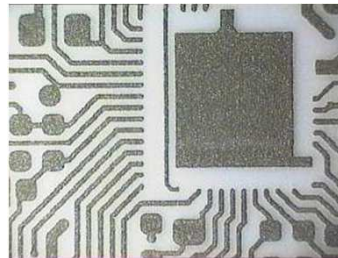
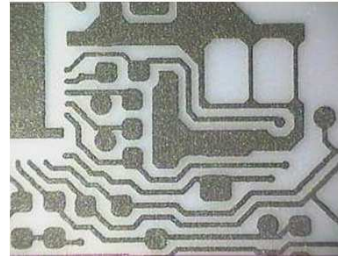
2D/3D printer with **multimaterials** capability (up to four ceramic or metallic materials in the same component) with CAD/CAM and vision softwares



Source : Ceradrop

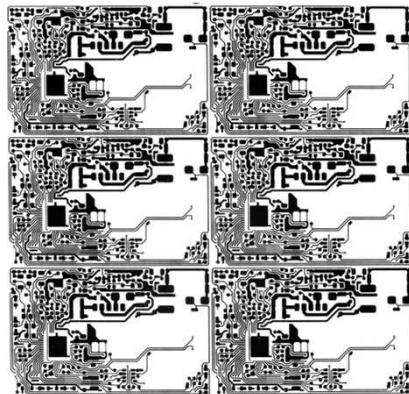


# Dépôts gouttelettes

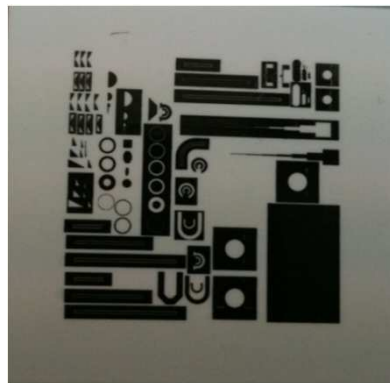


*Printed complex multilayer ceramic capacitors*

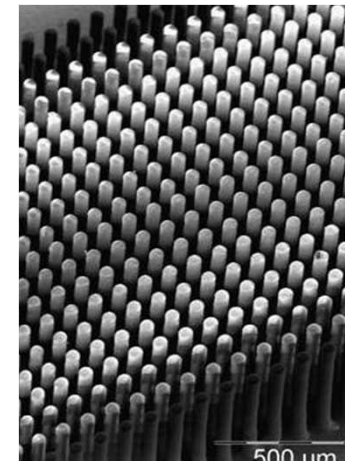
*Ag crackless metallization for Thick film application*



*Silver patterning for automotive*  
Source : Ceradrop

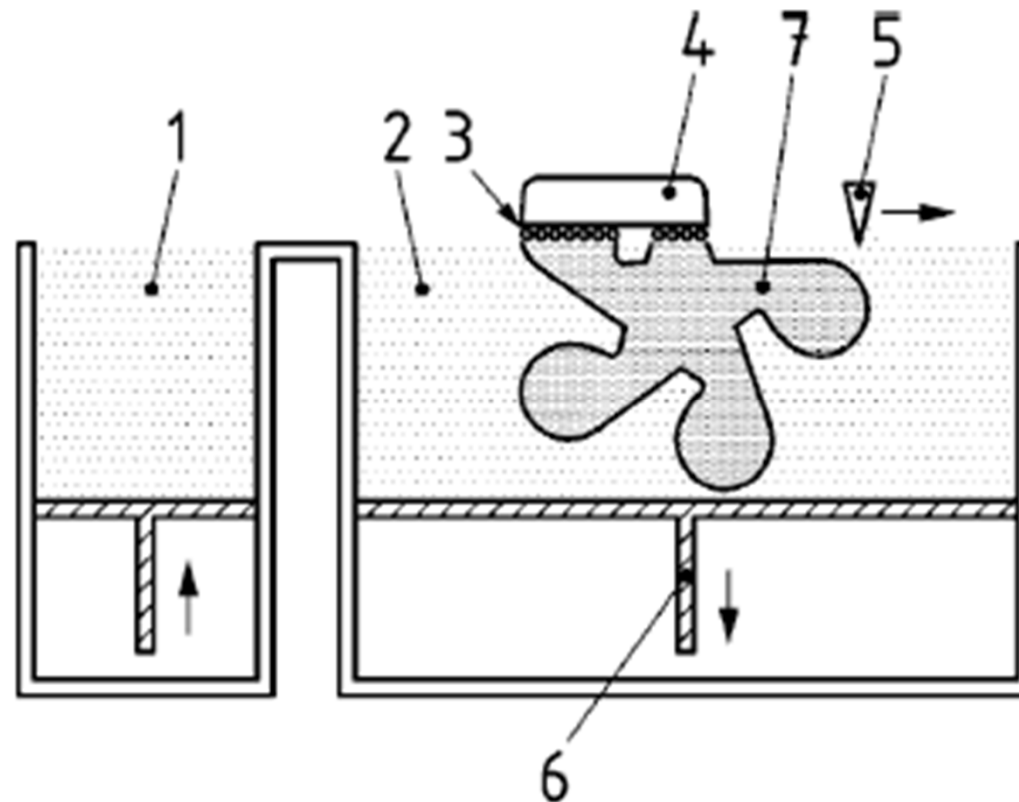


*Silver patterning for RF filters*



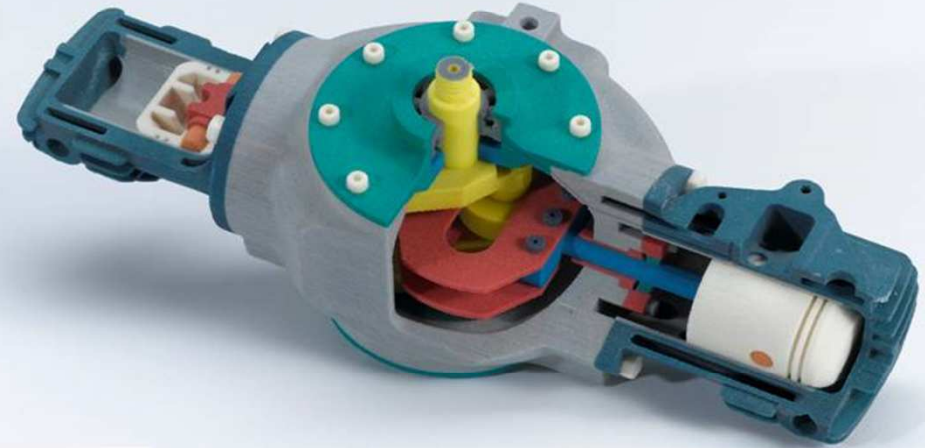
*Printed piezoelectric actuator*

# Binder jetting



Source : ISO 17296-2:2014E

# ZCorp Spectrum Z510



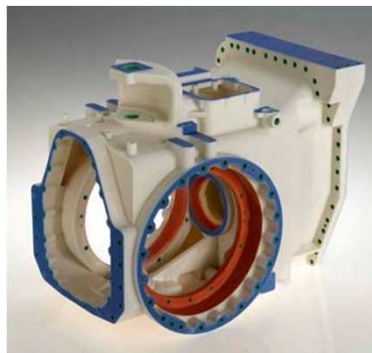


# Projection liant sur poudre

## 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](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**

S-Max<sup>TM</sup>

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

Fluid Connectors  
for safe handling of liquid media

Operating Panel



## Imprimantes S-Max

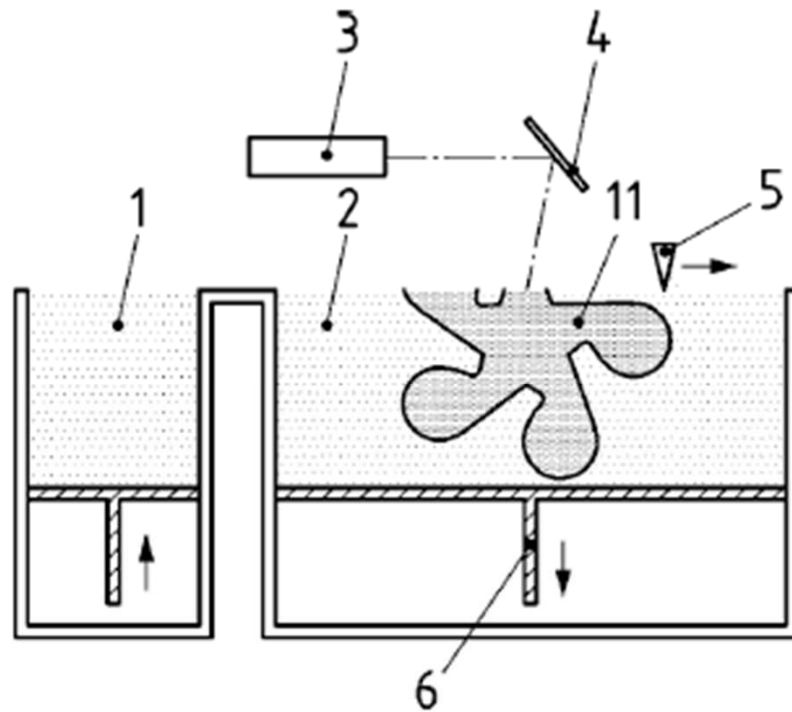
Volume : 1000 x 7000 x 1800 mm

Matériau : Sable de fonderie

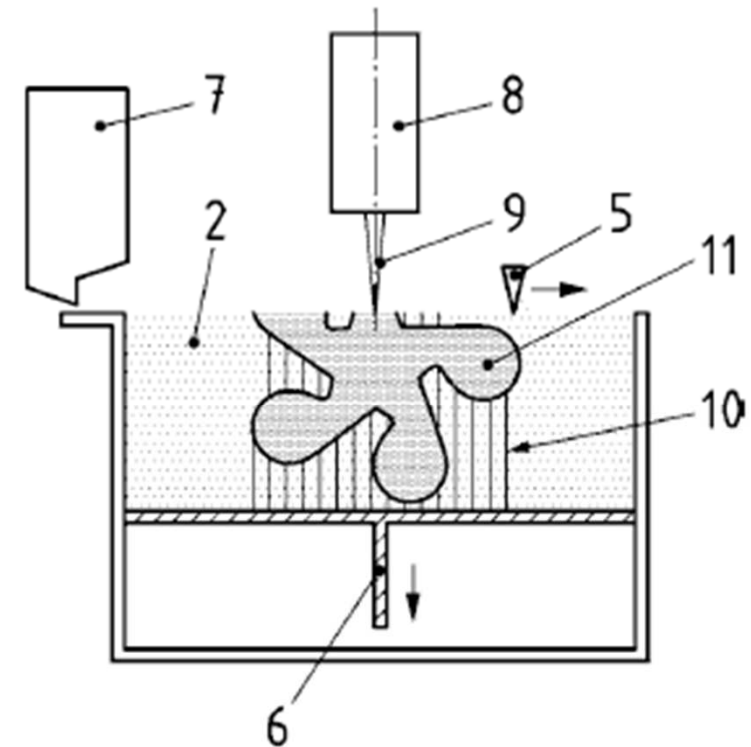
Technique : Projection de liant sur substrat poudre

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



# Frittage de poudres par laser

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

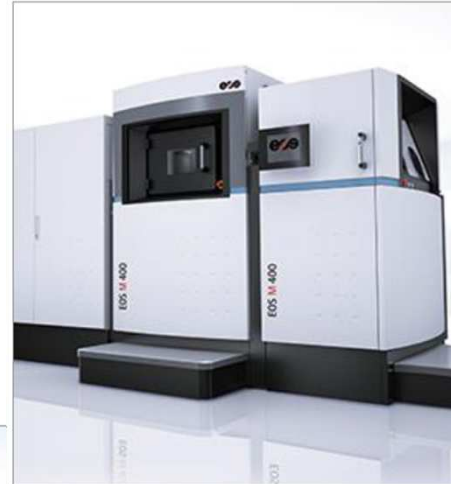
EOSINT M280

EOSINT M 280 with Comfort Powder Module

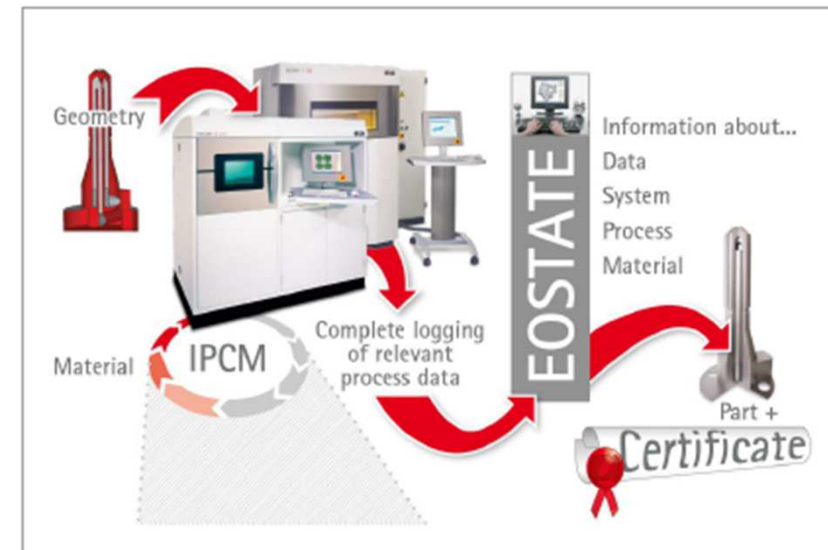


M400

EOS M 400 Process & Set-up Stations with periphery



M290

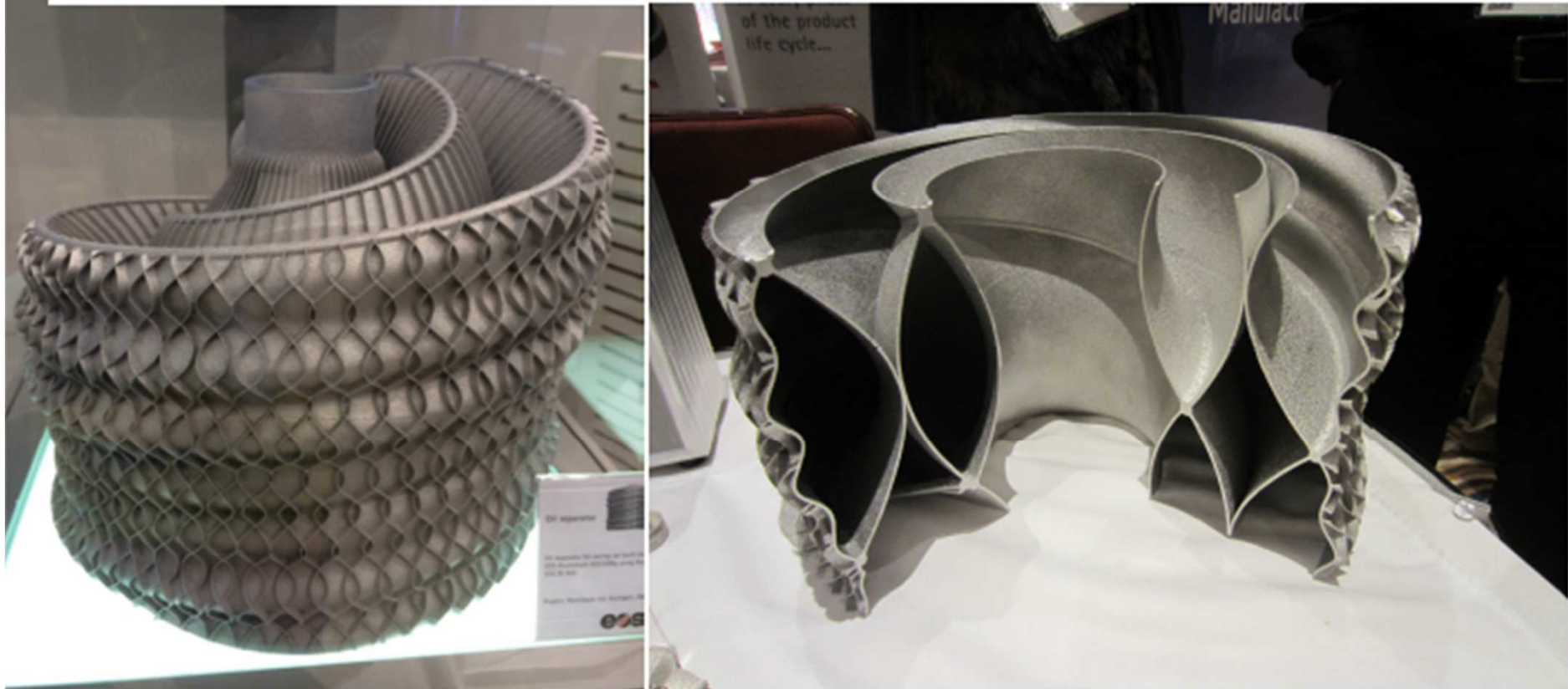


Source: EOS

# 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







**PXS**



**PXM**



**PXL**



3DSYSTEMS™

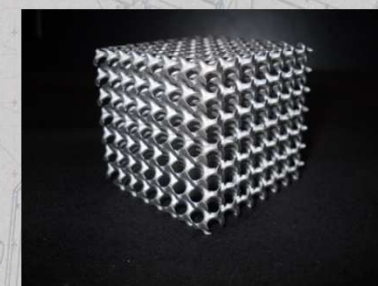
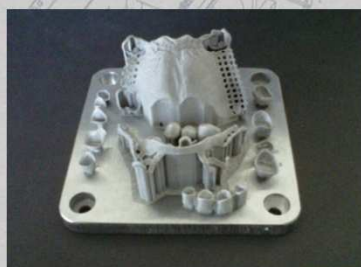
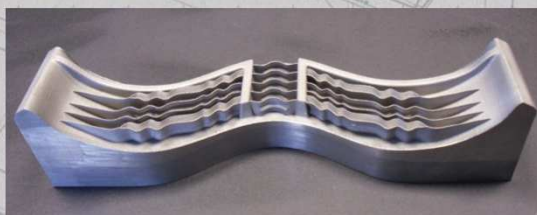
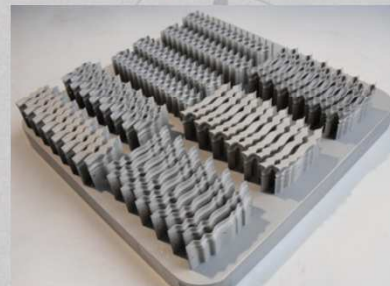
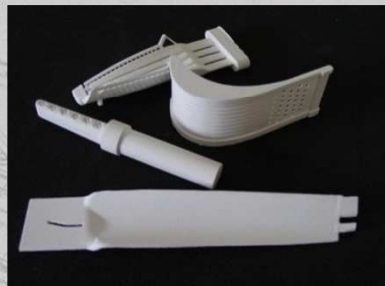
PHENIX™  
SYSTEMS



