

Métiers & Compétences technologiques

TechnoCampus c'est... **VOTRE PARTENAIRE FORMATION !**



Usinage



Assemblage



Plasturgie



Maintenance

Projet Fab+



TECHNOcampus

LES TALENTS DU FUTUR

TechnoCampus Partenaires



L'UNION EUROPÉENNE, LA WALLONIE ET LA FÉDÉRATION WALLONIE-BRUXELLES INVESTISSENT DANS VOTRE AVENIR



TechnoCampus c'est 6 IMPLANTATIONS



Site Maintenance
Gosselies



Site Usinage
Gosselies



Site Plasturgie
Gosselies



Site Mécatronique
Gosselies



Site Assemblage
Strépy



Site Miniusines
Mons

...Pour un grand choix de formations



ENTREPRISES

Des formations au service du développement
de votre entreprise

DEMANDEURS D'EMPLOI

Des formations métiers qui mènent à un emploi
dans l'industrie

ENSEIGNEMENT

Professeurs & étudiants
Des équipements de pointe à votre disposition

**TECKNOKIDS
TECHNOTEENS**

Redonner aux jeunes le goût de la technique



Nos 10 domaines de formation

Assemblage

Maintenance

Automatisme

Mesures et contrôles

Conception

Sécurité

Energie et environnement

Techniques industrielles

Gestion & Organisation

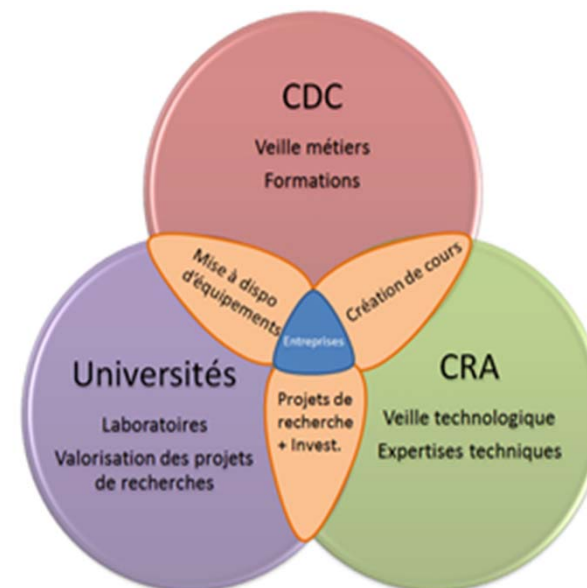
Technologies de production



Fab + : Additive Manufacturing

- Acronyme: FAB+ (21 appel à projets)
- Durée du projet: 36 mois (2017-2020)

Nom du partenaire	Acronyme	Type de partenaire
Technifutur®	Techni	Centre de compétence
TechnoCampus	Techno	Centre de compétence
Campus Automobile	Campus	Centre de compétence
Sirris	Sirris	Centre de Recherche Agréé
Centre de Recherches Métallurgiques	CRM	Centre de Recherche Agréé
Centre de Recherche des Industries Belges de la Céramique	CRIBC	Centre de Recherche Agréé
Université de Liège	ULiège	Unité universitaire
Université Catholique de Louvain	ULouvain	Unité Universitaire
Université de Mons	UMons	Unité Universitaire
Plate-forme	PF	Autres
FN Herstal	FN	Grande entreprise
Safran Aéro Boosters	Safran	Grande entreprise
GDTech engineering	GDTech	PE
Addiparts	ADD	PE
Any-Shape	AS	PE
Cerhum	CH	PE

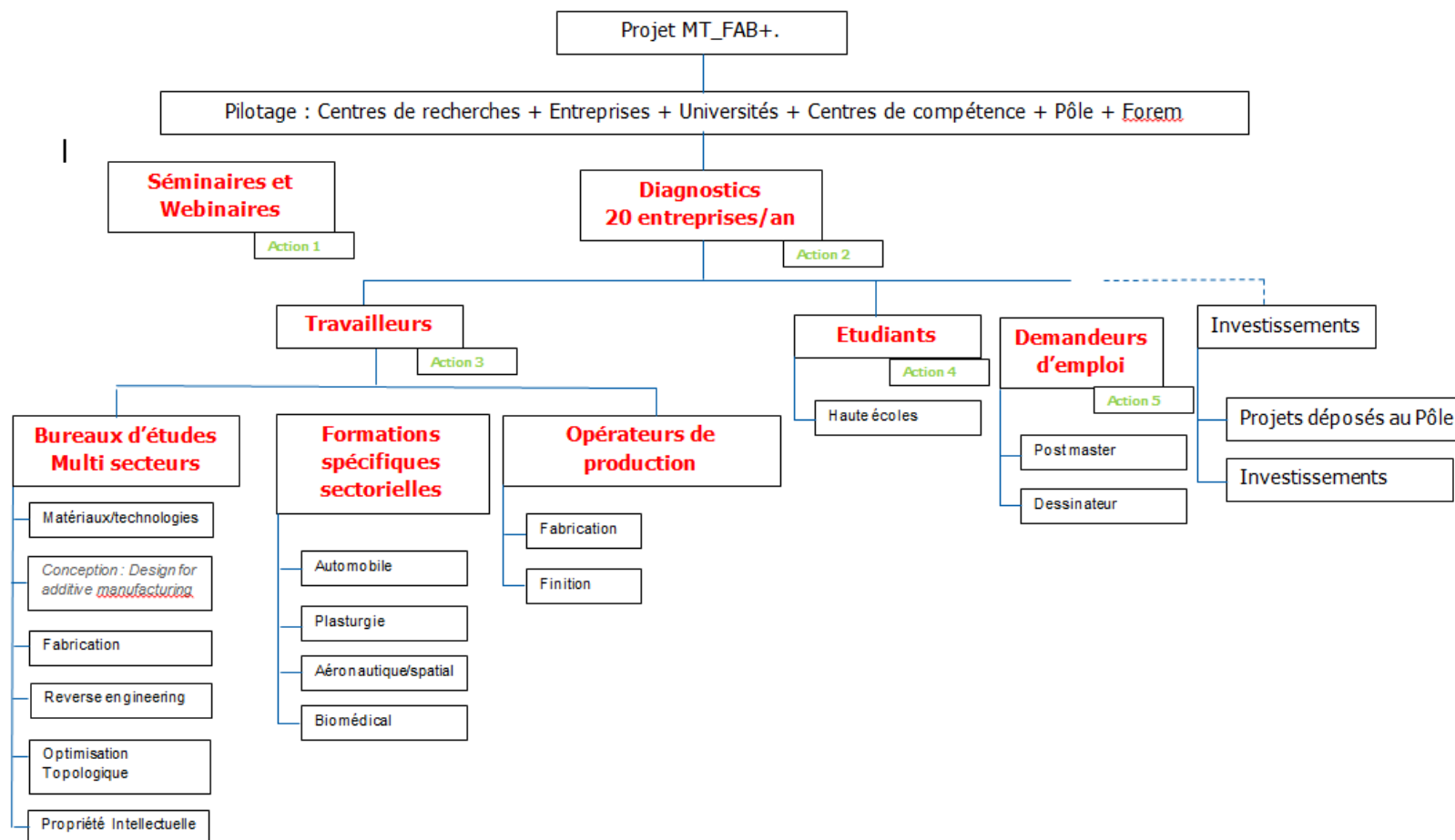


Objectifs

- Les objectifs principaux de ce projet de formation sont :
 - de cibler, dans une première phase, au minimum une vingtaine d'entreprises wallonnes par an afin d'évaluer l'opportunité de mise en œuvre d'une stratégie « additive manufacturing » au travers d'un processus de développement et de formation;
 - d'accompagner une dizaine d'entreprises wallonnes par an intéressées dans l'implémentation de leur projet de développement ou de formation;
 - de proposer un panel de formations répondant à leurs besoins
- Objectif général :
 - aider à l'intégration de ces technologies additives auprès des industriels wallons de manière directe (achat des technologies) ou indirecte (sous-traitance vers des sociétés de service, design approprié, ...) afin de répondre à leurs besoins/questions



Offre de formation



Vos contacts chez TechnoCampus

Christian EYMAEL

Coordinateur projets

0495 90 45 36 christian.eymael@technocampus.be

Jean-François CARLAIRE

Conseiller Entreprises

0475 725 636 jean-francois.carlaire@technocampus.be



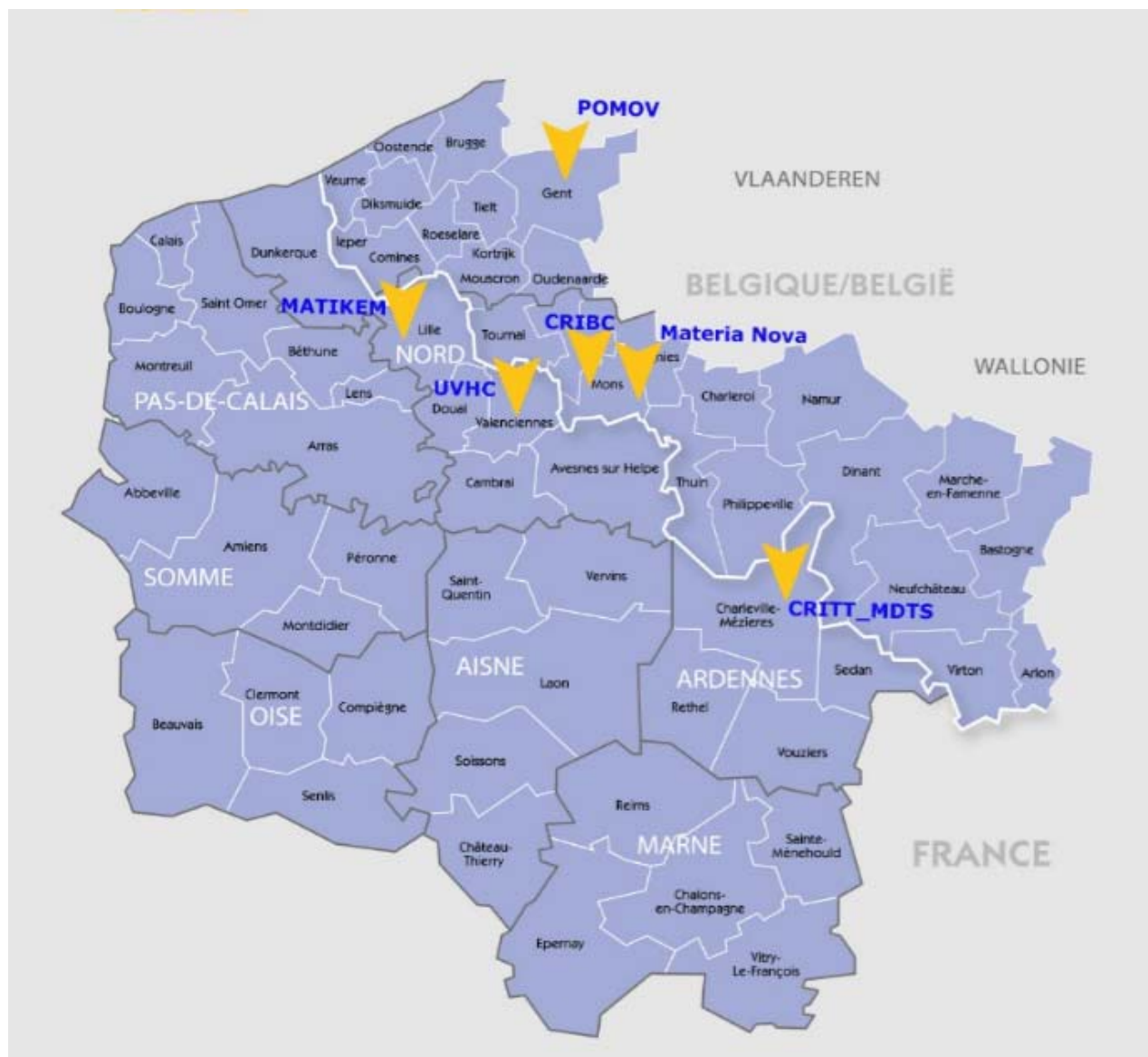
TECHNOLOGY TO FABRICATION

Des technologies vers l'application industrielle

Véronique Lardot - CRIBC
v.lardot@bcrc.be



Zone éligible et partenariat





Objectif

Accélération du processus d'adoption et de transfert de technologies avant-gardistes

Unités de démonstration

UD1 - Traitements de surface par voie sèche

UD2 - Technologies de fabrication alternatives de matériaux céramiques

UD3 - Technologies de consolidation par frittage

Intérêt pour les entreprises de la zone frontalière ?

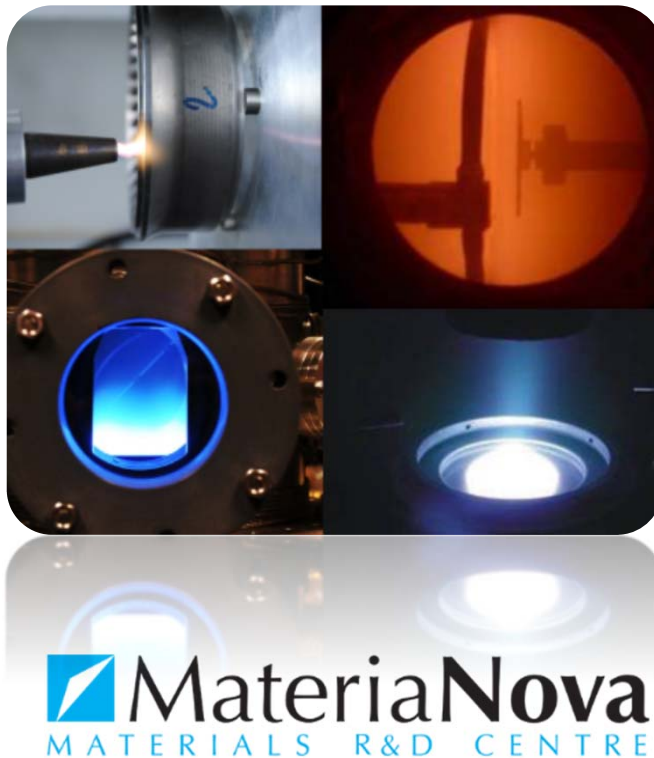
- Besoin de solutions innovantes aux problèmes et défis technologiques
- Technos parfois perçues comme complexes et/ou inabordables

Outputs attendus

- Offre technologique enrichie de proximité
 - association des ressources complémentaires des opérateurs
 - proximité géographique appréciable
- Sensibilisation
 - au potentiel des technologies de chaque UD dans leur niche de marché
 - en utilisant l'opérateur "natif" pour introduire l'opérateur "étranger"
- Démystification de technologies perçues comme complexes et/ou inabordables
- Adaptation de l'offre technologique du marché
 - aux spécificités des entreprises de la zone
 - en privilégiant le travail collaboratif transfrontalier
- Partenariats durables entre opérateurs et entreprises de la zone



UD1 - Traitements de surface par voie sèche



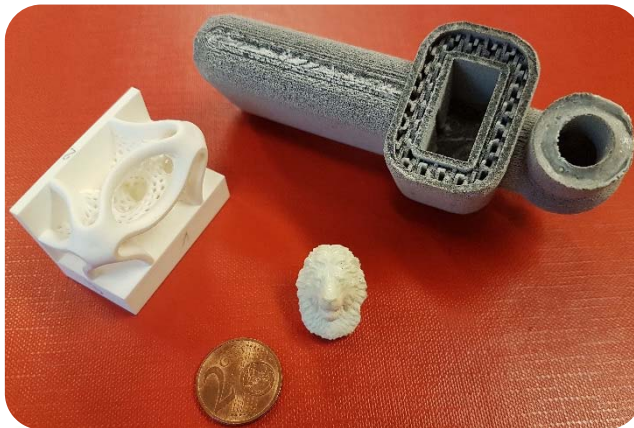
Plasma atmosphérique

Plasma sous-vide

Implantation ionique



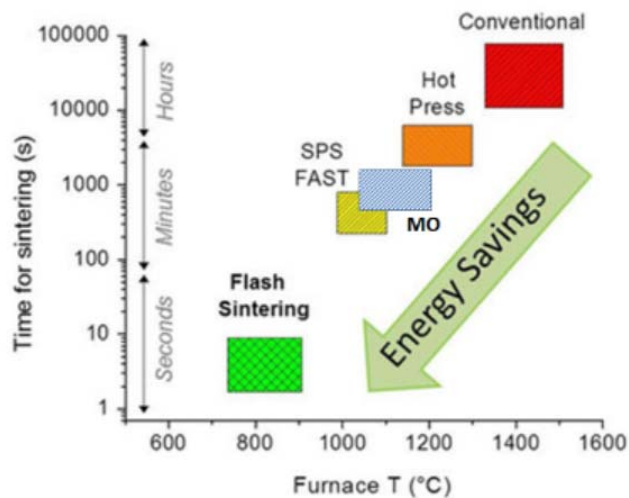
UD2 – Technologies de fabrication alternatives *(ADDITIVES, SOUSTRACTIVES ET HYBRIDES)*



Usinage laser en cru
Fusion sélective laser
Usinage hybride
Fabrication Hybride
Stéréolithographie



UD3 – Technologies de consolidation par frittage



Spark Plasma Sintering

Frittage micro-ondes

Frittage Flash

Frittage micro-ondes

Cold sintering

Possibilités de collaboration

GRATUITEMENT

1 Partenaire du projet

- réalisation d'un démonstrateur
- **Accompagnement** dans les premières étapes de l'implémentation au sein de l'entreprise (étude de faisabilité, preuve de concept, préparation projet transfert)

Obligation d'accepter que les résultats soient rendus **publics** et **réalisations concrètes** (apport ressources, expertises)

2 Client

- réalisation d'un démonstrateur
- **Accompagnement** dans les premières étapes de l'implémentation au sein de l'entreprise (étude de faisabilité, preuve de concept, préparation projet transfert)

Résultats **confidentiels**

Formulaires à remplir, prestation à comptabiliser dans le quota d'aides « de minimis »

200 k€/3ans par pays

Programme de la journée

- 9:00 – 9:30
 - Mot d'accueil et présentation générale de la journée – Mr Eymael
 - Interreg France-Wallonie-Vlaanderen : E. Delecasse – ETI Wallon
 - Projet Tech2Fab : V. Lardot- CRIBC - Mons
- 9:30 Intro à la fab. additive (polymères, métaux, céramiques) *L. Voets - Sirris*
– Technologies de fabrication additive céramique accessibles dans TECH2FAB
F. Petit–CRIBC
- 10:30 Présentation et exemple d'impression 3D par stéréolithographie
J.-C. Hornez - UPHF
- 10:50 PAUSE CAFE
- 11h10 SIRRIIS – Optoform, Prodways *B. Verlee- SIRRIIS*
- 11:30 Prodways – Applications Médicales de l'impression 3D Céramique
T. Toloshniak - Prodways
 - 11h50 Impression drop-on-demand - Arburg (polymères, métal, céramiques)
D. Von Zeppelin - Arburg
- 12:10 : PAUSE MIDI + Visites

Programme de la journée

- 13:30 Témoignages industriels : AM Polymère (*C.Demoulin- Addiparts*)-
Rechargement laser (*H. Desmecht - Laserco*)
- 14:20 INVENTEC -*Mr Levasseur*
- 14:40 L'Hybridation technologique au CRIBC : usinage Hybride –*F. Petit - CRIBC*
- 15:00 Post – traitement - Traitement de surface par voie sèche, modification de
poudre par voie PVD, opportunités pour la fabrication additive. –*O. Riou-CRITT*
MDTS, T. Godfroid – Materia Nova
- 15:20 Technologie des poudres : l'importance du frittage - Technologies accessible
dans le cadre de TECH2FAB (Flash, μ -ondes, SPS, sous-vide,...). –*G. Bister-CRIBC, P.*
Lefeuvre - UPHF
- 15:40 MAX – Conclusion – Questionnement – Débat + Possibilité de 2ème Visite

Pour plus d'informations sur le projet
TECH2FAB ou sur nos UD, visitez:
www.tech2fab.eu



CRIBC (chef de file)

info@bcrc.be
www.bcrc.be
Mons
+32 (0)65 40 34 34



Materia Nova

tech2fab@materianova.be
www.materianova.be
Mons
+32 (0) 65 55 49 02



UPHF-LMCPA

tech2fab@univ-valenciennes.fr
www.univ-valenciennes.fr
Maubeuge
+33 (0) 3 27 51 16 76



CRITT-MDTS

tech2fab@critt-mdts.com
www.critt-mdts.com
Charleville-Mézières
+33 (0) 3 24 37 89 89



Matikem

contact@matikem.com
www.matikem.com
Villeneuve d'Ascq
+ 33 3 61 76 02 45



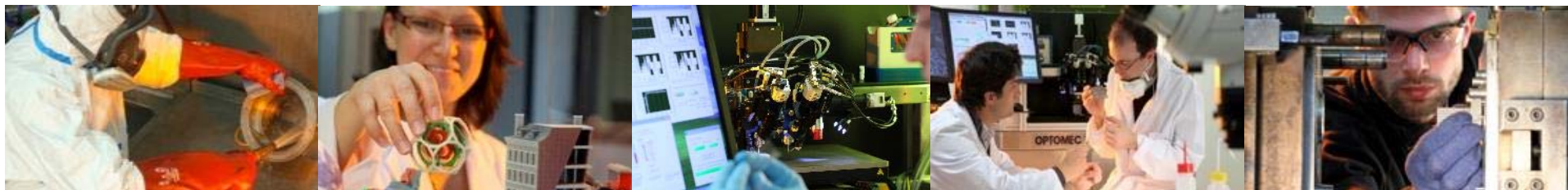
POM Oost-Vlaanderen

info@pomov.be
www.pomov.be
Gent
+32 (0) 9 267 86 33



Wallonie





Introduction à la fabrication additive (polymères, métaux, céramiques)

Laurent Voets
Business Developer
Sirris – Dpt Additive Manufacturing



driving industry by technology

© sirris | www.sirris.be | info@sirris.be |

24/10/2019

1



COMBINING THE POTENTIAL
OF TECHNOLOGY WITH BUSINESS
MODEL INNOVATION TO MAKE YOUR
BUSINESS FUTUREPROOF



business
of the future



HOW TO MAKE YOUR PRODUCT
FUTUREPROOF? MAKE IT MICRO,
LIGHT, SMART & CONNECTED!



product
of the future



HOW WILL DIGITAL MANUFACTURING
AND INDUSTRY 4.0 IMPACT YOUR
FACTORY IN THE FUTURE?



factory
of the future

“Together, we turn innovation into success”



driving industry by technology

© sirris | www.sirris.be | info@sirris.be |

24/10/2019

2

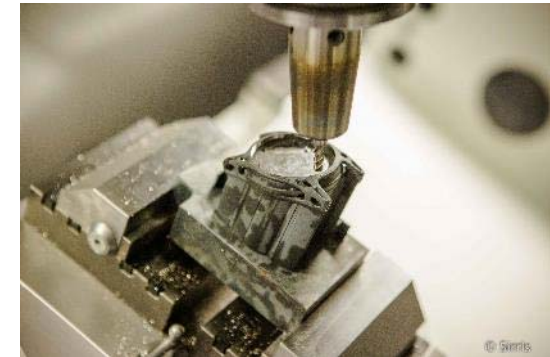
150 technological experts to help you with...

Facts & figures in 2017



CLOUD COMPUTING	MATERIALS ENGINEERING	SUPPORT THE OPERATOR
FIRST TIME RIGHT PRODUCTION	SECURITY & PRIVACY	DATA ANALYTICS
INTELLECTUAL PROPERTY	CIRCULAR ECONOMY	SOFTWARE ENGINEERING
DIGITAL BUSINESS MODELS	HYBRID PRODUCTION TECHNOLOGY	MICRO, LIGHT & SMART PRODUCTS
PRODUCT DESIGN & DEVELOPMENT	MAKING SHOPFLOOR TRANSPARENT	FAST RESPONSE MANUFACTURING
METAWORKING, PLASTICS, HYBRIDS, COMPOSITES	CONCEPTUAL ENGINEERING OF MECHATRONICAL SYSTEMS	ELECTRONICS & EMBEDDED SOFTWARE & CONNECTIVITY

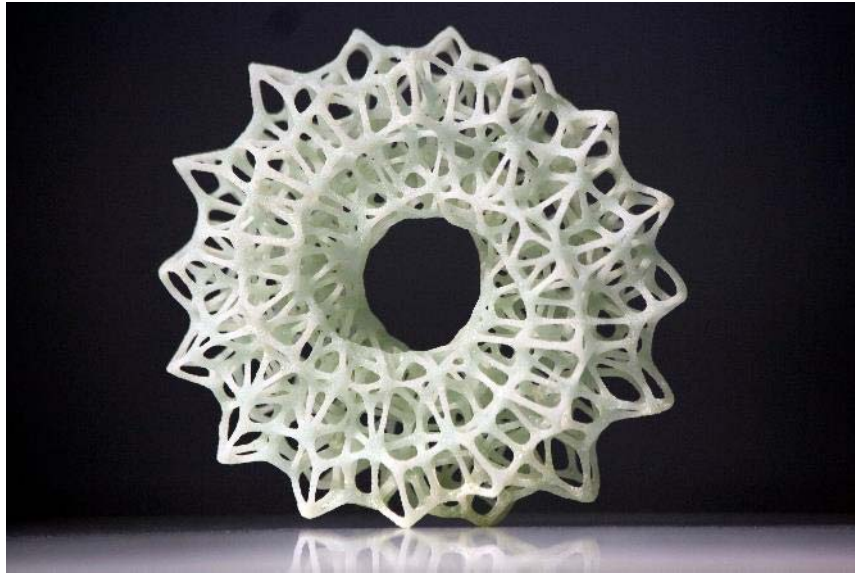
Access to our hightech infrastructure



driving industry by technology

24/10/2019

4



3D printing ? Additive Manufacturing?

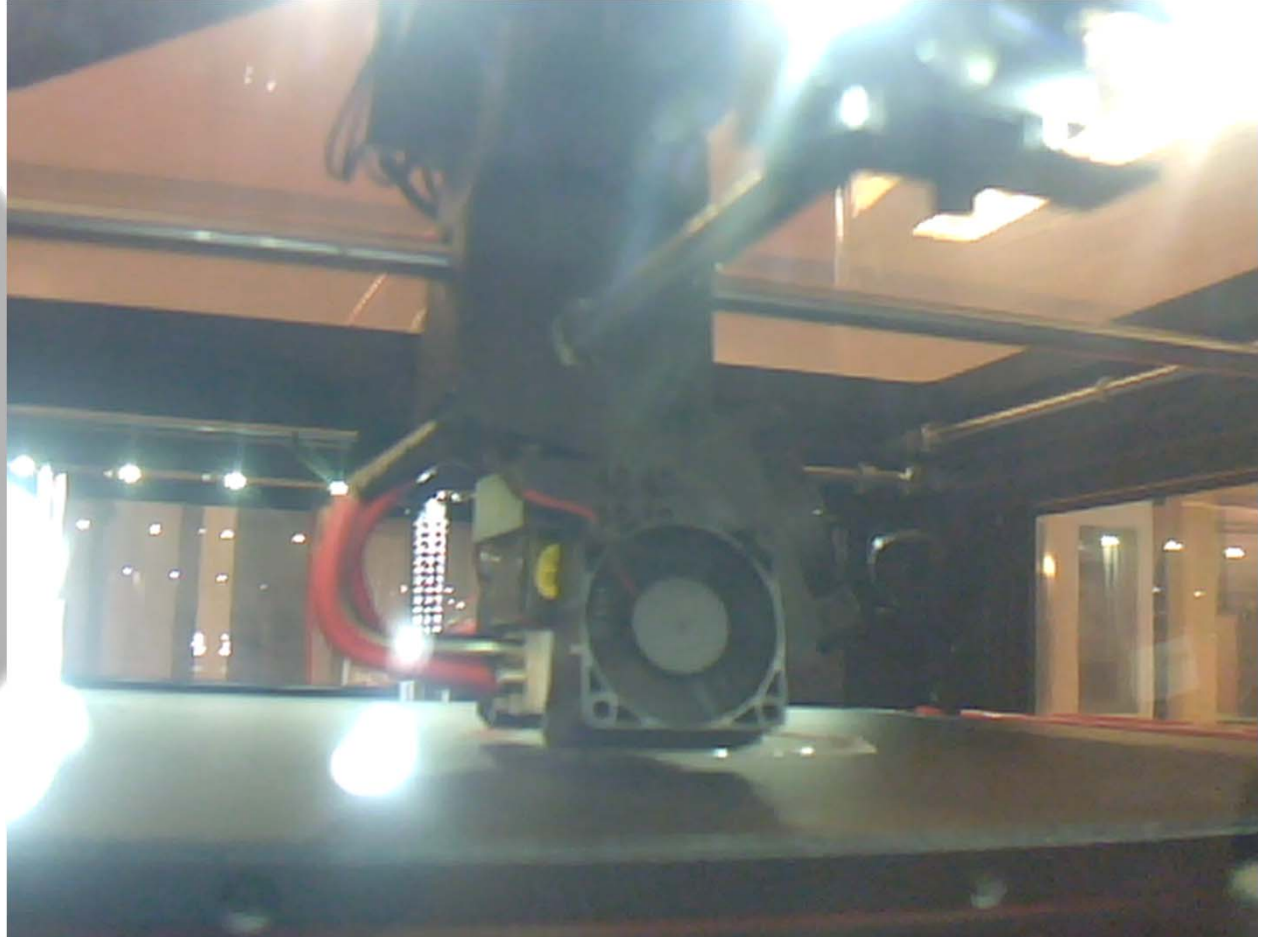
Additive manufacturing is defined as the process of joining materials to make objects from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing methodologies. (ASTM F2792)

Grands principes des fabrications additives:

3DP
Définition

Fabrication par
addition de matières
≠
Fabrication
soustractive

Transformer un
processus 3D en une
succession de
processes 2D



driving industry by technology

Les fabrications additives: Matériaux

Polymère



ABS, PC, PC-ABS, ULTEM, PPSF, PLA, TPE, PMMA, PEEK, PS, PP, PU, PA, PA chargé, ...
+ les « like » : résines thermodures, flexibles, ...

Métal



Acier, Inox, Maraging, Inconel, Titane et alliages (Ti6Al4V,...), Aluminium... Bronze, ...

Céramique



Alumines, Alumine Zircon, ...

Autres...



Papier

Cire

Bois

Béton

Glace

"Food"

Le vivant

Etc...

Attention, liste non exhaustive et en constante évolution !



Les fabrications additives: les technologies

Suivant les nouvelles normes ASTM, l'ensemble des procédés de fabrications additives est maintenant classé et subdivisé en 7 catégories:

1. **Material extrusion:** the material is selectively dispensed through a nozzle or orifice.
2. **Material jetting:** droplets of build material are selectively deposited.
3. **Binder jetting:** a liquid bonding agent is selectively deposited to join powder materials.
4. **Sheet lamination:** sheets of material are bonded to form an object.
5. **Vat photopolymerization:** a liquid photopolymer in a vat is selectively cured by light-activated polymerization.
6. **Powder bed fusion:** thermal energy selectively fuses regions of a powder bed.
7. **Directed energy deposition:** focused thermal energy is used to fuse materials by melting as the material is being deposited

	1	2	3	4	5	6	7
Polymère	●	●	●	●	●	●	
Métal			●	●		●	●
Céramiques	●	●	●	●	●	●	●

ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGIES



driving industry by technology

Vallourec Masterclass

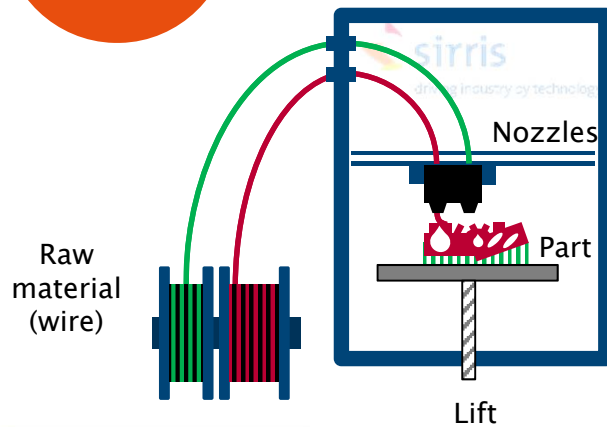
6-7/11/2018

9



Les fabrications additives: les technologies

Material Extrusion



- Têtes d'extrusion montée sur portique robotisé
- Matériaux: thermoplastique extrudé (fil) en bobine
- Matériaux typique :PLA, ABS
- + Matériaux techniques: PC, ABS-ISO, PC-ABS, PPSU, ...)
- Couche: 50 ... 100 à 300 μm
- Précision: ± 0.15 à ± 0.0015 mm par mm !
- Dimensions: de 120 mm³ à ± 1 m³
- Nombreuses petites machines domestiques / accessible
- Gamme de prix: 500 à 200.000 €
- **PLUS:** simplicité, matériaux thermoplastique
- **MOINS:** état de surface, vitesse, précision

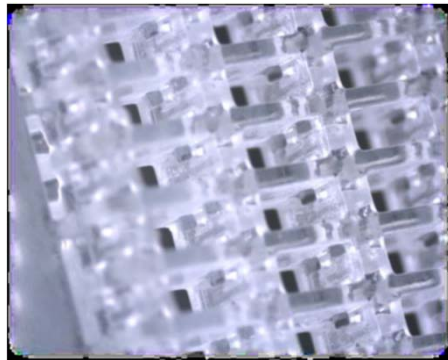
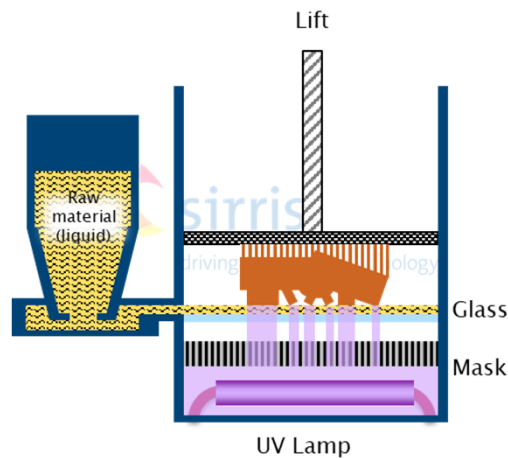
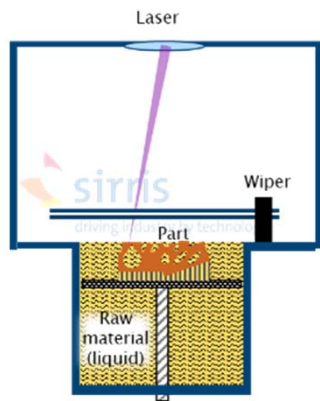


driving industry by technology



Les fabrications additives: les technologies

VAT Photopolymerisation



- Polymérisation d'une résine par un laser UV ou par DLP
- Matériaux: résine liquide (base acrylate / epoxy)
- Matériaux: transparent, chargé haute T°, ... céramique (Optoform, Prodways, ...)
- Couche: 25 à 100µm (SLA) ... jusqu'à 10 µm (...DLP...)
- Précision: ± 0.1 mm à ± 0.1 %
- Dimensions: 125 mm³ ... 1500 x 800 x 500 mm
- petites machines domestiques sur le marché.
- Gamme de prix: ... 3000 € à plus de 500000 €
- **PLUS:** précision, état de surface, complexité
- **MOINS:** coût équipements, prix maintenance ,



Les fabrications additives: les technologies

VAT Photopolymerisation



Formlabs
+/- 4000€

Scalability & Customized Configuration

Production Volume: 1 Million Parts Annually

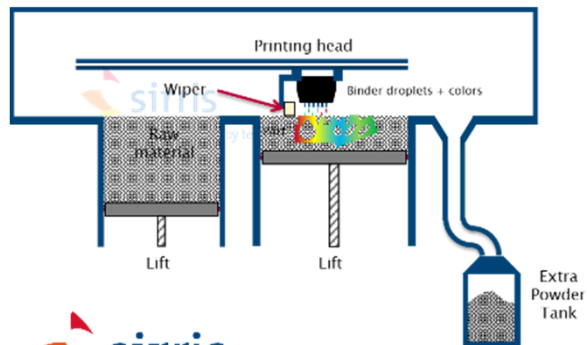
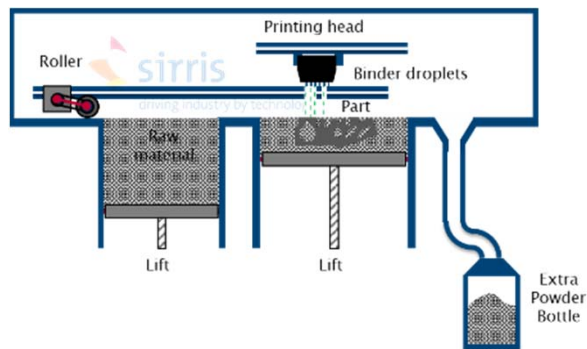