Centrale  
Nantes



A F  
P R





# 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



ARCAM A2X



Source : ARCAM AB

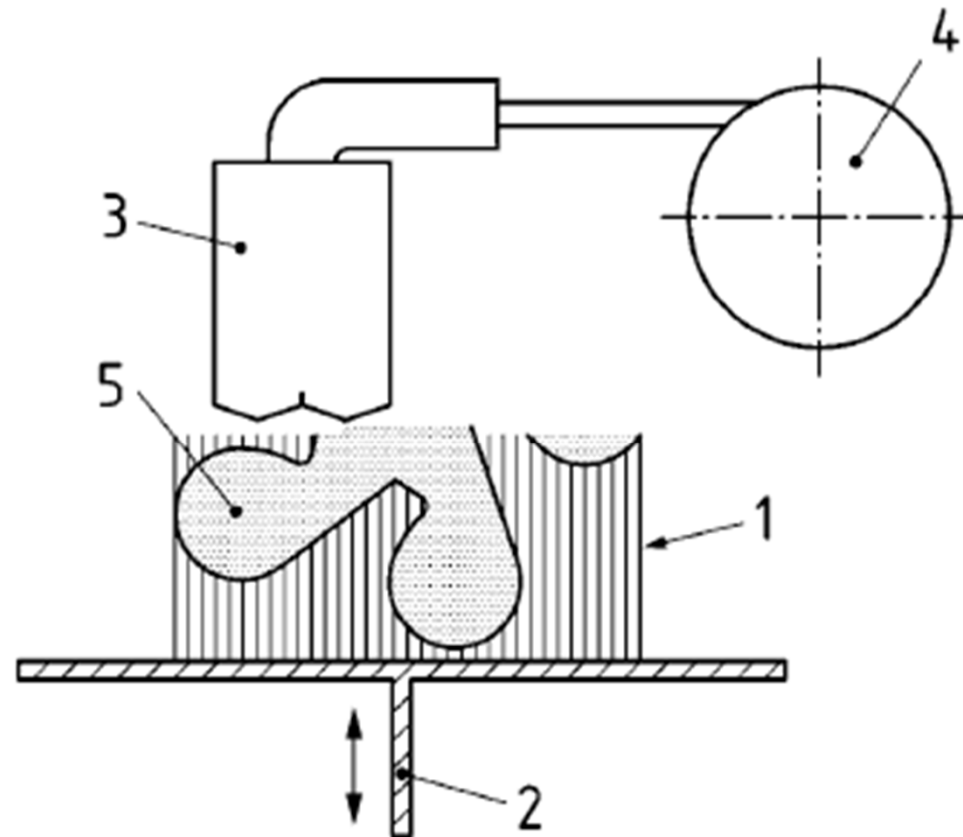
Exemples de réalisations



Source : 3A



# Material extrusion



Source : ISO 17296-2:2014E

# Extrusion fil

Stratasys (Dimension  
et Fortus)

Exemples de réalisation

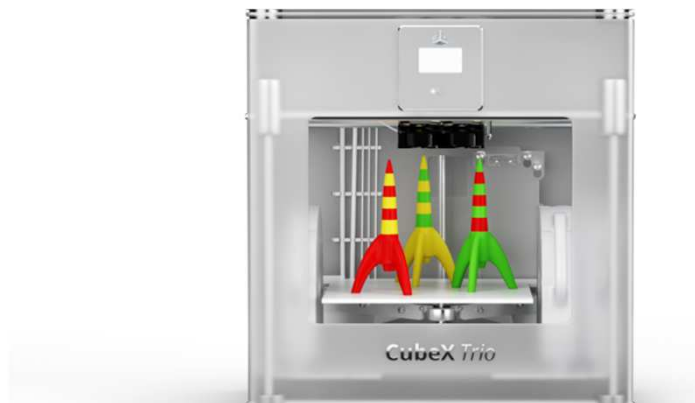


Source : Stratasys

# 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/>

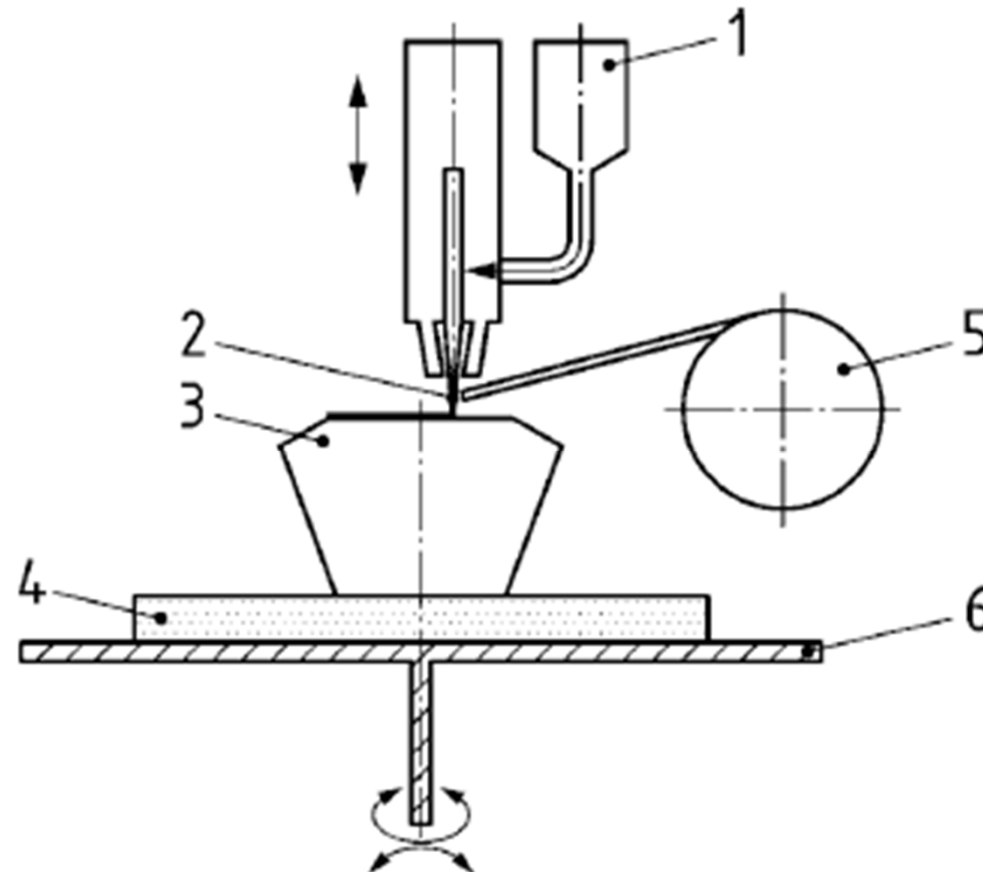
### DeltaMaker



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



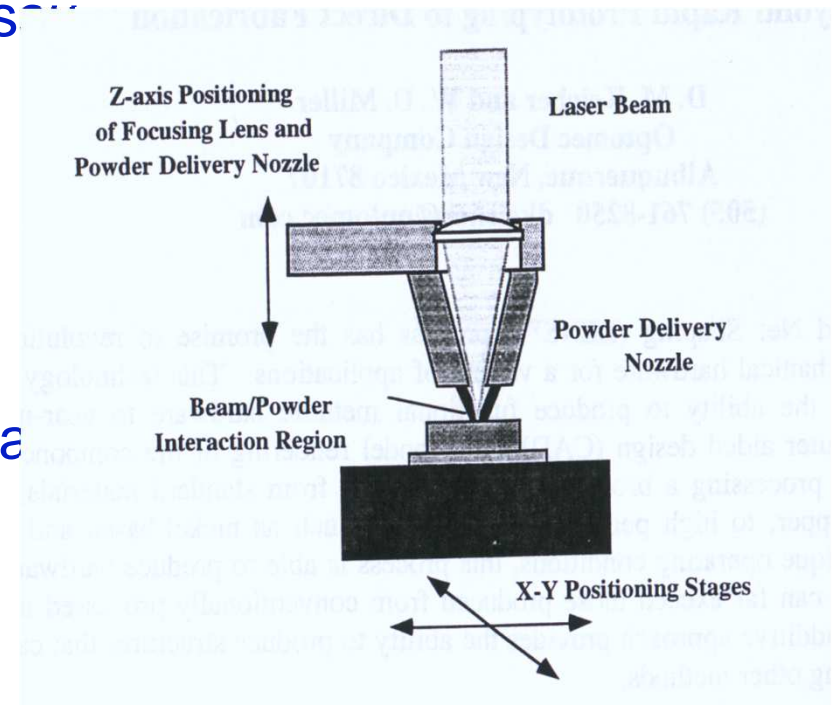
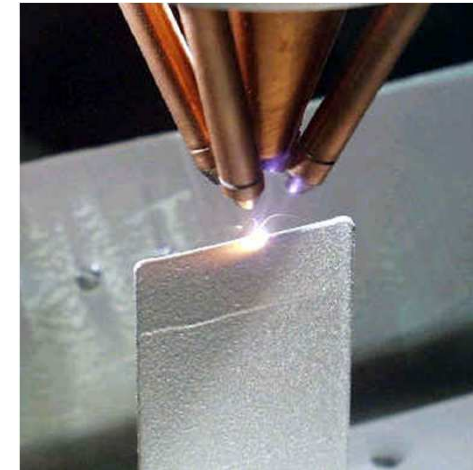
# Directed energy deposition



Source : ISO 17296-2:2014E

# Fabrication par dépôt de poudre métal

- Procédé Laser Cladding LENS<sup>TM</sup> : 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

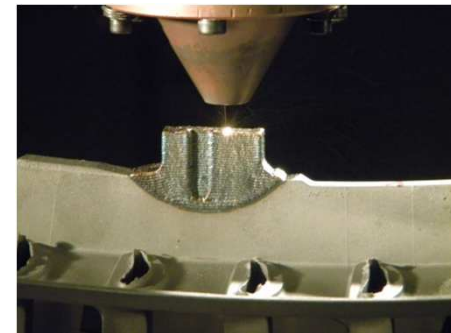
# Dépôt de poudre métallique

## Projection de poudre dans un faisceau d'énergie

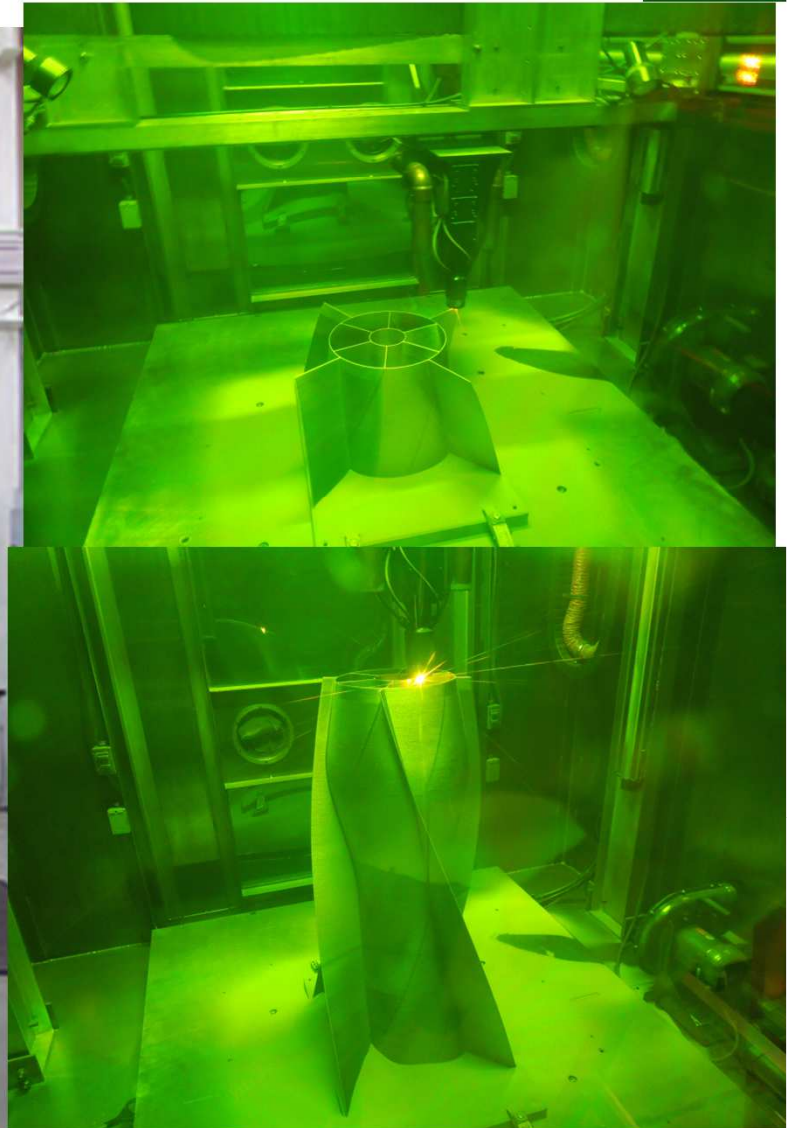
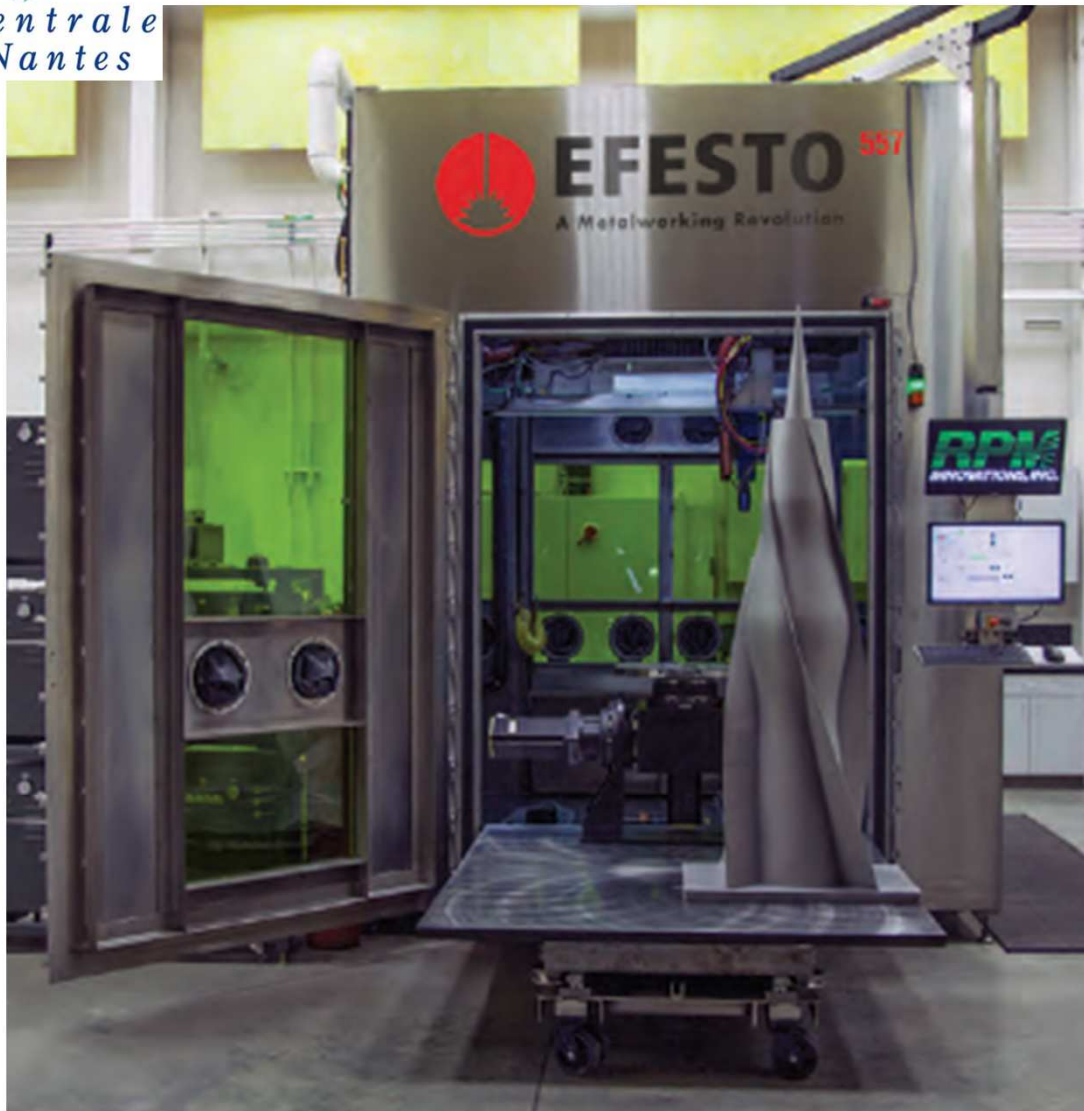
Lens (Optomec)