Figure 4 – 3D Systems >600.000 €



Les fabrications additives: les technologies

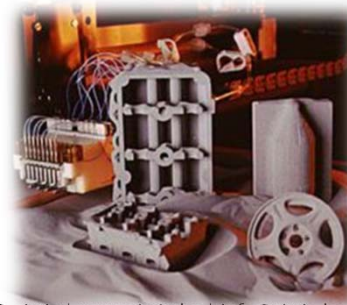
Binder Jetting



driving industry by technology

- Dépôt d'un liant sur lit de poudre, couche par couche + impression couleur possible
- Matériaux: « plâtre », polymère, ... food ...
- Matériaux: sous forme de poudre + liant
- Fournisseur: 3D Systems, Voxeljet
- Gamme de prix: à partir de 50000,00 € ...
- **PLUS:** couleurs, assez rapide, prix
- **MOINS:** fragile suivant les matériaux, état de surface, pièces parfois poreuses suivant procédé et matériaux

Résolution faible



© sirris | www.sirris.be | info@sirris.be |

24/10/2019

13



Les fabrications additives: les technologies

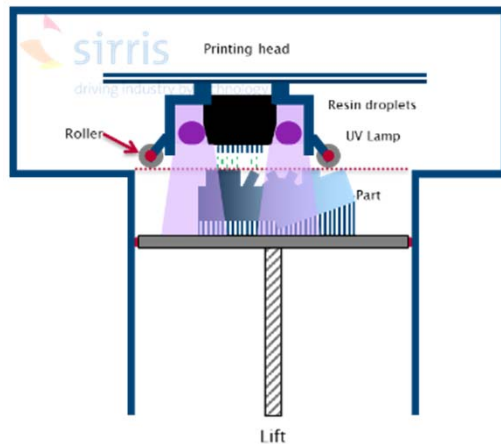
Binder Jetting



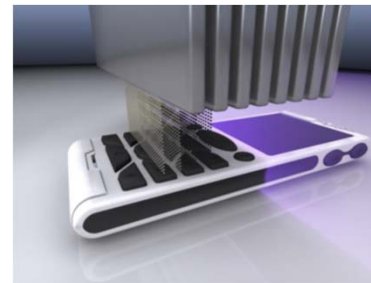


Les fabrications additives: les technologies

Material Jetting



- Dépôt de microgouttelettes de résines photosensibles via des têtes d'impression + source UV.
 - + impression couleur possible
- Matériaux: résine photosensible
- Matériaux: sous forme de cartridge
- Fournisseur: 3D Systems, Stratasys, ...
- Gamme de prix: de 20000,00 € à 300000€
- **PLUS:** multimatière, résolution, matériaux flexibles, précision, facilité d'utilisation
- **MOINS:** prix matière, durabilité matériaux, supports importants



Les fabrications additives: les technologies

3DP
Technologies

Material Jetting

Over-molded part,
coating,
Multi-materials
Flexible part



Source Objet technologies



Source Objet technologies

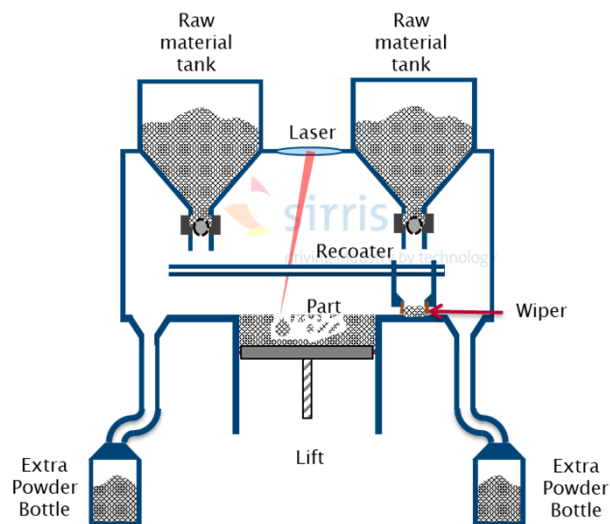


driving industry by technology

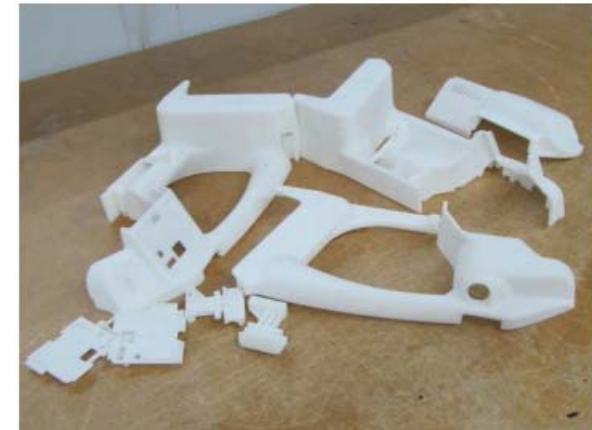
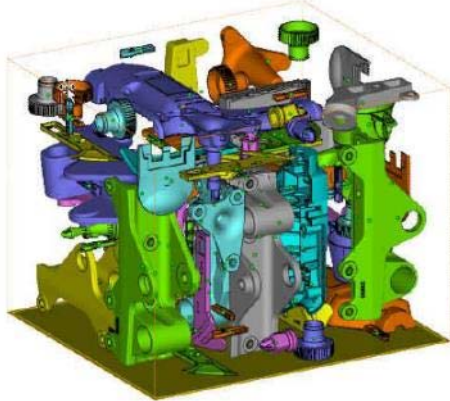


Les fabrications additives: les technologies

Powder bed fusion



- fusion sélective de poudre, couche après couche par un laser
- Matériaux: **POLYMERE – METAL – CERAMIQUE** (1)
- Matériaux: sous forme de poudre
- Couche: **Polymère ...0,1 mm**
Métal ...< 0.1 mm
- Précisions: **Polymère +/-0.2 mm à +/- 0.2 %**
Métal ...< 0.1 mm ...
- Dimensions: polymère 200x250x330 à 700x380x580 mm
métal : ... 350 mm³ ... (maxi 500 mm)
- Gamme de prix: **150000,00 à 850000,00 €**
- **PLUS:** Qualité matériaux, complexité
- **MOINS:** coût équipements, état de surface ...
nécessité de post-finition.

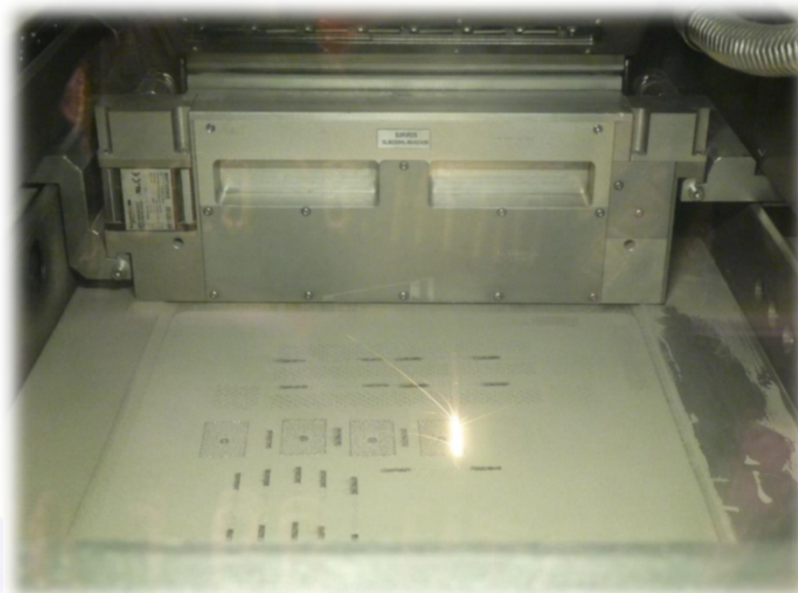
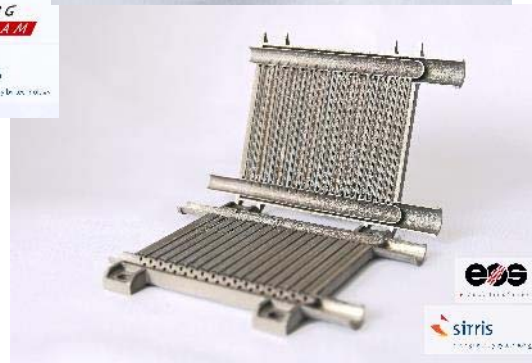


driving industry by technology

Les fabrications additives: les technologies



Powder bed fusion



driving industry by technology

© sirris | www.sirris.be | info@sirris.be |

24/10/2019

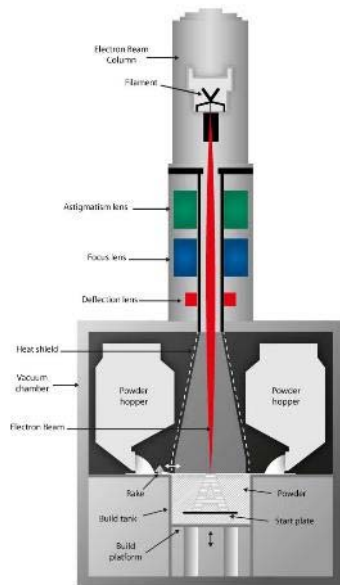
19

3DP

Technologies

Les fabrications additives: les technologies

Powder bed fusion



- fusion de lits de poudre, couche après couche, à l'aide d'un faisceau d'électrons (sous vide)
- Matériaux: **METAL (Titane et Chrome Cobalt)**
- Matériaux: sous forme de poudre
- Couche: 50 à 200 μm
- Dimensions: 200x200x300 mm
- Précisions: +/- 0.3 mm
- Fournisseur: ARCAM (exclusivité)
- Gamme de prix: à partir de 600000,00 €
- **PLUS:** Qualité matériaux, productivité
- **MOINS:** coût équipements, uniquement professionnel
État de surface (rugueux).

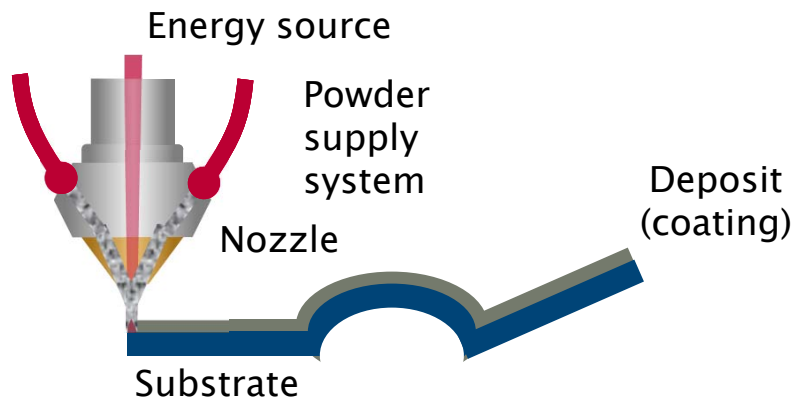


driving industry by technology



Les fabrications additives: les technologies

Directed energy deposition:

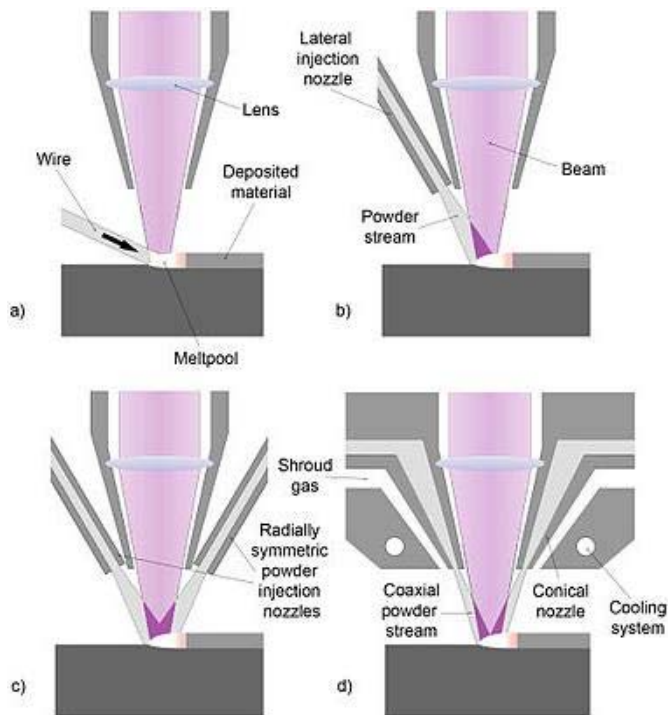


- Technologie multiaxes.
- ajouter des fonctionnalités sur une pièce 3D
- la poudre est soufflée à travers une buse
- Plus: travail en 3D (surfaces non planes)
Multi-materials.
Works in air, 20°C
- Moins: Précision et état de surface (réusinage)
Faible complexité géométrique
Variable thermal conditions
Faible recyclabilité des matériaux



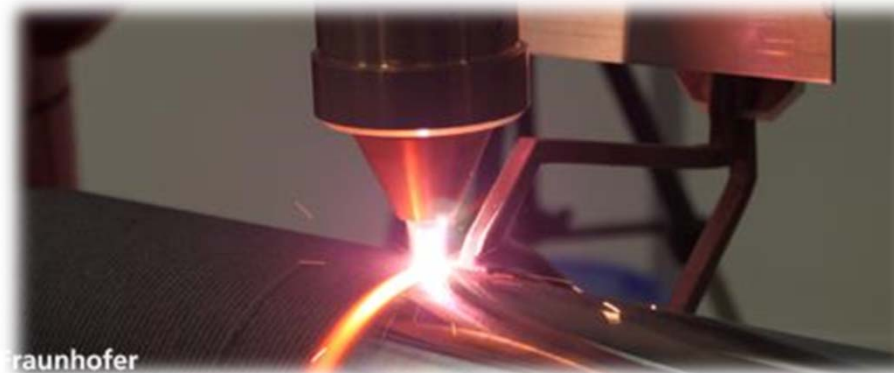
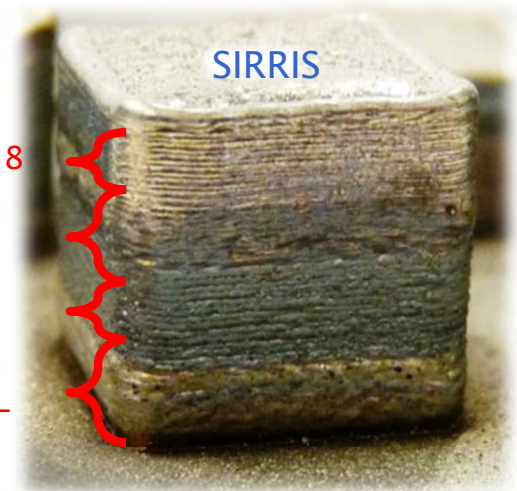
Les fabrications additives: les technologies

Directed energy deposition: Variante



driving industry by technology

Pure Inconel 718
SS 316L -> Inconel 718
Pure SS 316L
Inconel 718 -> SS 316L



© sirris | www.sirris.be | info@sirris.be |

24/10/2019

22

Les avantages de l'AM

L'impossible devient (plus) accessible !



- Un potentiel **technologique** au service de l'innovation du produit final.



- Un potentiel **économique** au service du business et des entreprises.



- Un potentiel **écologique** au service de la planète, de l'homme et de son futur.



Pourquoi utiliser les fabrications additives ?

- De l'outil de prototypage ...**au moyen de fabrication sans outillage!**
- **Un potentiel technologique au service de l'innovation du produit final:**
 - Intégration de fonctions
 - réduction du nombre de composants
 - Produit plus complexe sans suppléments de coût de production
 - Customisation des fabrications et souplesse d'évolution
 - Allègement des pièces.
 - Porosité sur forme 3D.
 - Amélioration des performances
 - Multi-matériaux... au plus près du besoin.
 - Meilleure efficacité sur le plan écologique

Potentiel

3D Printing: un potentiel ?

AM allows users to build products designed for performance rather than for manufacturability (as required by more traditional manufacturing techniques).

"3D opportunity for end-use products: Additive manufacturing builds a better future" Deloitte

Paradoxically, the ability to produce individual components with more complex geometries allows designers to produce entire systems using fewer subcomponents, reducing complexity at the system level.

"3D opportunity for end-use products: Additive manufacturing builds a better future" Deloitte

Liquid lattice structures produced with EOS Additive Manufacturing technology (Source: Autodesk Within)



driving industry by technology

© sirris | www.sirris.be | info@sirris.be |

24/10/2019

25

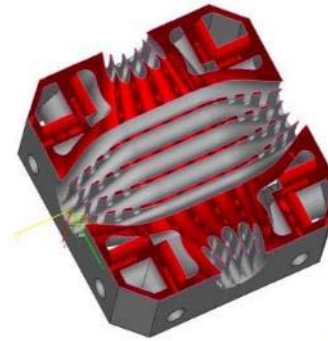
Potentiel

3D Printing: un potentiel ?

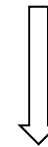
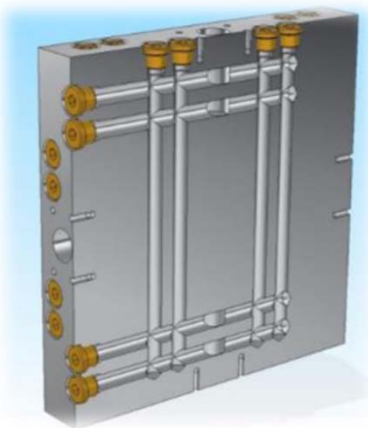
Hydrauvision: Impossible crossing



Volume: 2.900 cm³
Poids: 19.2 kg
Encombrement: 210 x 210 x 70mm

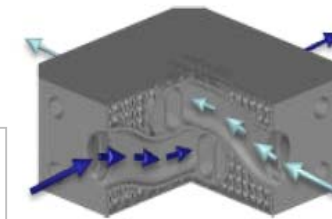


- Masse: 19,2kg à (0,7 - 1,2kg) → **Gain de 93 à 96%**
- Volume: 2.900cm³ à 244cm³ → **Gain de 91.6%**
- Encombrement: 210 x 210 x 70mm à 85 x 85 x 38mm
- Pertes de charge: 3.25b à 0.25b → **gain de 92,3%**
- Tenue en pression confirmée



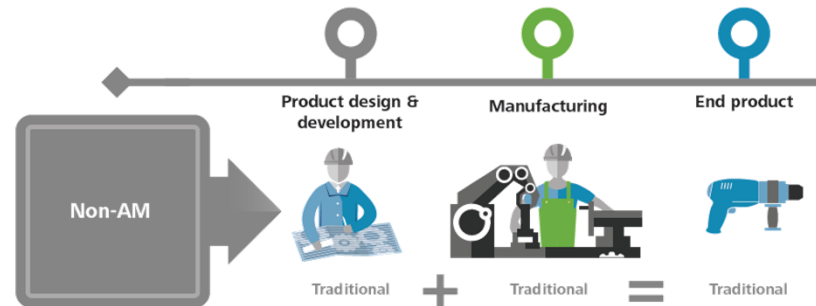
Volume: 244 cm³
Poids: 0.74 kg

Encombrement: 85 x 85 x 38mm



Les avantages de l'AM

Figure 2. Comparison of non-AM, RP, and DOD product design and development processes



- Sous-traitance ou intégrée
- Gain en délai et qualité de développement
- Mais pas lié à une **innovation** du produit final

- AM integration
- 3DP > **un outil d'innovation**
- **Nouveau Business Modèle**

Les limites actuelles de l'AM

- Une gamme de matériaux encore à étoffer.
 - La précision est encore inférieure aux procédés « conventionnels »nécessité de reprise mécanique ou post-traitement.
 - Etat de surface en sortie machine ...post-traitement !
 - Une normalisation adaptée (en cours)
 - Le prix des équipements / investissement.
 - Compromis rapidité / taille machine ...limitant les applications aux « petites » séries. Mais grosse évolution en cours.
-
- MAIS aussi, la nécessité de former, informer les entreprises, les bureaux d'études, ...pour apprendre à concevoir AM

**Penser AM pour être intéressant (technique
& économique)**

Fabrications additives ?

Conclusion

« On ne repousse pas ses limites, on les découvre. »

Jean-Louis Etienne

Les technologies AM
cherchent encore leurs
limites!



EBM – Oak Ridge National Lab



Laurent VOETS – Business Development



Laurent.voets@sirris.be



+32 (0) 498 91 93 86



Laurent.voets



<http://www.sirris.be>



<http://techniline.sirris.be>



#sirris



<http://www.linkedin.com/company/sirris>

MERCI POUR VOTRE ATTENTION



driving industry by technology

© sirris | www.sirris.be | info@sirris.be |

24/10/2019



sirris

driving industry by technology



<http://www.sirris.be>



<http://techniline.sirris.be>



#sirris



<http://www.linkedin.com/company/sirris>

Technologies de fabrication additive céramiques accessibles dans TECH2FAB

Fabrice Petit

Belgian Ceramic Research Centre

f.petit@bcrc.be



Avec le soutien du Fonds Européen de Développement Régional

Mise en forme additive céramique

2 grandes familles (ASTM 17296)

Procédés « Directs »

Définition :

L'objet est mis en forme et ses propriétés finales obtenues en une seule étape (aucun post traitement thermique).

Plus pertinent "a priori" mais plus complexe à maîtriser

Procédés « indirects »

Définition :

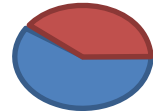
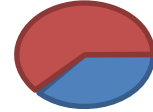
L'objet est mis en forme par technique additive et ses propriétés finales obtenues par frittage (post traitement thermique).

Moins efficient "a priori" mais plus aisément maîtrisable

Foisonnement d'idées et de technologies MAIS :

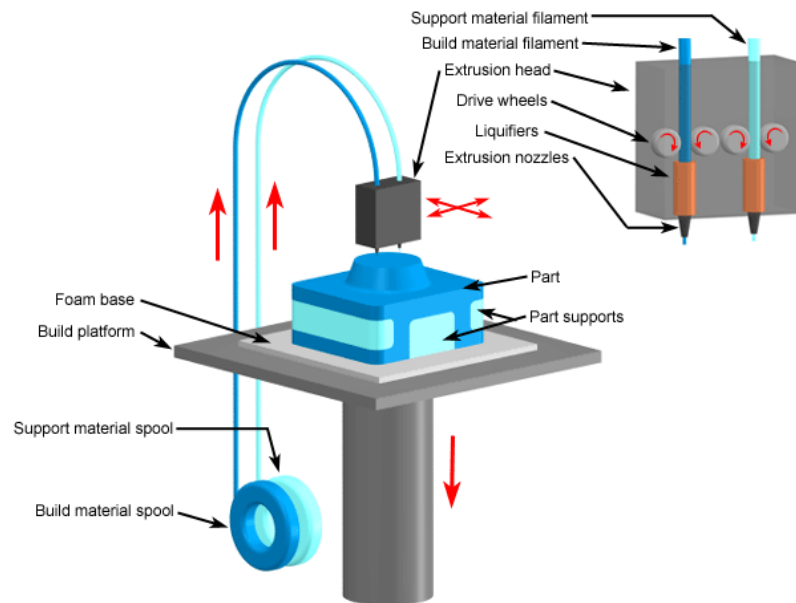
Aucune approche n'est actuellement pleinement satisfaisante.

Quelles sont les technologies additives existantes pour les céramiques ?

Technologies		Matériaux	Direct ?	Pertinence pour les céramiques
	Fusion de lit de poudre : fusion sélective de lits de poudres empilés par apport contrôlé de chaleur (laser, faisceau d'électron)	Polymères, métaux, Céramiques.	Oui	
	Dépôt dirigé d'énergie: fusion de la matière en même temps que son apport	Polymères, métaux.	Oui	
	Procédé de laminage: empilement de tranches solides d'un matériau pour reconstituer un objet	Métaux, céramiques.	Non	
	Projection de liant : utilisation d'une colle pour assurer la consolidation sélective d'un lit de poudre	Polymères, métaux, céramiques.	Non	
	Projection de matière : construction progressive par dépôts de gouttes	Métaux, céramiques.	Non	
	Extrusion de matière: apport sélectif de matière au travers d'un orifice ou d'une buse	Polymères, Métaux, céramiques.	Non	
	Photopolymérisation: photoréticulation sélective d'une résine photosensible par rayonnement UV	Polymères, Métaux, céramiques.	Non	



Méthode par impression thermoplastique (FDM : Fused Deposition Modeling)



Principe:

Un filament thermoplastique (ou une cire) chargé en céramique alimente une tête d'extrusion à chaud.

L'objet est constitué progressivement par l'empilement de cordons d'extrusion.

L'objet fabriqué doit subir un traitement thermique (déliantage/frittage) pour atteindre ses propriétés finales.

Avantages

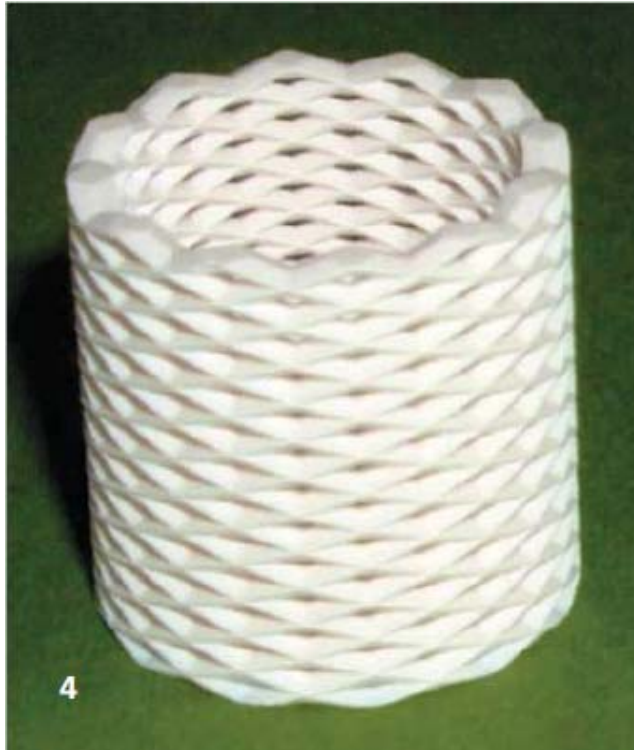
- Compatible toute matière céramique
- Compatible gros objets (> 10 cm)
- Relativement rapide et peu onéreux
- Compatible multi-matières

Limitations

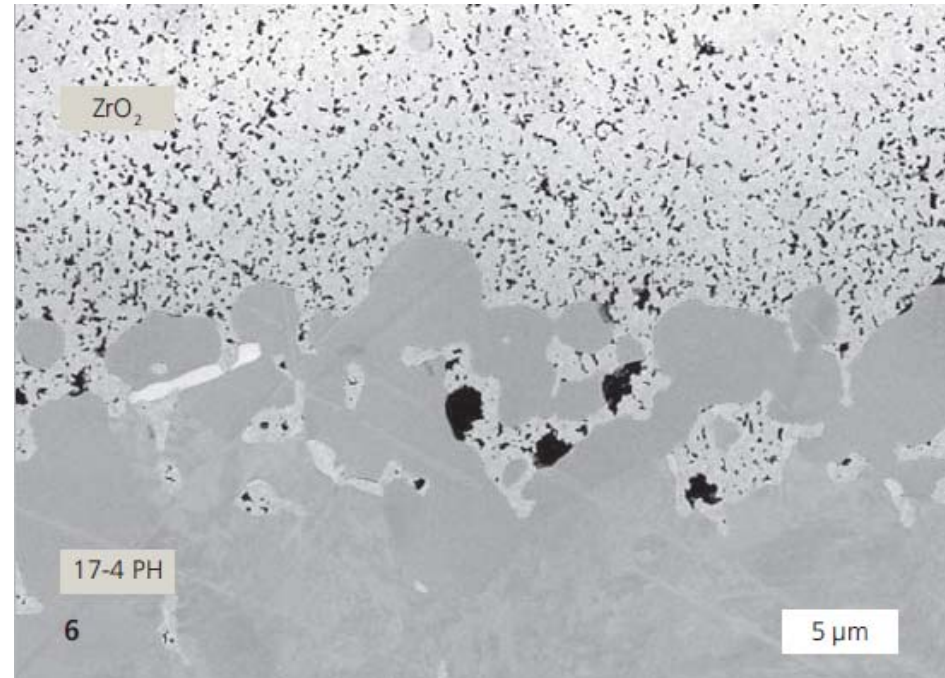
- Pièces poreuses après frittage
- Déformations des pièces
- Supports de fabrication requis (= cicatrices sur les objets)
- Performances mécaniques < attentes



Méthode par impression thermoplastique (FDM : Fused Deposition Modeling)



Pièce frittée en zircone*



Exemple de matériau à gradient produit
par FDM (bottom : acier inox, top :
zircone)*

* Source : Fraunhofer IKTS



Méthode par impression thermoplastique (FDM : Fused Deposition Modeling)



Pièce frittée en zircone*



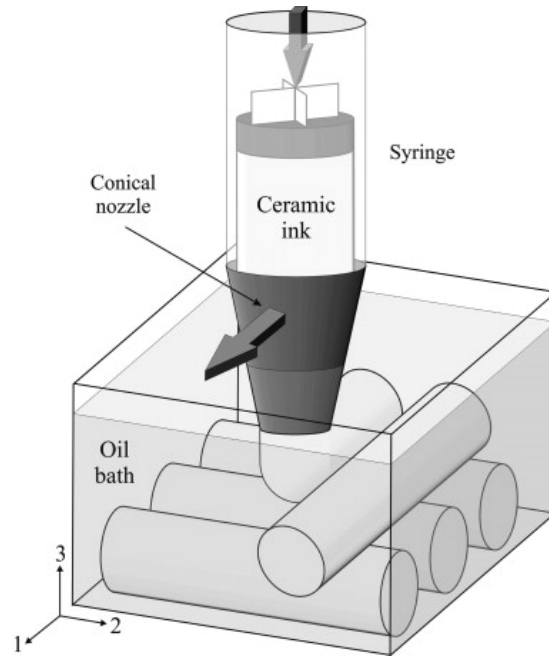
**Technologie disponible
prochainement au
CRIBC**

Exemple de matériau à gradient produit
par FDM (bottom : acier inox, top :
zircone)*

* Source : Fraunhofer IKTS



Methode par extrusion directe (Robocasting)



Principe:

Une pâte céramique est extrudée au travers un orifice calibré (via un piston, une seringue, une valve de dosage...) pour produire un cordon. L'objet est constitué progressivement par l'empilement de ces cordons de manière analogue au FDM.

L'objet fabriqué doit subir un traitement thermique (déliantage/frittage) pour atteindre ses propriétés finales.

Avantages

- Compatible toute matière céramique
- Relativement rapide et peu onéreux
- Compatible multi-matières
- Pièces relativement denses après frittage
- Bonnes performances mécaniques

Limitations

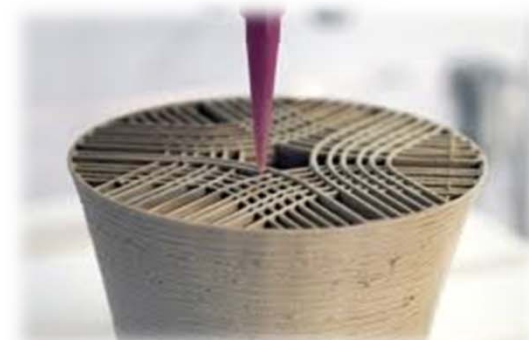
- Etats de surface grossiers
- Possible déformation des pièces
- Supports de fabrication requis (= cicatrices sur les objets)
- Essentiellement utilisée pour la fabrication de scaffolds et de filtres



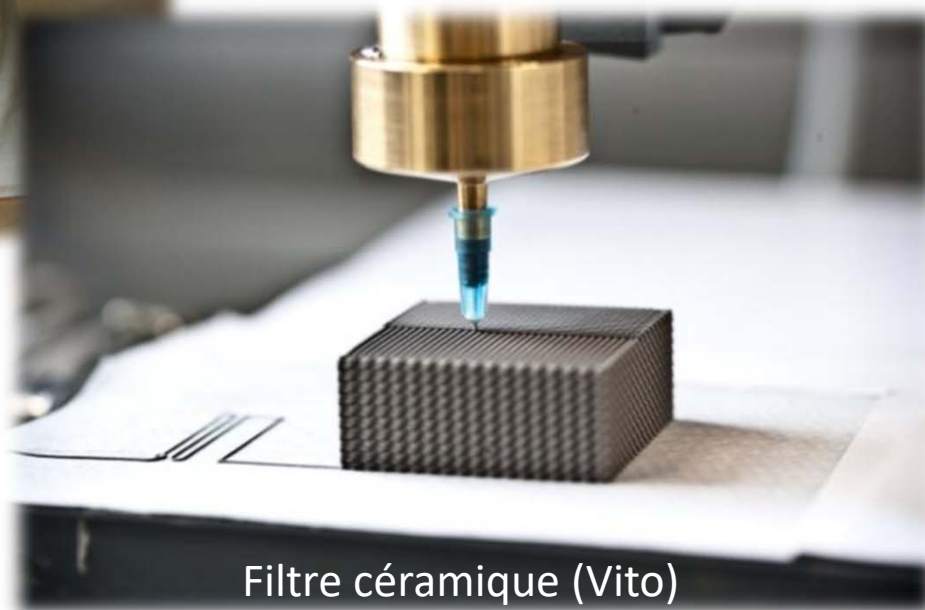
Methode par extrusion directe (Robocasting)



Pièce crue en porcelaine (WASP)



Structure en argile (Unfold)



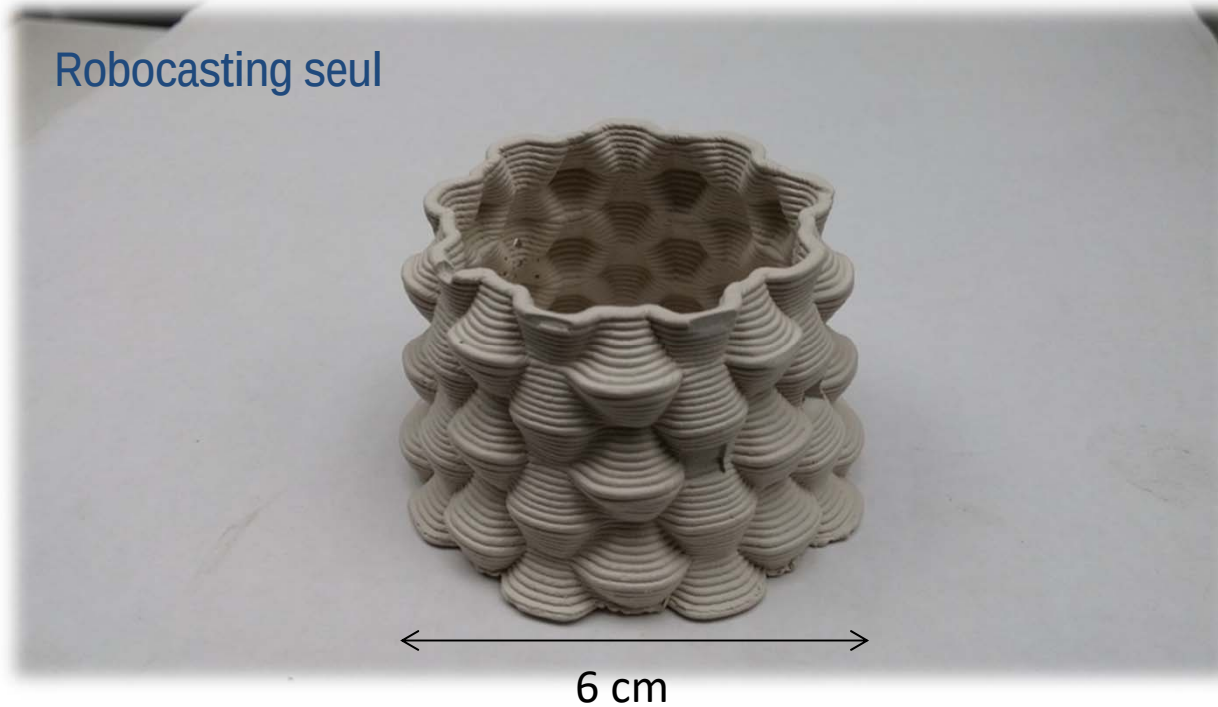
Filtre céramique (Vito)



Methode par extrusion directe (Robocasting)

Robocasting + post-usinage

Robocasting seul



Diamètre des cordons extrudés : approx. 1 mm

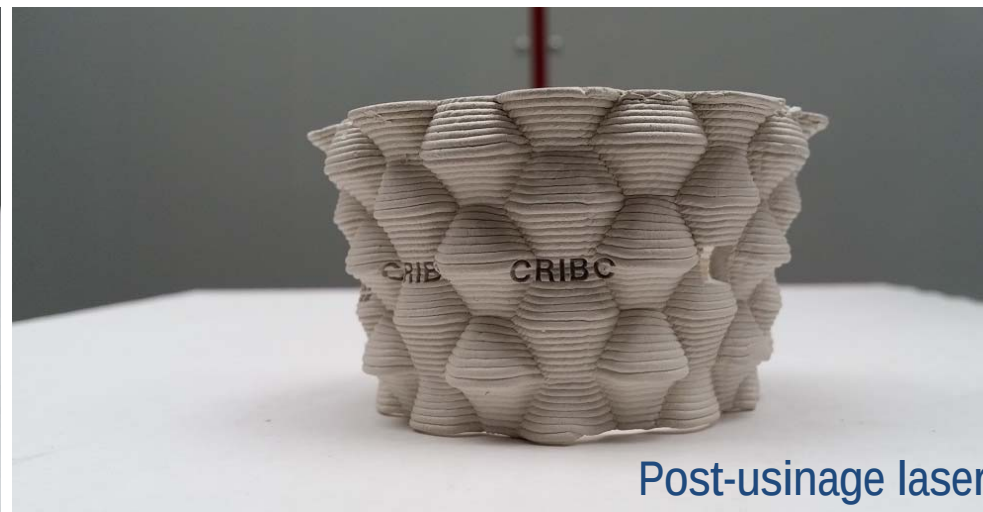
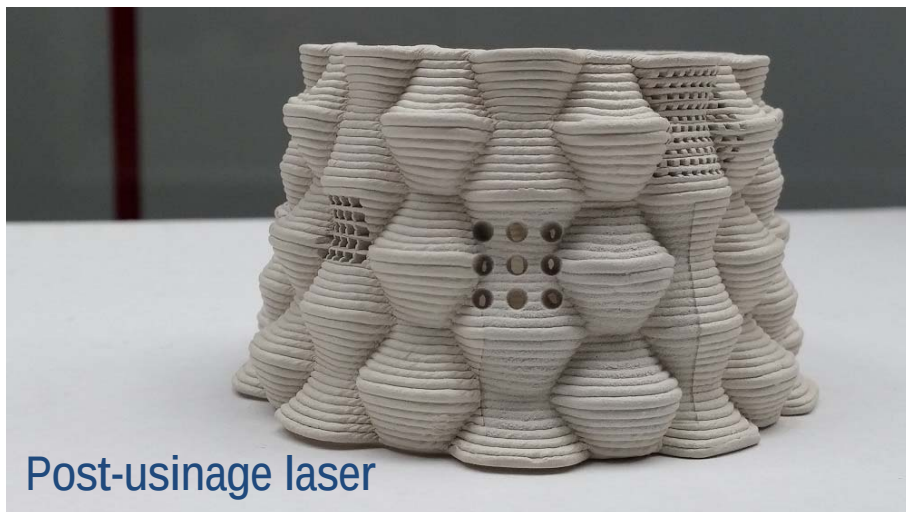
=

Mise en forme rapide et productive mais résolution très limitée



Methode par extrusion directe (Robocasting)

Robocasting + post-usinage





Méthode par projection de matière au goutte par goutte



Principe:

Des granules chargées en céramique alimente une buse d'éjection contrôlée par un piézoélectrique. L'objet est constitué progressivement par l'extrusion de goutelettes.