Exemple de réalisation

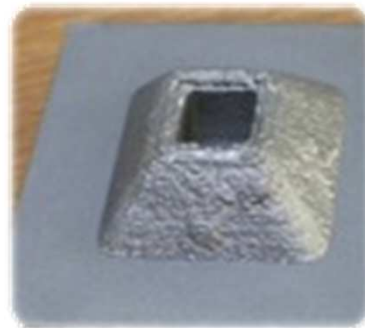
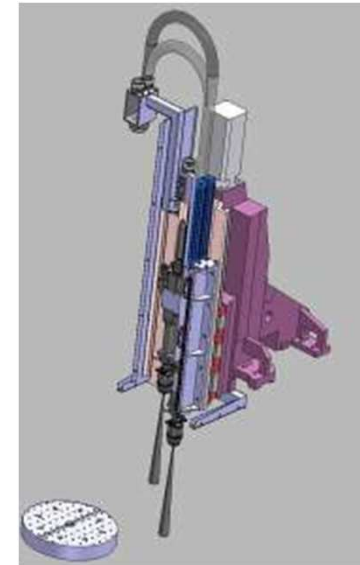


Courtoisie: © EFESTO LLC, Ashok H. Varma, Chairman & CEO





- Machine IRCCyN
  - Laser 4kw
  - Deux têtes de projection (buses Irepa Laser)
  - Trois mélangeurs de poudre
  - Espace de travail 900 mm<sup>3</sup>

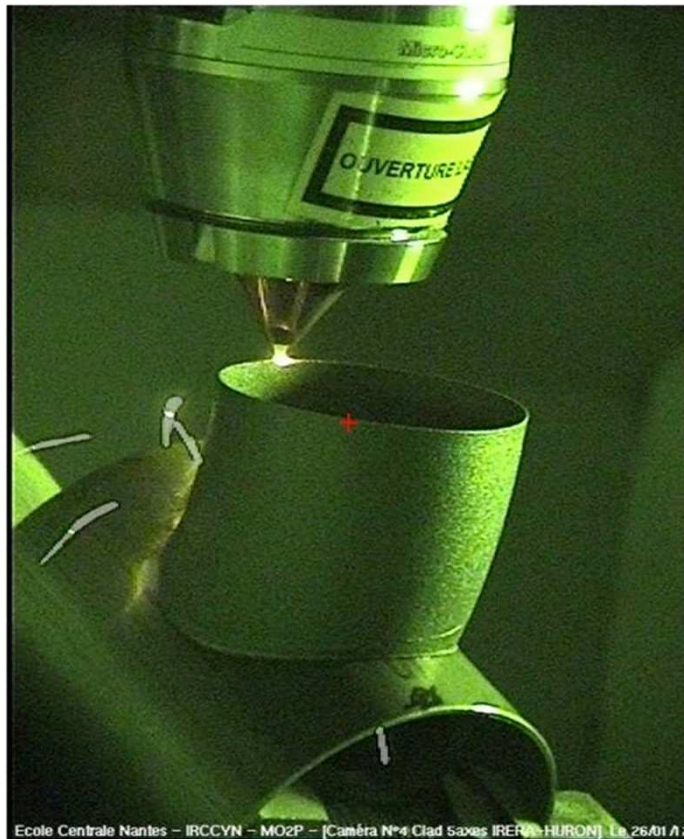


Source: IRCCyN équipe MO2P (Prof. MOGNOL – Prof. HASCOET)



# Machine Cladding

- Génération de trajectoire 5 axes en continu



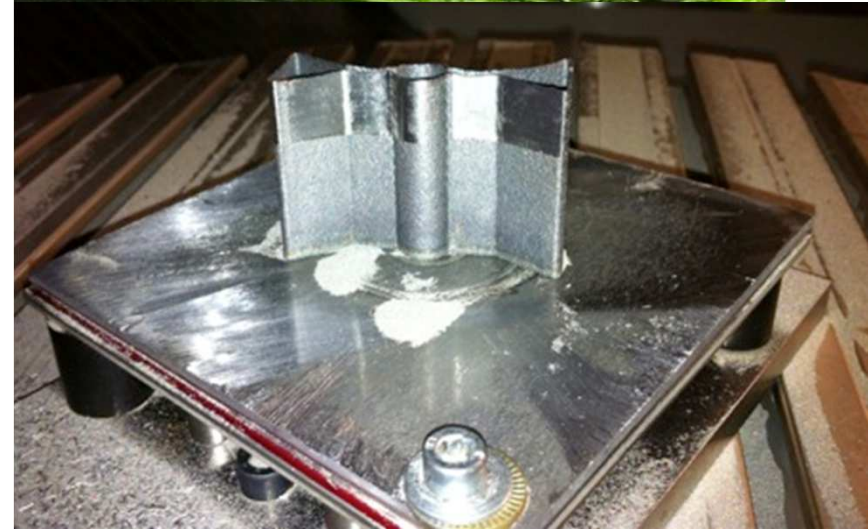
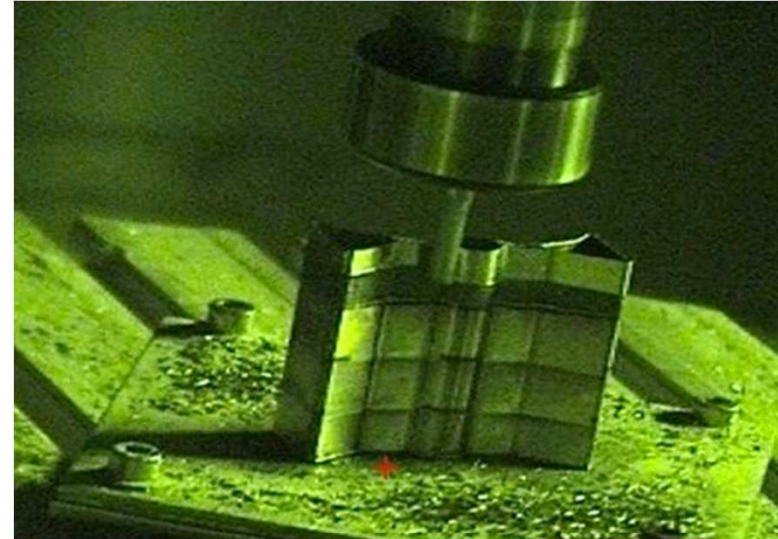
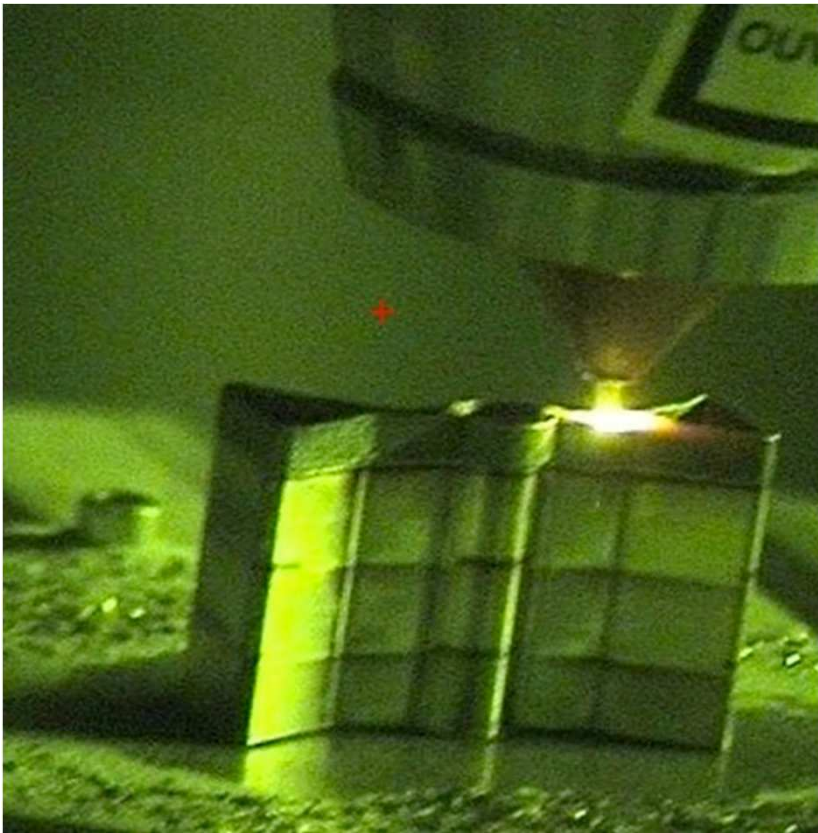
Ecole Centrale Nantes – IRCCYN – MO2P – [Caméra N°4 Clad Saxas IREX – HURON] Le 26/01/12



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

# Machine Cladding

- Fabrication hybride



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

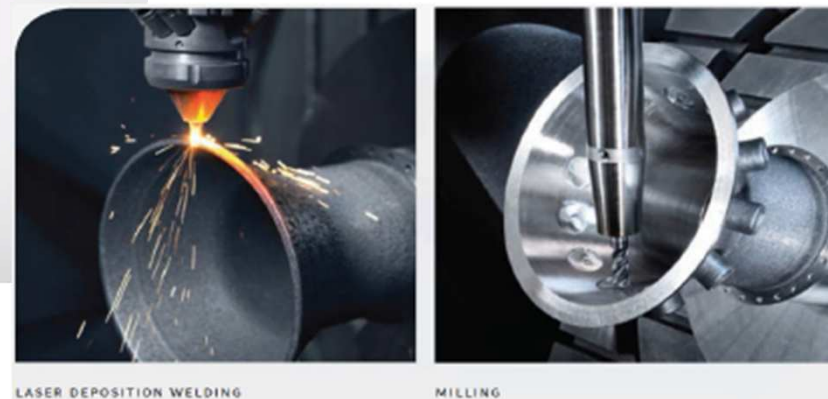


# Fabrication hybride

## Alternance de dépose de matière et d'usinage

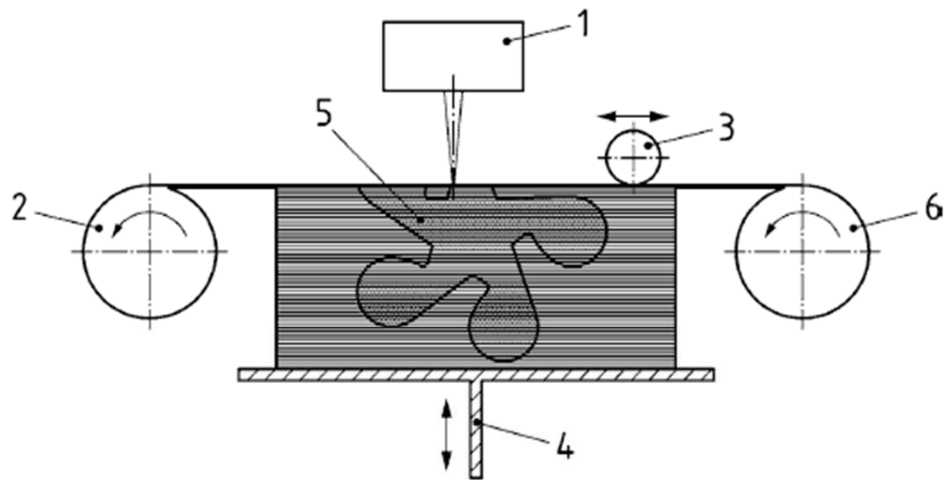
DMG MORI (Japon)

LaserTech 65

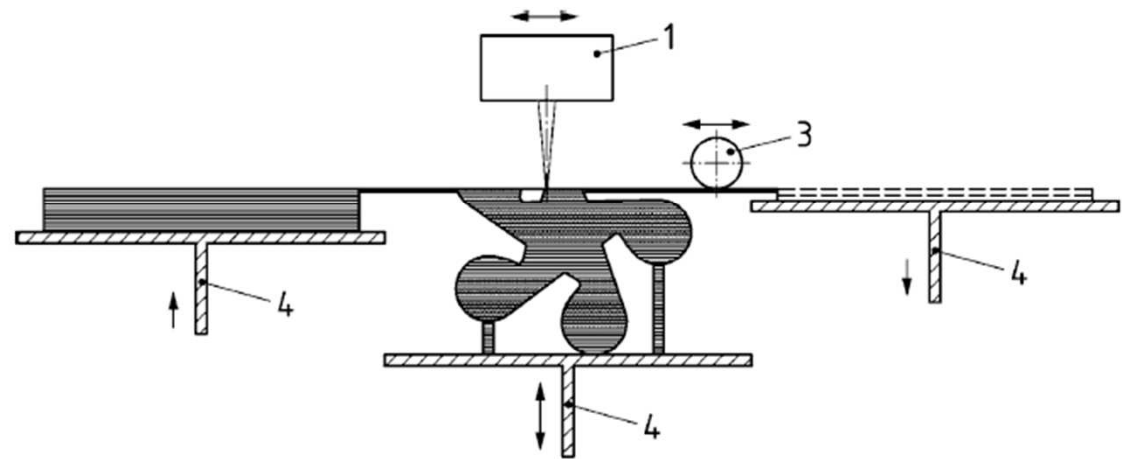


<https://www.youtube.com/watch?v=s9ldZ2pl5dA>

# Sheet lamination



a) sheet lamination of continuous roll



b) sheet lamination of discontinuous roll

Source : ISO 17296-2:2014E

# Collage/découpage feuilles

## 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

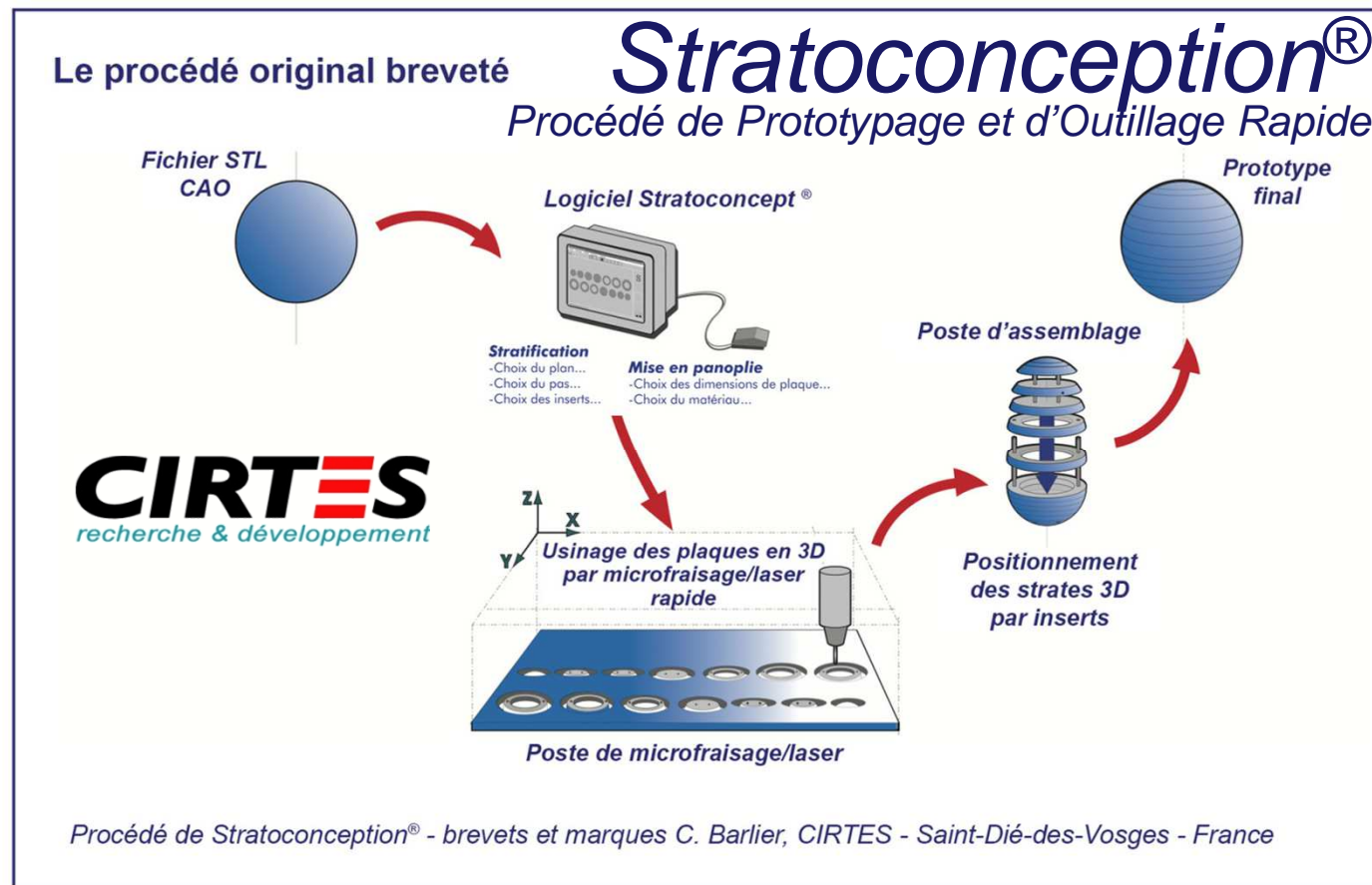


### Exemples de pièces



# 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

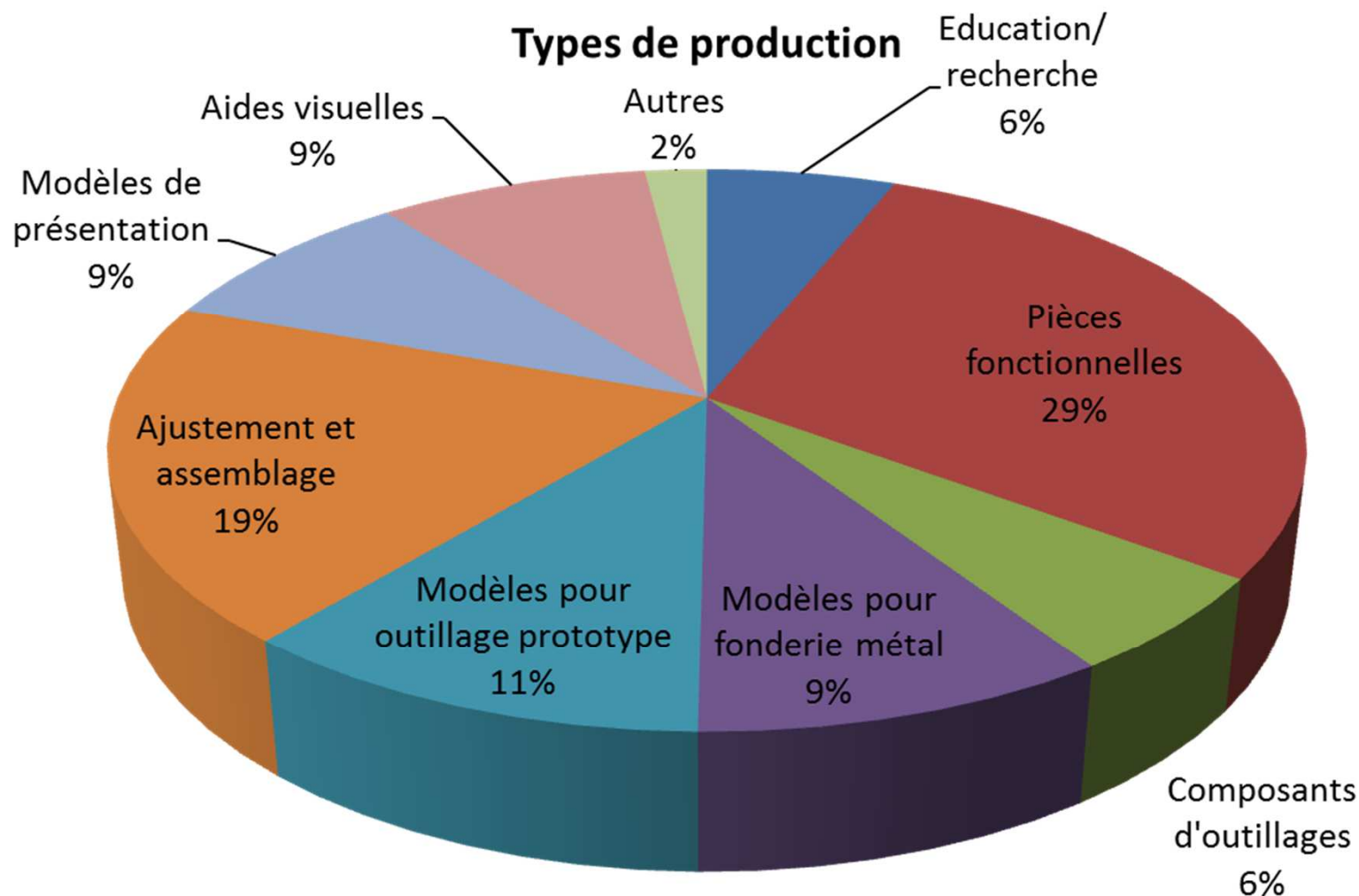
<http://www.stratoconception.com>

# Fabrication Directe

## Les principales statistiques

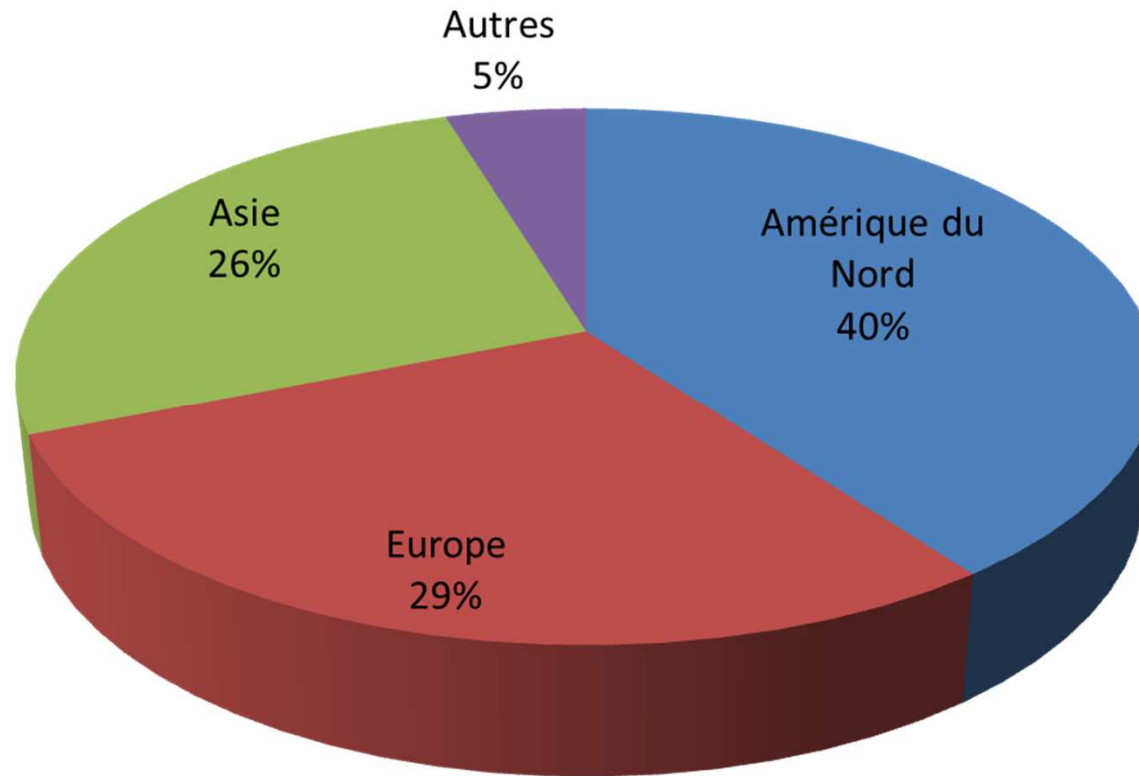