L'objet fabriqué doit subir un traitement thermique (déliantage/frittage) pour atteindre ses propriétés finales.

Avantages

- Large choix de propriétés matières (souple, transparent, couleur,...)
- Solutions multimatériaux
- Bon niveau de précision
- Excellent état de surface

Limitations

- Performances mécaniques et thermiques limitées
- Post traitement
- Coût des résines
- Supports de fabrication requis (= cicatrices sur les objets)

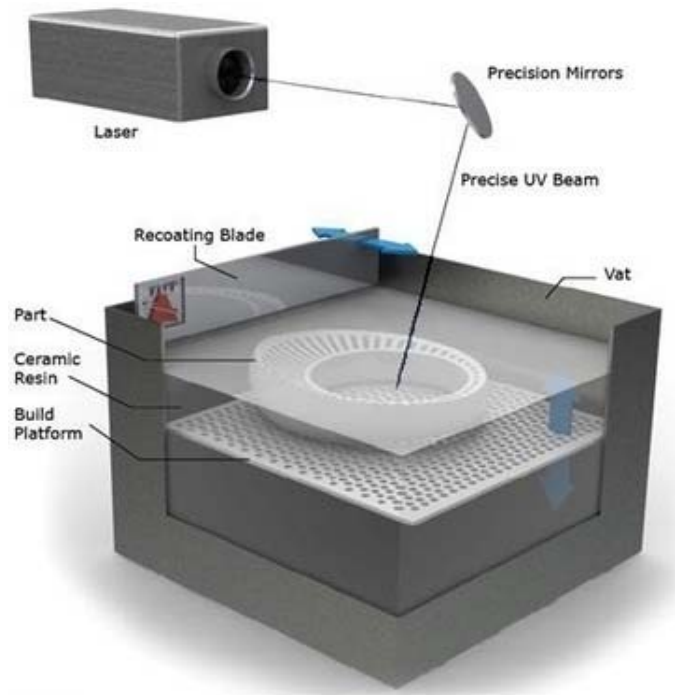


Méthode par projection de matière au goutte par goutte





Methode stéréolithographique (SLA : StereoLithography Apparatus)



Principe:

Chaque couche de l'objet est obtenue par irradiation contrôlée (laser UV ou DLP) d'une résine photopolymérisable chargée de poudre céramique.

L'objet fabriqué doit subir un traitement thermique (déliantage/frittage) pour atteindre ses propriétés finales.

Avantages

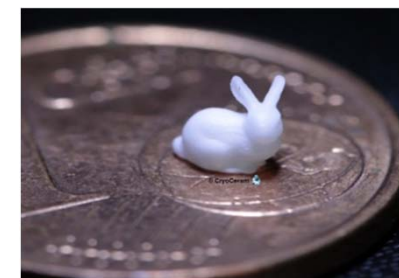
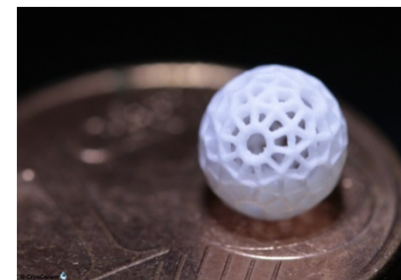
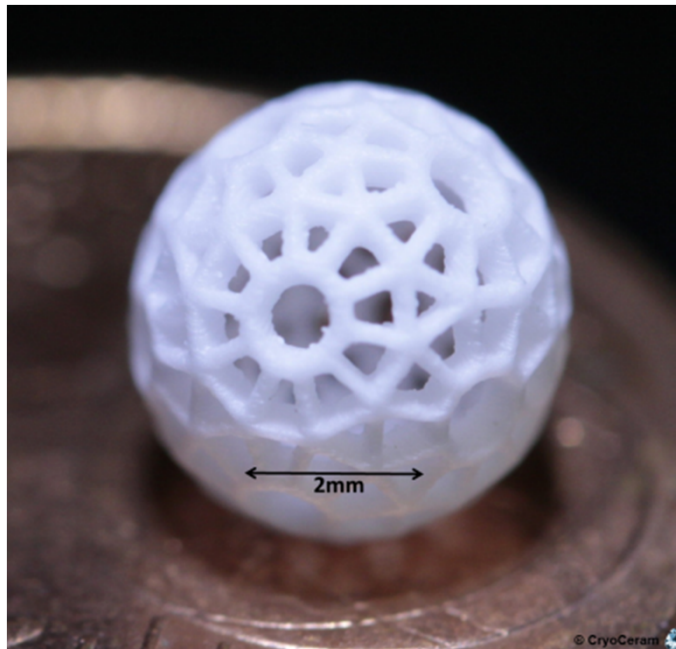
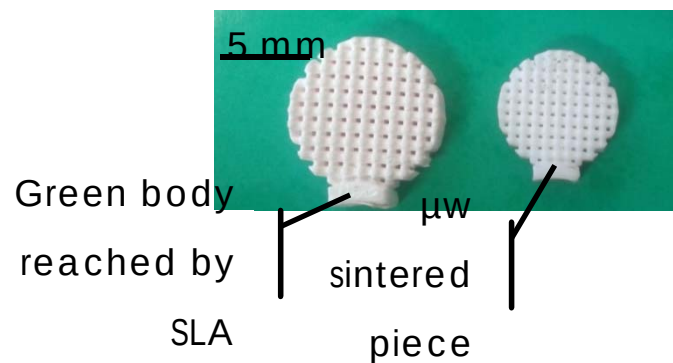
- Fini de surface excellent
- Géométries extrêmement complexes
- Convient idéalement pour des architectures "ouvertes"

Limitations

- Difficilement compatible avec nitrures et carbures.
- Déliantage problématique & microfissuration
- Pièces massives (épaisseur > 1cm) difficilement réalisables
- Performances mécaniques parfois < attentes



Methode stéréolithographique (SLA : StereoLithography Apparatus)





Methode stéréolithographique (SLA : StereoLithography Apparatus)



Admaflex 130

Marque : Admatec

Principe : Stéréolithographie céramique

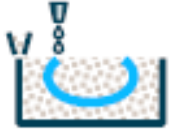
Volume de fabrication : 128x80x200 mm³

Matériaux : Alumine, zircone, ATZ, Silice fondue, Hydroxyapatite

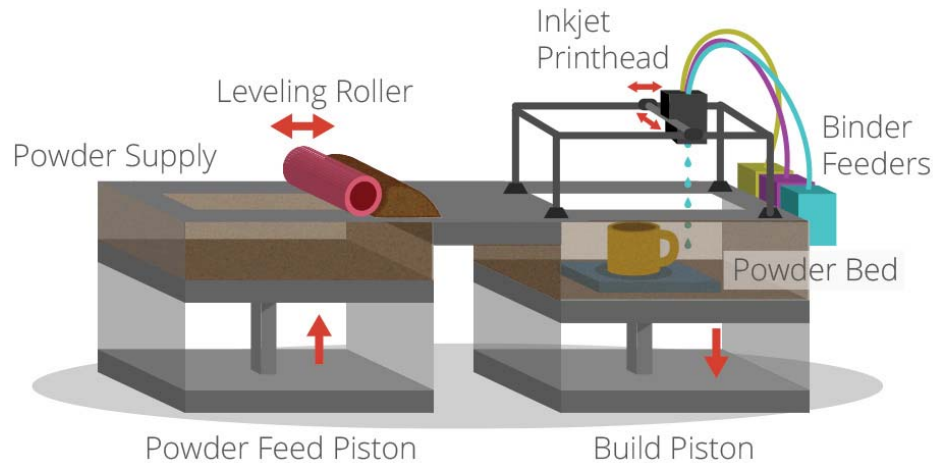


Methode stéréolithographique (SLA : StereoLithography Apparatus)





Methode par Impression 3D – Binder Jet (3DP : 3D printing)



Principe:

Chaque couche de l'objet est obtenue par consolidation sélective d'un lit de poudre grâce à une colle dispensée par un système jet d'encre.

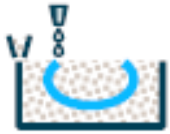
L'objet fabriqué doit subir un traitement thermique (déliantage/frittage) pour atteindre ses propriétés finales.

Avantages

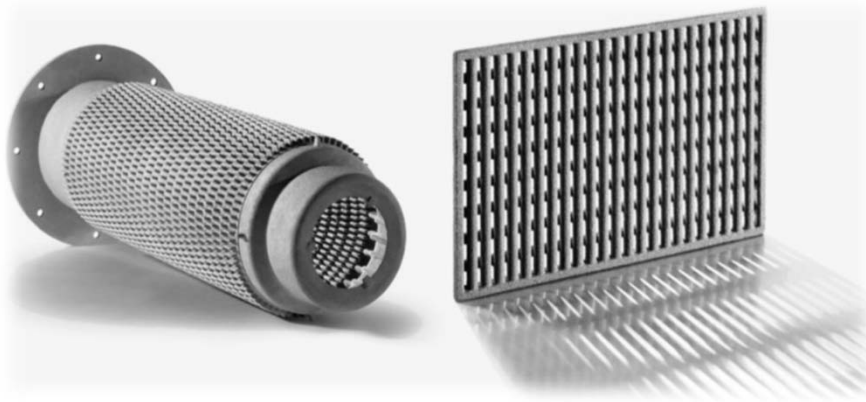
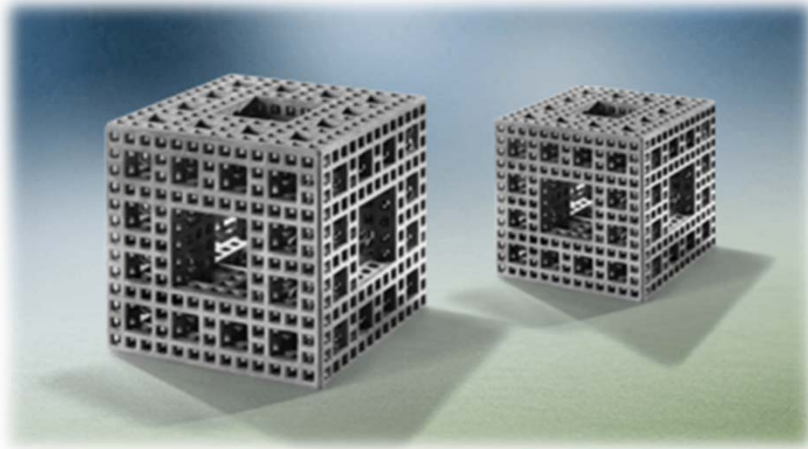
- Très rapide et peu onéreux
- Grandes pièces réalisables (> 1 m)
- Aucun support de fabrication n'est requis
- Compatible toute matière

Limitations

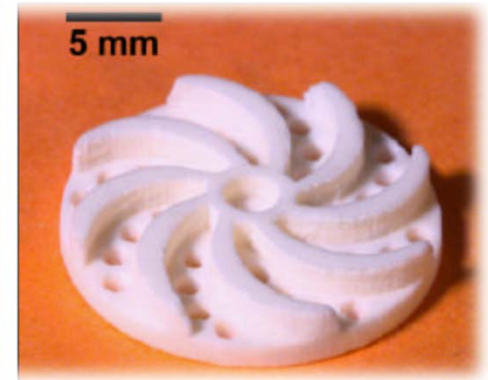
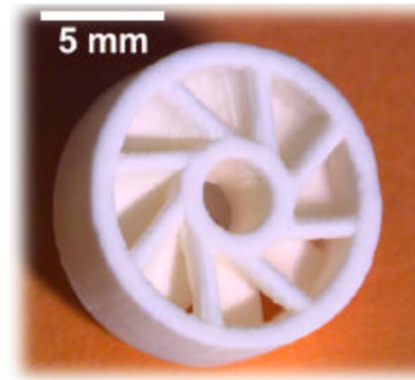
- Etats de surface très grossiers
- Pièces poreuses après traitement thermique
- Performances mécaniques << attentes.



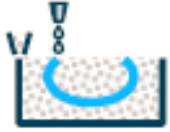
Methode par Impression 3D – Binder Jet (3DP : 3D printing)



Pièces en RBSic (Schunck)



Pièces en Alumine (Source : MIT)



Methode par Impression 3D – Binder Jet (3DP : 3D printing)

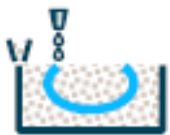
Binder Jet Hybride

Objectif : surmonter les limitations du binder jetting usuel (densité & états de surface)

Comment ? :

- Utilisation d'un système innovant de mise en couche (accroissement de la densité à cru et frittée des pièces)
- Utilisation d'un laser pour la reprise périphérique des couches imprimées et améliorer les états de surfaces finaux





Methode par Impression 3D – Binder Jet (3DP : 3D printing)

Binder Jet Hybride

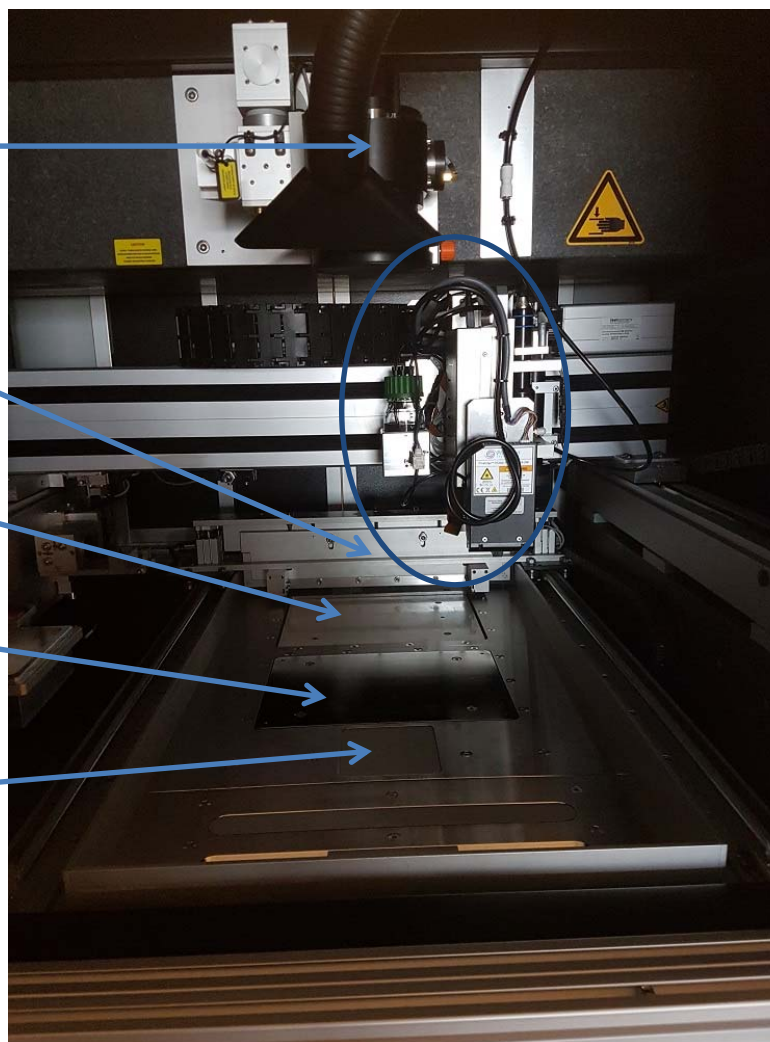
Tête laser
(frittage sélectif, usinage)

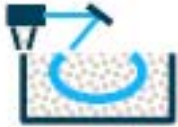
Racle mécanique

Bac d'alimentation en poudre
(20 cm x 29 cm)

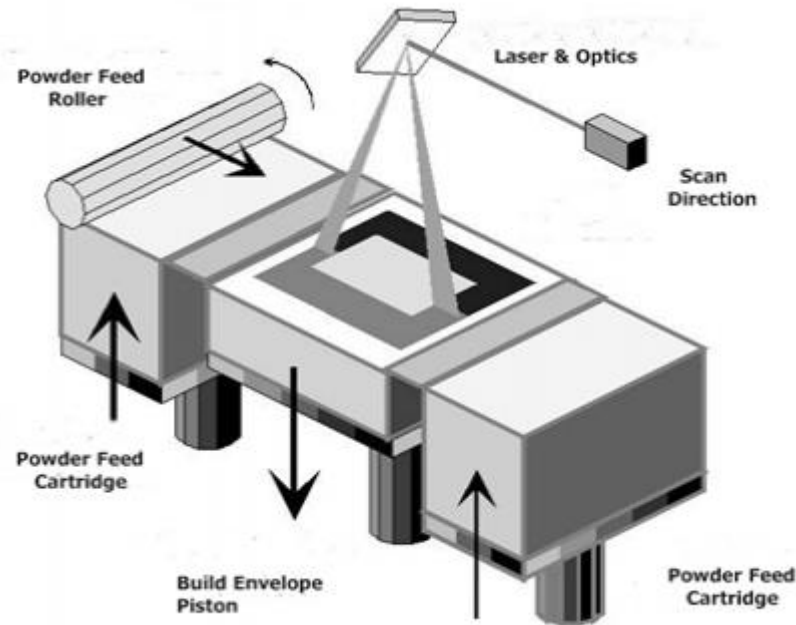
Grand bac de fabrication
(20 cm x 29 cm)

Petit bac de fabrication
(10 cm x 10 cm)





Methode par frittage/fusion laser (SLS/SLM: Selective Laser Sintering/Melting)



Principe:

Chaque couche de l'objet est obtenue par consolidation sélective d'un lit de poudre grâce à un laser de puissance qui assure sa fusion.

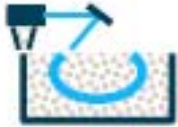
L'objet fabriqué ne doit théoriquement subir aucun traitement thermique complémentaire pour atteindre ses propriétés finales.

Avantages

- Approche directe
- Plus propre que les approches suspensions & pâtes
- Procédé plus robuste que les approches indirectes (peu de dérives de process)

Limitations

- Technologie onéreuse
- Etats de surface rugueux
- Pièces poreuses et microfissurées après fabrication (choc thermique)
- Supports de fabrication requis
- Performances mécaniques <<< attentes.

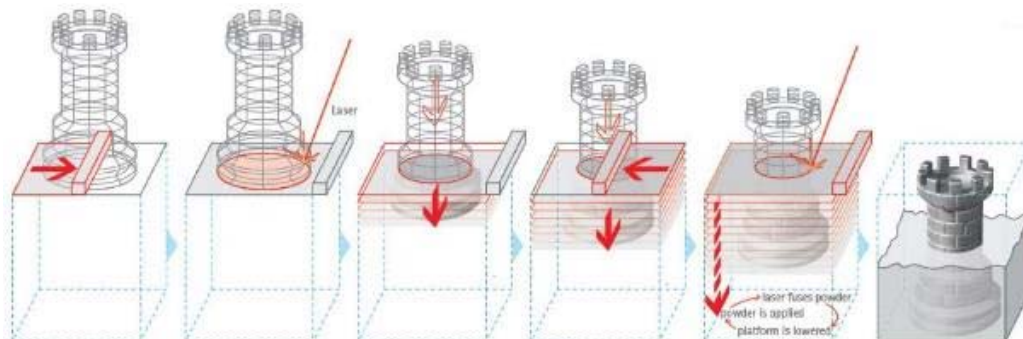


Methode par frittage/fusion laser (SLS/SLM: Selective Laser Sintering/Melting)



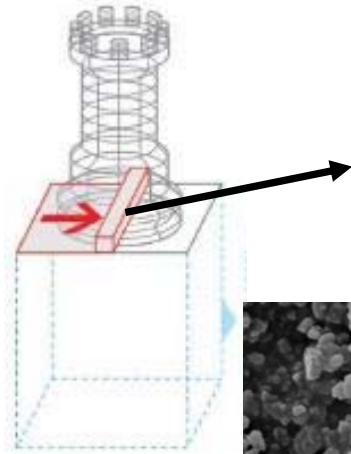
Renishaw AM 125

- Puissance max laser = 200 W (cw)
- Longueur d'onde Laser = 1070 nm
- Taille du spot = 35 à 200 μm
- Volume de fabrication = 125 x 125 x 125 mm
- Epaisseur min couche = 10 μm
- Vitesse de construction = 2 à 10 cm^3/h

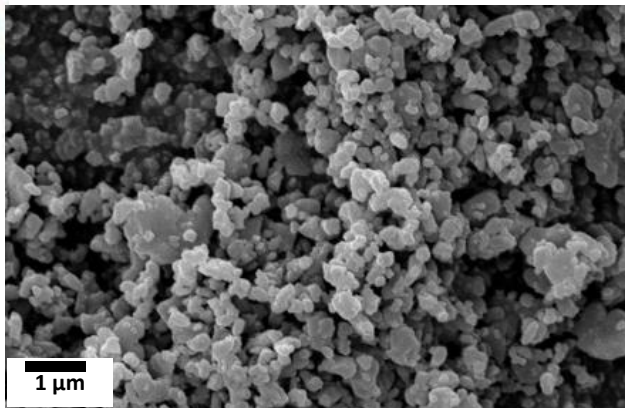




Methode par frittage/fusion laser (SLS/SLM: Selective Laser Sintering/Melting)

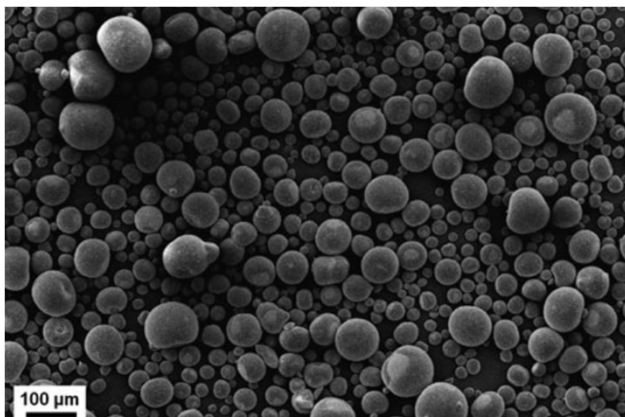


Matière première : Poudre adaptée
Nécessité d'avoir un lit de poudre homogène



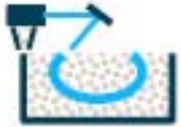
$d_{10} : 1,04 \mu\text{m}$
 $d_{50} : 1,96 \mu\text{m}$
 $d_{90} : 3,63 \mu\text{m}$

Coulabilité de la poudre :
Mauvaise



$d_{10} : 28 \mu\text{m}$
 $d_{50} : 55 \mu\text{m}$
 $d_{90} : 98 \mu\text{m}$

Coulabilité de la poudre :
OK

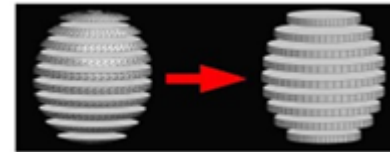


Methode par frittage/fusion laser (SLS/SLM: Selective Laser Sintering/Melting)

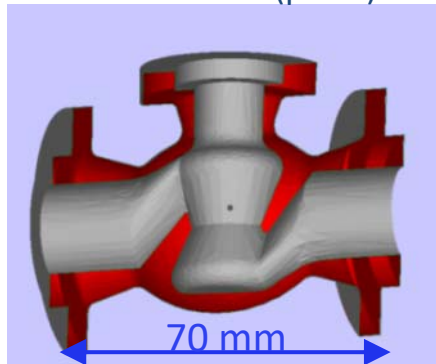
CAO : Préparation des fichiers

Préparation des fichiers

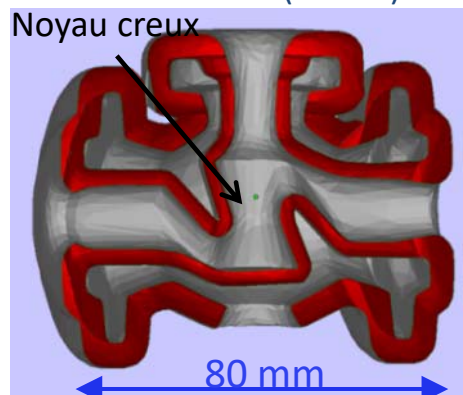
Correction fichiers, orientation,
placement pièces, support, tranchage



Modèle CAD (pièce)



Modèle CAD (moule)



Orientation



- Repérer et éliminer les “points faibles” lors de la construction
- Optimisation du temps de construction
- Optimisation du volume de construction

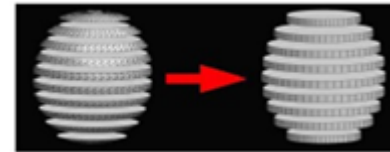


Methode par frittage/fusion laser (SLS/SLM: Selective Laser Sintering/Melting)

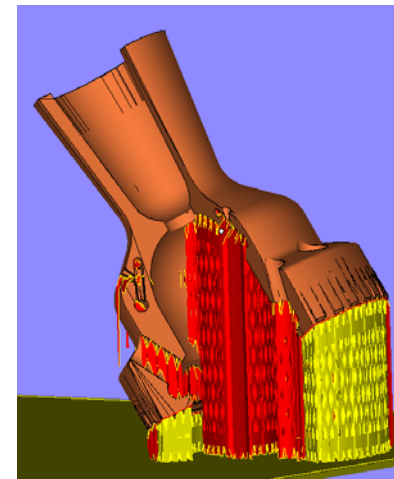
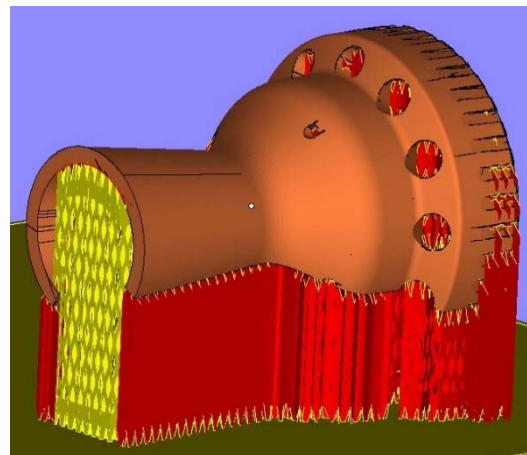
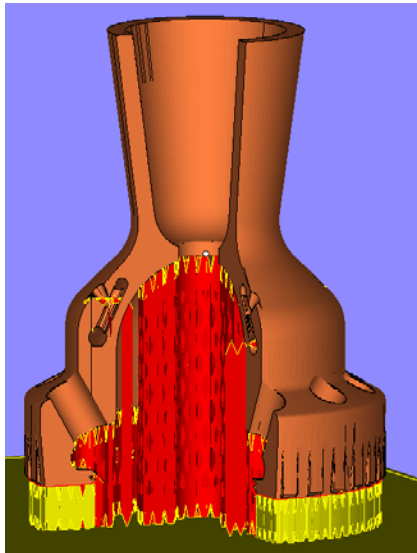
CAO : Préparation des fichiers

Préparation des fichiers

Correction fichiers, orientation,
placement pièces, support, tranchage



Supports de fabrication



Attention aux “cicatrices” → minimiser et optimiser les supports

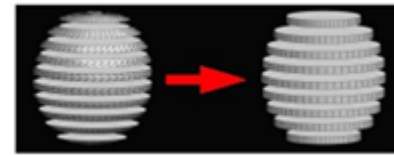


Methode par frittage/fusion laser (SLS/SLM: Selective Laser Sintering/Melting)

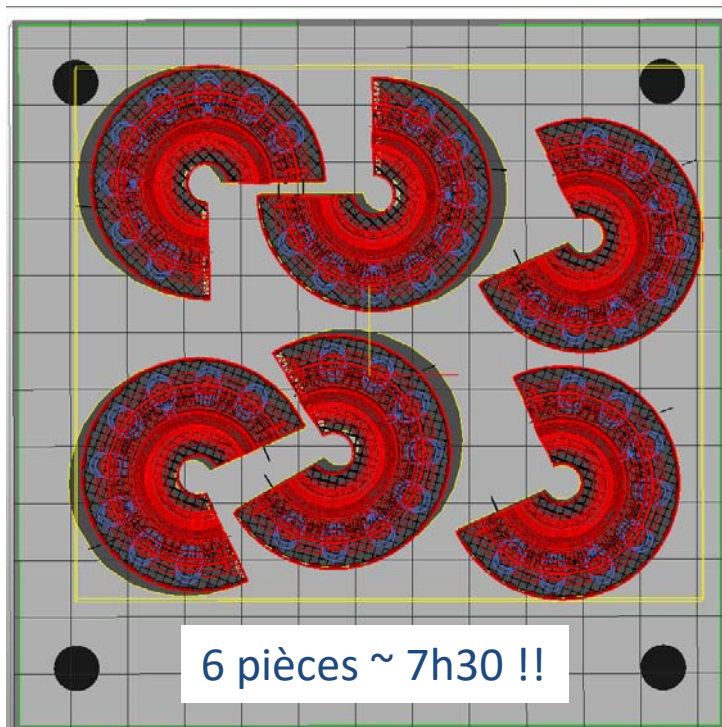
CAO : Préparation des fichiers

Préparation des fichiers

Correction fichiers, orientation,
placement pièces, support, tranchage



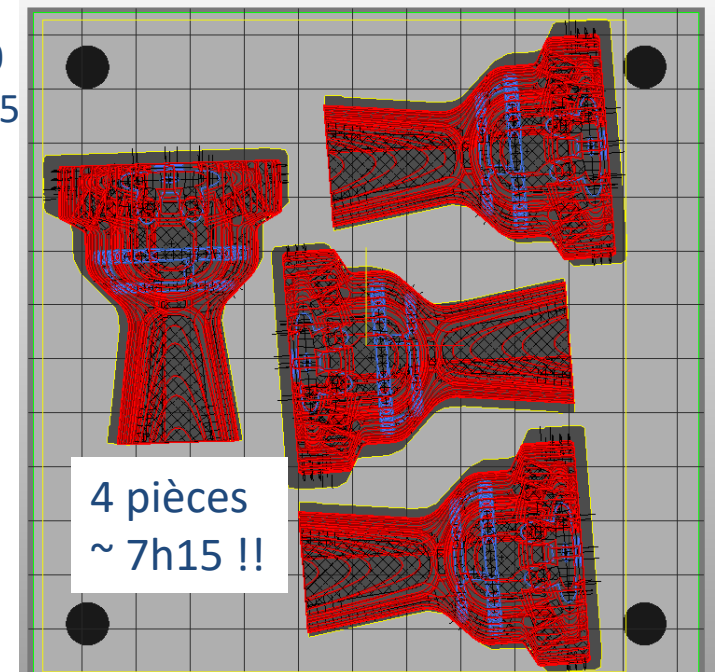
Placement des pièces – Optimisation du temps de fabrication



6 pièces ~ 7h30 !!

1 pièce ~ 2h40
2 pièces ~ 4h15

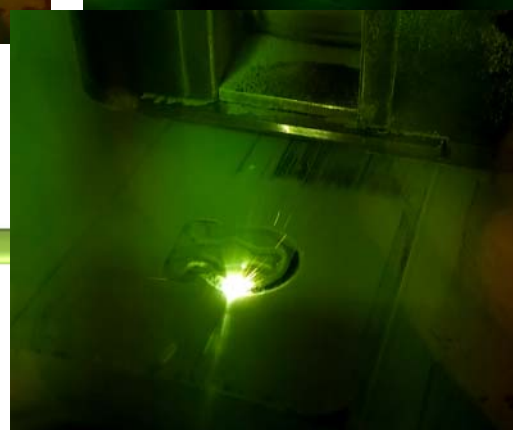
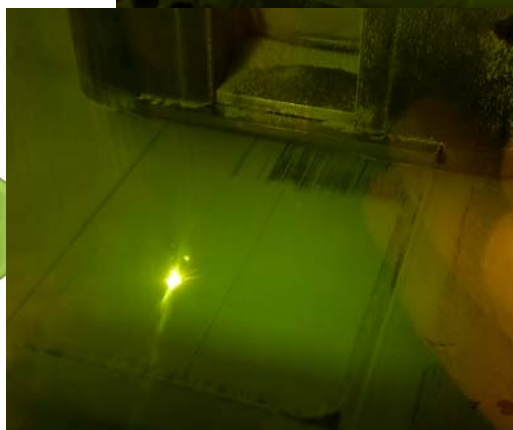
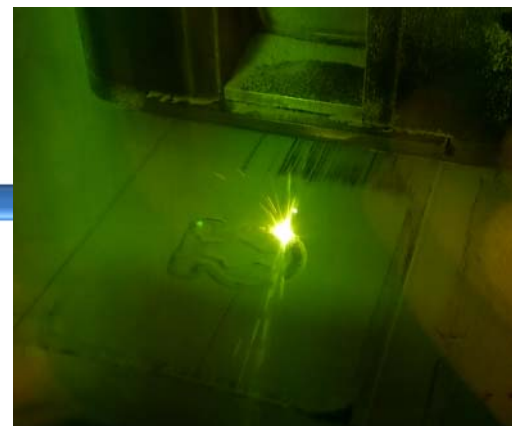
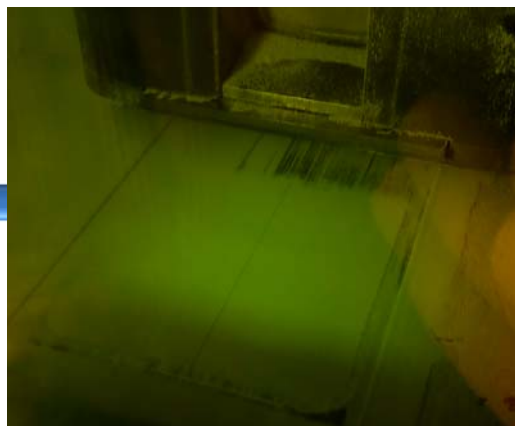
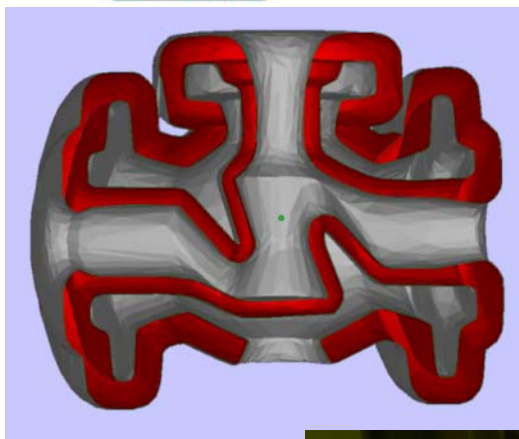
1 pièce ~ 2h30
2 pièces ~ 3h30
...
4 pièces ~ 5h30



4 pièces
~ 7h15 !!