# Données économiques

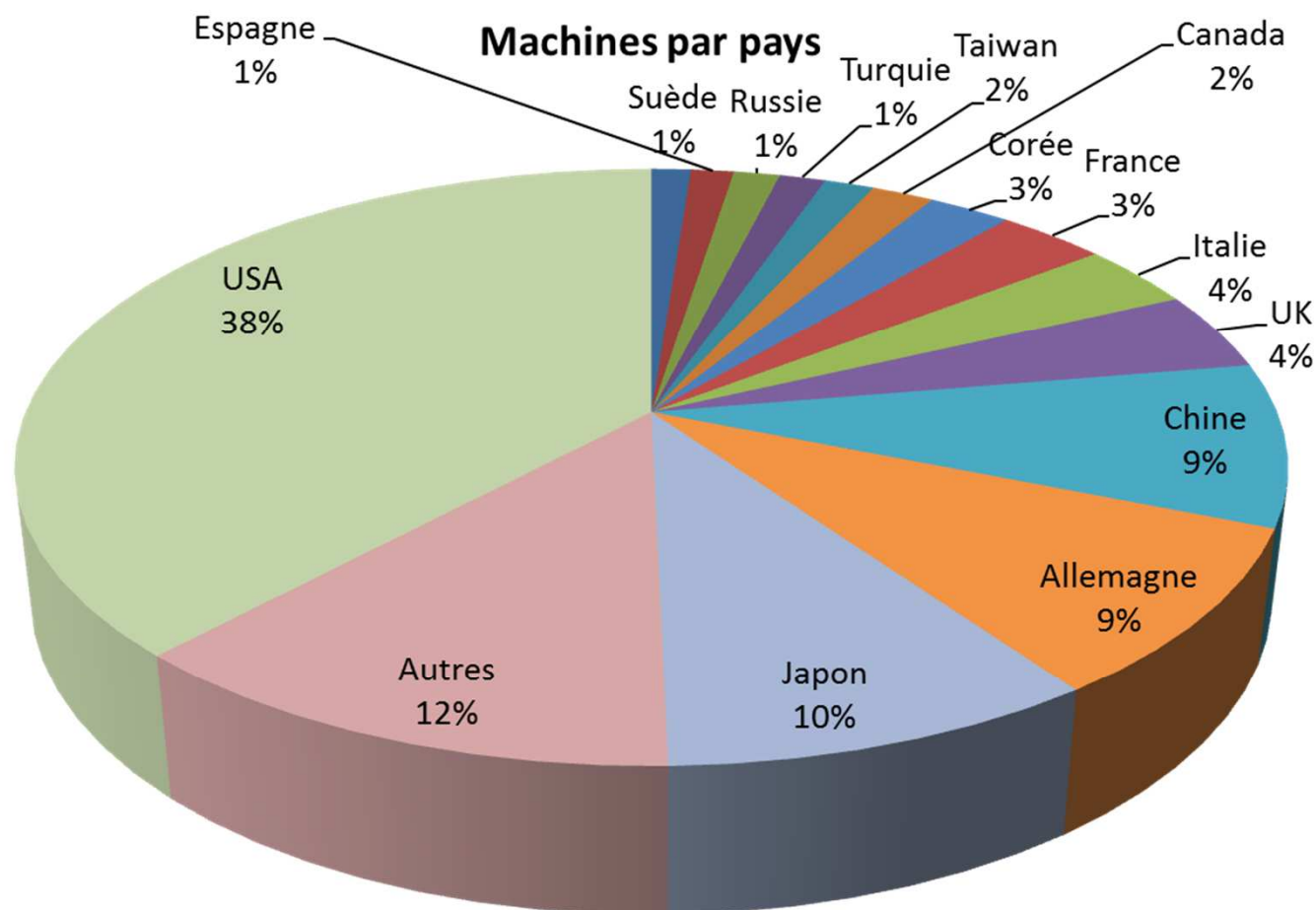


# Données économiques

**machines dans le Monde (cumulé)**

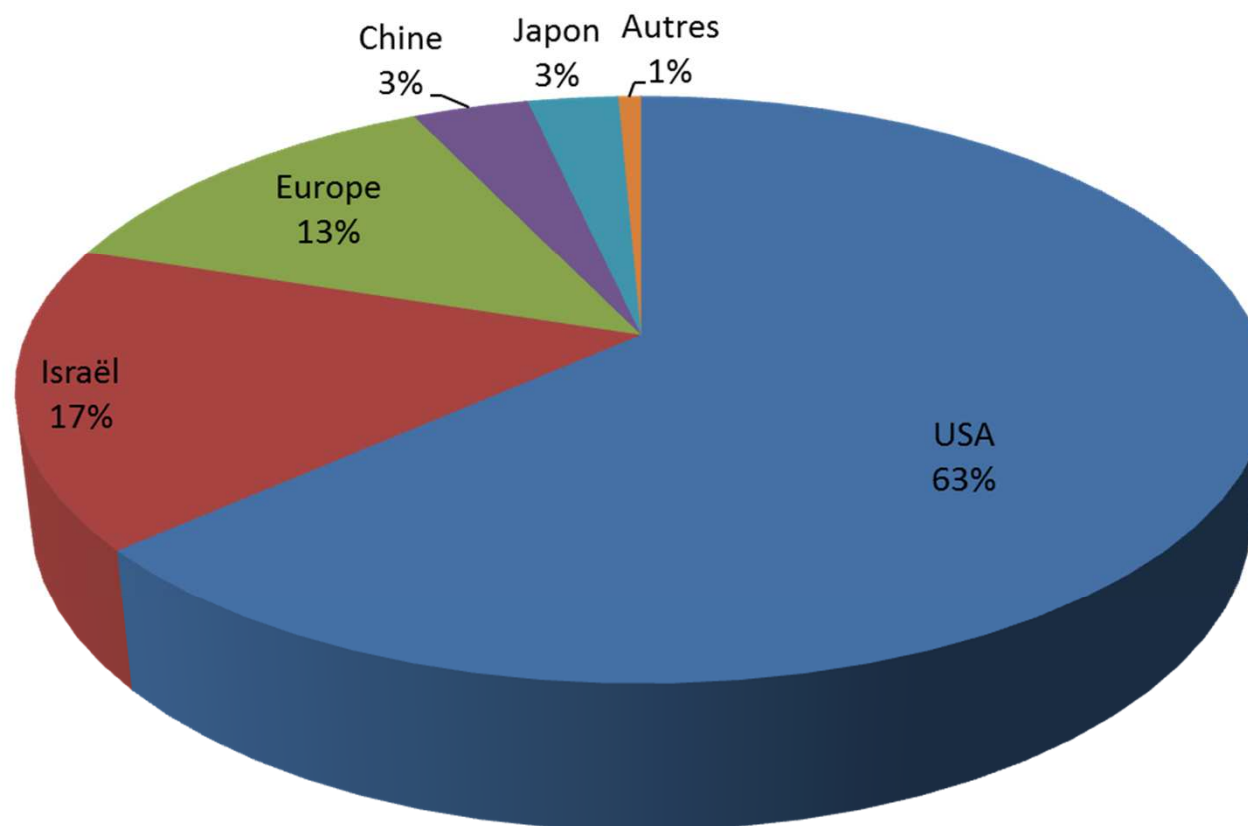


# Données économiques



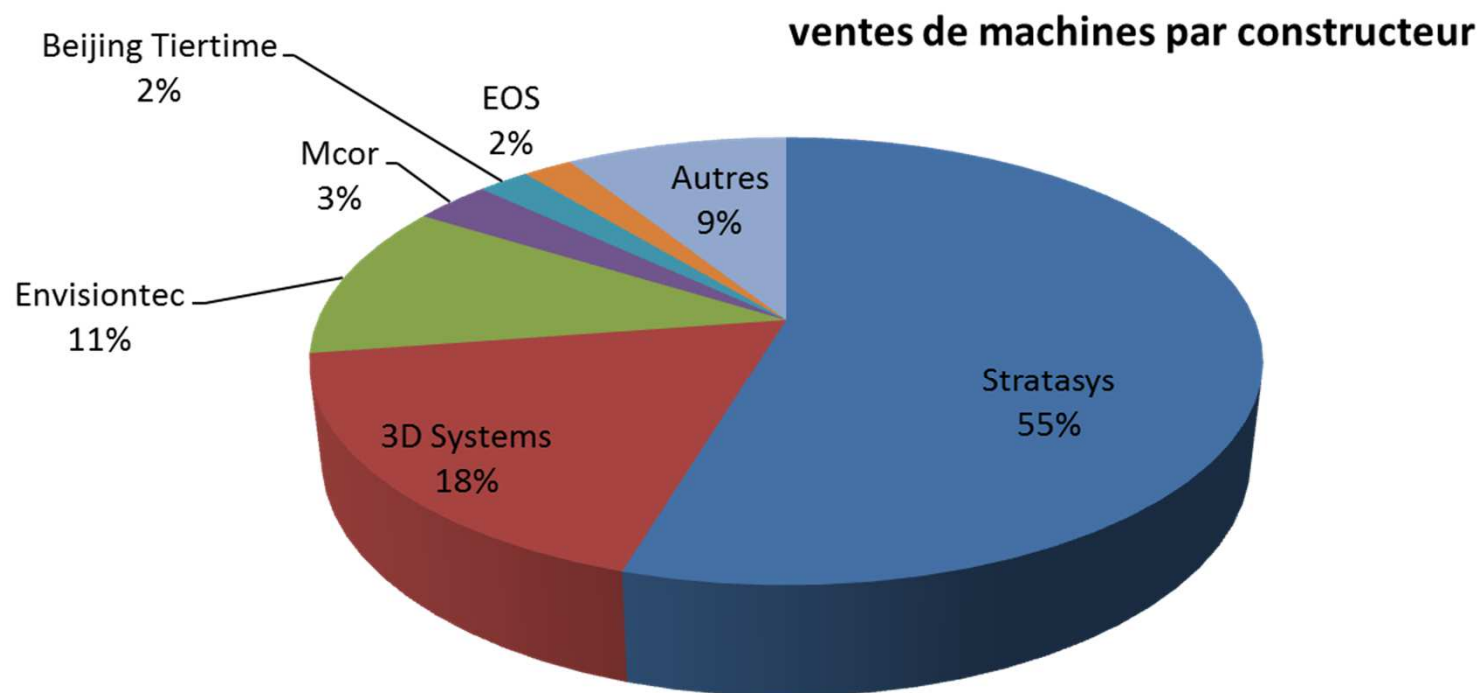
# Données économiques

nombre cumulé de machines produites



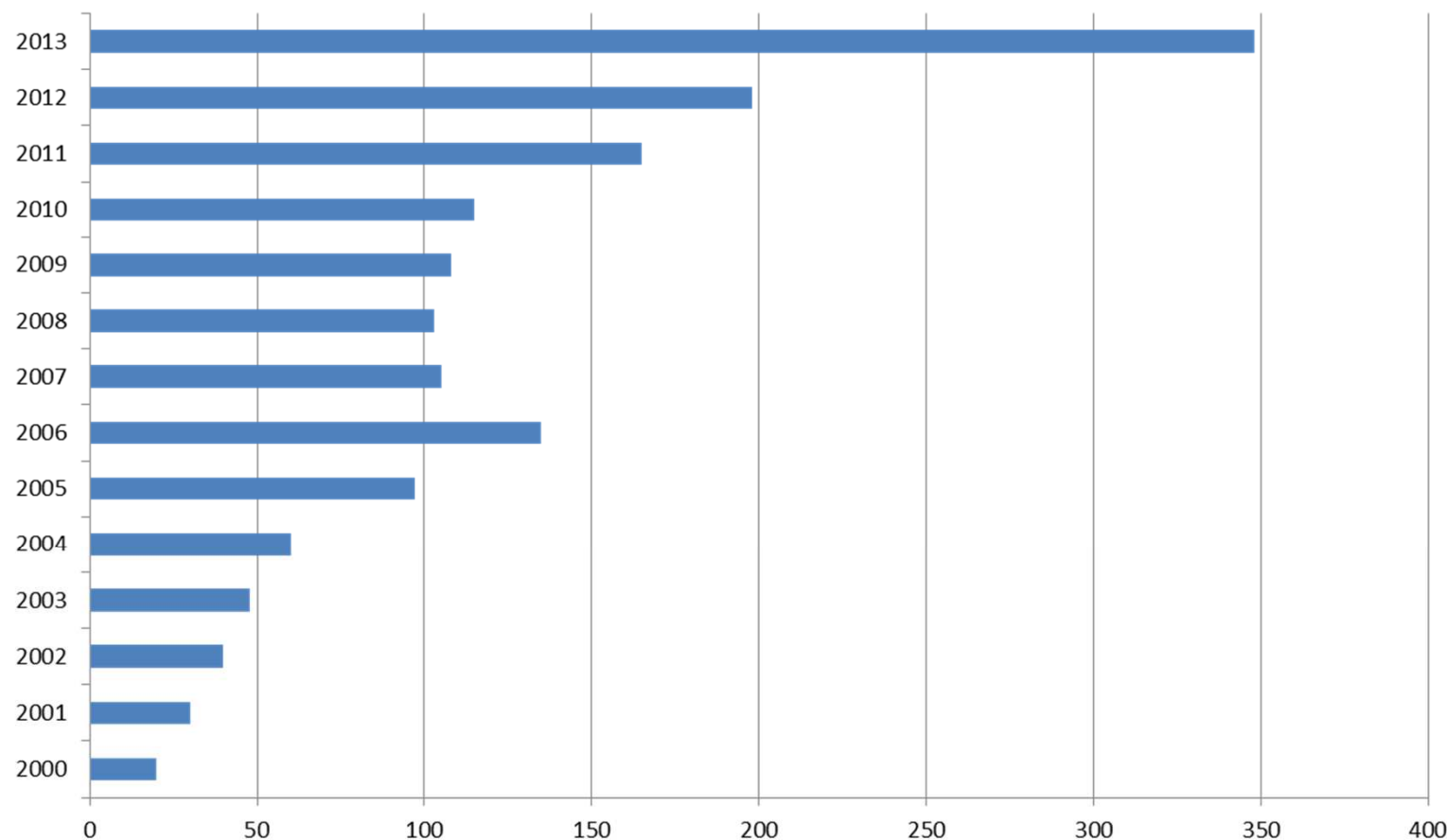


# Données économiques



# Données économiques

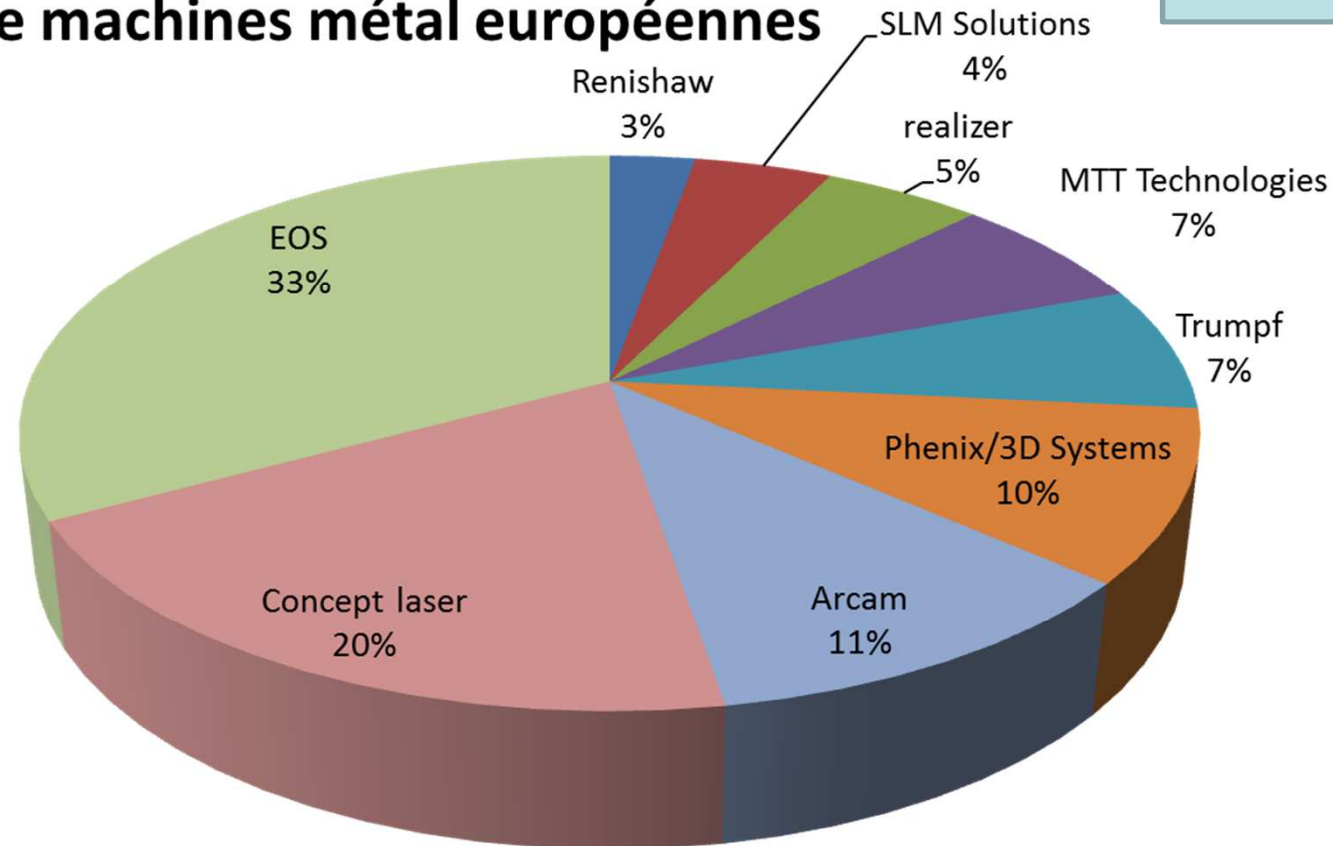
## ventes de machines "métal"



# Données économiques

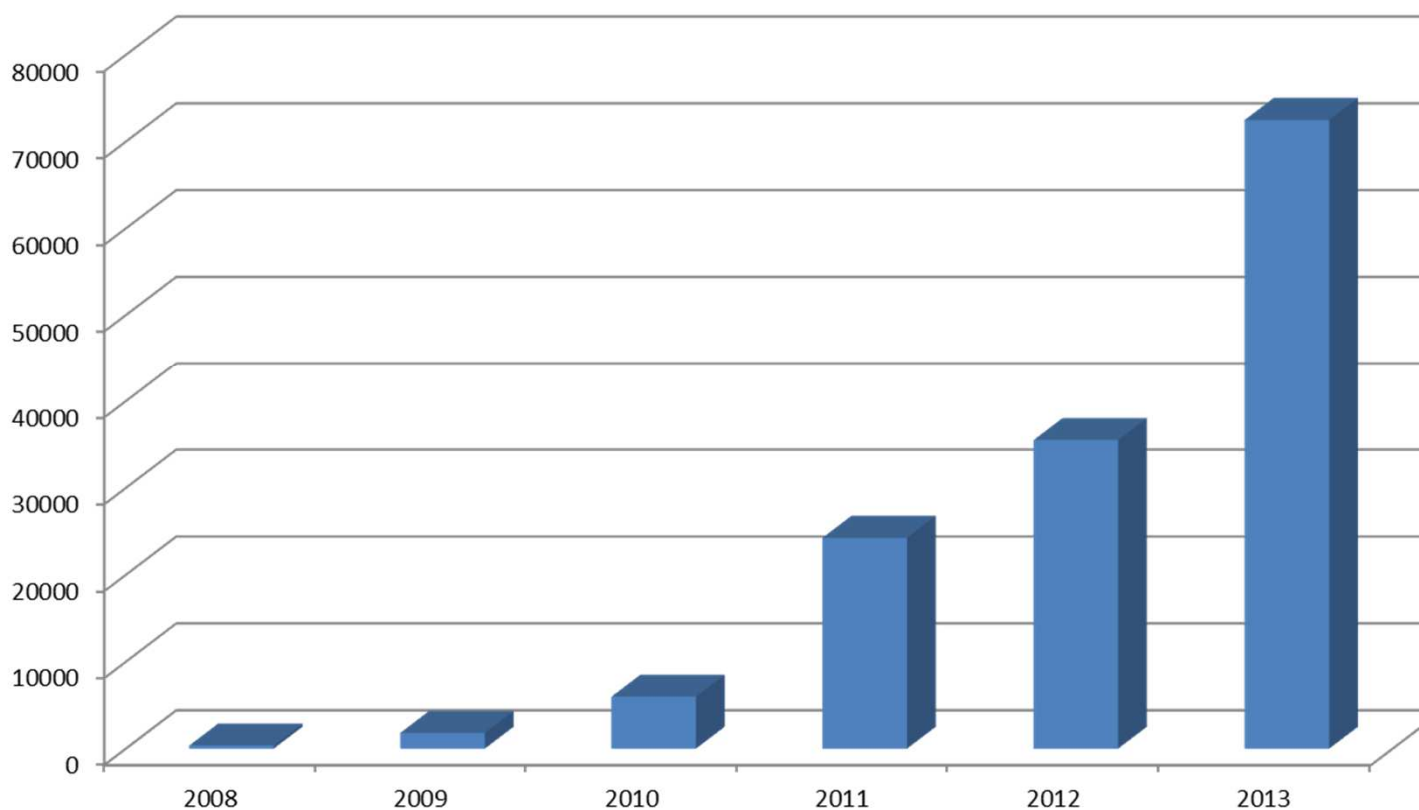
1358

## Ventes de machines métal européennes



# Données économiques

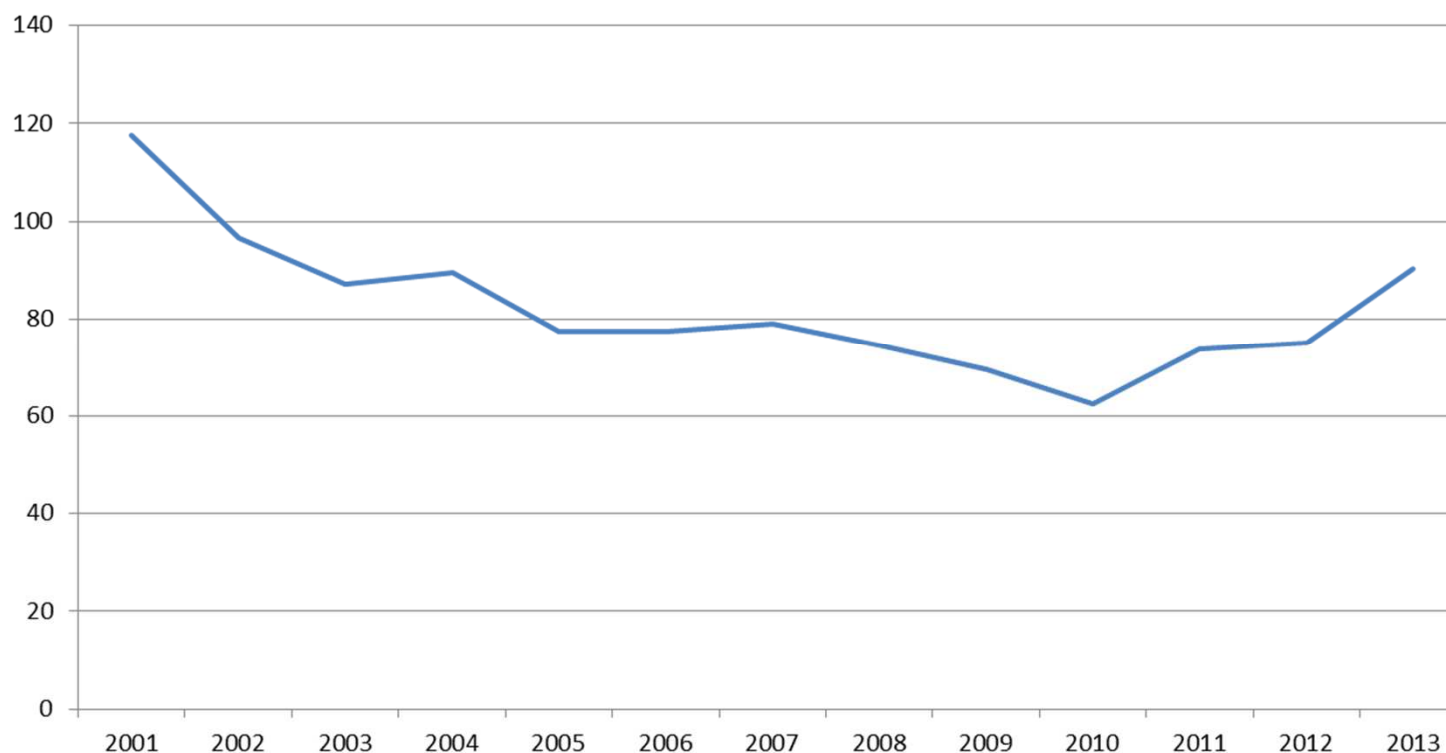
## Ventes d'imprimantes 3D "personnelles"



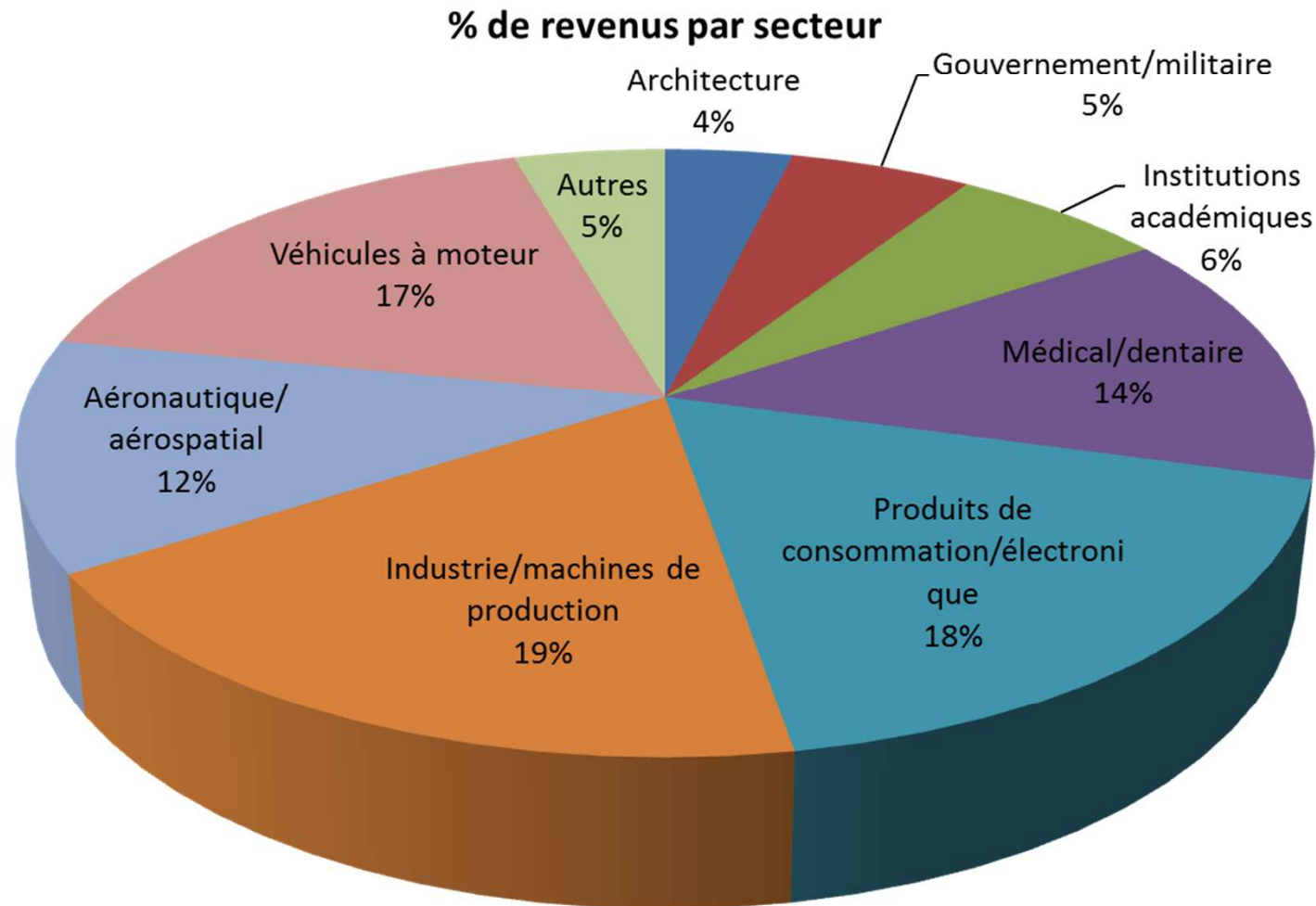


# Données économiques

**Prix de vente moyen d'une machine en milliers de dollars**

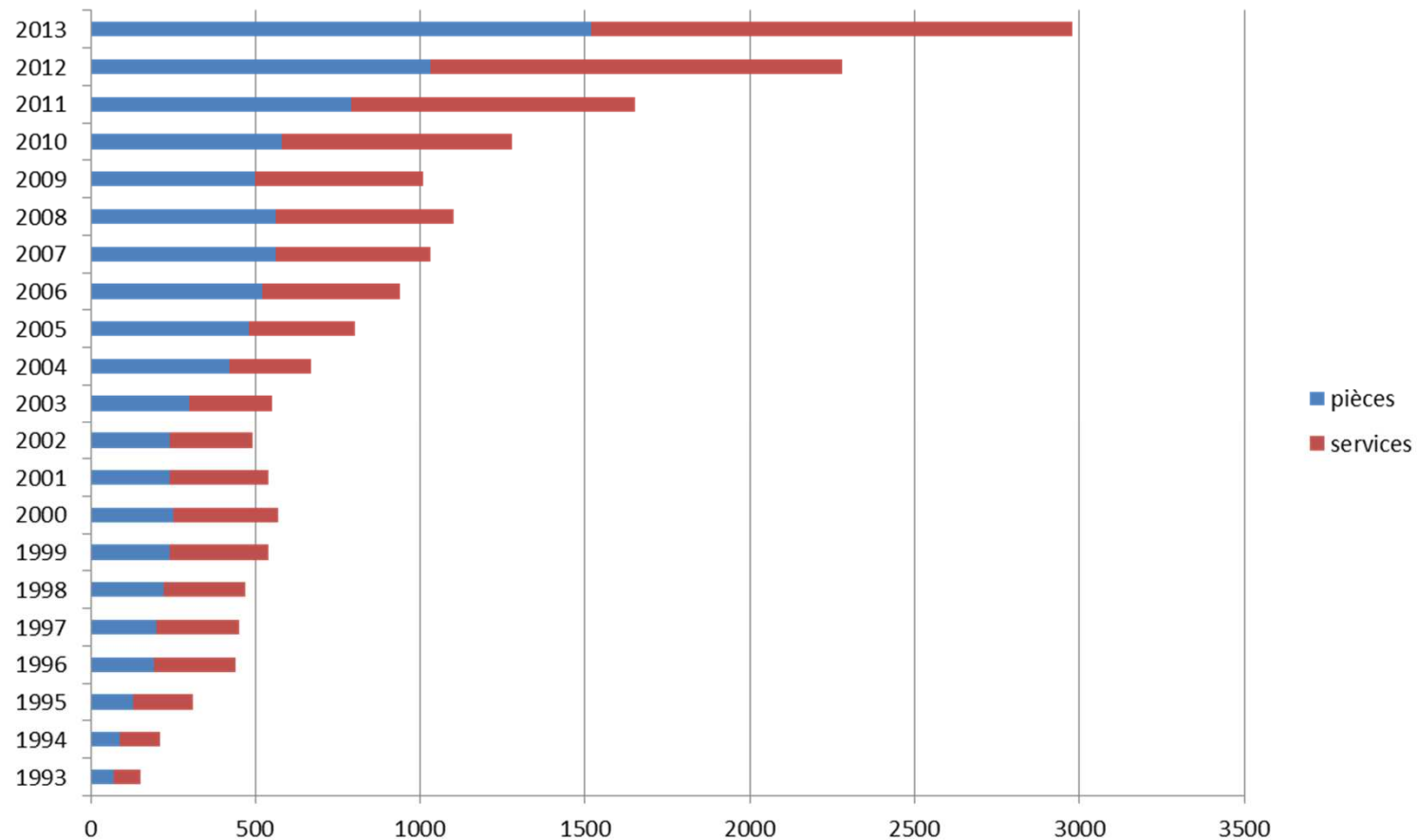


# Données économiques



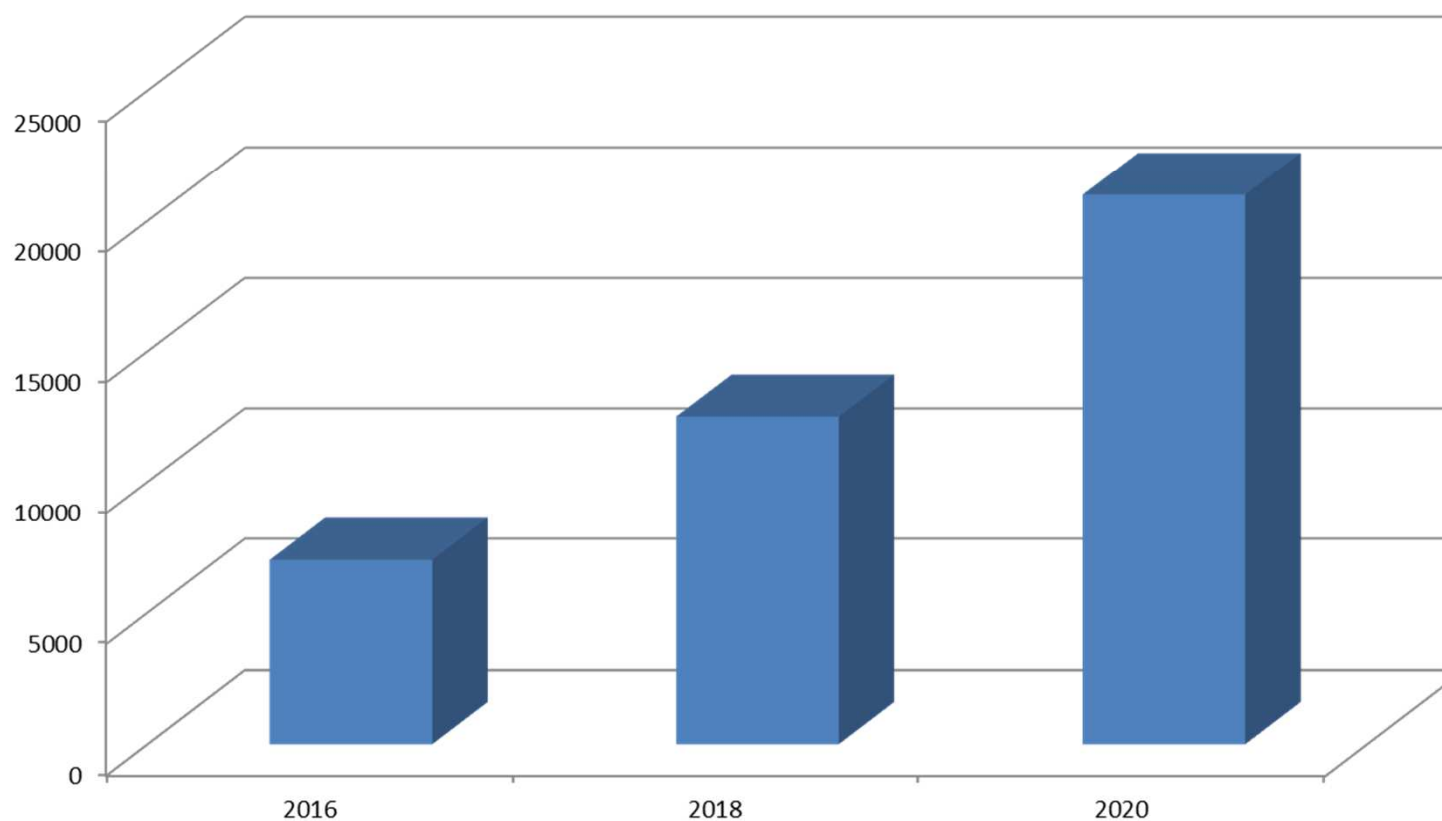
# Données économiques

Revenus en millions de dollars pour la production de pièces et les services



# Données économiques

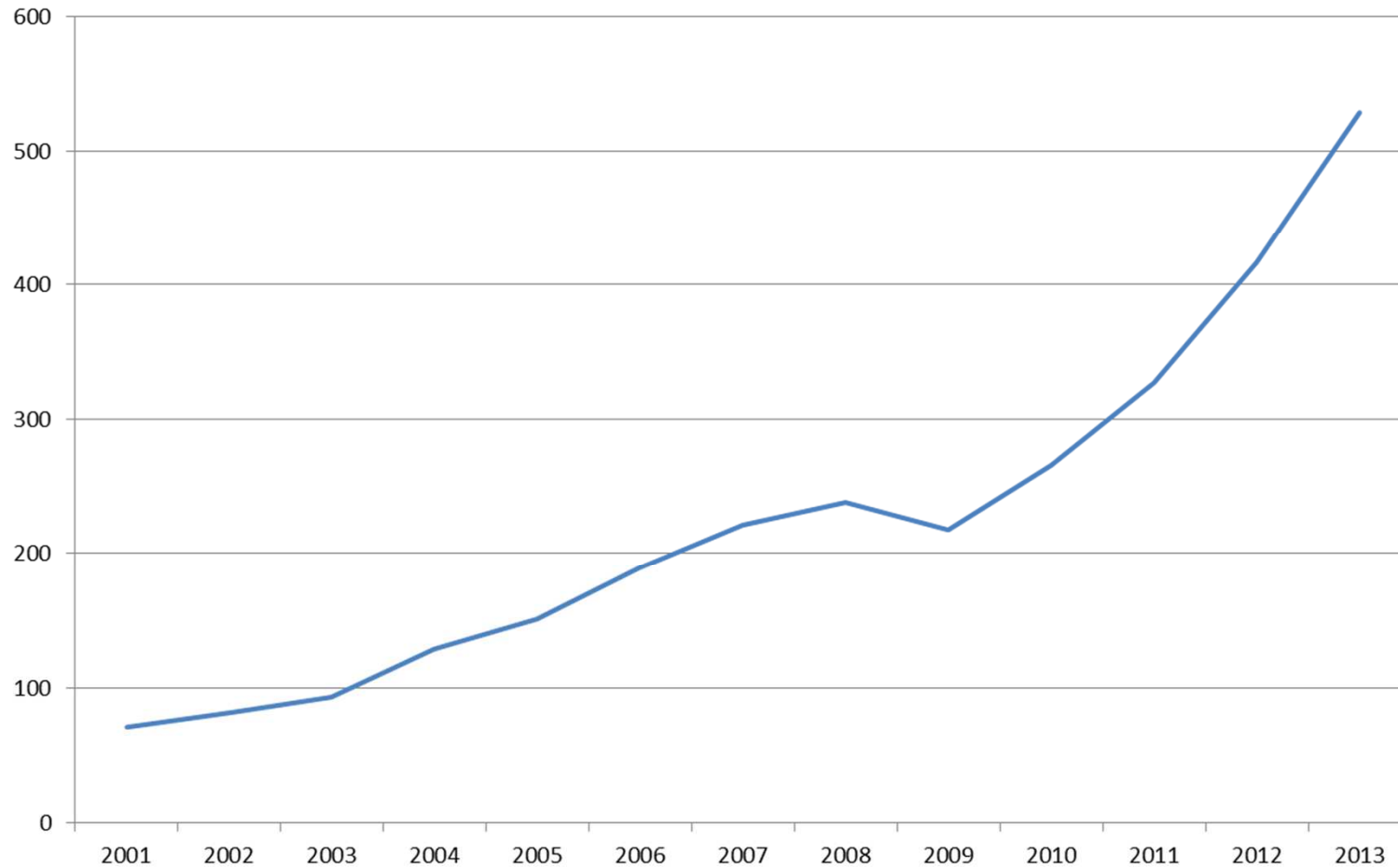
**Croissance estimée de la vente des pièces et des services en millions de dollars**





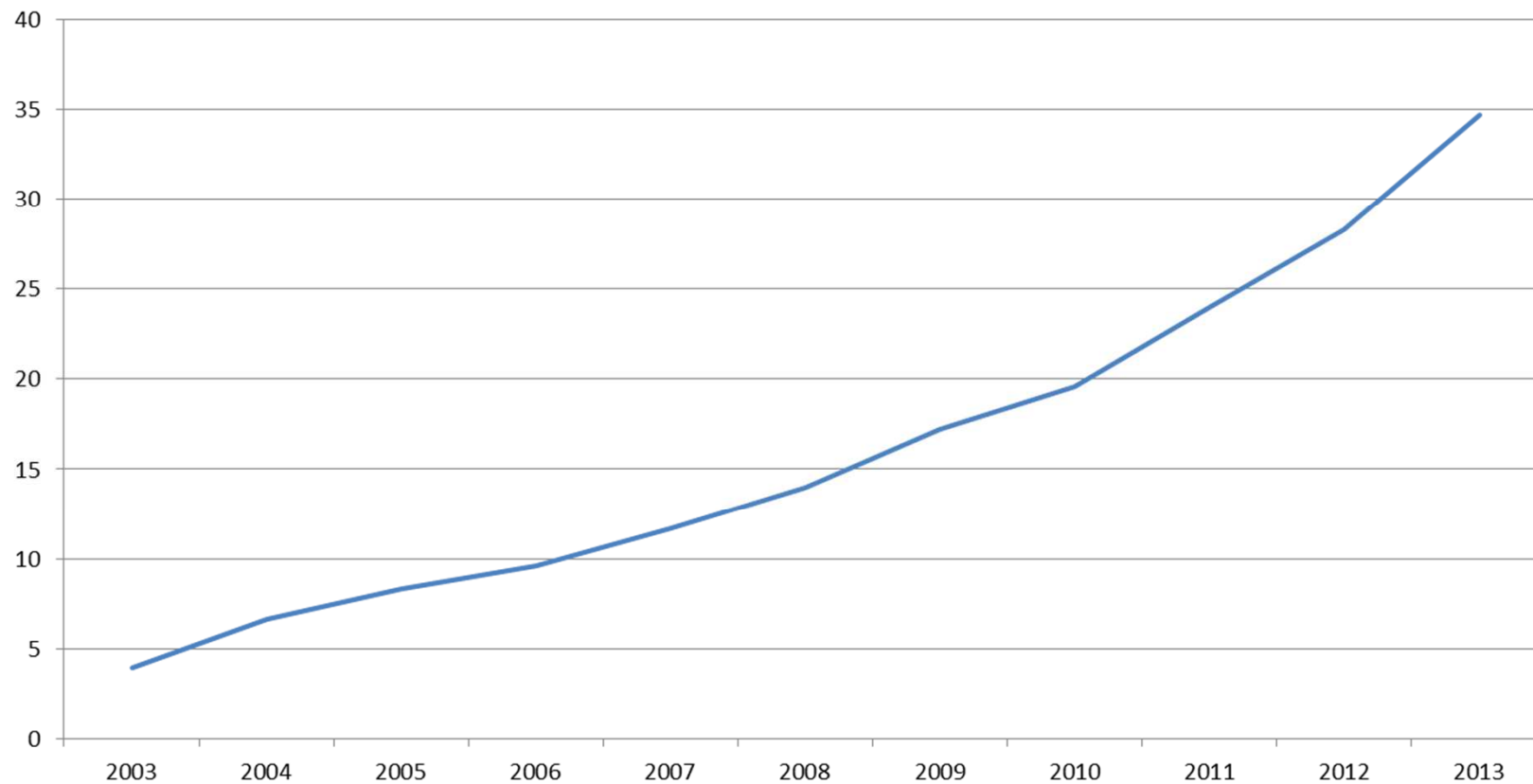
# Données économiques

Montant des ventes de matériaux en millions de dollars




# Données économiques

**Pourcentage de pièces en fabrication directe**



# Données économiques

## Fonds publics pour la recherche et le développement

<u>World gov. funding</u>		<u>5'561 Mio €</u>	<u>Mio €</u>
Singapore	500 Mio SGD	293 Mio €	293
China	2 Billion USD	1466 Mio €	1466
UK	60 Mio GBP	74 Mio €	74
European Union (approx.)	2 Billion EUR	2000 Mio €	2000
Russia	2 Billion USD	1466 Mio €	1466
Australia AMCRC	250 Mio AUD	171 Mio €	171
Australia AM machines	17.5 Mio AUD	12 Mio €	12
US (NAMII)	30 Mio USD	22 Mio €	22
US America Makes	9 Mio USD	7 Mio €	7
New Zeland			50
Taiwan			
South Africa			
South America			
Mexico			
	TTA Gideon Levy © 09/2014	<u>Mio €</u>	<b>5'561</b>

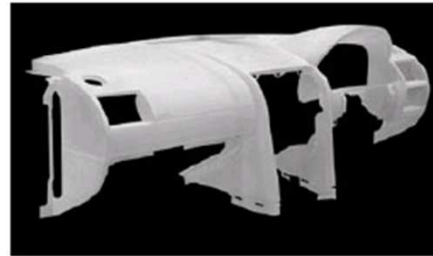
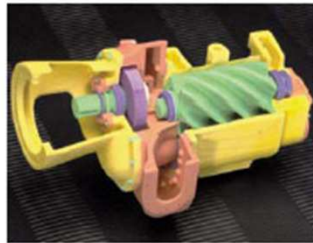
# Fabrication Directe

## Les grands enjeux

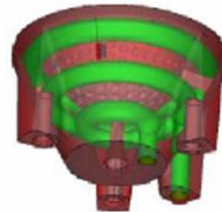


# Évolution du DRP

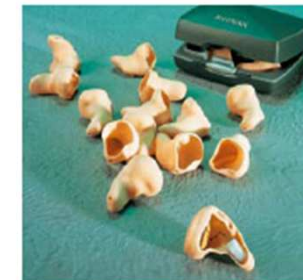
**Prototypage** : A partir de la fin des années 80