Methode par frittage/fusion laser (SLS/SLM: Selective Laser Sintering/Melting)

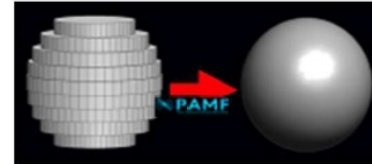




Methode par frittage/fusion laser (SLS/SLM: Selective Laser Sintering/Melting)

Finitions

Nettoyage, enlèvement des supports,
sablage, usinage,...



- Séparation de la poudre non irradiée par le laser
- Séparation des pièces fabriquées du plateau support
- Elimination des supports de fabrication
- Post-traitement, polissage, ...



Pièces en Alumine (CRIBC)



Pièces en SiC (CRIBC)

Merci de votre attention Questions?

F. Petit

Belgian Ceramic Research Centre

f.petit@bcrc.be



Avec le soutien du Fonds Européen de Développement Régional



Laboratoire des Matériaux Céramiques et Procédés Associés

Fabrication et densification de Matériaux céramiques mise en forme par technique additive

Jean-Christophe HORNEZ

M. Dehurtevent, L. Robberecht, S. Chamary, H. Curto, F. Jean, A. Leriche,
A. Thuault, F. Chai, P. Béhin, F. Monteiro, E. Meurice, F. Bouchart.



Histoire de la stéréolithographie (SLA)

La première version de cette technologie de fabrication additive est apparue dès les années 1970 avec les travaux du chercheur japonais Dr Hideo Kodama. Ce dernier inventa **une technique d'impression par couches en utilisant la lumière ultraviolette** pour durcir les polymères photosensibles.

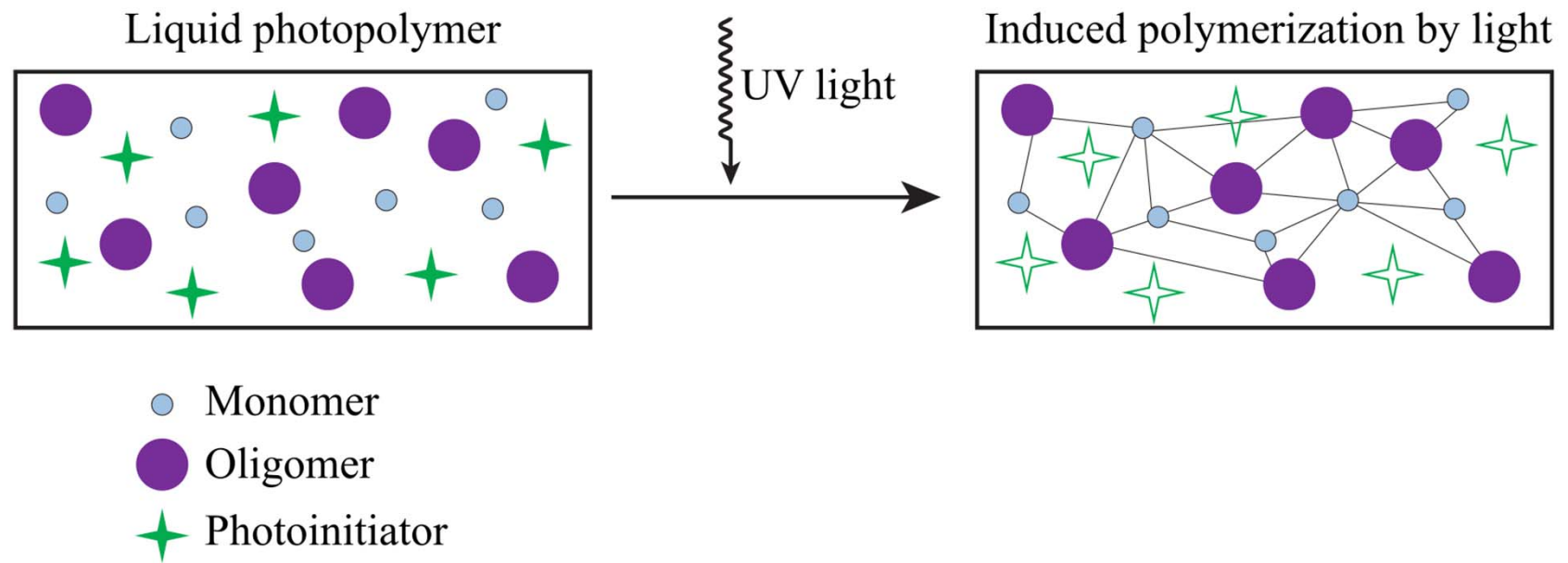
Le terme “stereolithography” a été développé en 1986 par Chuck Hull lorsqu’il a breveté le processus. La même année Hull fonda la première entreprise d'impression 3D, **3D Systems Inc** pour assurer la commercialisation de son brevet.



Chuck Hull

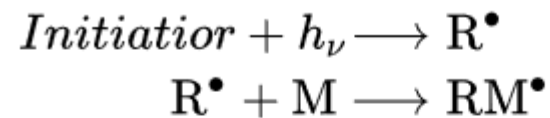
Hull définit la **stéréolithographie** comme une méthode de **création d'objets en 3D par impression successives** de couches minces, en utilisant une matière durcissable au contact de lumière ultraviolette. Un faisceau concentré de lumière ultraviolette est appliqué sur la surface du photopolymère liquide pour sécher et durcir les prototypes

SLA printing technique

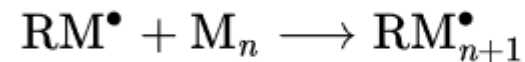


SLA printing technique

Initiation

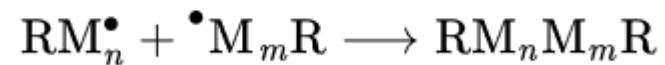


Propagation

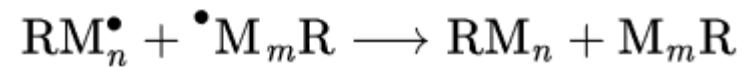


Termination

combination

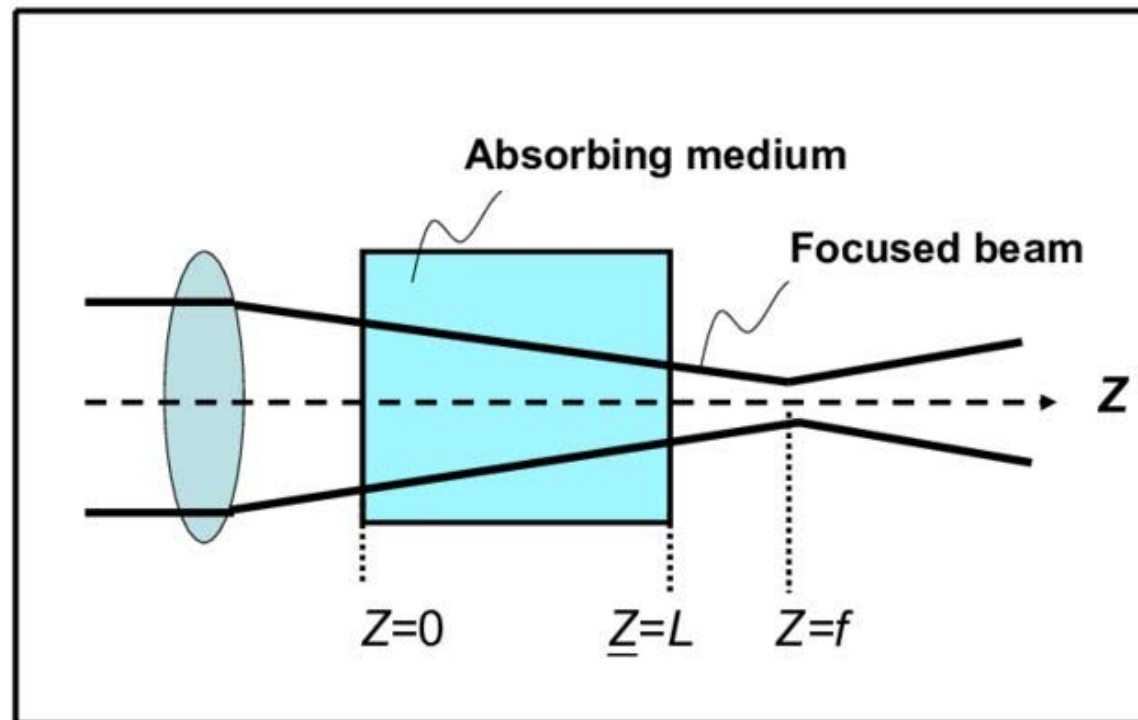


disproportionation



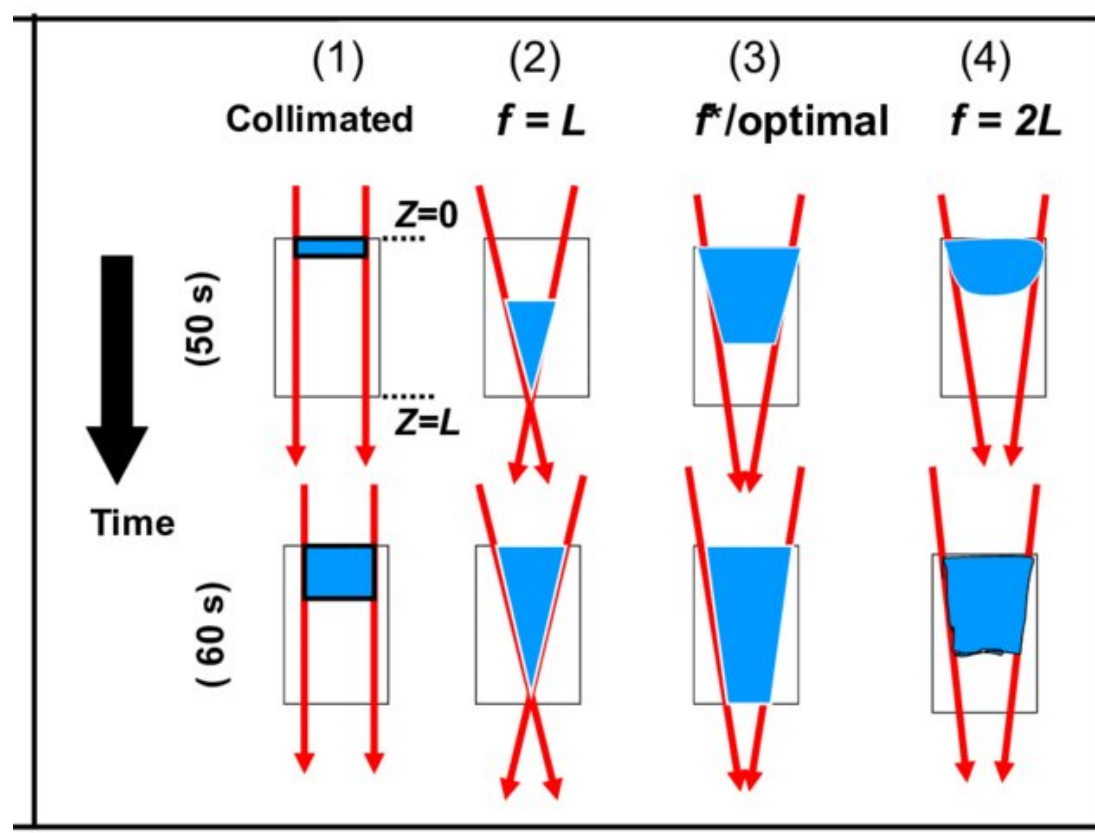
SLA printing technique

UV laser photo-polymerization (focused beam)



Jui-Teng Lin Da-chuan Cheng Da-chuan Cheng :
Optimal Focusing and Scaling Law for Uniform Photo-Polymerization in a Thick Medium Using a Focused UV Laser

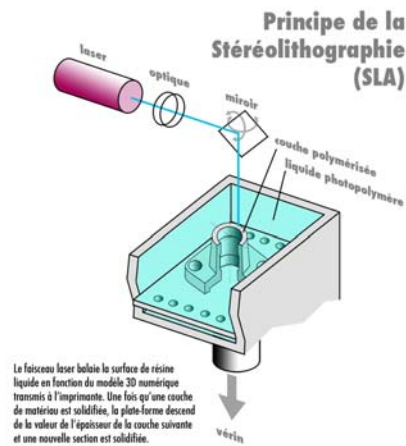
SLA printing technique



Jui-Teng Lin Da-chuan Cheng Da-chuan Cheng :
Optimal Focusing and Scaling Law for Uniform Photo-Polymerization in a Thick Medium Using a Focused UV Laser

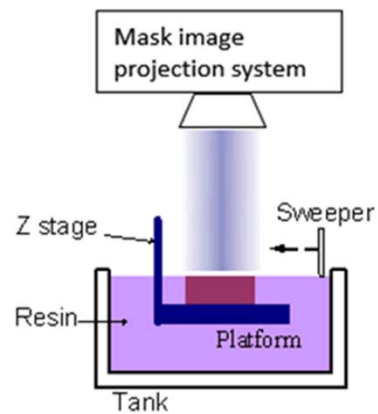
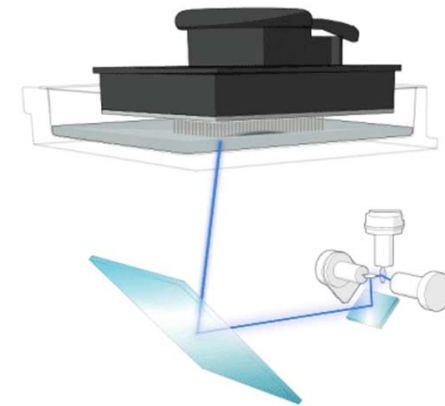
Laboratoire des Matériaux Céramiques et Procédés Associés

Technique d'impression par SLA

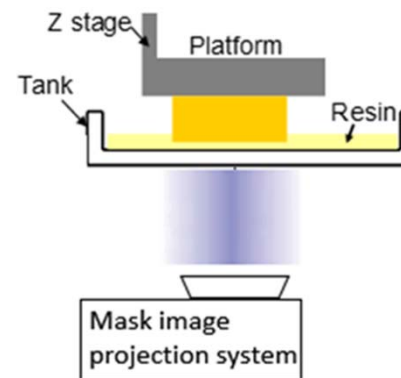


← LASER →

Masque
dynamique



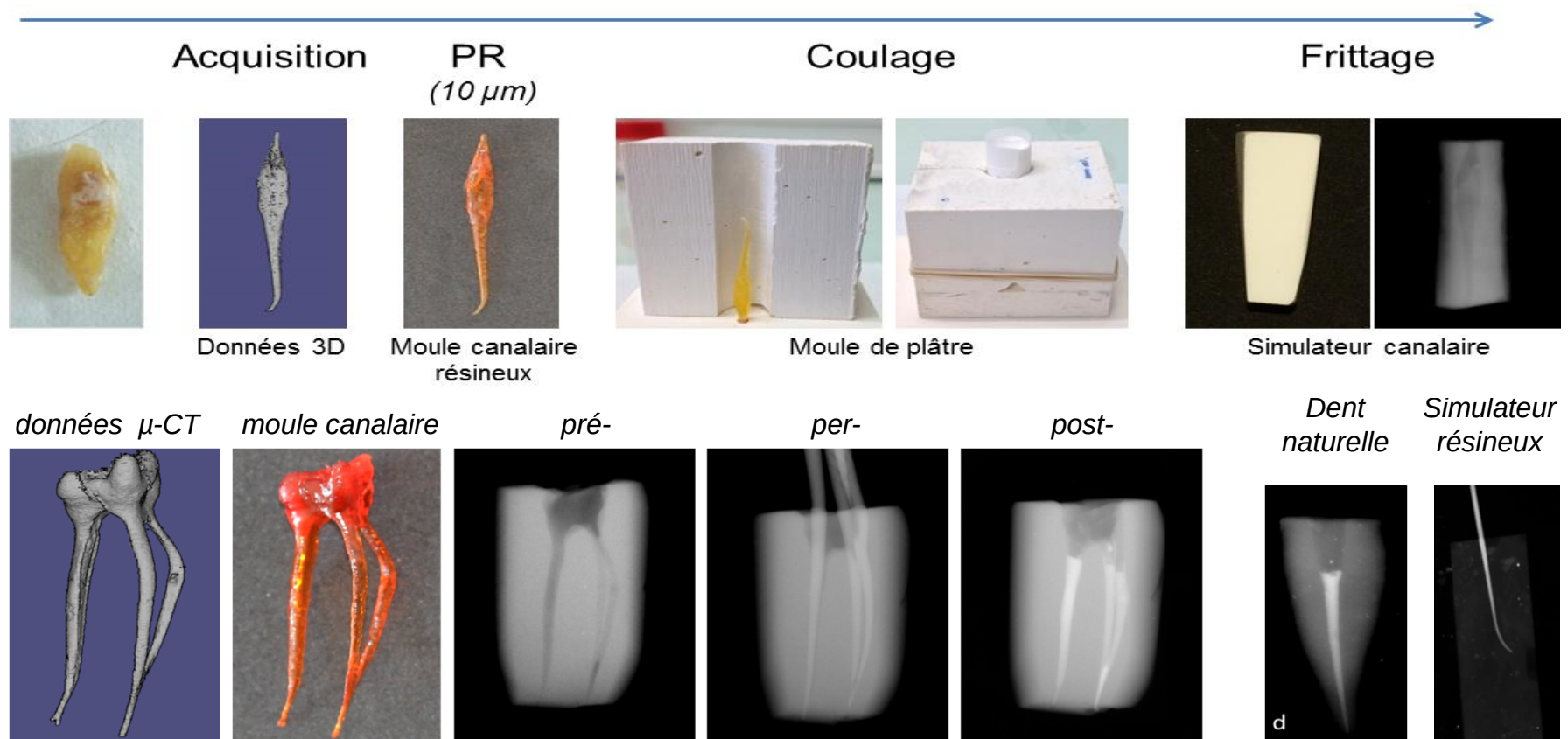
(a)



(b)

Laboratoire des Matériaux Céramiques et Procédés Associés

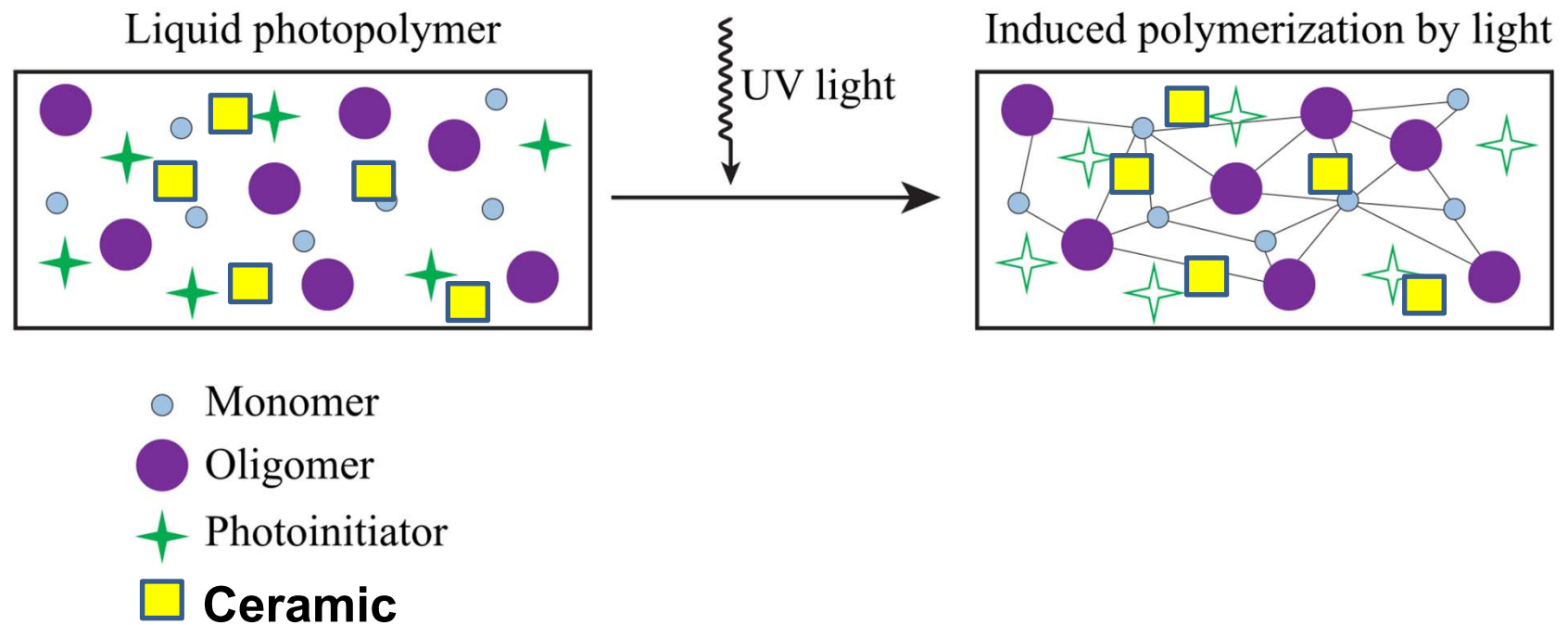
Mise en forme de céramique en utilisant un négatif organique



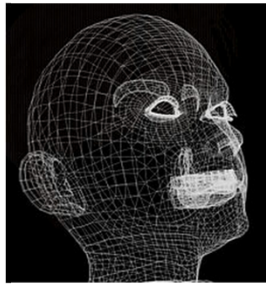
Simulateur reproductible et fidèle à la géométrie initiale

Radio-opacité proche de la dent naturelle

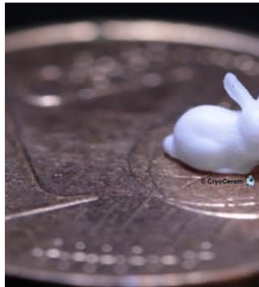
SLA printing technique



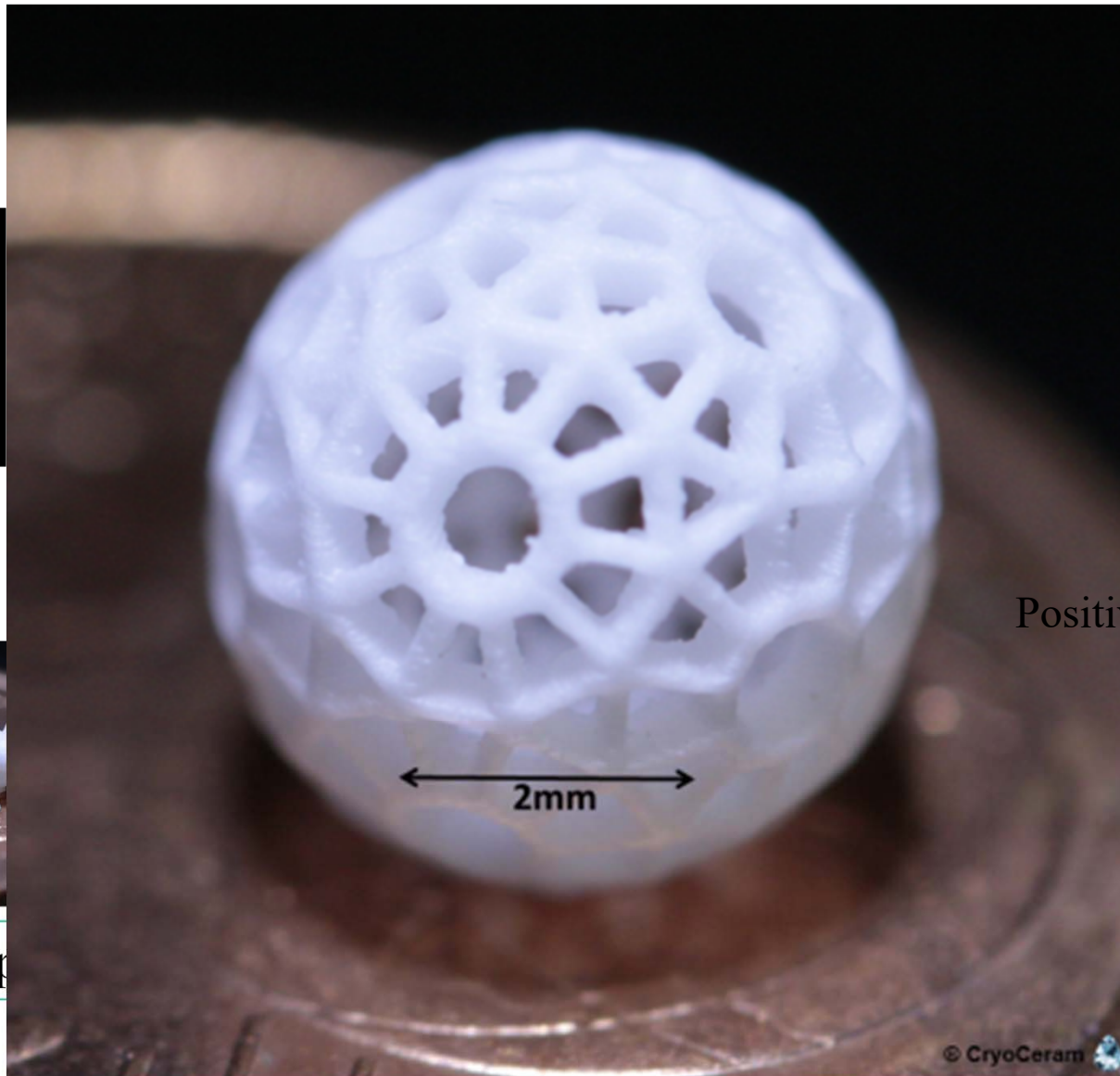
3D printing process (50 μ m)



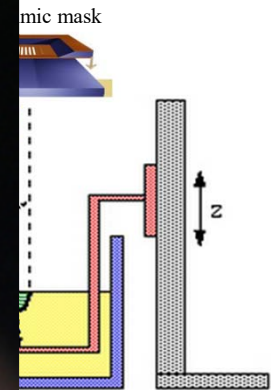
CAO



Hydroxyap



m

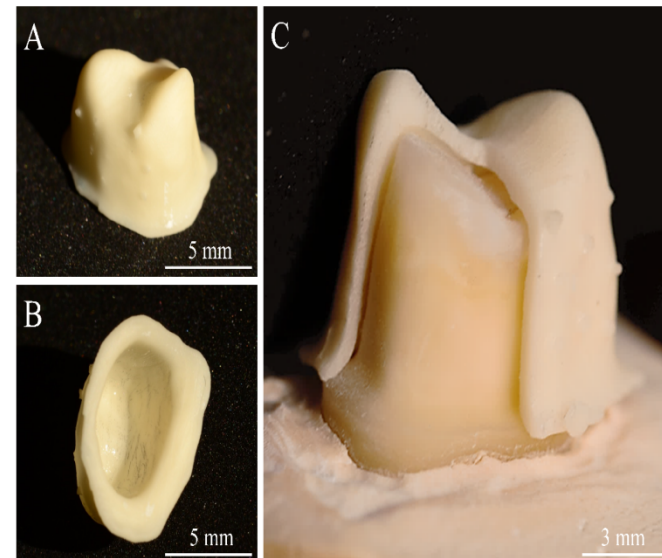
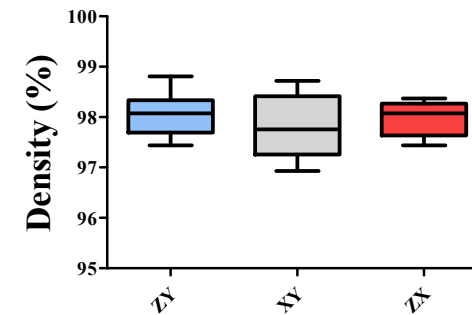
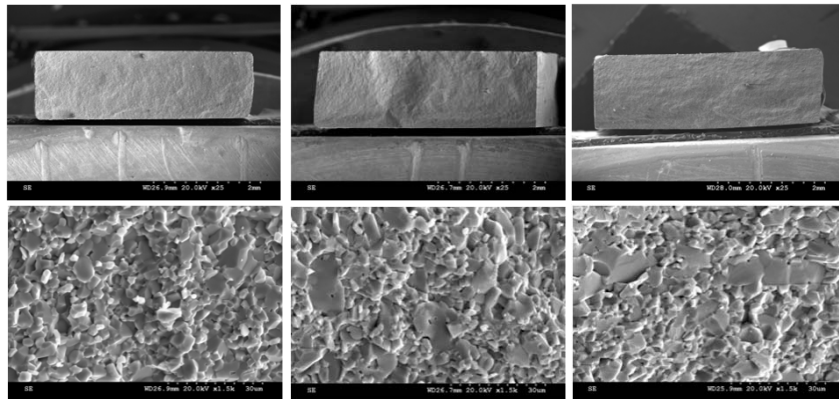
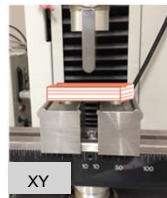
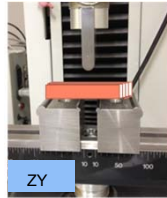
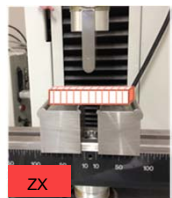
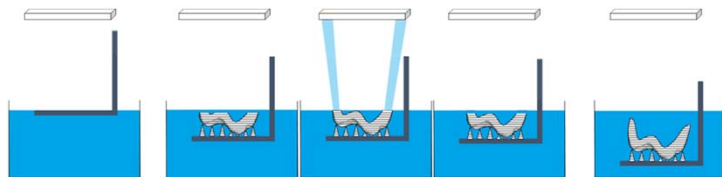


Positive channel

© CryoCeram

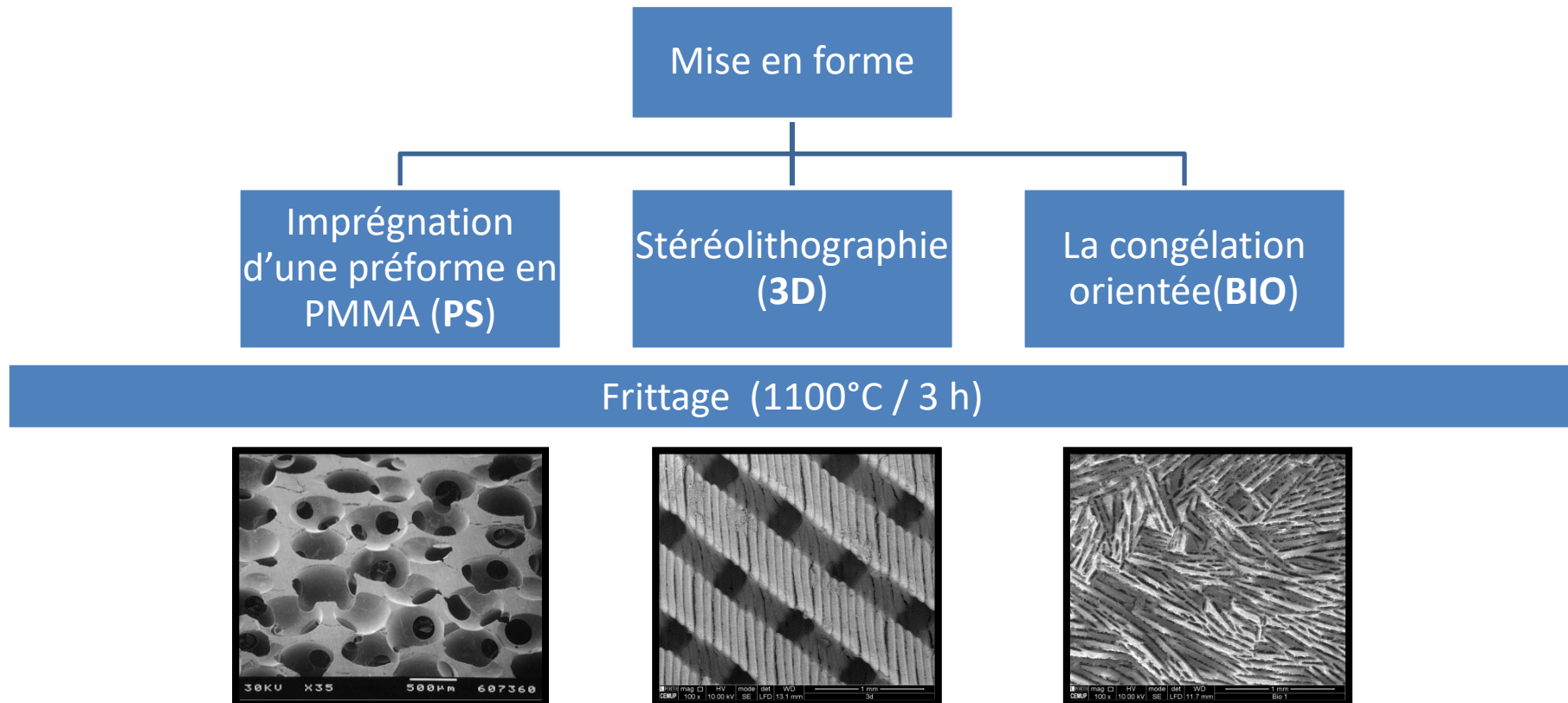


Mise en forme d'alumine (Al_2O_3) par impression 3D



Laboratoire des Matériaux Céramiques et Procédés Associés

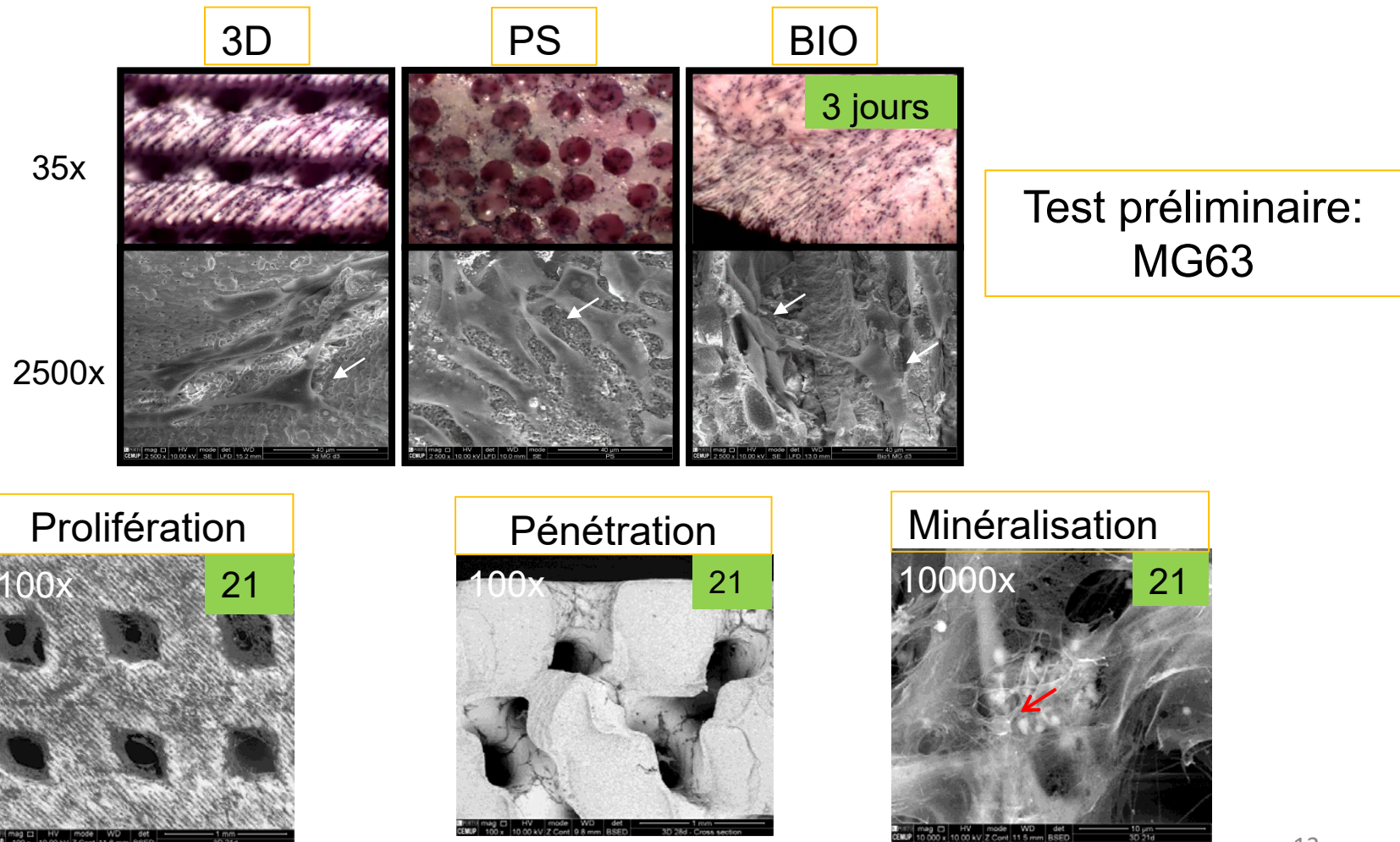
Etude des liens entre une architecture poreuse de TCP et la recolonisation cellulaire





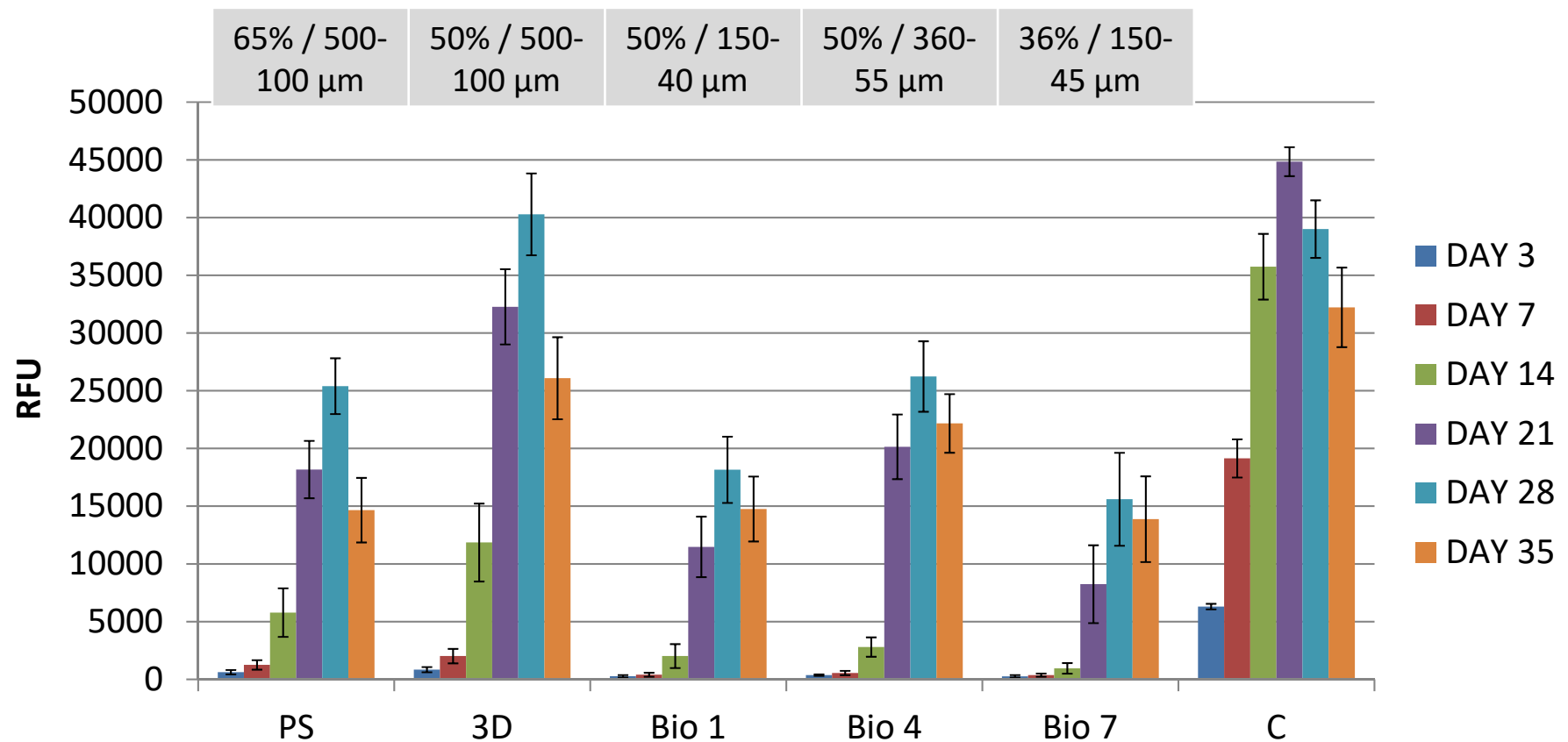
Laboratoire des Matériaux Céramiques et Procédés Associés

Etude des liens entre une architecture poreuse de TCP et la recolonisation cellulaire

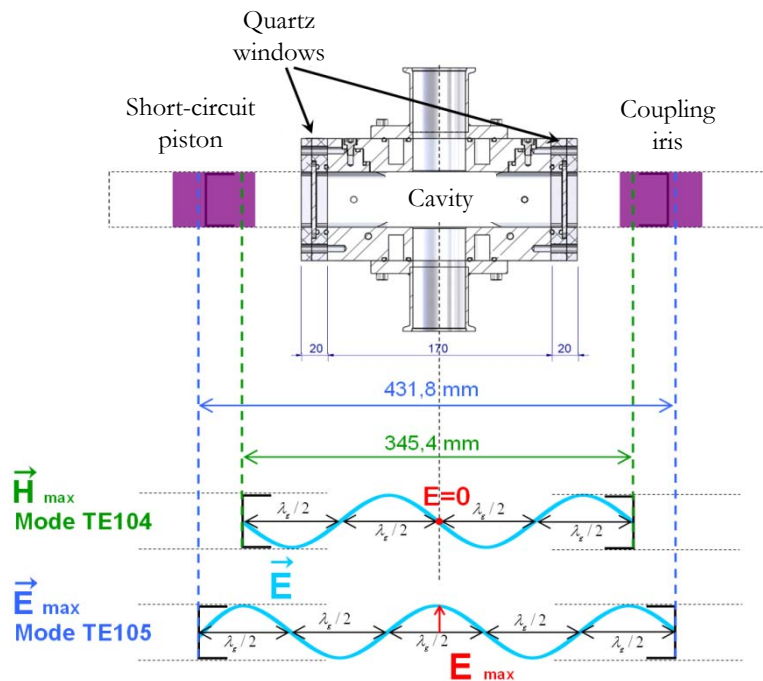




Evaluation de la prolifération cellulaire de Cellules souches mésenchymateuses humaines



Frittage micro-ondes de céramiques



- ✓ Vitesse de chauffe rapide (plus de 200°C/mn)
- ✓ Traitement thermique court
- ✓ Consommation énergétique faible (100-400W)
- ✓ Délantage et frittage en une seule étape



2.45GHz Single mode resonant-cavity



Green body
reached by SLA

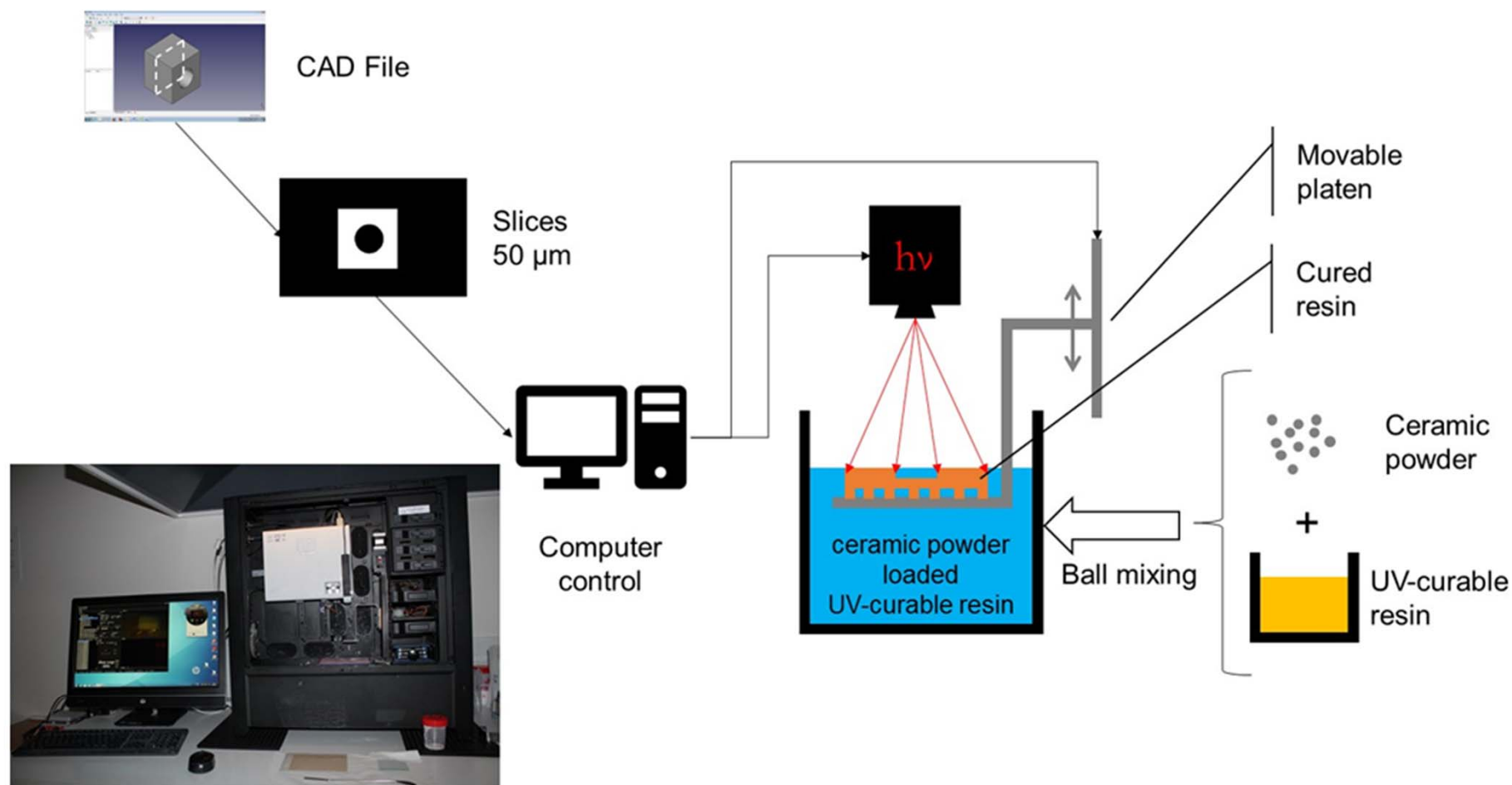
μw sintered
piece

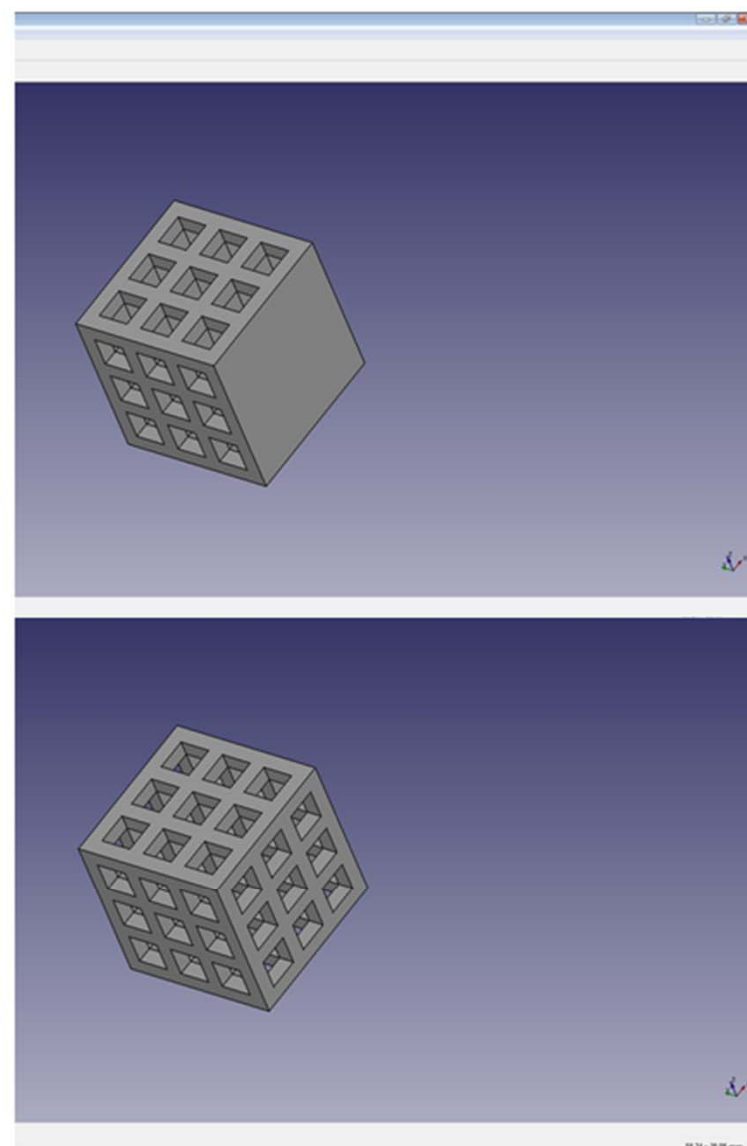
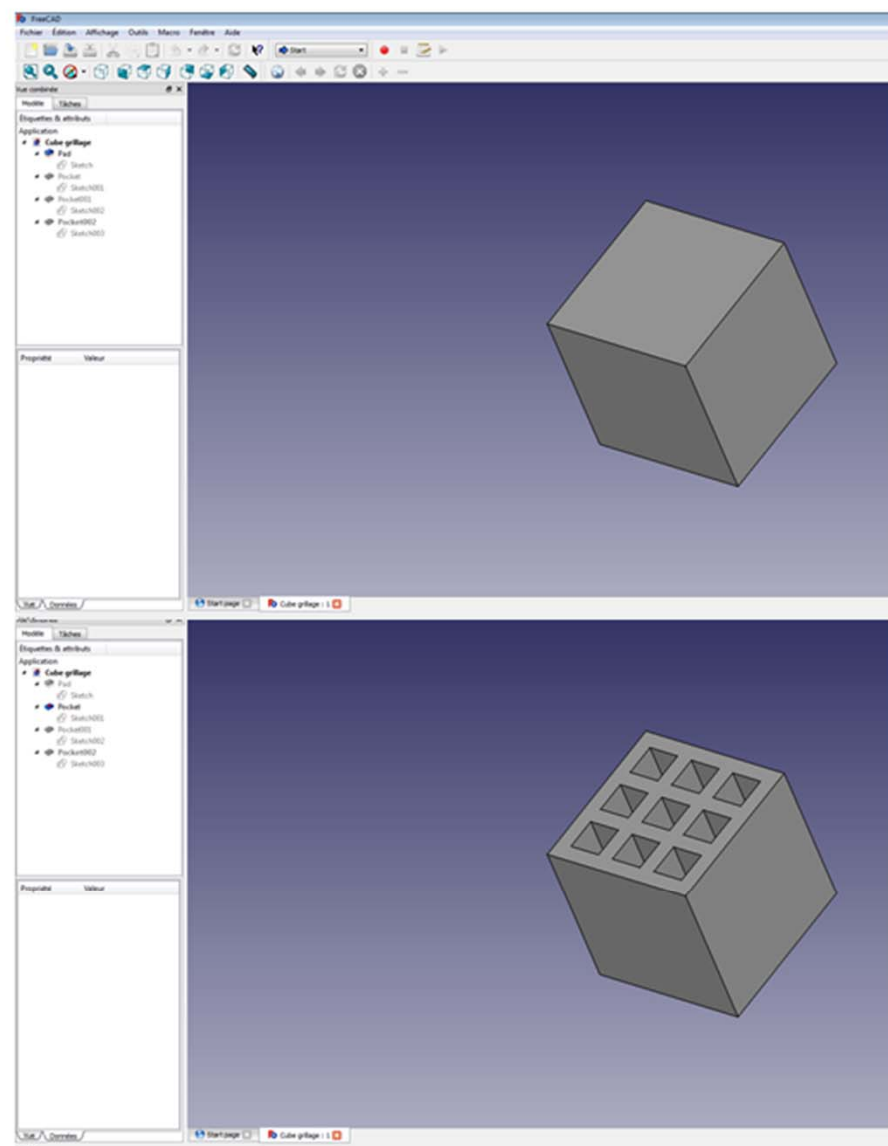
- ✓ Densité des parois : 98.2%

Impression 3D par stéréolithographie (SLA)

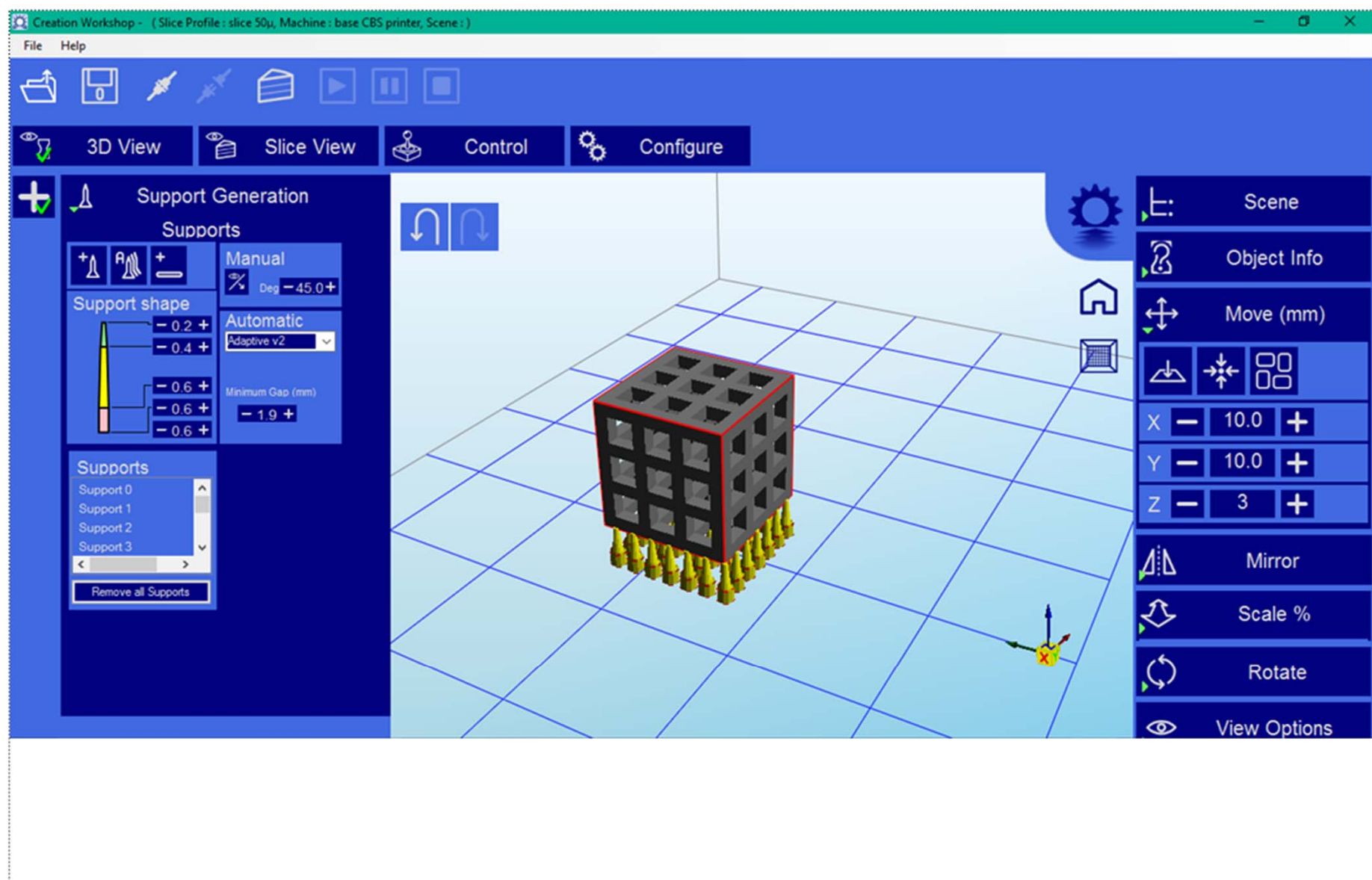


Schéma de fonctionnement

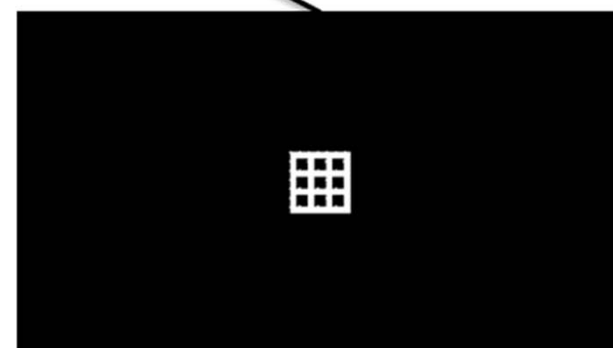
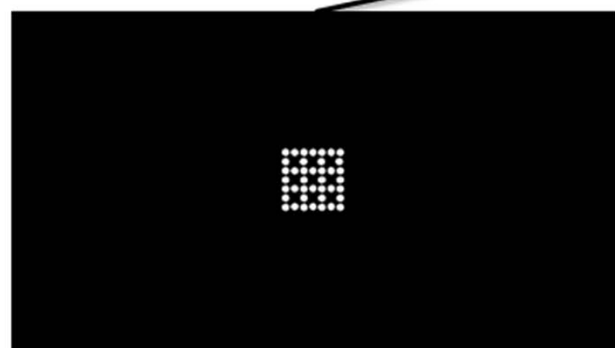
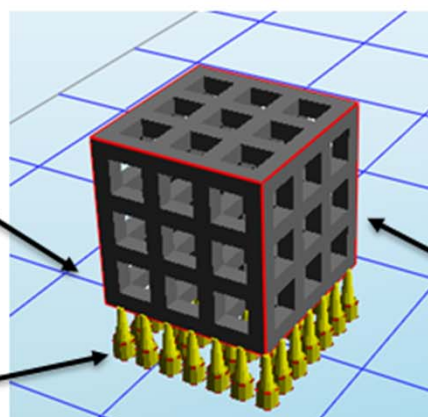




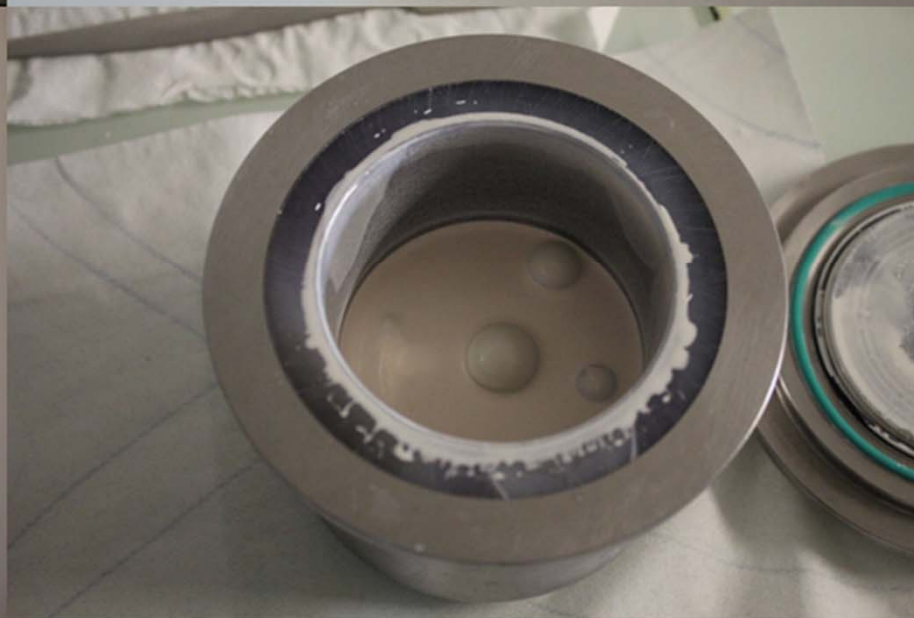
Mise en place des piliers



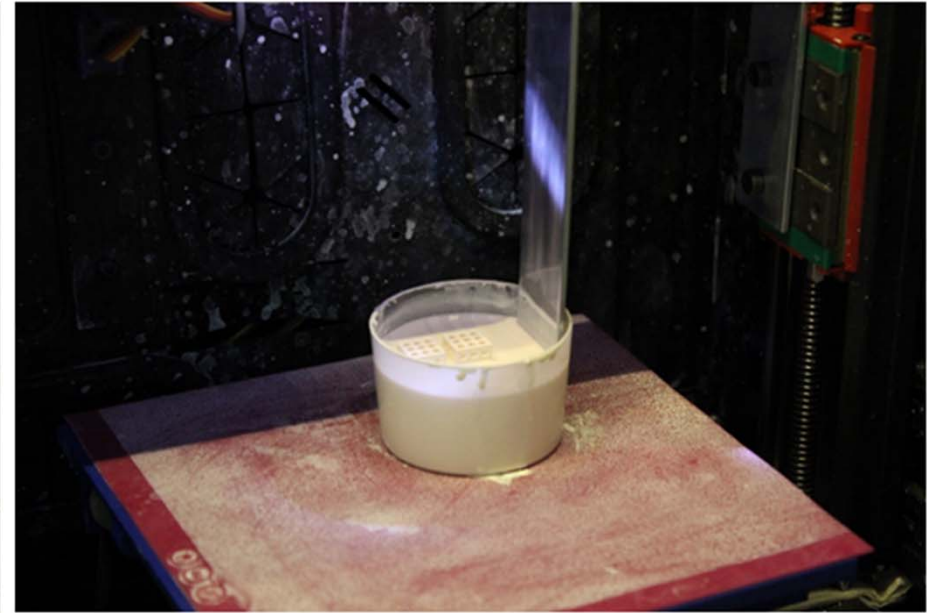
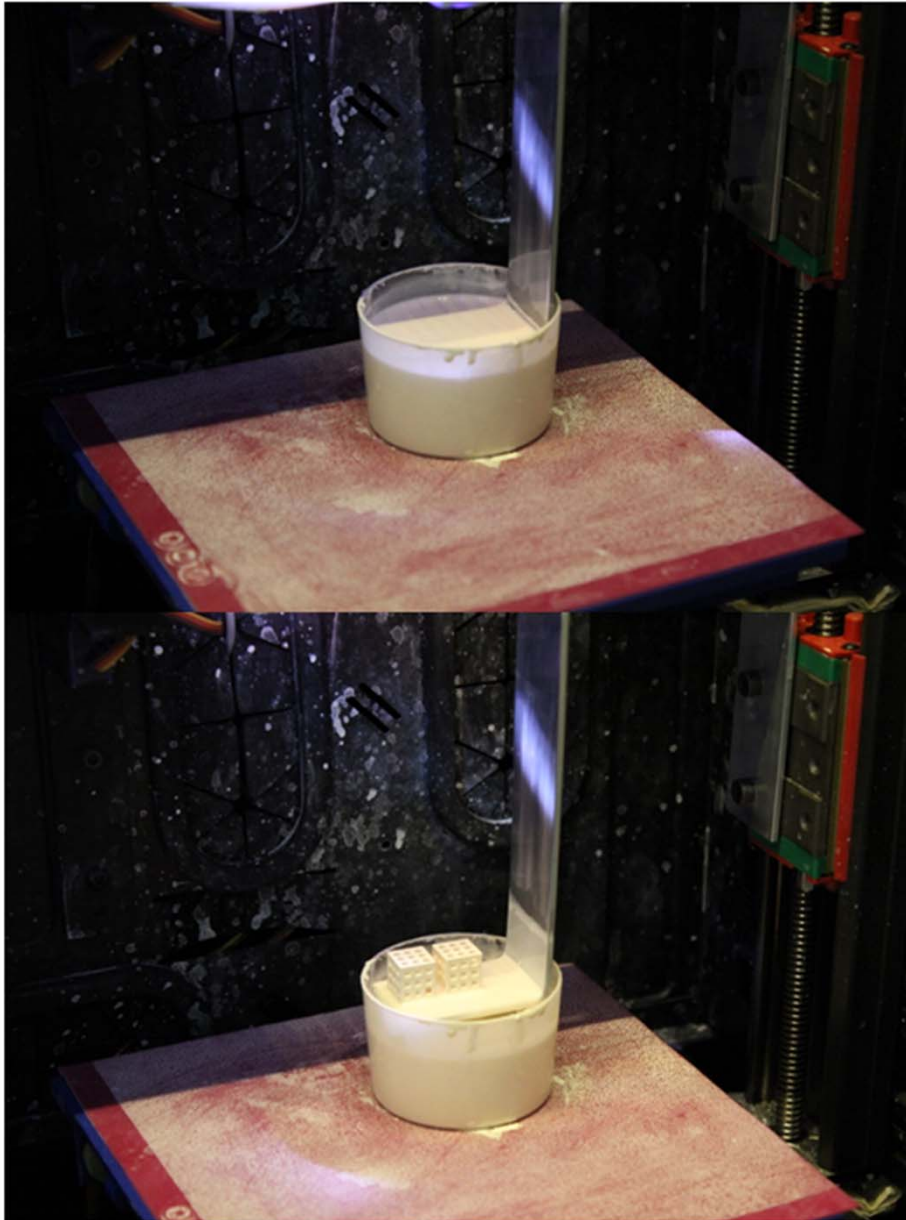
Tranches de 50 μ m d'épaisseur



Préparation de la résine

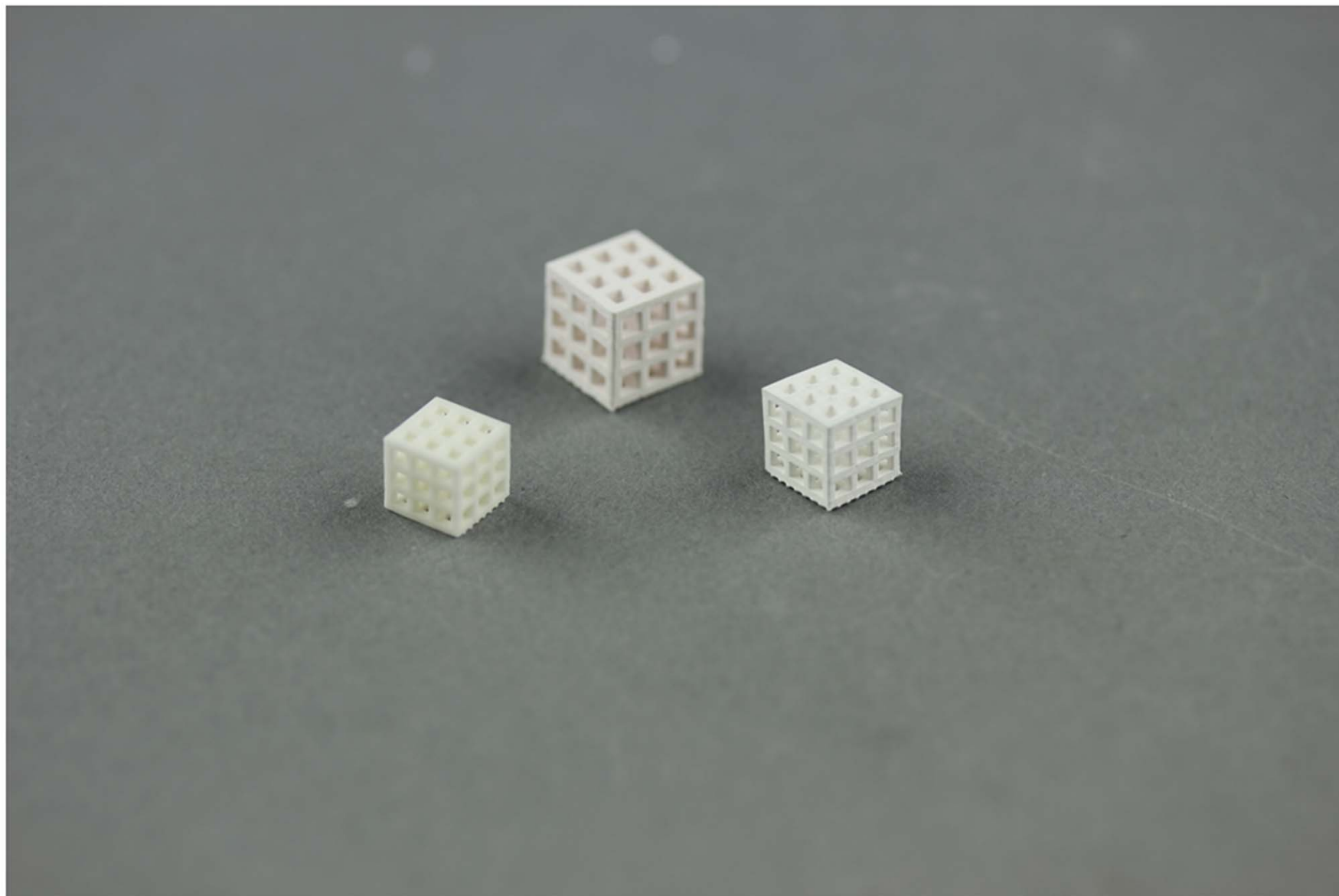


Prélèvement des pièces

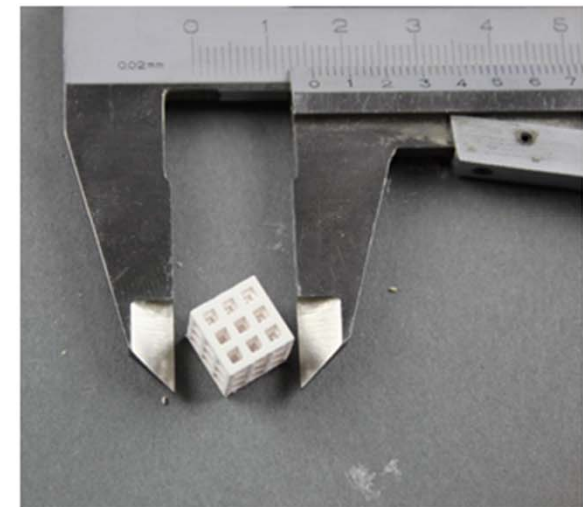
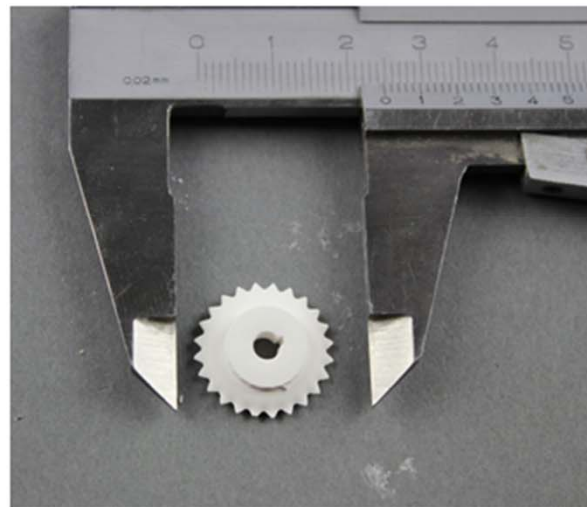
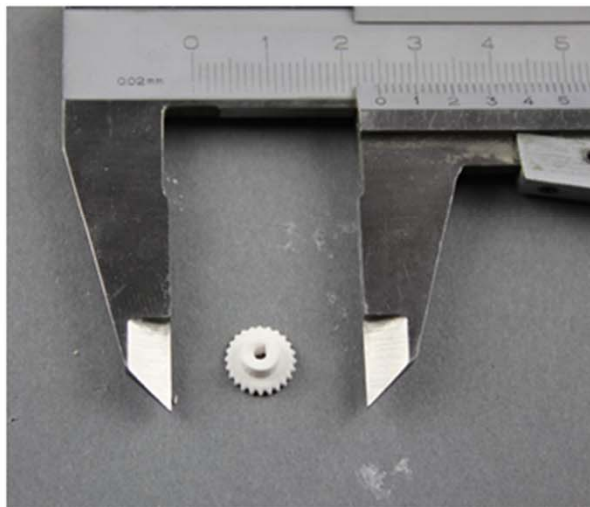
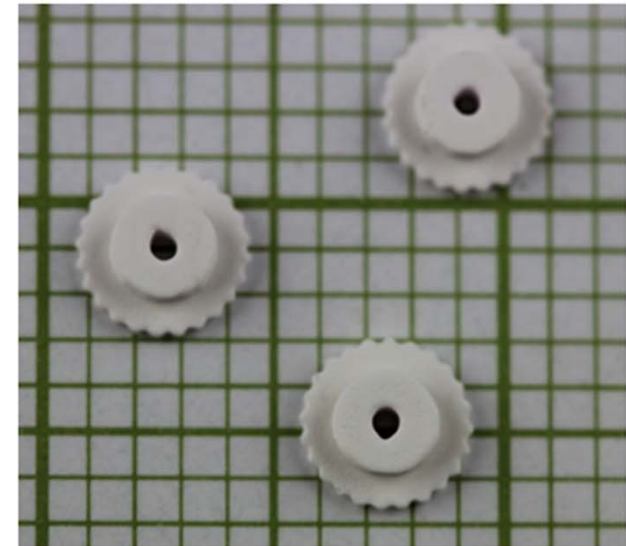


Les pièces sont détachées avec
une spatule

Séchage, déliantage et frittage



Quelques pièces



Merci pour votre attention

Questions?