**Outillage rapide** : Début ~ 1992



**Fabrication rapide**: Maintenant!



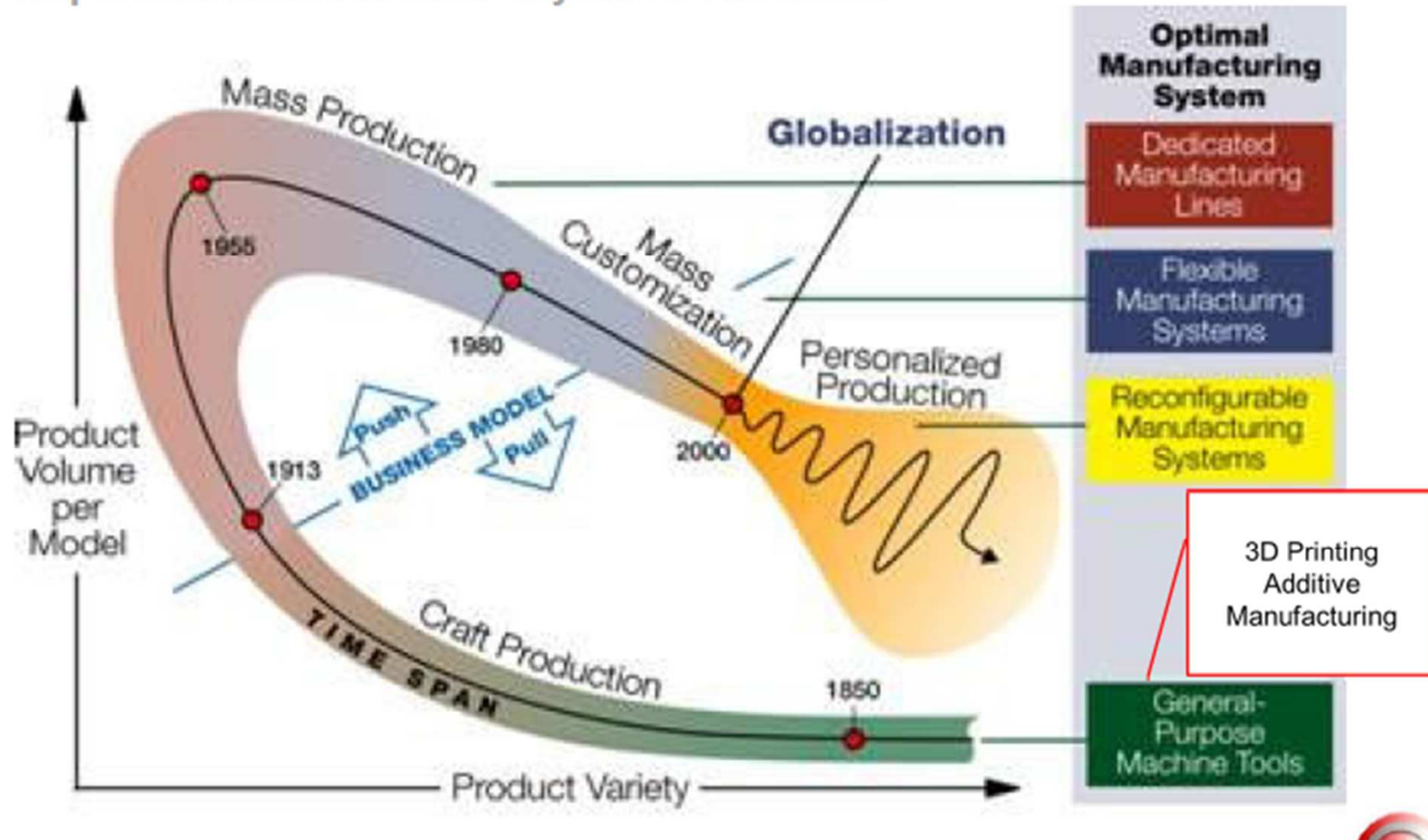
# Domaines adressés



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



# Fabrication à la demande

## InvisAlign



## ToyBuilders inyourimage

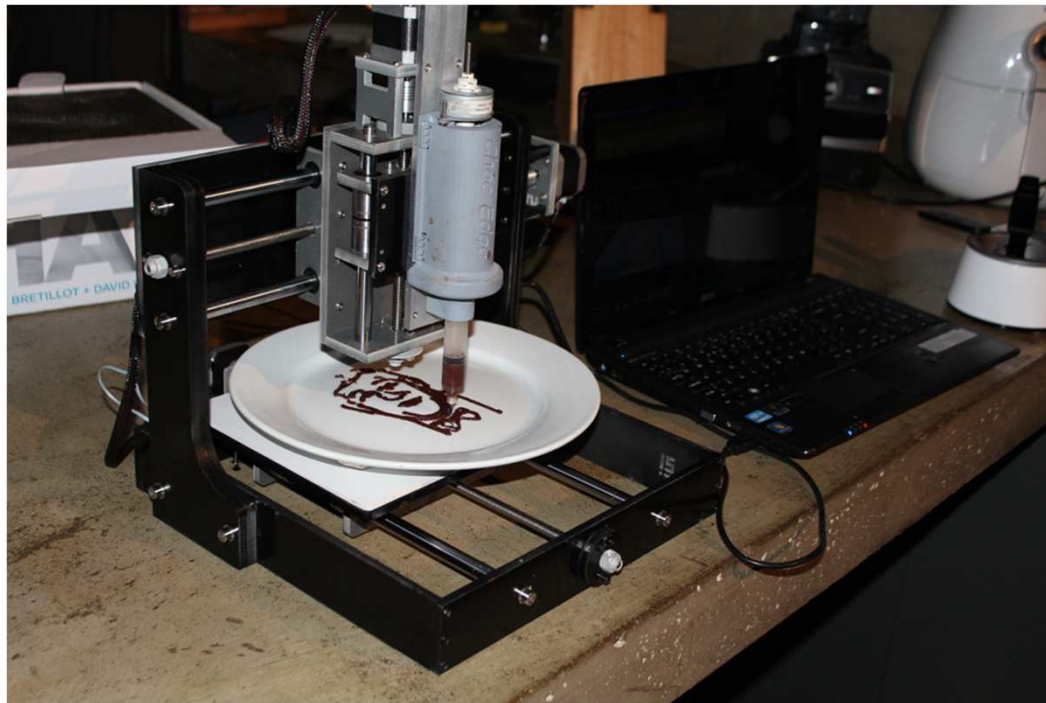
Courtoisie : Elaine HUNT



# Fabrication à la demande

## Fabrication de chocolats personnalisés

### ChocEdge: Choc Creator V1 (£2888.00)



#### Caractéristiques :

Enveloppe de fabrication :

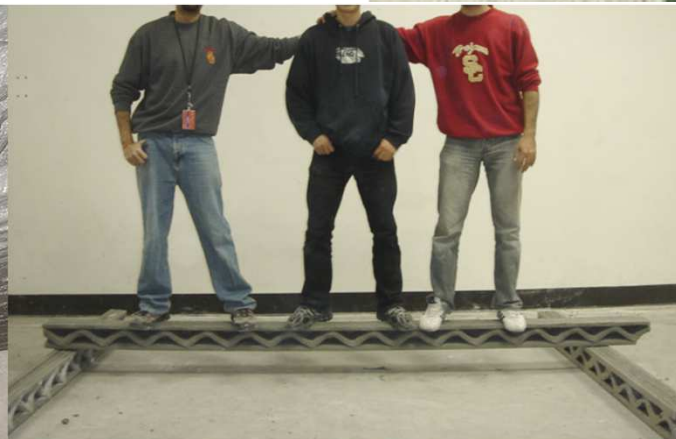
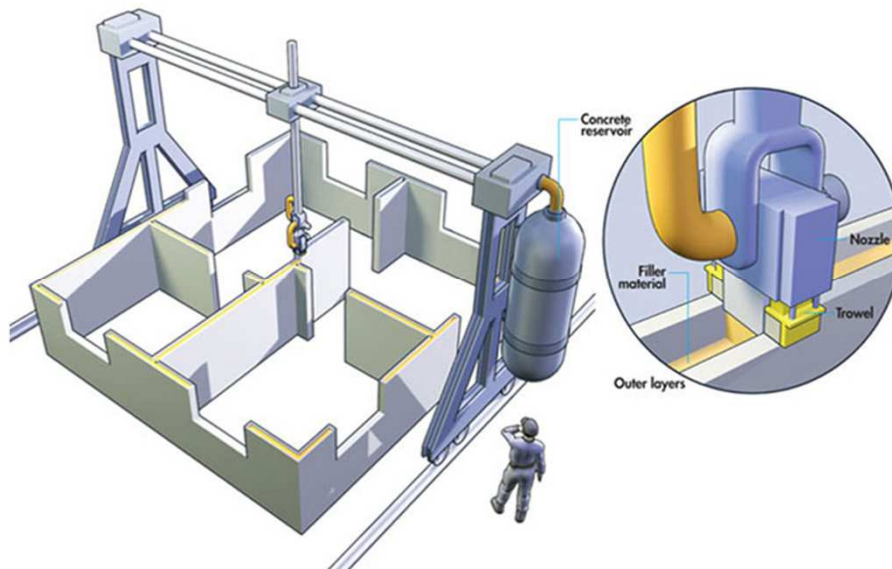
175(X)mm x 175(Y)mm x  
70(Z)mm

Résolution: approx. 0.5mm to  
1.5mm

[https://chocedge.com/product\\_list.php](https://chocedge.com/product_list.php)



# 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



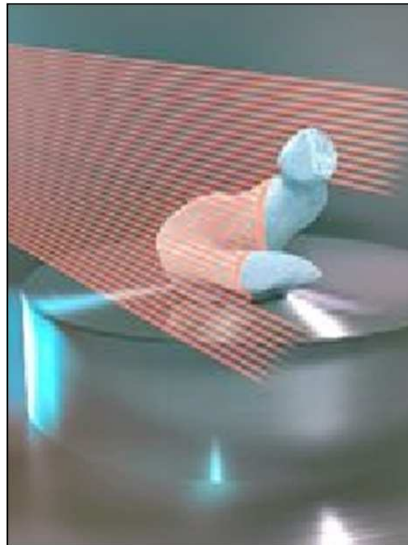
## ■ Mass Individualisation



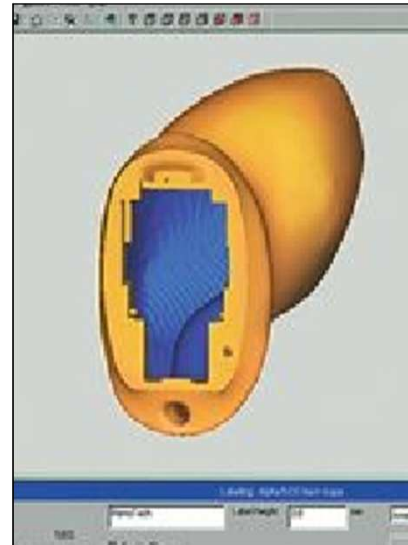
Source: Gideon Levy, Industry Days, Bologna

## 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



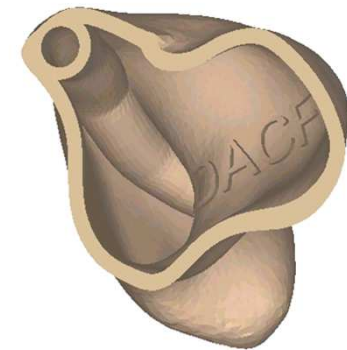
Numérisation 3D  
De l'empreinte



Conception de la  
coquille



Production par  
Frittage de poudre



**PHONAK**  
hearing systems



# Oser la complexité sans surcoût



Bathsheba GROSSMAN



16 pièces  
+ collage



1 pièce

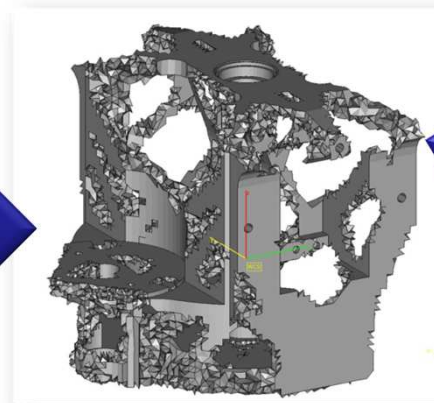
- Fabrication d'objets 3D à géométrie complexe
- fabrication d'objets multi fonctionnels et multi matériaux
- Intégration de fonctions (un objet à la place de plusieurs assemblés)

- 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

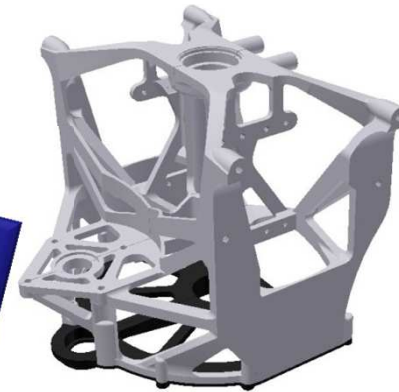
Re-conception pour RM technologie



7 composants  
3 matériaux



Re-conception via le  
logiciel Topol. Fichier STL



2 composants  
(facilite le montage)  
1 matériau  
  
Fabrication SLM  
Aluminium

Allègement

530g  $\Rightarrow$  438g

Résistance.

Source : MBProto

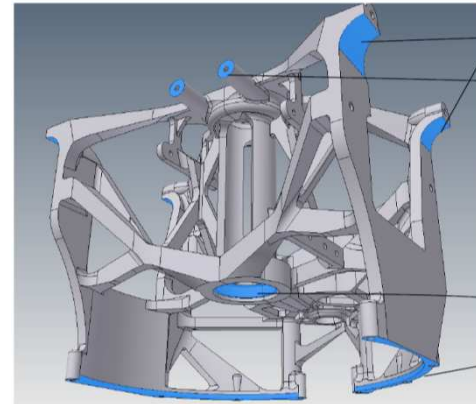


## Fabrication Micro Fusion Laser (SLM)



68 heures de fabrication en Aluminium  
614 Mo de supports  
438g (diminution de 20%)

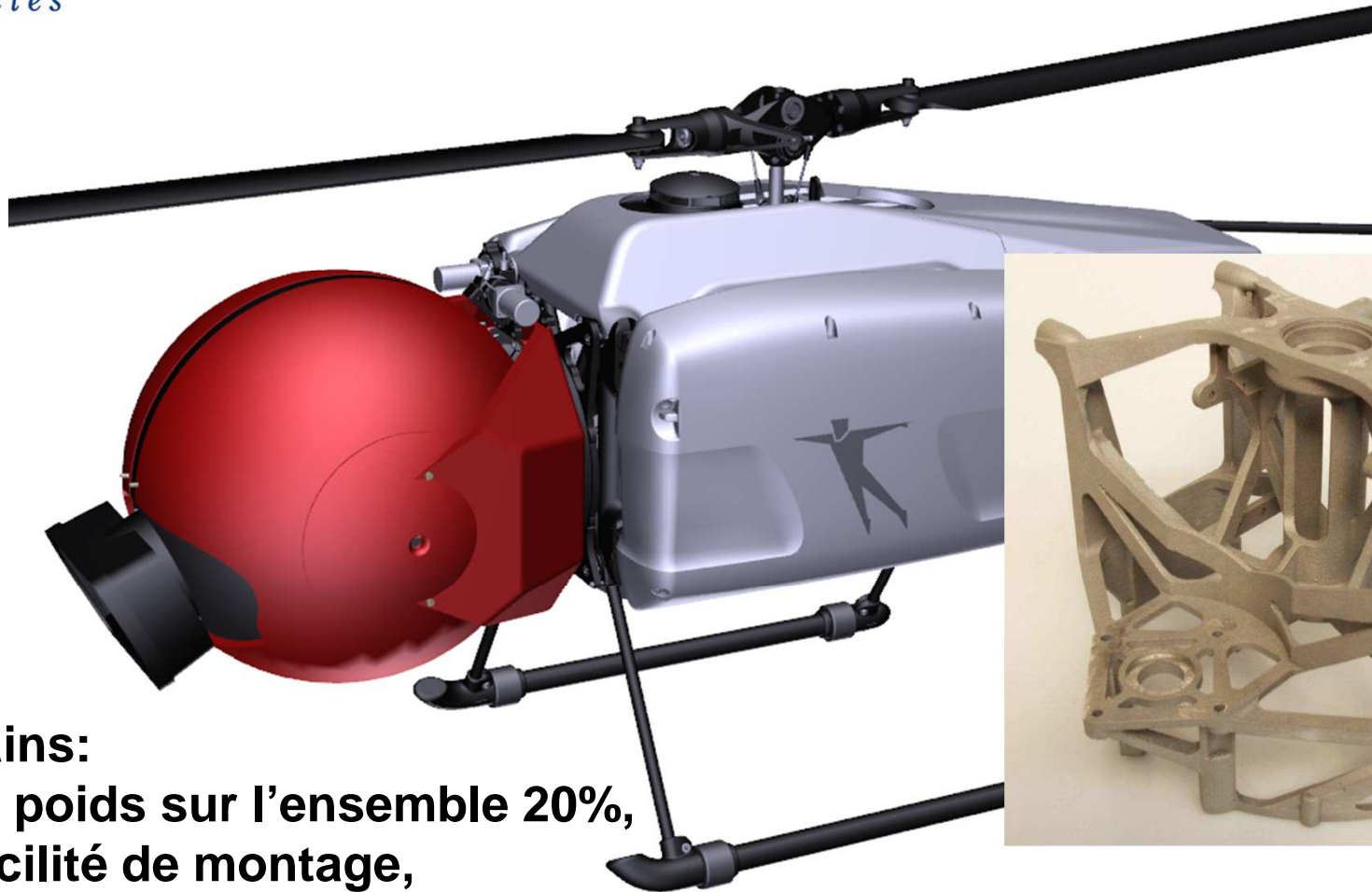
Source : MBProto



Surfaces ré usinées



# Trophées AFPR 2012

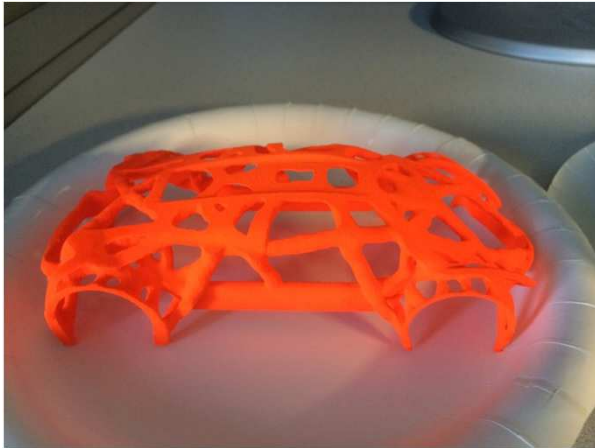


**Gains:**  
**De poids sur l'ensemble 20%,**  
**Facilité de montage,**  
**Diminution du nombre de composants,**  
**Economie de 15%.**