CRIBC (chef de file)

www.bcrc.be
Mons
+32 (0)65 40 34 34



Materia Nova

www.materianova.be
Mons
+32 (0) 65 55 49 02



UVHC-LMCPA

www.univ-valenciennes.fr
Maubeuge
+33 (0) 3 27 51 16 76



CRITT-MDTS

www.critt-mdts.com
Charleville-Mézières
+33 (0) 3 24 37 89 89



Matikem

www.matikem.com
Villeneuve d'Ascq
+ 33 3 61 76 02 45



POM Oost-Vlaanderen

Gent
+32 (0) 9 267 86 33



Wallonie



AVEC LE SOUTIEN DU FONDS EUROPÉEN DE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL



Additive Manufacturing of Ceramics @ Sirris

14 Mai 2019

Table of contents

- Introduction
- AM of ceramics : state of the art
- Sirris technology
- Material development
 - Bioceramics
 - Alumina
 - SiC – Si₃N₄
 - Other ceramics
- Conclusion

Introduction

- Why use ceramics?
 - Best choice for extreme conditions of use
 - T° - Pressure - corrosion
 - → combination of all !!!
 - → long time !!!
- Other advantages:
 - High hardness
 - High wear resistance
 - Special electro-optic properties
 - Lighter than metals ($d \sim 3-4$)
 - ...
- Main drawback of ceramics:
 - Low ductility !
 - → Fragile !

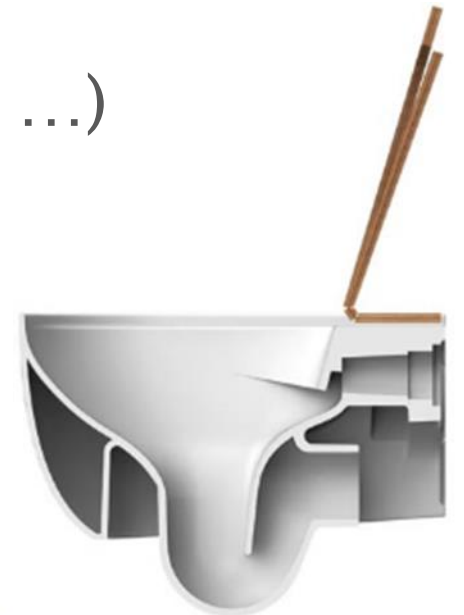


AM of ceramics : state of the art

- Interesting properties but difficult to process!
 - High impact of final density
 - High impact of final microstructureOn final properties



- Good performance of traditional chain (pressing, CIM, ...)
 - Same design
 - High volume
 - Low complexity



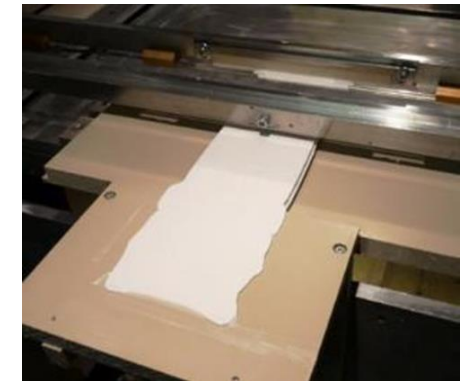
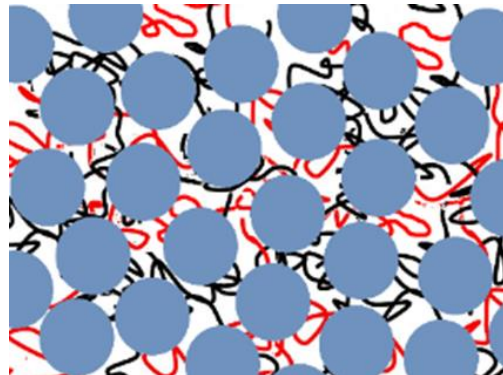
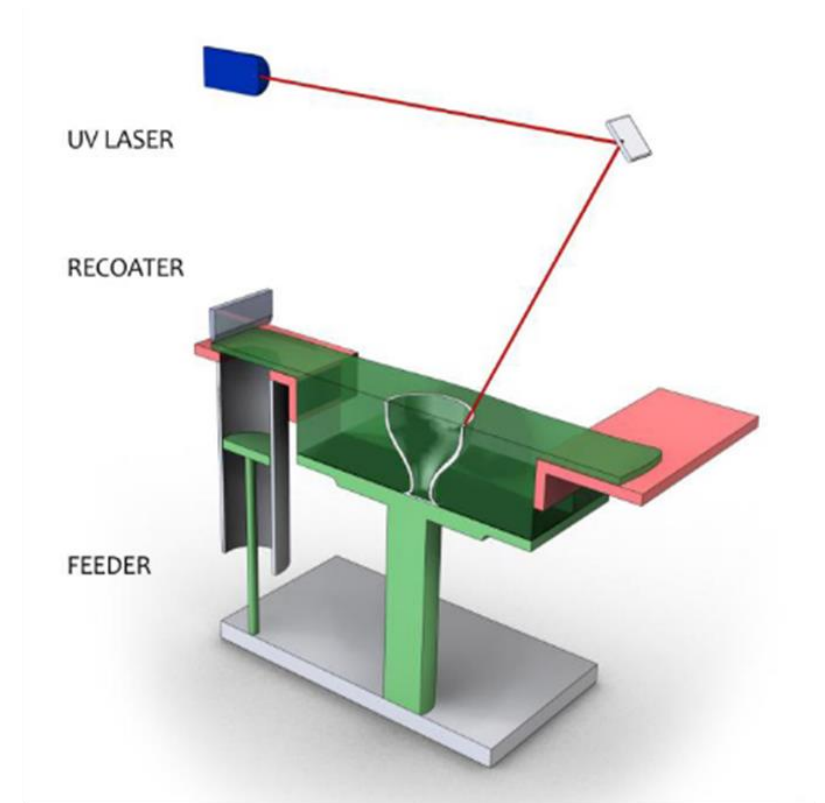
AM of ceramics : state of the art

- AM of ceramics:
 - Exists for several years
 - Available materials are very limited
 - Processes are complex
 - Whole process chain needs to be considered
 - No real ceramic success stories in big industries
- AM is more economical if parts are:
 - Complex
 - Small
 - Individual (low batch numbers)
 - Improvement of efficiency
- From a supply chain point of view:
 - No tools required
 - Digital storage of parts
 - Flexible production
- ➔ Free yourself from traditional thinking and conventional common sense to take the most advantages of AM technology



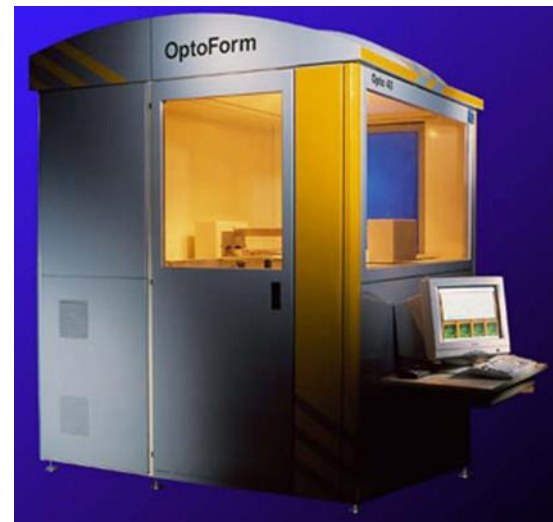
Sirris Technology

- Optoform® – Prodways
 - Stereo based machine
 - UV-photocuring of resins highly loaded with powder
 - Likes toothpaste
 - Thixotropic material
 - No chemical link between particles
 - Only a building plate, no box
 - Indirect process → thermal post-treatments needed
 - Debinding
 - Sintering

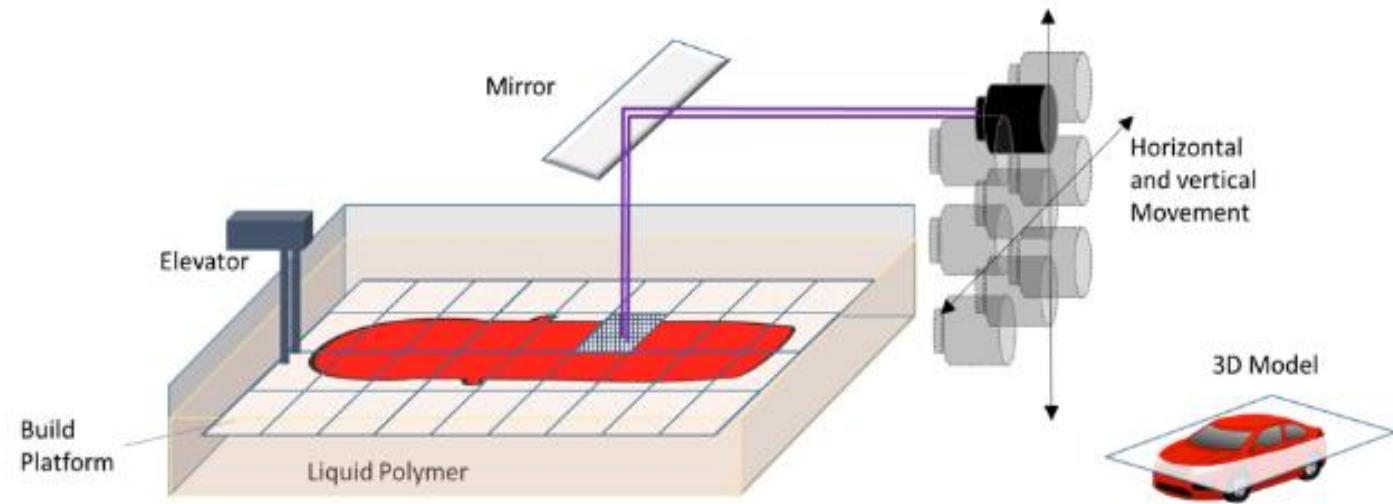


Sirris Technology

- 2000: Purchase of Optoform® process
 - Provided with “Tooling B” material
 - Mixture of resins and silica
 - No debinding – sintering
 - Loaded polymer (improved properties)
 - Development of our own paste materials (with debinding-sintering)
 - Metal (316L – 17-4PH) → stopped with new generation of SLM
 - Ceramics
- 2015: Purchase of Prodways® V6000 process



Sirris Technology



- Prodways V6000
 - New generation of 'Optoform'
 - Top DLP process
 - 'Moving light' technology
 - Flash of tiles (6x3cm)



Sirris Technology

	Optoform	Prodways (DLP)
Max size (mm)	Potentially 500 x 300 x 300mm	Potentially 500 x 120 x 150mm
Layer thickness (µm)	25 – 150	10 - 150
Min wall thickness (mm)	0,6	0,2
Resolution (µm)	200µm	32µm
Accuracy * (mm)	+/- 0.1	+/- 0.1
Energy source	Laser (top)	DLP (top)
Surface roughness * (µm)	50	50
Geometry limitations	Supports needed everywhere, think about cleaning !	Supports needed everywhere, think about cleaning !
Materials	Metals, ceramics	Metals, ceramics
Productivity vs cost	medium	medium
Part complexity	medium	medium

Sirris Technology

- ... A long story of collaboration with BCRC
 - 5P (metal - Al_2O_3 - $\text{SiO}_2/\text{ZrSiO}_4$) → 2001 - 2003
 - 5P2 (metal - Al_2O_3 - $\text{SiO}_2/\text{ZrSiO}_4$) → 2003 - 2005
 - Delifri (metal - Al_2O_3) → 2007 - 2009
 - Pristimat (bioceramics) → 2009 - 2014
- More recently:
 - Fasopt (SiC - Si_3N_4 - Al_2O_3) → 2017 - 2020

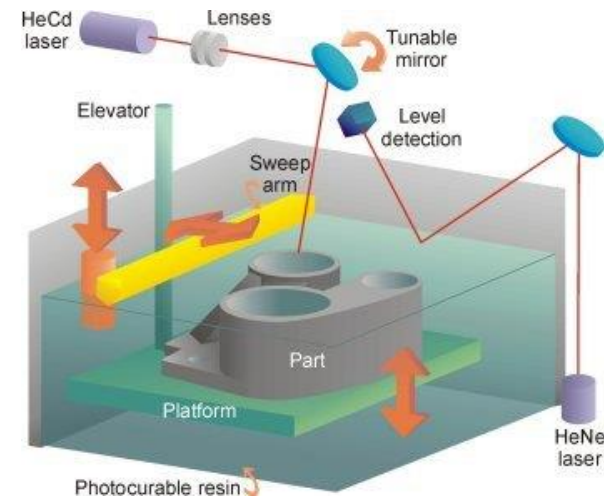
Avec le soutien de
la



Wallonie

Sirris Technology

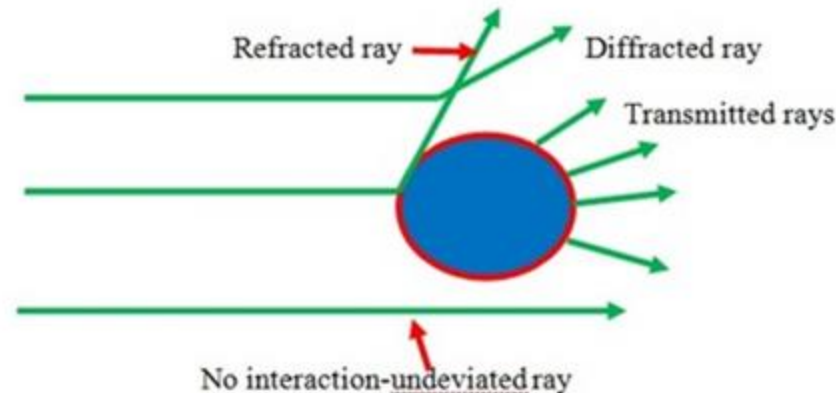
- Process in 2 steps:
 - Shaping by SLA
 - Paste formulation (viscosity, reactivity, solid loading)
 - Process parameters (light power, exposure time)
 - Debinding – sintering
 - Gently burn binder
 - Densify product
 - Manage shrinkage (initial solid loading $><$ final density)



Sirris Technology

■ Limitations

- Processability of a material
 - → refractive index of material close to resins
 - → limitation of polymerization depth (scattering)
- + find the material in the right form
- + screening effect of particles (small diam.)
- + debinding-sintering issues!

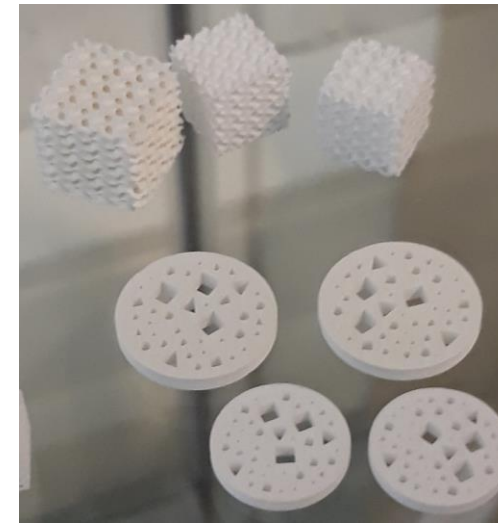
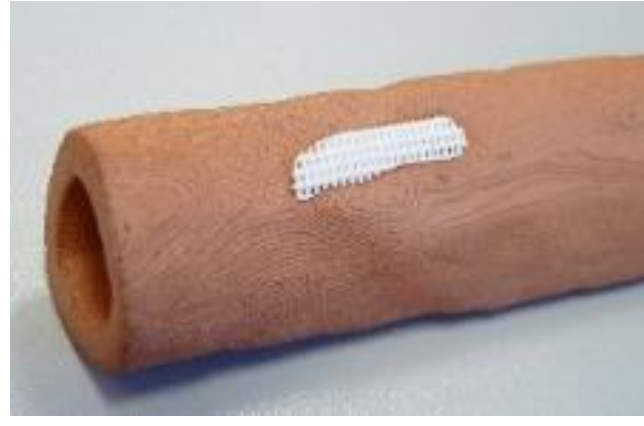
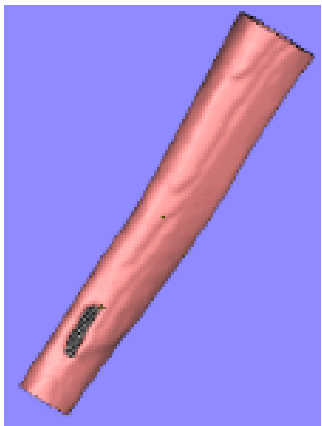
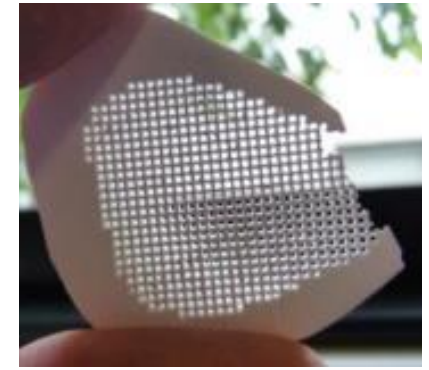


Material	Refractive index, n_p
PEAAM (acrylamide)	1,49
HDDA (diacrylate)	1,46
Ethylene glycol	1,43
Silica SiO_2	1,56
Tri Calcium Phosphate TCP	1,62
Hydroxyapatite HA	1,65
Alumina Al_2O_3	1,79
Yttrium Oxide Y_2O_3	2,00
Silicon Nitride Si_3N_4	2,12
Zirconia ZrO_2	2,25
Silicon Carbide SiC	2,55
Titanium Carbide TiC	2,61
Titanium Oxide TiO_2	2,68
Boron Carbide B_4C	3,14

Refractive index of most common technical ceramics and resins at 365nm.

Material development: Bioceramics

- HA & TCP = bone chemical composition
 - → biocompatibility
 - TCP is bio resorbable
 - 3D structures are ideal for bone integration
 - Possibility to have Macro-porosity by AM (lattice)
 - Possibility of custom-made products
 - Bone surgery
 - Files from CT-scan



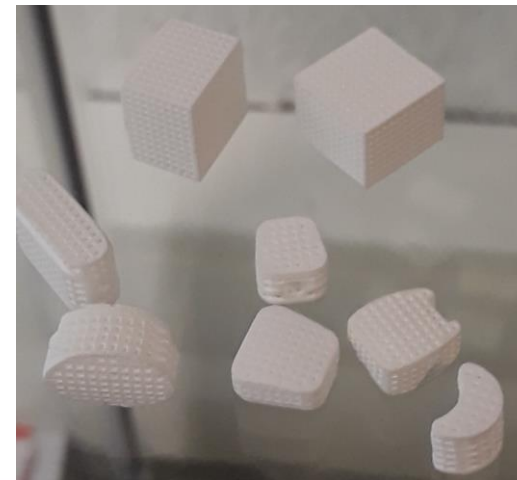
Material development: Bioceramics



- Real industrial cases exist → Success Story Kasios
 - ~20 types of parts of 5 to 10 sizes → ~150 different parts
 - 3D lattice structure for bone regeneration
 - ~10.000p/y under ISO13485
 - → possible but not suitable to be machined
 - → AM is the best available techno for this case
 - Small and complex parts
 - Low batch numbers
 - Flexible production
 - (Digital storage of parts)
- Sirris developed the process
 - Paste formulation with Kasios powder
 - Optoform parameters optimization
 - Production under ISO13485 for 4 years
 - Technological transfer since 2015



Intervertebral bone replacement (HA/TCP)

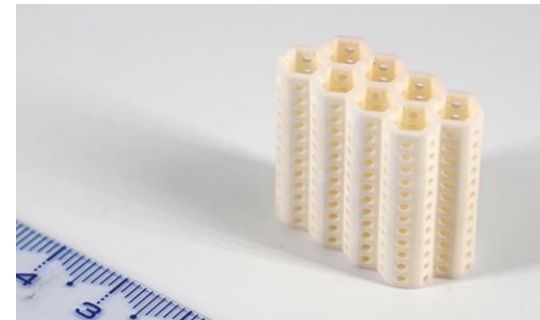


Material development: Bioceramics



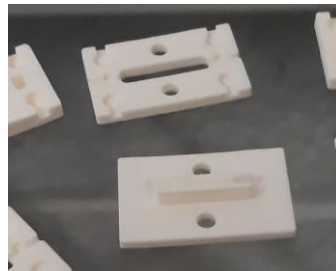
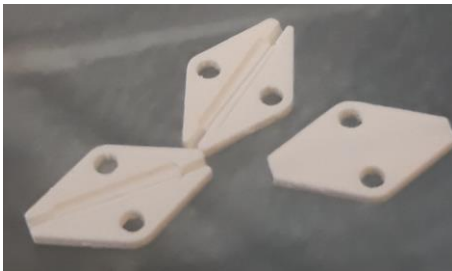
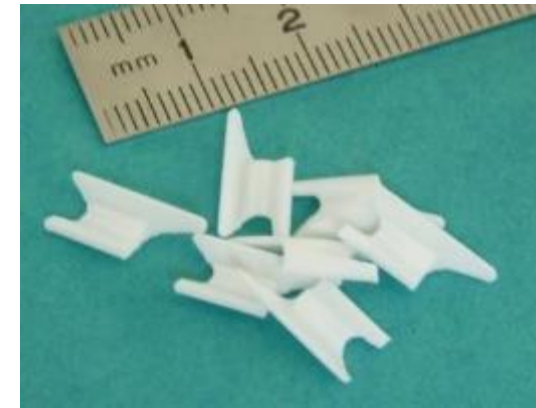
■ Cerhum

- Start-up created in 2015 by Grégory Nolens
- Exploitation of development made by Sirris on AM of bioceramics
 - Focus mainly on medical and biotechnological market
 - Artificial bone printing with HA-TCP
 - Printing of bioglass (↑↑ bioactivity)
 - Hard dental implant in zirconia
 - Heat resistant tools in alumina
 - Other sectors also:
 - Aerospace
 - Electronics
 - Automotive
 - Luxury



Material development: Alumina

- Wide range of applications:
 - Biocompatibility
 - hardness
 - Wear resistance
 - Thermal resistance
 - Chemical resistance
- Porous or dense sintering
 - From 55 to 98% density



Material development: SiC – Si₃N₄

- Increasing demand for ceramic materials
 - Spatial application
 - hardness
 - Wear resistance
 - Thermal resistance (low expansion)
 - Corrosion resistance
- Nanoker case study (2005-2009): support of spatial mirror in SiC (~10cm diameter)
 - SiC powder + alumina and yttrium oxide (liquid phase sintering)
 - 88% density after sintering
 - → problem with black powder and refractive index
- → other development needed to improve results → ongoing Fasopt project



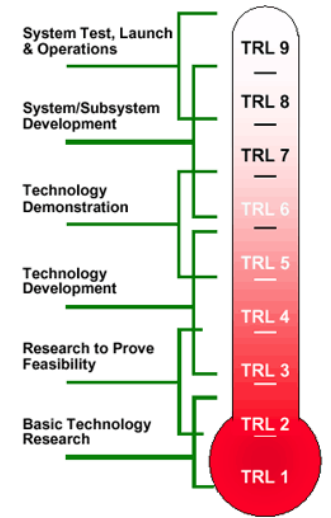
Other ceramics

- Existing materials available by other manufacturers
 - Lithoz
 - Admatec
 - 3DCeram
- → for specific applications
 - Foundry
 - Electronics
 - Jewellery
 - Tableware



Conclusion

- AM of ceramics :
 - Is different than traditional processes (moulding, machining, casting)
 - Distorts reality for design, as plastics and metals AM
 - Has specific limitations due to
 - Material itself
 - Process itself
- Several kinds of technologies exist
 - → SLA based is higher in readiness level
 - → Applicability to a case depends on specifications
 - → Possibility to develop new materials (metal – ceramic)



Thank you for your attention



Bruno Verlee
Project Engineer
Bruno.verlee@sirris.be



Le Centre Collectif De L'Industrie Technologique Belge

www.sirris.be
Liège Science Park, Rue Bois Saint Jean 12, 4102
Seraing
Tel. +32 4 361 87 00 Fax +32 4 361 87 02



MovingLight® technologie de l'impression 3D des matériaux céramiques et biocéramiques

Applications industrielles des matériaux ceramiques by Prodways & Cerhum

14 mai 2019



Fabriqué à partir de matière première :

OXYDES

Al_2O_3
 ZrO_2
 SiO_2
 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$
 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$

NON OXYDES

Carbure
Nitrure
Others



BIOMEDICAL



DENTAL



INDUSTRY



Nouveaux Développements:

- Zircon-alumine (ZTA) ou ATZ
- Silicones (R_2SiO)

PRODWAYS &



Technologie additive en 3D

14 mai 2019

Libre forme



Libre design



Design Complexe



Porosité contrôlée



Sans assemblage



Prototypes

Petites et grandes séries

Haute performance



Développement de la matière finale

14 mai 2019

La qualité du matériau c'est la clé :

- formulation
- chargement de poudre et spécification



Poudre
céramique

+



Prodways
Binder



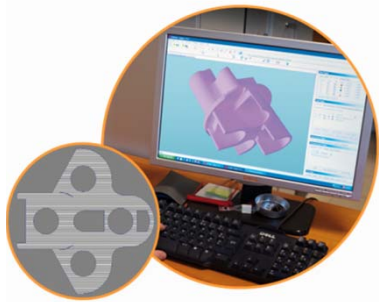
Mix by
Cerhum



Matière finale

Comment marche une impression 3D céramique?

14 mai 2019



Création de CAD
file ou STL format



Impression
couche par
couche



Nettoyage



Déliantage et
frittage



Polissage

Post procès des pièces céramiques

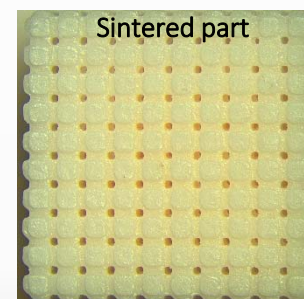
Nettoyage

- Nettoyage manuel avec les solvants (de 2 à 10 min dépends de la géométrie)



Déliantage & Frittage

- DELIANTAGE: Elimination de binder – 600°C – 3jours
- Frittage: pour obtenir 100% de la matière densifiée– jusqu'au 1750°C – environ 1 jour
- 18 to 25% retrait



Polissage

Dépend des applications

- Rectification
- Polissage mécanique
- Stérilisation



MovingLight® Technologies : la série des grandes viscosités

- ProMaker V6000
- ProMaker V10

ProMaker V6000

Basé sur MOVINGLight[®]
Technologie



Informations Techniques

Capacité de construction	120 x 500 x 150 mm (LxWxH)
Source de la lumière	UV DLP @ 365nm
Pixel	~ 32 µm
Taille d'image	30*60 mm
Epaisseur de la couche	15-125 µm

ProMaker V10

Basé sur MOVINGLight[®]
Technologie



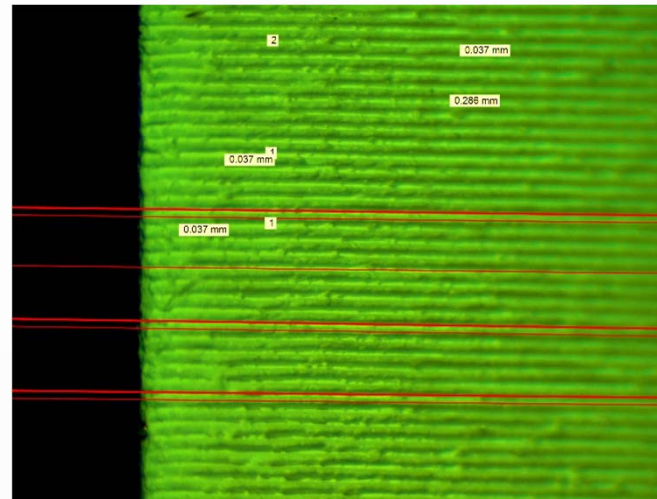
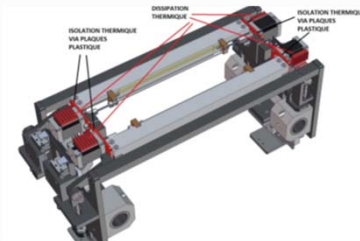
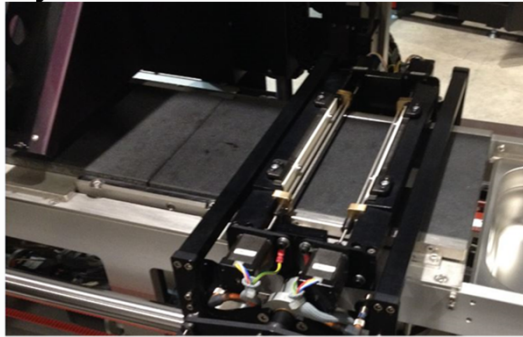
PRODWAYS

Informations Techniques

Capacité de construction	280 x 320 x 150 mm (LxWxH)
Source de la lumière	UV DLP @ 405 nm
Pixel	~ 42 µm
Taille d'image	40*70 mm
Epaisseur de la couche	15-125 µm

ProMaker V6000 printer series

Recoating system with high reproducibility of the deposited layers

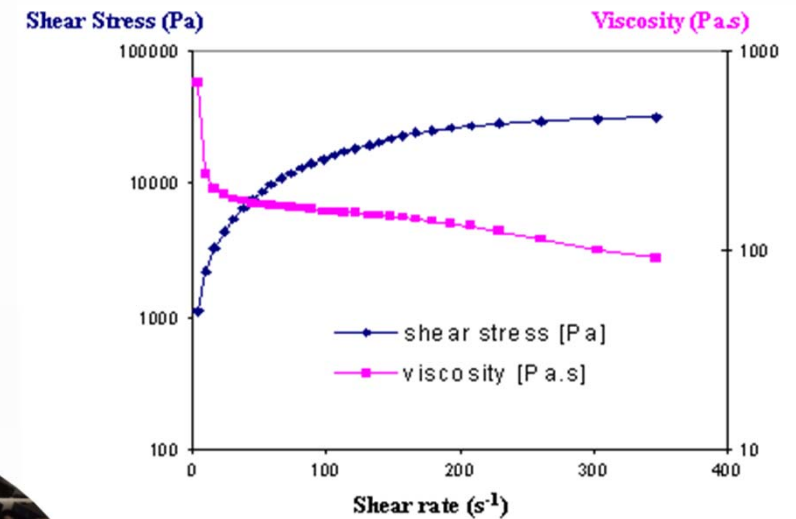
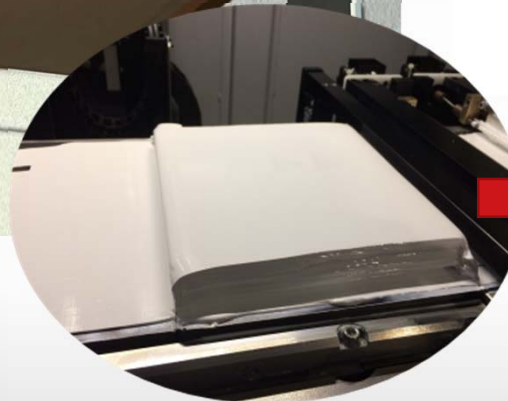
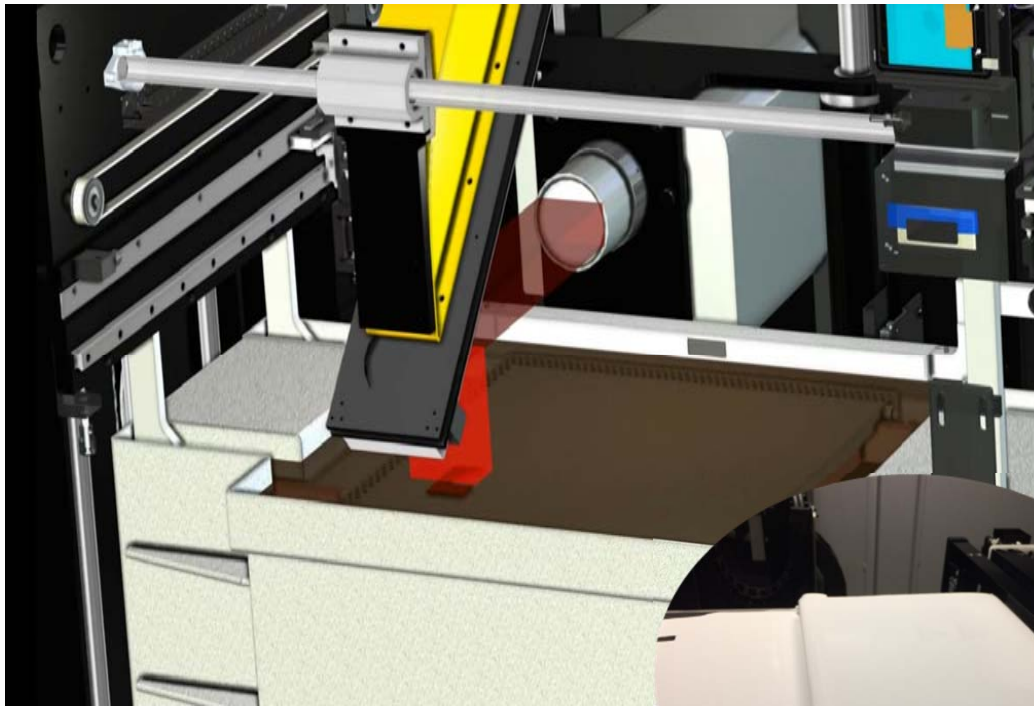


Layer thickness
= 50 μm +/- 3 μm

- Very stable recoating system (tolerances on both recoater blades level $\approx$ +/- 2 μm) ;
- Good thermal stability of the motors (no influence on the material and/or process);
- Easiness to clean and changes the blades.

Process de Stéréolithographie

14 mai 2019



**Pate céramique: comportement
rhéofluidifiant**
Up to 60 vol.% Al_2O_3 ; $d_{50} = 0.5-0.7 \mu m$

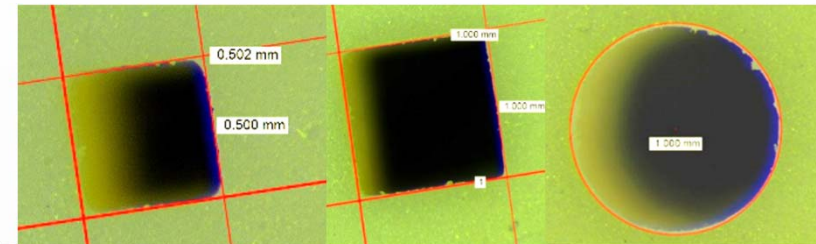
Qualification du Process 3D

- Tolérance de construction
- Variation de masse
- Calibration dimensionnelle

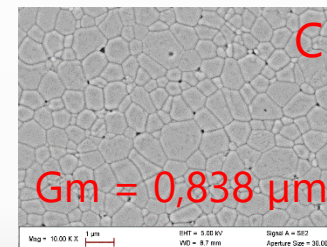
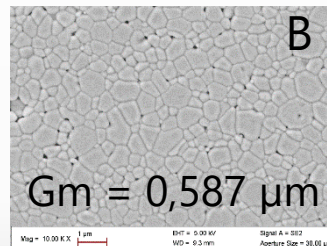
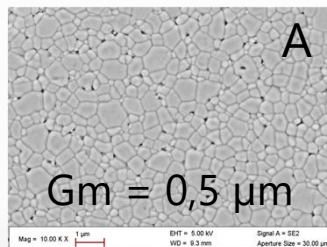
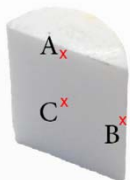
Valorisation de Prodways MovingLight® technologie

14 mai 2019

- Haute résolution - **42 μm**



- Etalement d'une couche très fine et homogène menant à une densité élevée après frittage **sans** défauts



Densité (gr.cm ⁻³)	3,96
Densité (% TD)	99,49

Qualification du process utilisant la pâte d'alumine

14 mai 2019

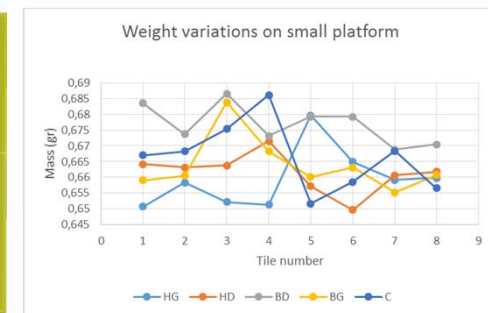
Réactivité Calibration

Dp	Y-Intercept (C)	Ec [mJ/cm ²]
64,5	-129,2	7,40
	(r ²)	0,9856
	Layer [μm]	time [s]
	100	0,45

Calibration Dimensionnelle



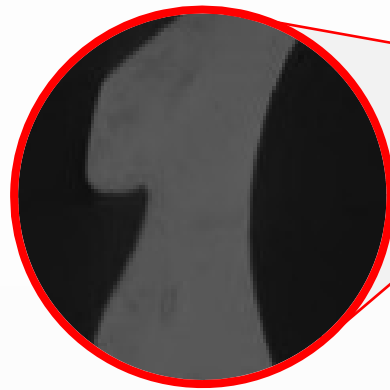
Variation de masse



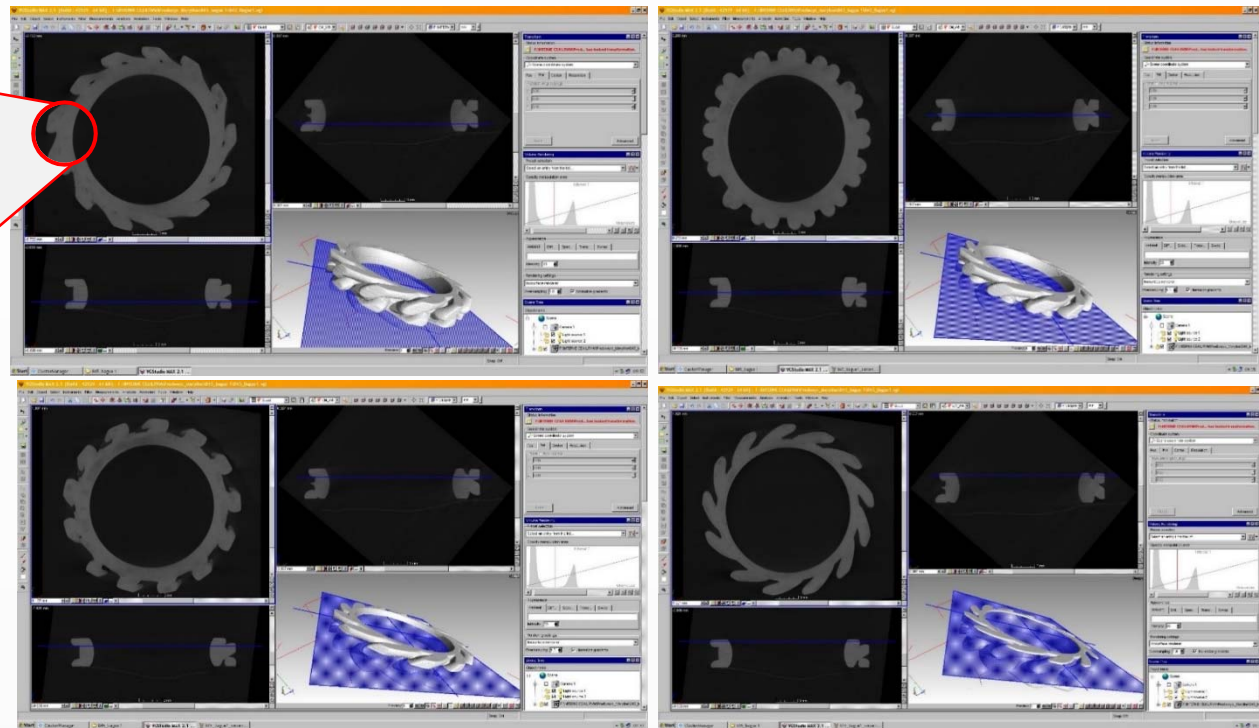
- Les tolérances sont reproductibles sur l'ensemble de la plate-forme: décalage de 50 μm sur les variations dimensionnelles;
- Variation de la masse des pièces sur la plate-forme : <5%;
- Variation de la densité de la lumière sur toutes les tuiles de la plate-forme : <3%.

Microstructure des pièces frittées (Alumine) par X-ray Tomographie (CEA Liten)

14 mai 2019



**La microstructure
homogène sans
microfissures
présentes**



Propriétés et applications

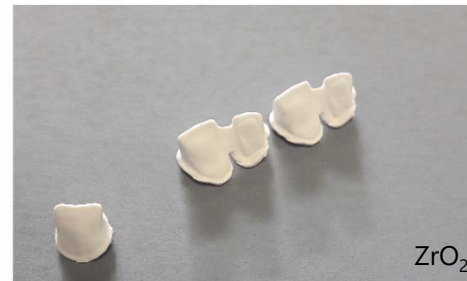
- Zircon
- Alumine
- Hydroxyapatite
- Tri calcium phosphate

Zirconia (ZrO_2) and Alumina (Al_2O_3) propriétés & applications

DIFFERENTES Propriétés



- Excellentes propriétés mécaniques
- Faible conductivité thermique
- Bonnes propriétés diélectriques
- Valeurs de dureté élevée (vickers)
- Résiste à l'usure
- Bonne résistance à la gravure sur métal
- Chimiquement Inerte



ZrO_2



Al_2O_3

DENTAIRE/ INDUSTRIES / Applications DE LUXE



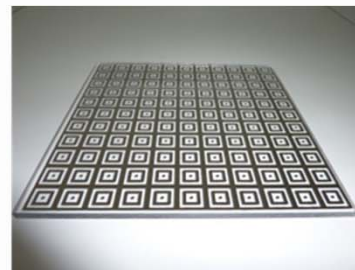
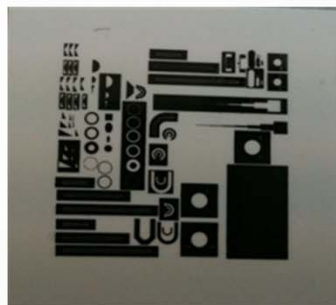
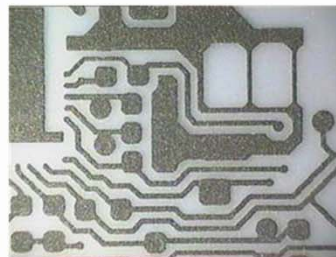
Couronne dentaire, ponts, supports
Creusets
Bijoux
Buses de coulée
Revêtements thermiques
Matériaux conducteurs d'ions

Applications d'Alumine (Al_2O_3)

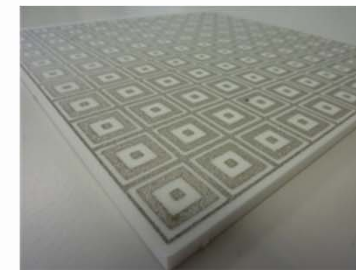
14 mai 2019



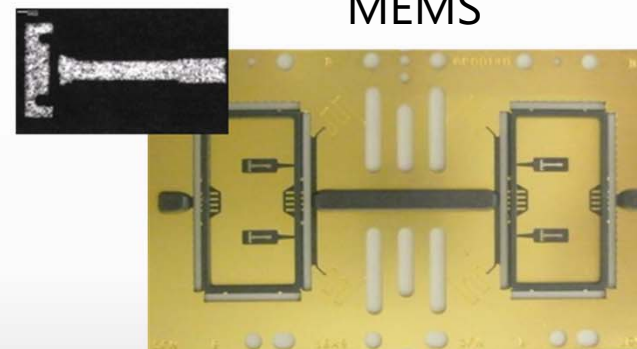
Ink jet printing (IJP) Applications



Antenna application



MEMS

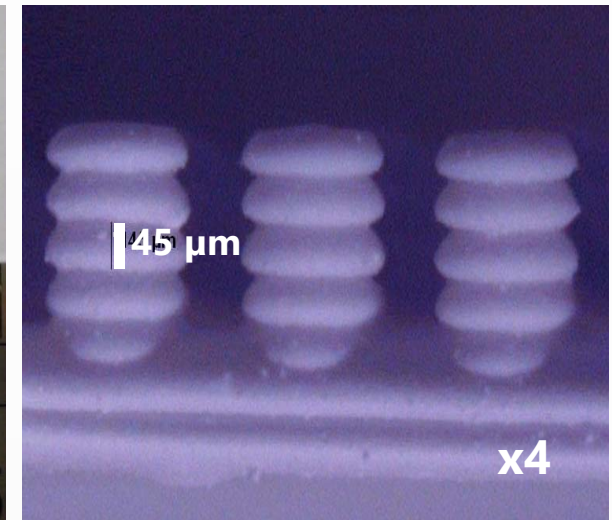
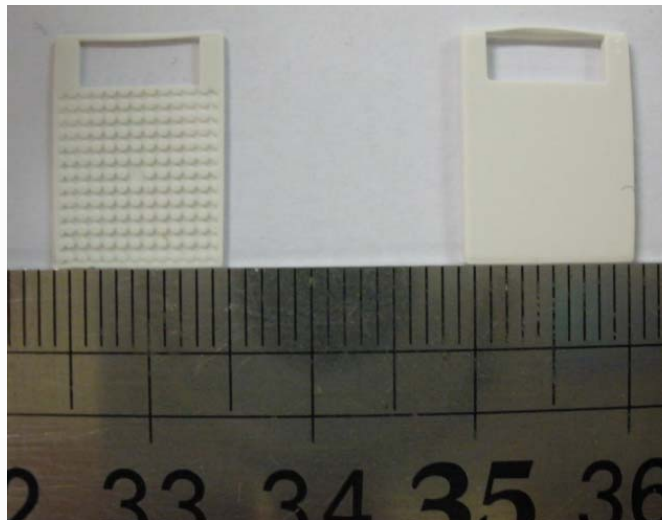
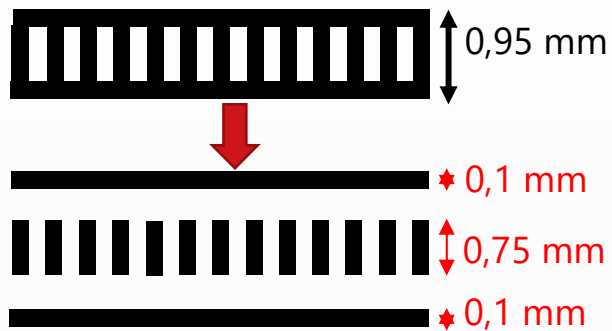


Ag crackless patterns thick films (RF filters...)

3D microfabrication des filtres (Al_2O_3)

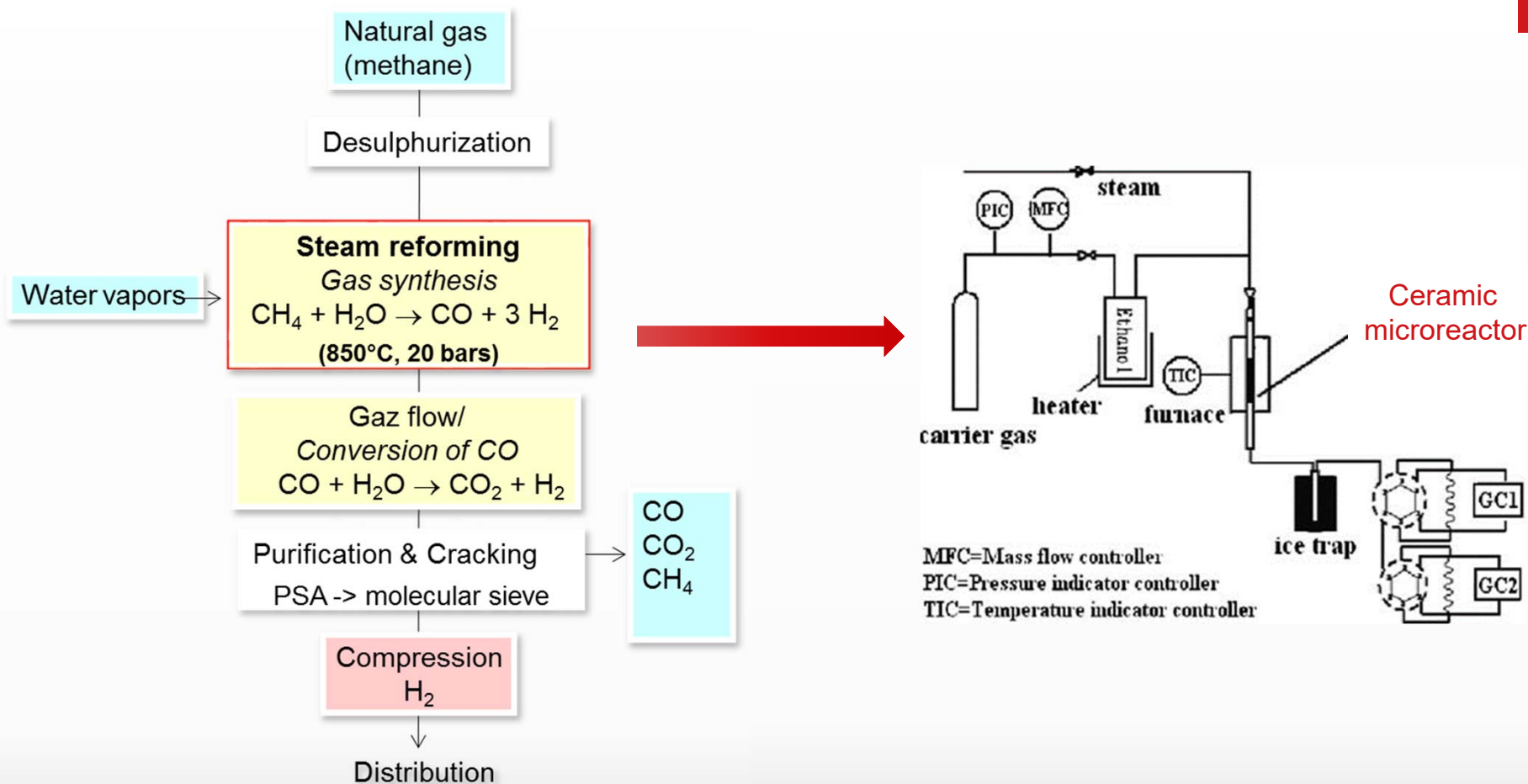
14 mai 2019

structure résonante à 150 GHz



Microréacteur en céramique pour la production d'hydrogène par reformage à la vapeur de gaz naturel

14 mai 2019



Caractérisations mécaniques des pièces frittées

14 mai 2019



Properties of materials	Alumina paste	Zirconia paste
Paste viscosity 21°C (cps)	13000	15220
Density after sintering (%)	99,3	99,1
Flexural strength (Mpa)	170	800
Linear thermal expansion 20-1000°C x 10 ⁻⁶ (K ⁻¹)	8,5	10,5
Thermal conductivity 100°C (W/m.K)	25	2
Elastic modulus (Gpa)	380	200
Compressive strength (Gpa)	3,5	1,8

Application dentaire : outils complets de numérisation 3D et de planification

14 mai 2019



ARBURG

SYSTÈME FREEFORMER UNIQUE EN SON GENRE





DIDIER VON ZEPPELIN

SPÉCIALISTE FABRICATION ADDITIVE
EUROPE DE L'OUEST

+49 7446 33 2624

Arthur-Hehl-Strasse, D-72290 Lossburg, Allemagne

- ISATien avec diplôme en fabrication additive – rapid prototyping (Daimler) 2002
- Thèse en fabrication additive – rapid tooling (Université de Stuttgart - Daimler) 2007
- Directeur du développement chez ProMetal RCT (maintenant ExOne) 2015

ARBURG

UNE ENTREPRISE FAMILIALE



NOUS SOMMES UNE ENTREPRISE FAMILIALE



Arthur Hehl
a fondé l'entreprise familiale en 1923



Les frères Eugen (à gauche) et Karl Hehl
(1923-2010) ont forgé l'entreprise



Directeurs associés
Eugen Hehl, Juliane Hehl, Michael Hehl et Renate Keinath



ARBURG

Site de production unique
à Loßburg / Forêt Noire
avec 171.000 m²

~ 2.800 employés dans le monde

~ 2.250 en Allemagne

Chiffre d'affaires consolidé:

2016: 636 millions d'euros

2017: ~ 680 millions d'euros

Export share ~ 70 %

> 60 % de production maison

WIR SIND DA - NOUS SOMMES À VOS CÔTÉS AVEC DES SOLUTIONS MODULAIRES

Presses à
injecter modulaires

Systèmes de fabrication
additive industrielle



Systèmes
robotisés

projets clés
en main

Commande intégrée
de la machine



Gestion efficace
de la production

ARBURG

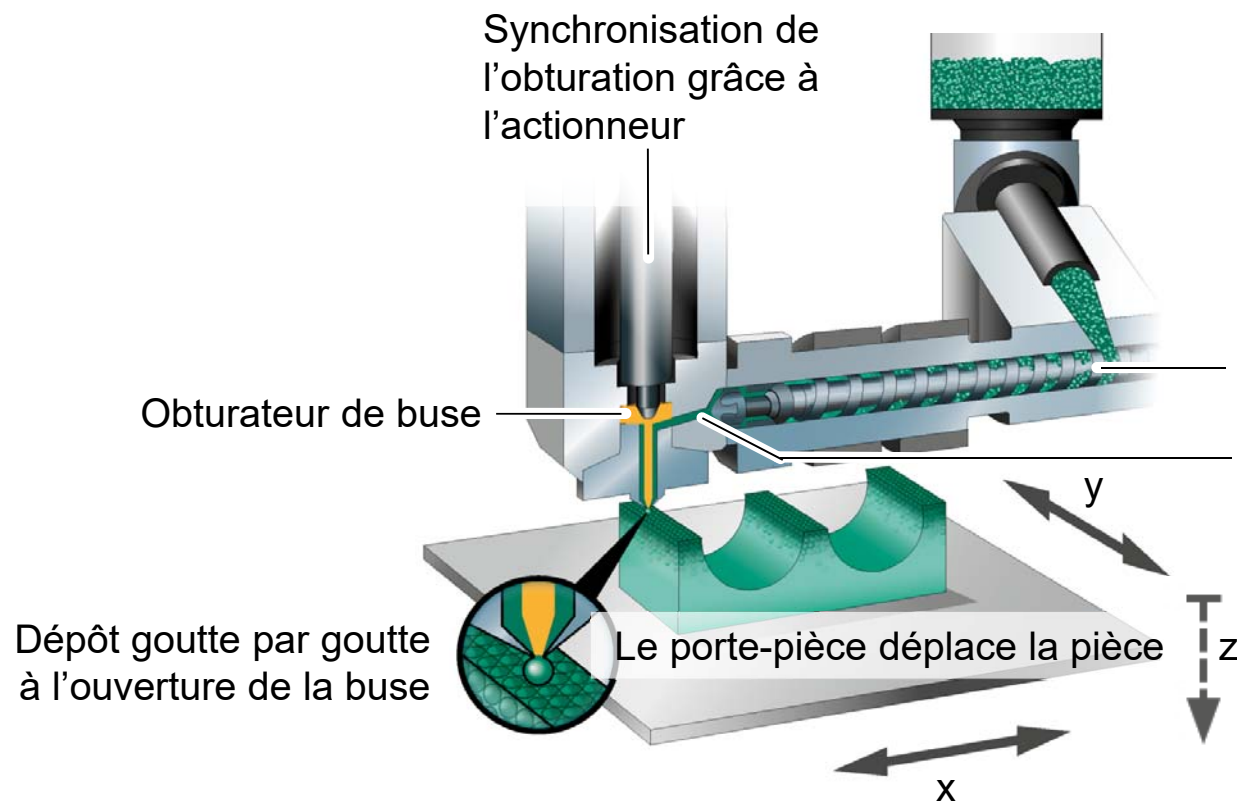
LA FABRICATION ADDITIVE ET LE FREEFORMER



LES EXIGENCES DES PIÈCES SONT DÉTERMINANTES POUR LE CHOIX DU PROCÉDÉ

- Des exigences variées
 - Résistance mécanique
 - Fonctionnalité
 - États de surfaces
 - Densité
 - Prix / Coûts opératoires
 - Procédé réglable
- Connaissance des avantages et inconvénients des procédés FA
- Comparaison de tous les procédés tel que: FFF, SLS, SLA, MJF, etc.

PRINCIPE DU PROCÉDÉ APF EN DÉTAILS



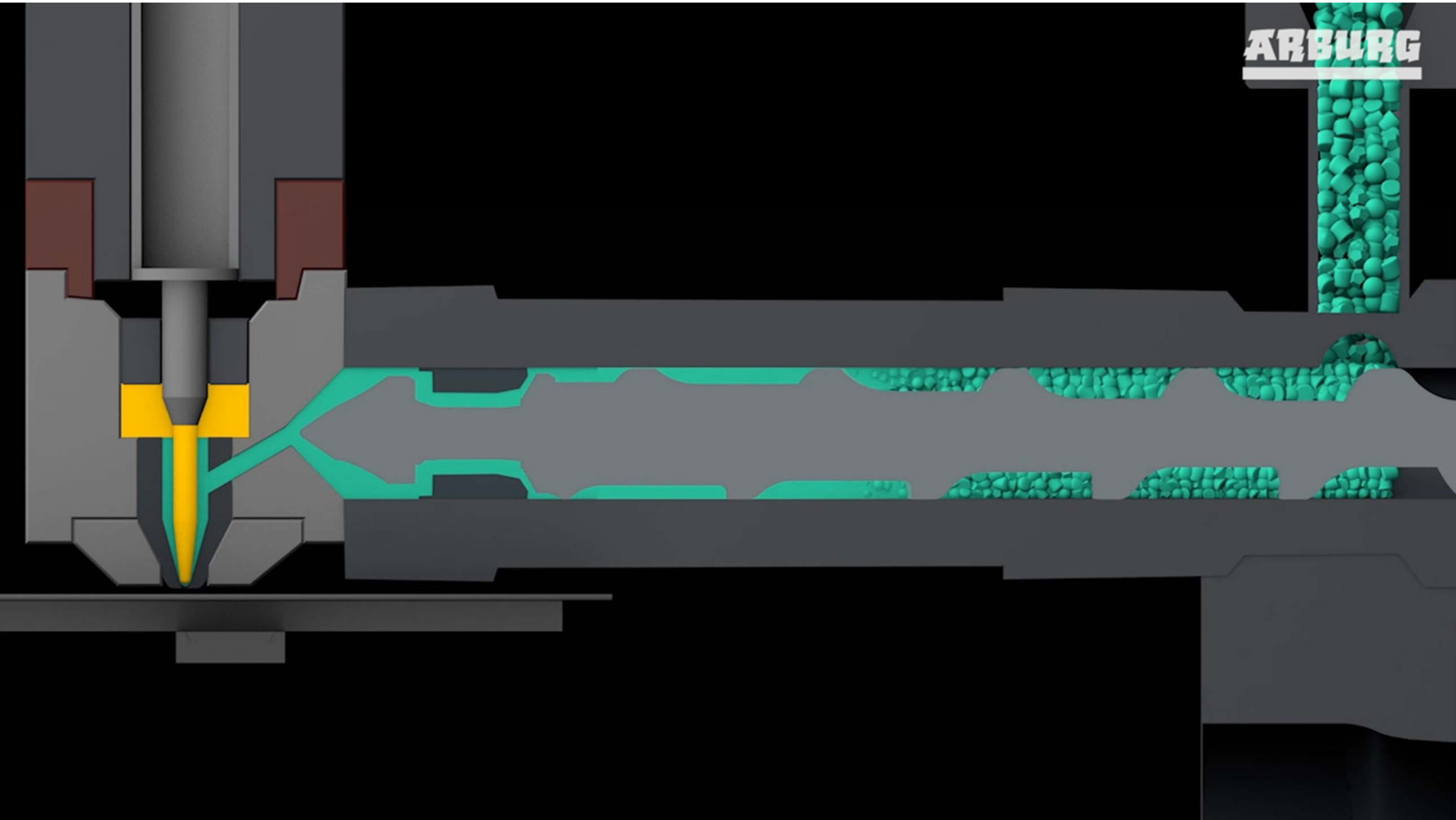
Granulés standards
qualifié et granules
standards

Préparation de la
matière grâce à une vis
comme dans l'injection
plastique

Dessiccation possible
suivant la matière

Couleurs possible via
Master batch

ARBURG



LA BASE DE DONNÉES DE MATÉRIAUX NE CESSE DE S'ENRICHIR



Matières standards

- ABS, PC, TPEs, PA (amorphe)
- Mélanges de ces matériaux
par exemple: PC-ABS

Matières originales spéciales

- PP (semi-cristallin)
- n matières de clients
- Avec retardant de flamme
- Médicale PLLA, PCU, PMMA,...
- Bio-polymères
- Matières conductrices

Matières supports

- Soluble dans l'eau ou une base
- Compatible avec les POE

MODÈLES DISPONIBLES

freeformer 200-3X

Unités de décharge **2**

Aire de construction **200 cm²**

Porte-pièce **3-axis**

Espace utilisable	x	154 mm
de la chambre	y	134 mm
de fabrication	z	230 mm



freeformer 300-3X

Unités de décharge **2-3**

Aire de construction **300 cm²**

Porte-pièce **3-axis**

Espace utilisable	x	234 mm
de la chambre	y	134 mm
de fabrication	z	230 mm

PREMIÈRE MONDIALE – GRAND FREEFORMER

- Jusqu'à trois unités de décharge pour
 - Pièces bi-matières avec des composants dur et soft
 - 2 matières distinctes + matière support sans changement
 - Pièces tri-matières
- Surface de construction 300 cm²
- Chambre de fabrication 234 x 134 x 230 mm
 - accessible avec toutes les buses
- Dessiccateurs indépendants intégrés
- Option hautes températures en cours de validation



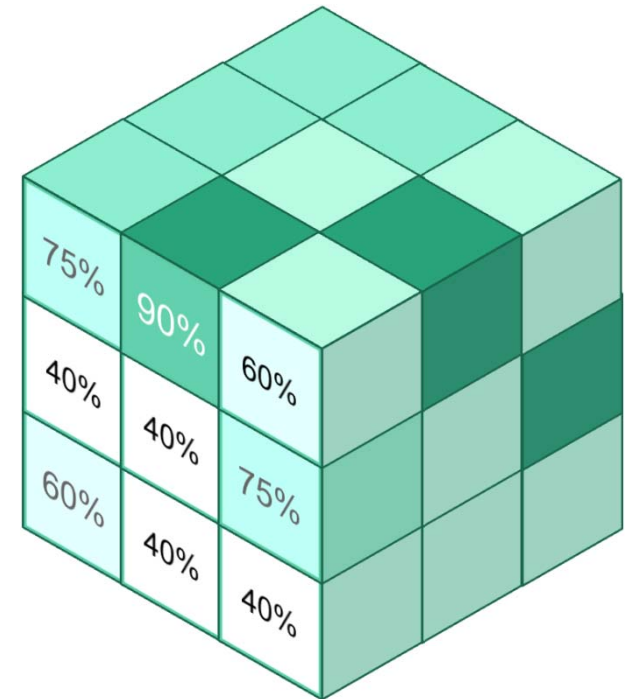
ARBURG

INFLUENCE CIBLÉE DES PROPRIÉTÉS

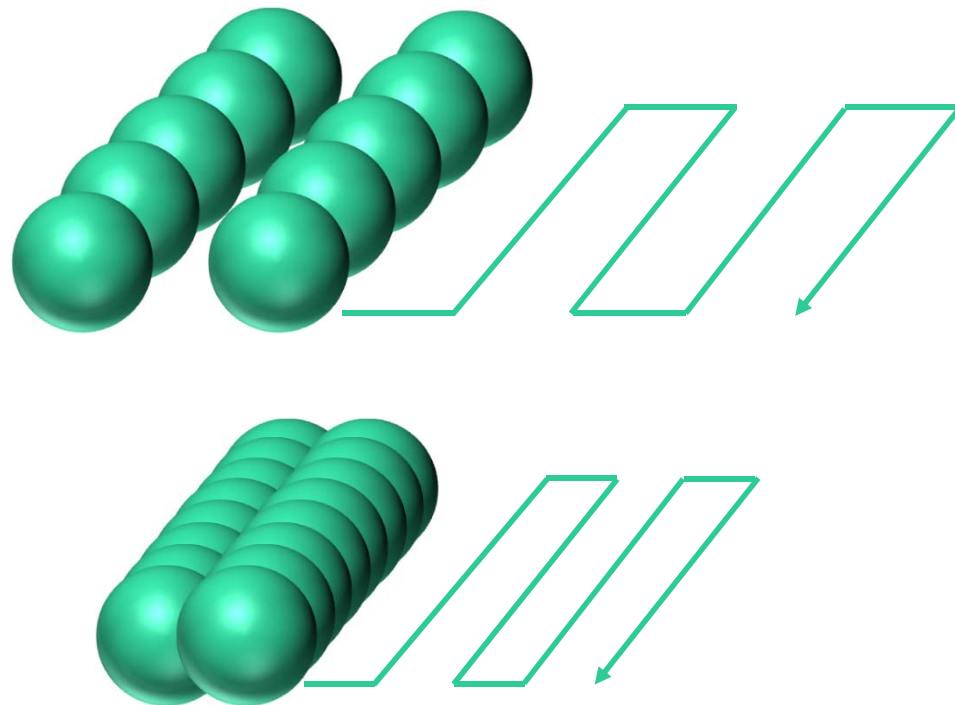
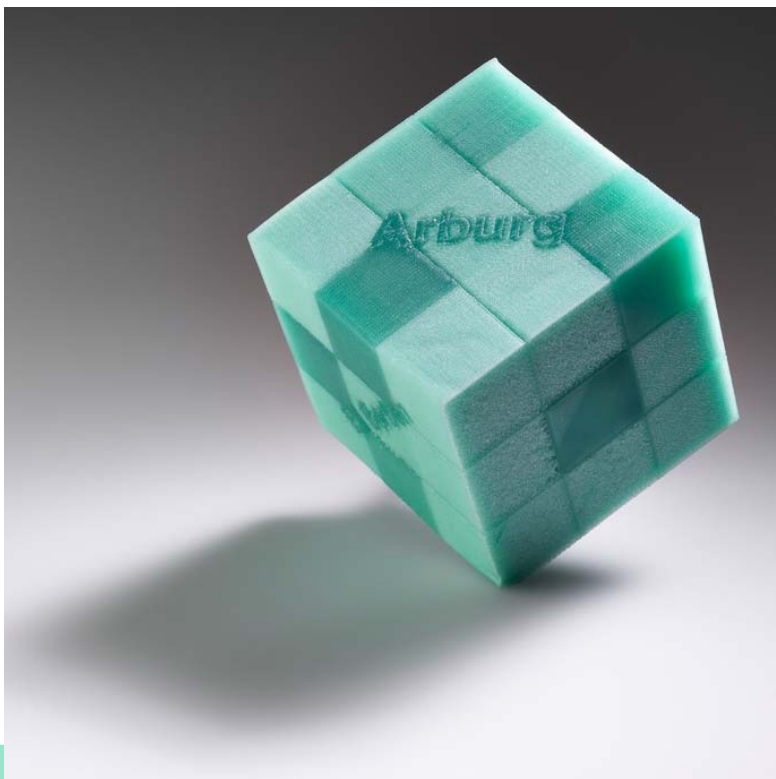


LES PROPRIÉTÉS DES PIÈCES PEUVENT ÊTRE INFLUENCÉES

- Contrôle reproductible de l'écoulement des gouttes
- Densité variable dans une même pièce
- Les caractéristiques mécaniques peuvent être ajustées en fonction des besoins

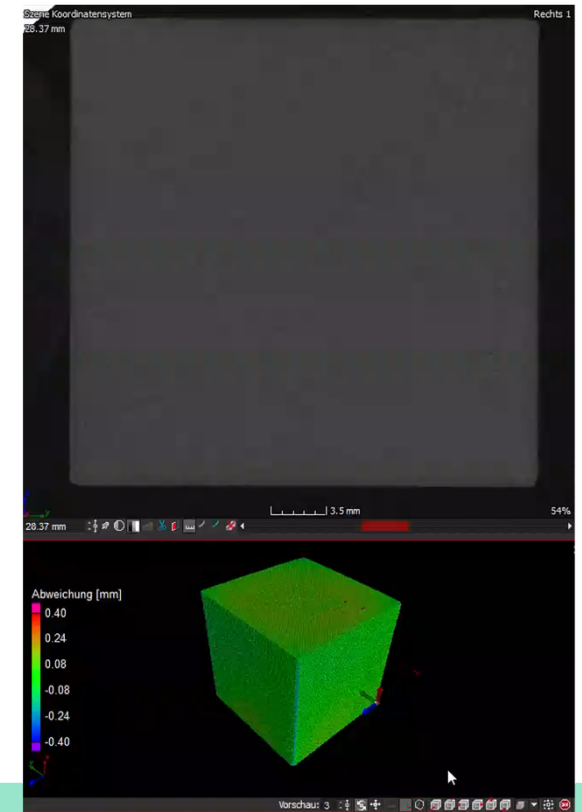
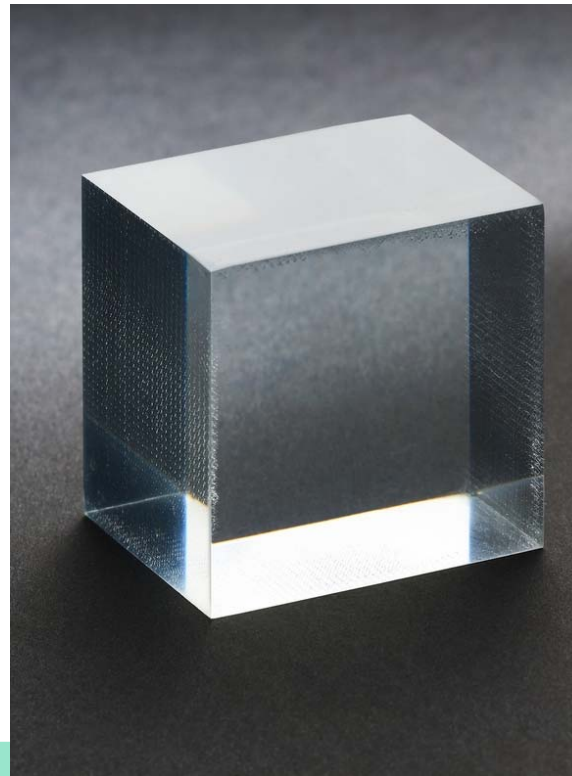


DÉCHARGE DES GOUTTES RÉGLABLE INDIVIDUELLEMENT



RÉGLAGE SPÉCIFIQUE DE LA DURETÉ DES COMPOSANTS

- Material: PC 2805
- Déterminer la densité par tomodensitométrie
- De hautes résistances mécaniques peuvent être atteintes



OPTIMISATION DE LA CONCEPTION POUR DES PIÈCES LÉGÈRES

- Structures lattices possibles
- Conception et processus optimisés pour le poids et les matériaux
- Stabilité et résistance en même temps



ARBURG

APPLICATIONS INDUSTRIELLES



PIÈCES EN MATIÈRES SOUPLES

- Différents types et duretés Shore A
- Réversible, résistant à la déchirure et imperméable
- Convient pour des pièces entièrement fonctionnelles
 - Combinaisons dure/soft (3 matières)
 - Soufflets
 - Joints souples