Source : MBProto

# Production personnalisée

## Optimisation topologique



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



# Production personnalisée

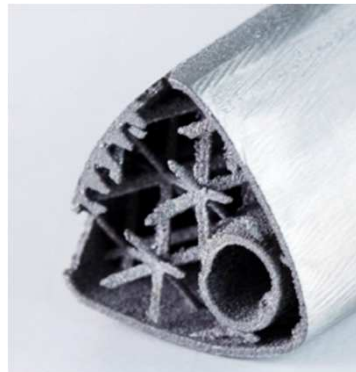
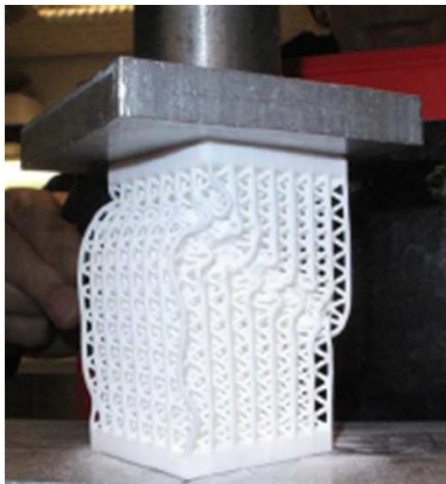
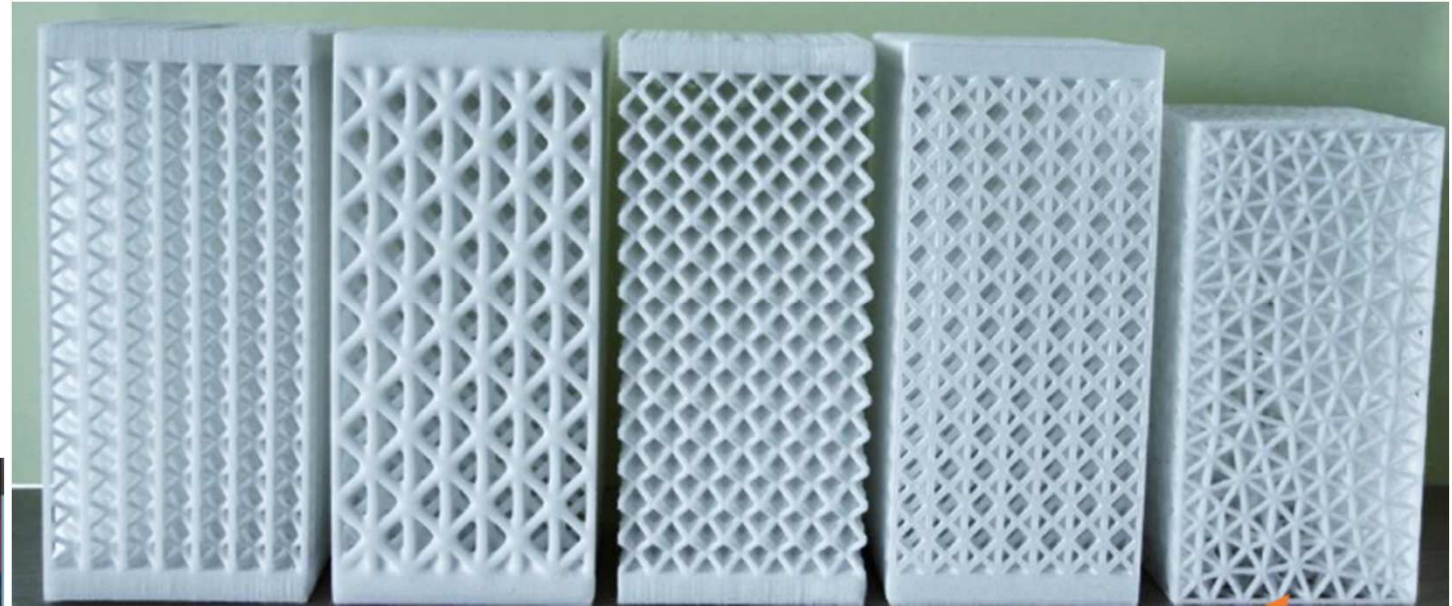
## Optimisation topologique



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

# Production personnalisée

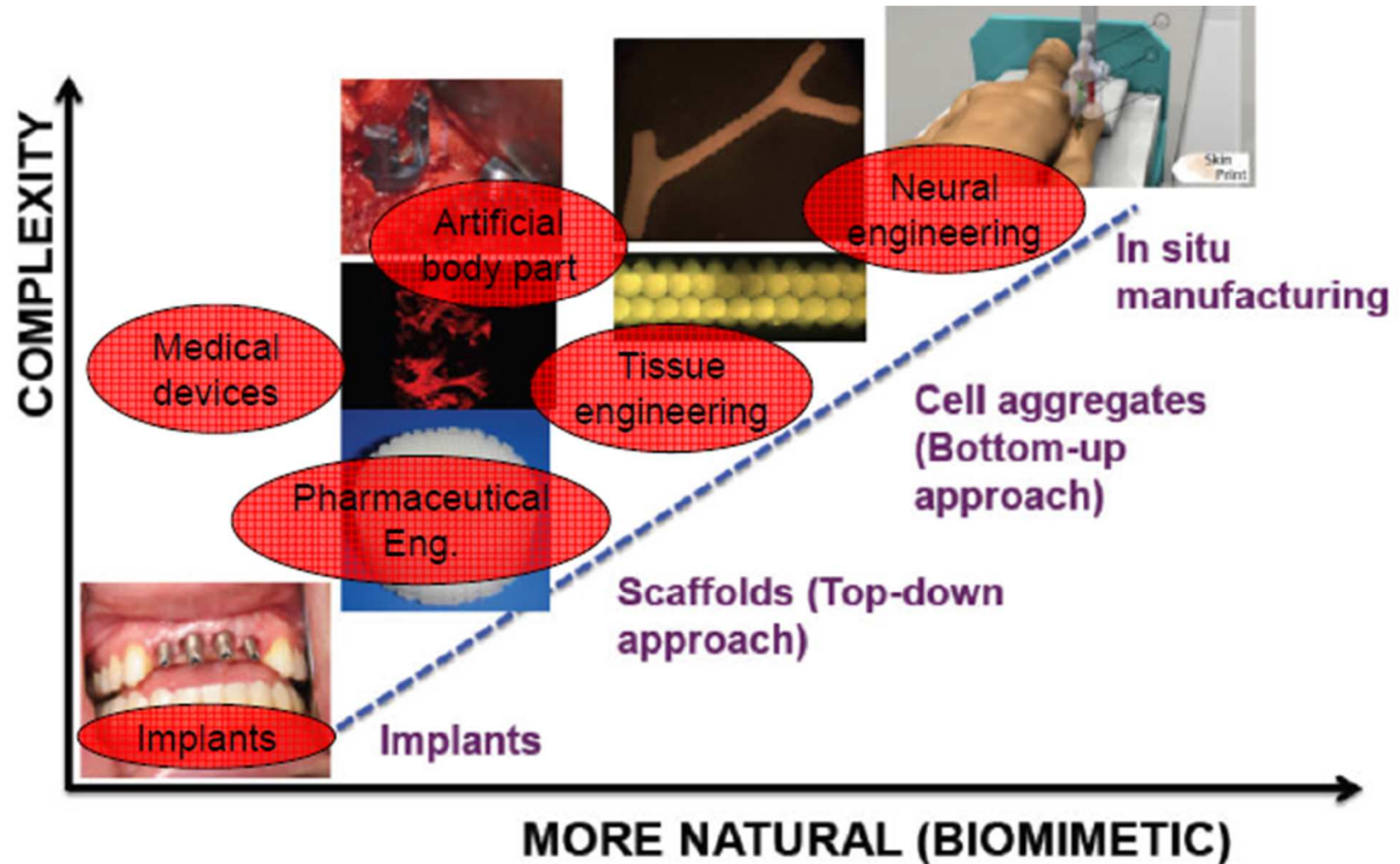
## Structures lattices



Source : Olivier Jay, Industry Days, Bologne

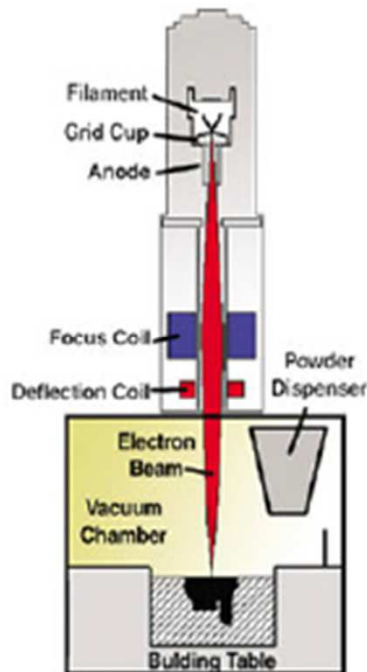


# Production personnalisée



Source: Gideon Levy, Industry Days, Bologne

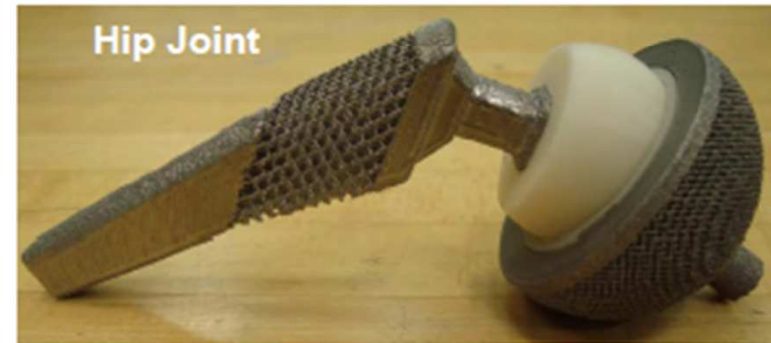
## Powder bed fusion processes (EBM). Applications II



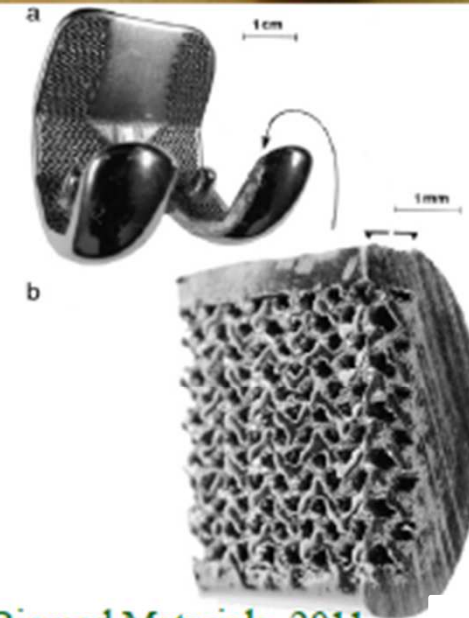
**Schematic  
representation of  
the EBM process**



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



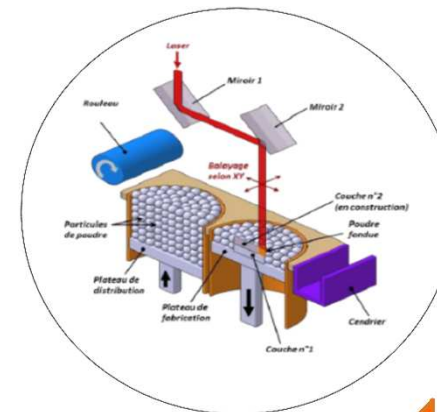
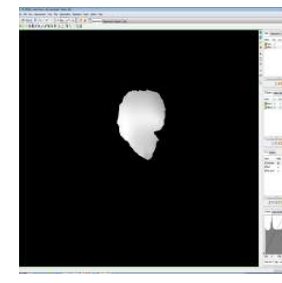
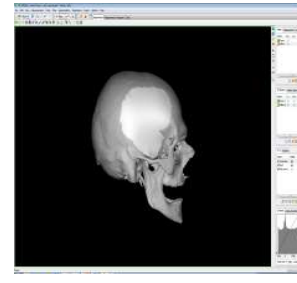
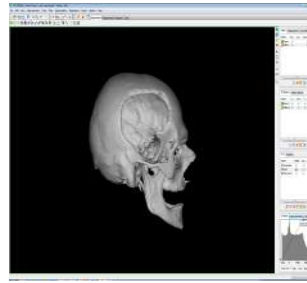
Source: Murr et al, J. Mech Behav of Biomed Materials, 2011

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

Scanner

Conception numérique de l'implant



Chirurgie

Stérilisation

Contrôle

Fabrication

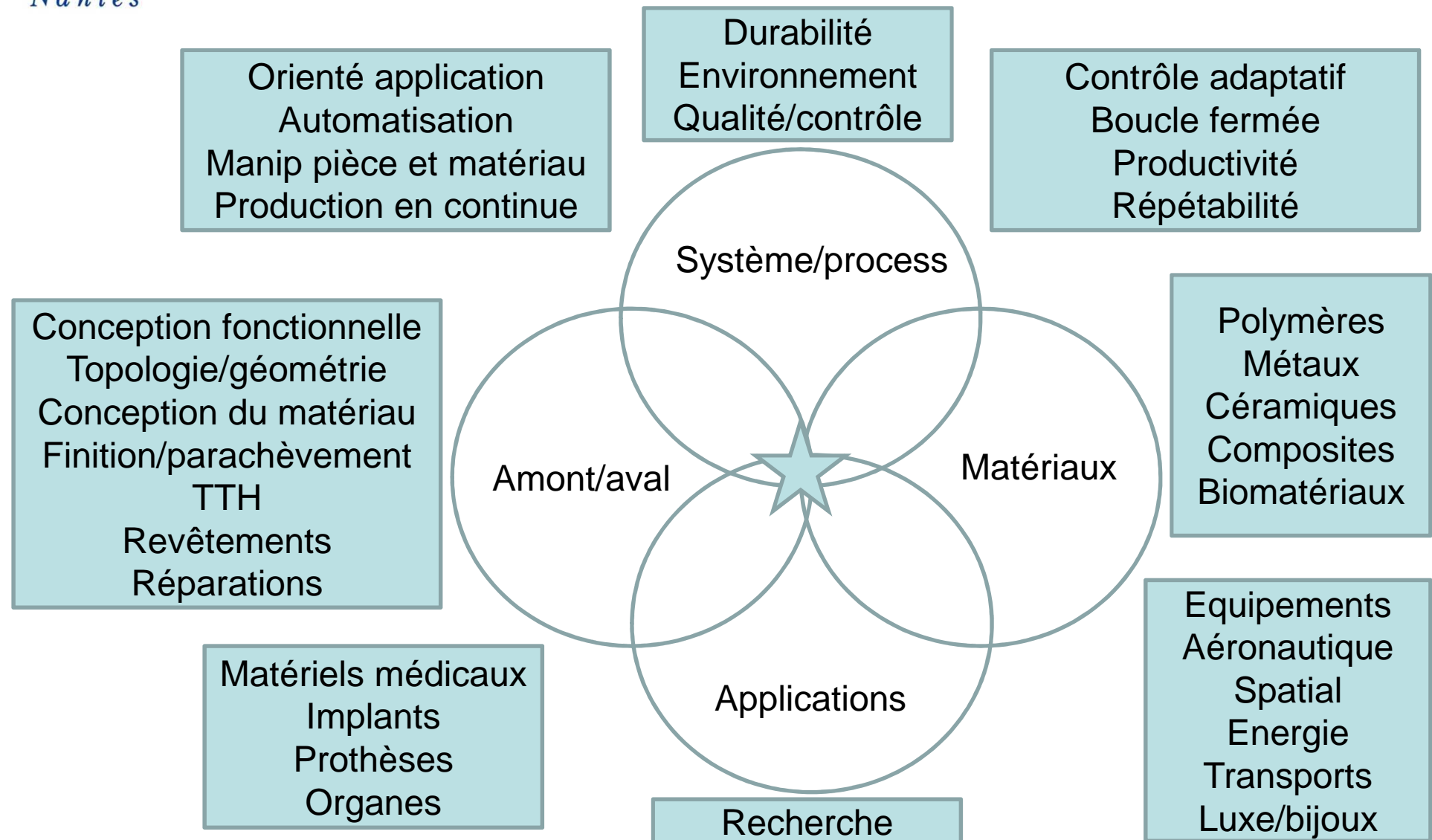
# Fabrication Directe

**Quelle politique ? Quels moyens ?**

**Quelle stratégie pour demain ?**



# Fabrication Directe

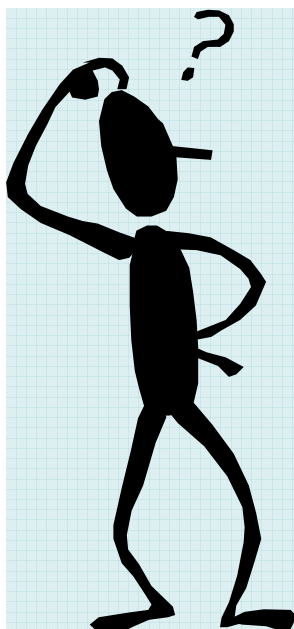


# Conclusions

- 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**



Association Française de Prototypage Rapide  
& Fabrication Additive



## Merci pour votre attention

# Questions / Réponses

**Alain BERNARD**  
alain.bernard@ec-nantes.fr

[www.afpr.asso.fr](http://www.afpr.asso.fr)