PIÈCES BI-COMPOSANTS AVEC INSERT

- Matières:
 - TPU Desmopan 9385 A
 - PA 10 Grilamid TR-XE 4010
- Combinaison de deux matières réglable grâce au sliceur ARBURG
- Insertion de pièces mécaniques
- Appareillement des matériaux à vérifier



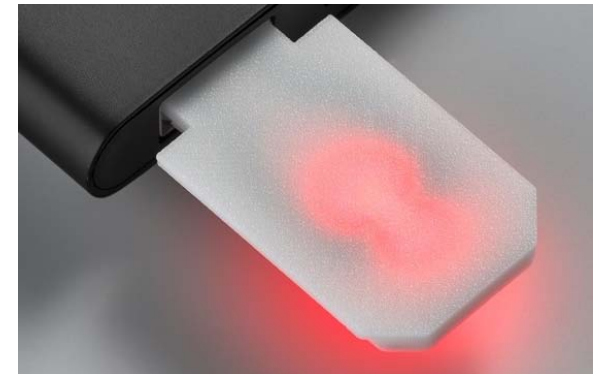
PROTOTYPES – MATURITÉ DU PRODUIT ATTEINTE PLUS RAPIDEMENT

- Magura GmbH und Co. KG
- Matières:
 - PA 10 Grilamid TR-XE 4010
 - TPU Desmopan 9370 AU
- Accélération de la phase de développement
- Test des fonctionnalités grâce aux prototypes



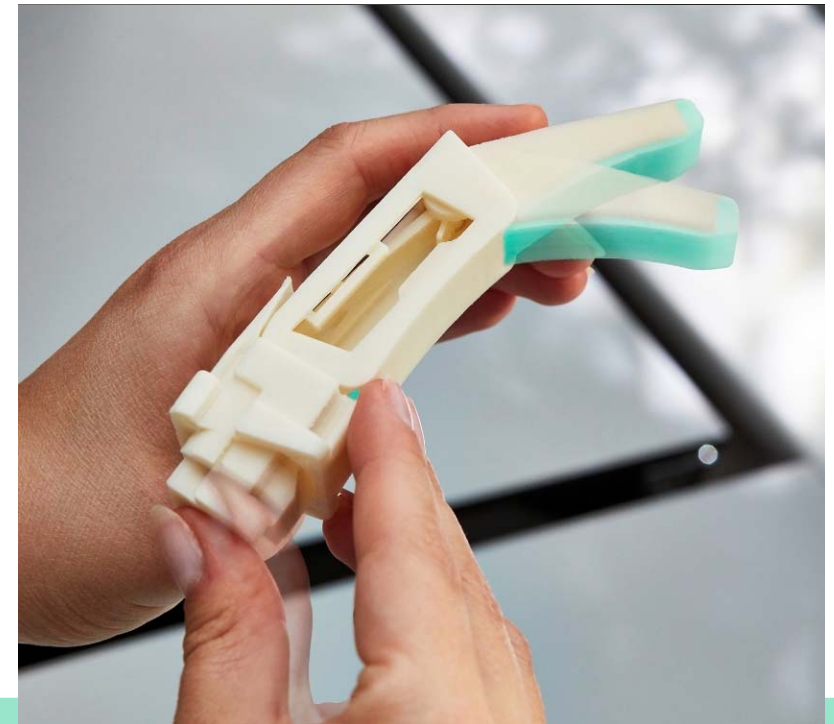
PIÈCES EN MATIÈRES CONDUCTRICES

- Matières:
 - PC-ABS, chargé en nanotubes de carbone (CNTs)
- Compound spécifique du client
- Contacte direct avec une LED insérée manuellement
- Applications capacitives
 - Interrupteur sans contact



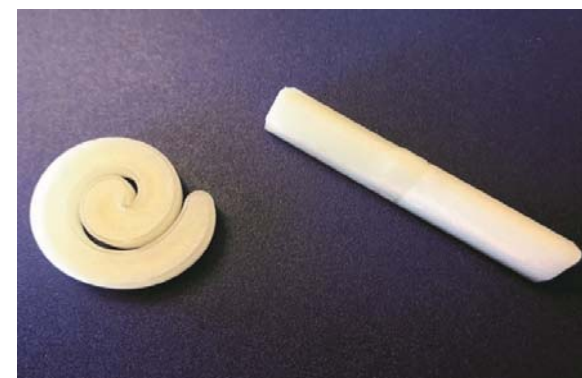
PIÈCES TROIS MATIÈRES

- Matières:
 - ABS Terluran GP35
 - TPU Desmopan 9385 A
- Pour les tests tactiles des produits d'hygiène (appariement des matières nécessaire)
- Tests fonctionnels des composants durs et mous
- Assemblage fabriqué en une seule pièce



IMPLANTS EN MATIÈRES CERTIFIÉES

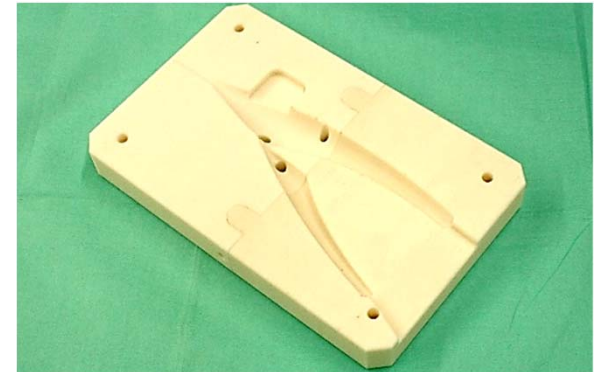
- Samaplast AG
- Matières:
 - PCU (polycarbonate uréthane) certifiée FDA
 - Différentes duretés disponibles: 90A, 80A, 65D, 55D
- Traitement très proche des spécifications d'origine des matières
- Réduction minimale de la viscosité inhérente (IV) – comparable au moulage par injection



Polymer name	Moulded part	Remo Lactid [%(m/M)]	IV measured with CHCl ₃ at 25 °C. 0.1%		Reduction [%]
			IV of moulded part [dl/g]	IV of raw material [dl/g]	
LR 704 S	Freeformer	<0.54	1.830	2.4	24%
LR 706 S	Freeformer	<0.54	2.255	3.9	42%

OUTILS ET CONSOMMABLES MÉDICAUX

- AESCULAP AG
- Dispositif d'enlèvement de rivets
 - ABS Terluran GP35
 - Réparation de porte-aiguilles pour la maintenance
- Emballages d'outils chirurgicaux:
 - PP Meliflex M8260 BLT
 - Développement rapide de nouvelles variantes
 - PP certifié pour les emballages médicaux



ARBURG

RÉSUMÉ



SYSTÈME FREEFORMER UNIQUE EN SON GENRE

- **System totalement ouvert** –
influence ciblée sur les propriétés des pièces
- **Base de données matières** –
la diversité ne cesse de s'accroître
- **Grand freeformer** –
Pièces fonctionnelles en jusqu'à 3 matières
- **Prérequis** –
s'impliquer dans la technologie
- **Norme industrielle** –
plus de 50 ans d'expérience en injection plastique



QUALITY KNOW-HOW
MACHINES TECHNOLOGIES
**THE HOME OF
INJECTION MOULDING**
MARKET LEADERSHIP
PASSION VISION
INNOVATION

WIR SIND DA.

Impression par procédé APF (Arburg Plastic Freeforming)

Retour d'expérience sur la technologie

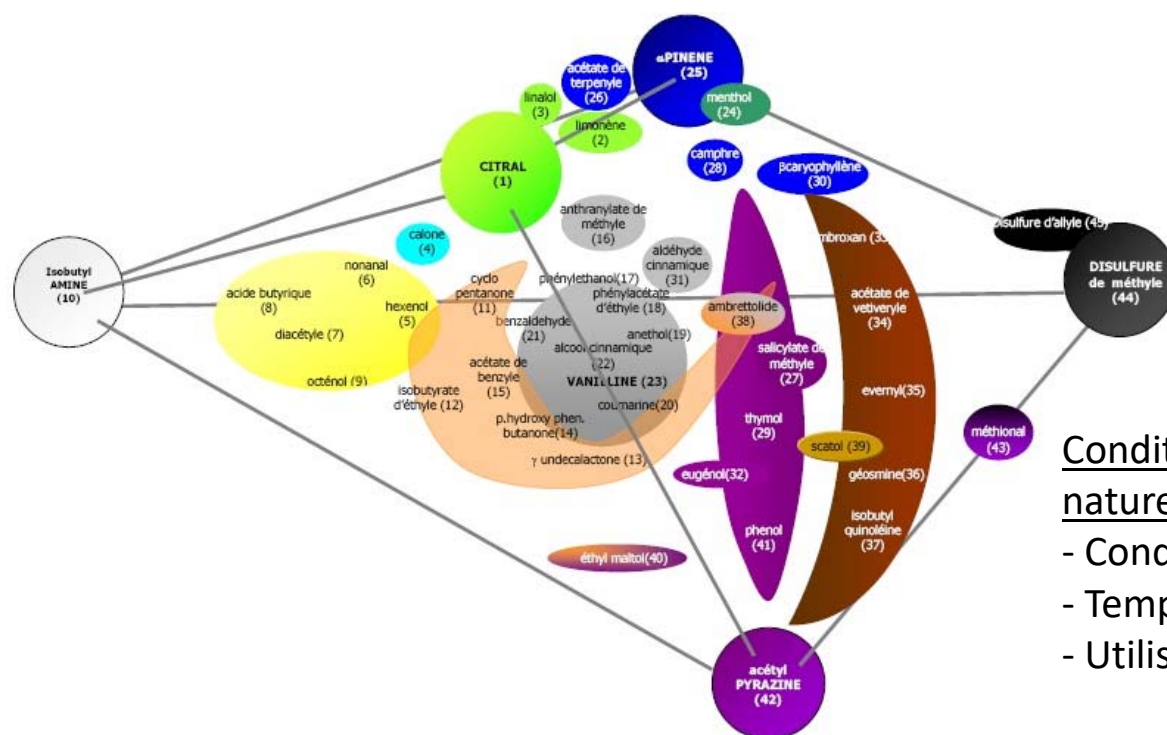
Olivier Dugauguez – CRITT-MDTS



Projet COMPOSENS: Impression 3D de composites



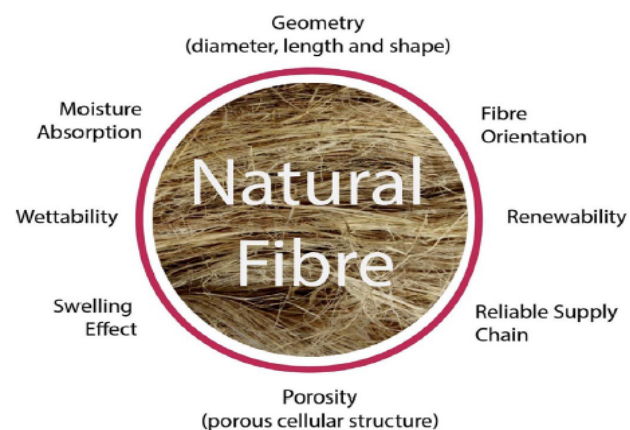
Réduction des odeurs/VOC de composites fibres naturelles



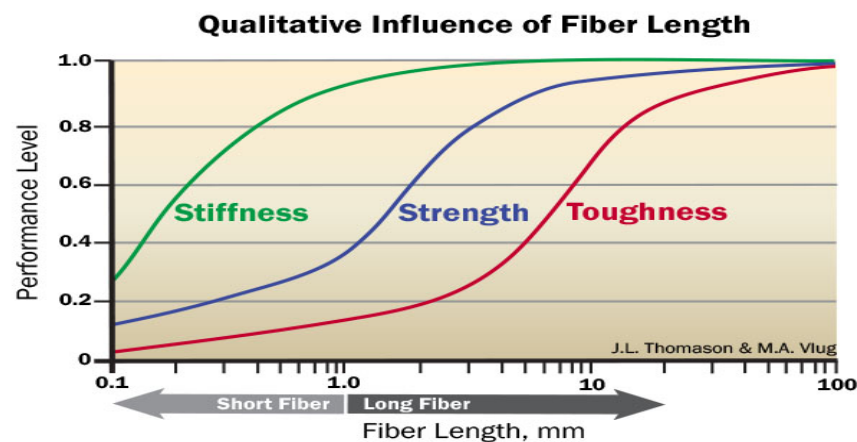
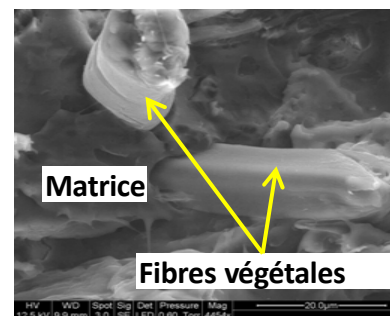
Conditions d'influence sur l'odeur des fibres naturelles:

- Conditionnement et atmosphère de stockage
- Températures d'utilisation des machines
- Utilisation d'additifs

Intérêt des fibres longues dans une matrice



Facteurs clés affectant les propriétés d'un composite à base de fibres naturelles



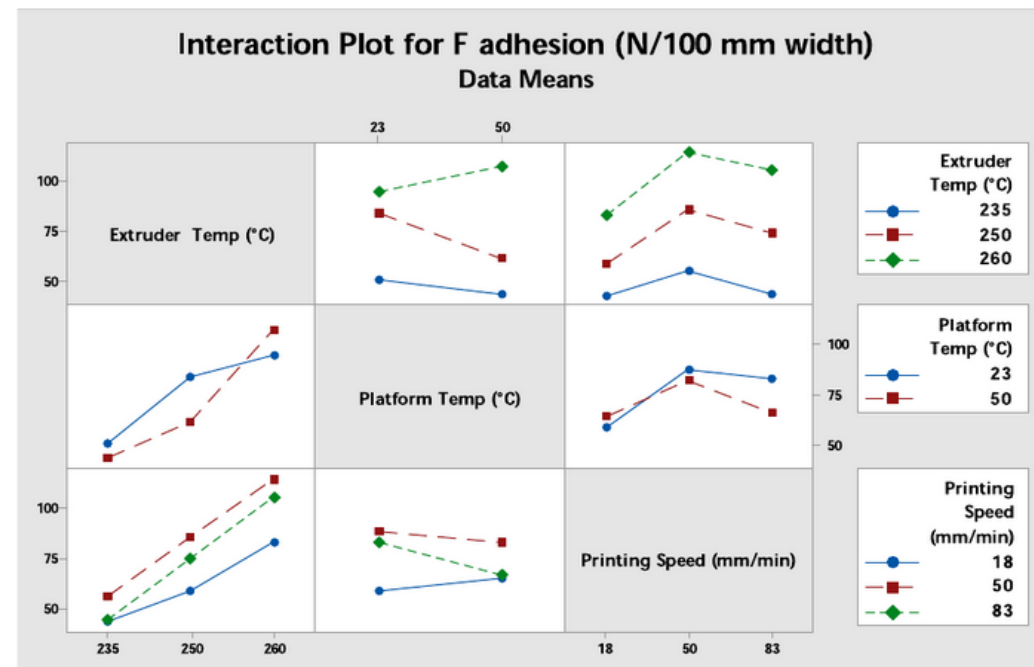
Niveau de performance d'un composite en fonction de la longueur de fibre

Influence des conditions d'impression sur l'interface fibre/polymère



Nylon imprimé en texture auxétique sur de la laine via FDM

Investigation of the adhesion properties of direct 3D printing of polymers and nanocomposites on textiles: Effect of FDM printing process parameters, Appl. Surf. Sci. (2017). <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.01.112>.

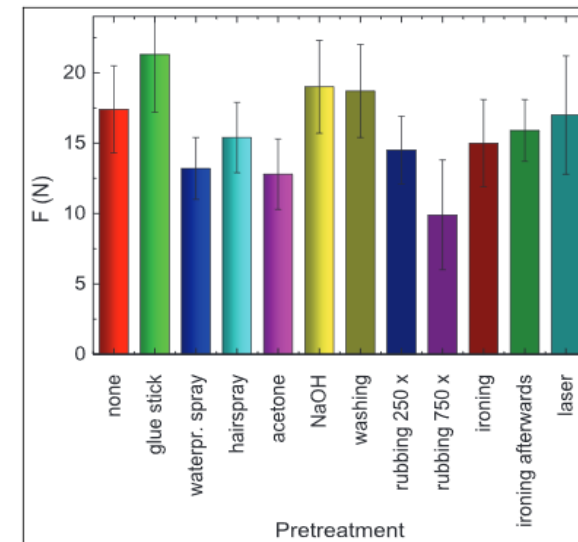


Influence des conditions d'impressions sur la qualité d'adhésion polymère / fibres

Influence du traitement des fibres avant l'impression



Impression 3D de PLA par FDM sur un tissu polyester sans traitement plasma argon (droite) et avec



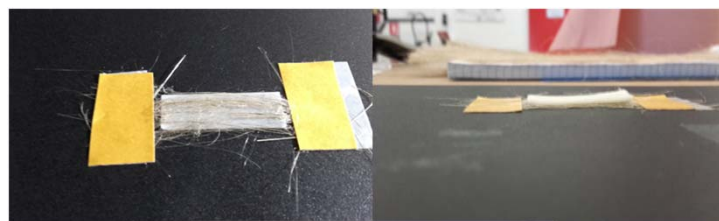
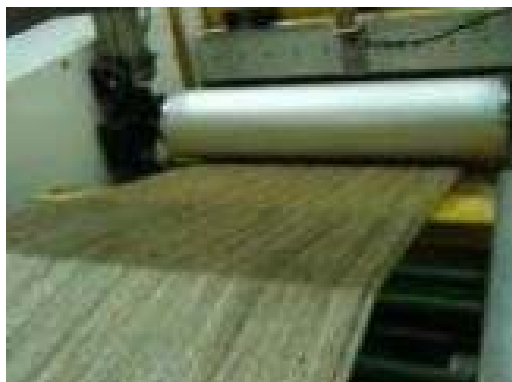
Influence du prétraitement des fibres avant l'impression FDM sur l'interface fibre/polymère

Impression de composites via la Freeformer

Avec traitement plasma
des fibres

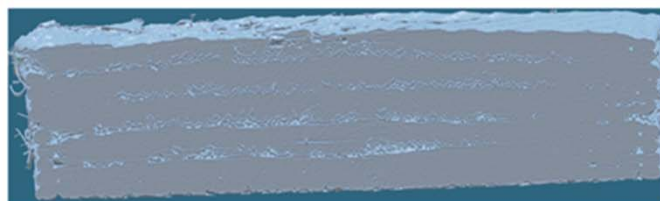
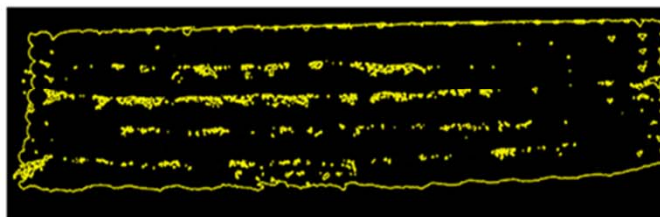


Empilement des couches de fibres
au dessous des couches de
polymère imprimés

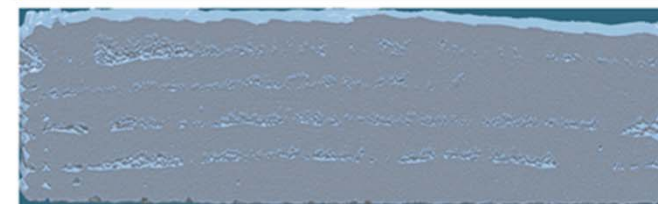
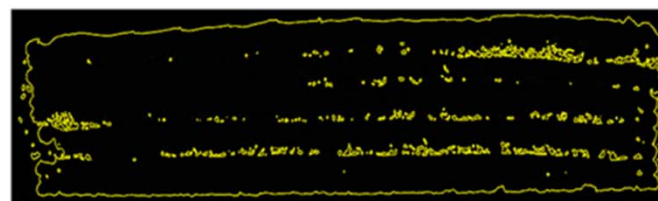
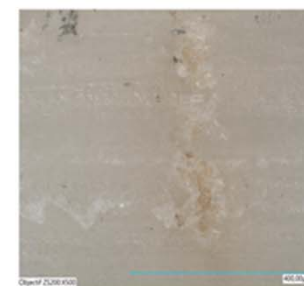


Impression de composites via la Freeformer

ABS
 +
 fibres non traitées

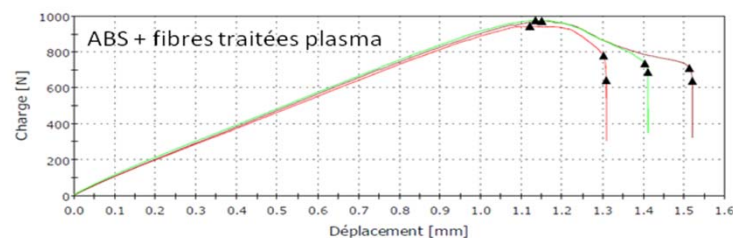
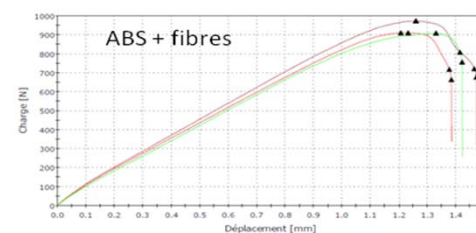
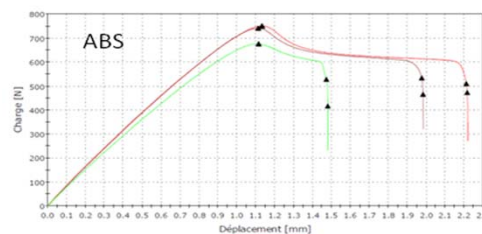


ABS
 +
 fibres traitées plasma



Influence des fibres sur les performances mécaniques

Ech.	Rm (Mpa)	Re 0,2 (Mpa)	E (Mpa)	A %
ABS	36,3 ± 1,68	22,7 ± 1,32	2339,8 ± 11,67	5,4 ± 1,51
ABS + fibres non traitées	44,6 ± 1,83	33,5 ± 2,59	2953,9 ± 367,93	2,7 ± 0,7
	23%	48%	26%	-50%
ABS + fibres traitées plasma	44,6 ± 0,96	30,5 ± 0,54	2851,3 ± 447,2	3,4 ± 0,4
	23%	34%	22%	-37%



[illegible]



ADDIPARTS

La Fabrication Additive au service des entreprises



Technologies innovantes - Impression 3D



La Fabrication Additive au service des entreprises

- 1. Introduction**
- 2. Thermoplastiques Hautes Performances**
- 3. Dimensionnement par Calculs Éléments Finis**



Qui sommes-nous ?

- Société de Service en Technologies Additives Industrielles
- Spécialisés dans la mise en œuvre de Polymères à hautes performances
- Expertise dans les domaines de l'Aéronautique, de la Défense, du Médical
- Certification iso 13485





Services

1. Consultance

- Conseils en technologies AM, en matériaux polymères et leurs applications

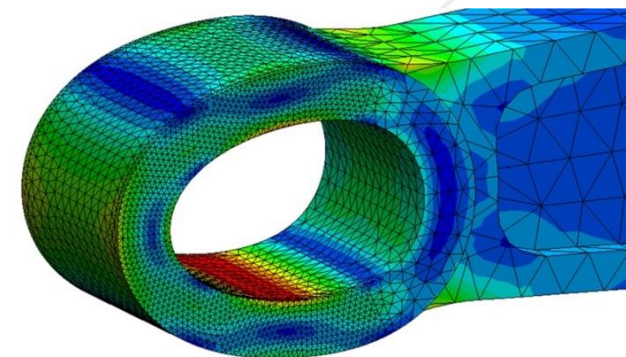
2. Bureau d'Etudes

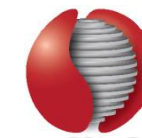
- Conception, en vue de réalisation par FA, de prototypes fonctionnels, de pièces de série, d'outillages et gabarits.
- Dimensionnement par Calculs Eléments Finis de pièces imprimées par FDM (contraintes & déplacements)

1. Fabrication Additive – Polymères

- FDM : Thermoplastiques Industriels
- SLA : Résines Techniques
- MJF : PA12
- GDP : Résine - Très grandes pièces

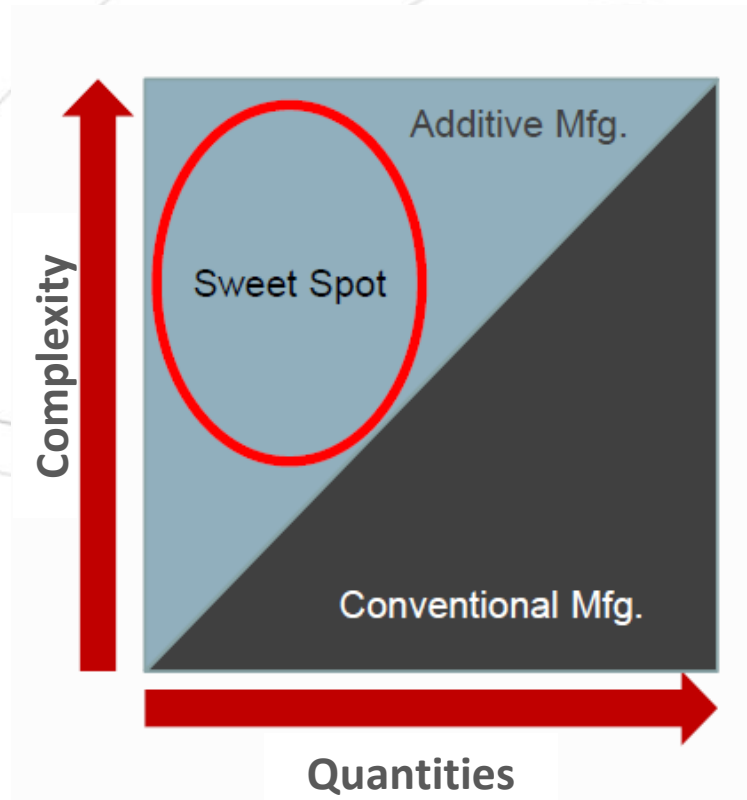
➔ Sélection de la technologie en fonction du besoin





Fabrication Additive - Idéale pour :

“Petits” lots de pièces techniques, complexes et urgentes





FA - Requis Industriels

- Thermoplastiques de qualité industrielle, à hautes spécifications mécaniques, thermiques et environnementales (UV, chimique)
- Tolérances dimensionnelles, stabilité géométrique des pièces dans le temps
- Répétabilité du processus de fabrication
- Pièces fonctionnelles
- Grandes dimensions





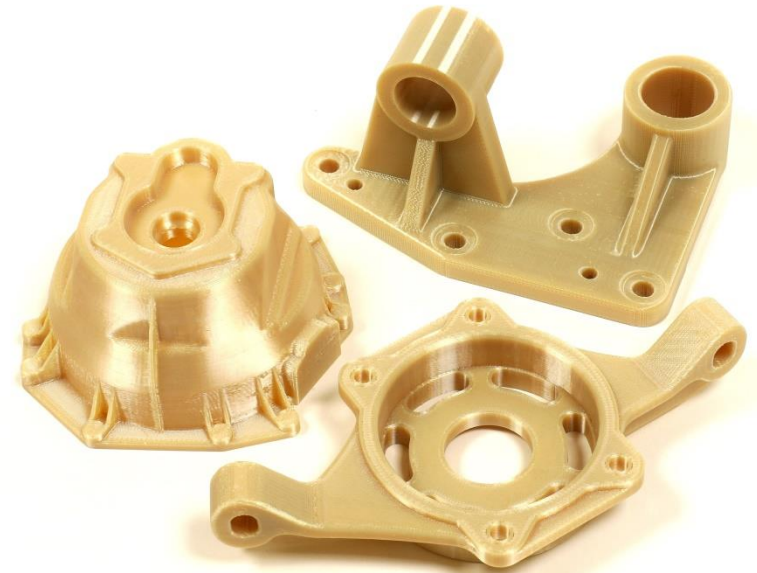
Thermoplastiques Hautes performances

Intérêts techniques

- Rapport poids-résistance élevé
- Haute résistance à la T°
- Résistance à l'impact et à l'usure
- Haute résistance chimique
- Résistant aux flammes
- Hautes propriétés diélectrique (isolant)
- Stérilisable
- Faible dégazage sous vide

= Alternative au métal

➔ Possibilités en vue d'impression 3D ??

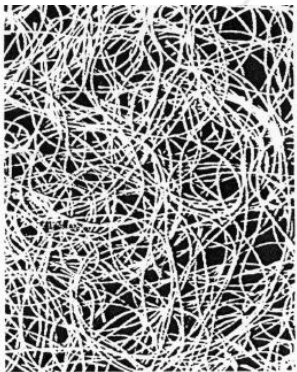




Thermoplastiques

Classifiés en :

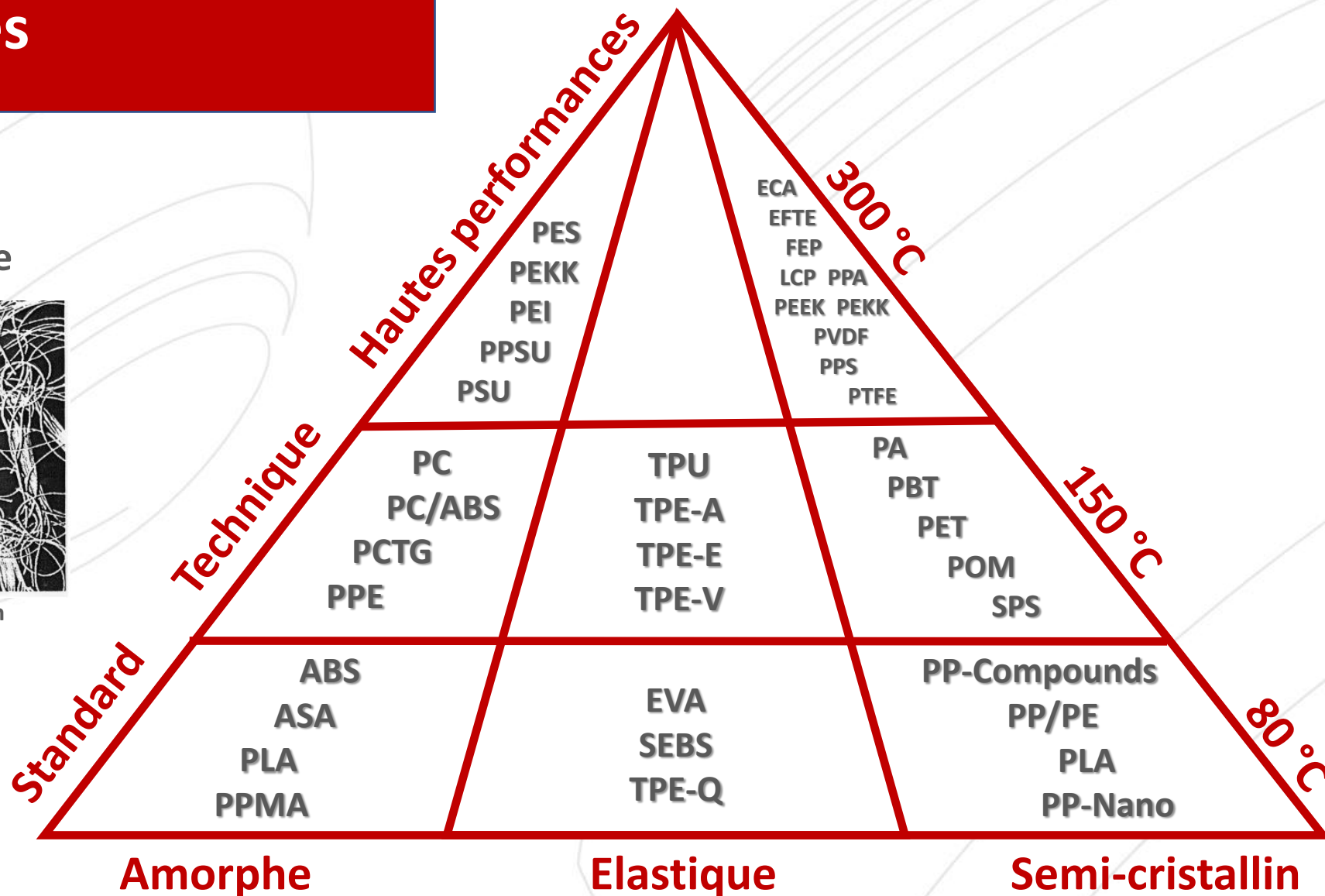
- Familles physiques
- Niveaux de performance



Amorphe
Isotrope



Semi-cristallin
Anisotrope

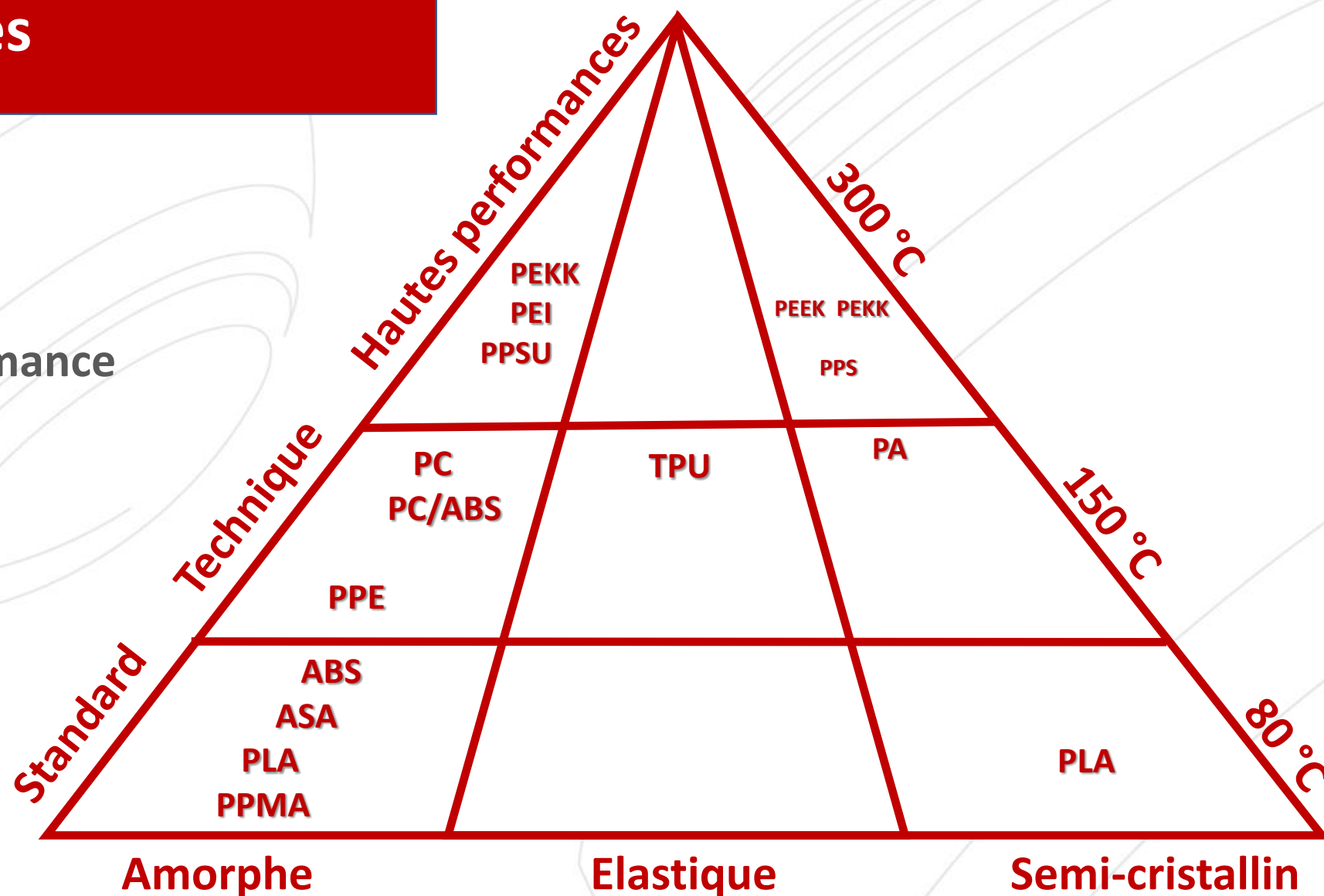




Thermoplastiques

Classifiés en :

- Famille physiques
- Niveaux de performance
- **Imprimables 3D**

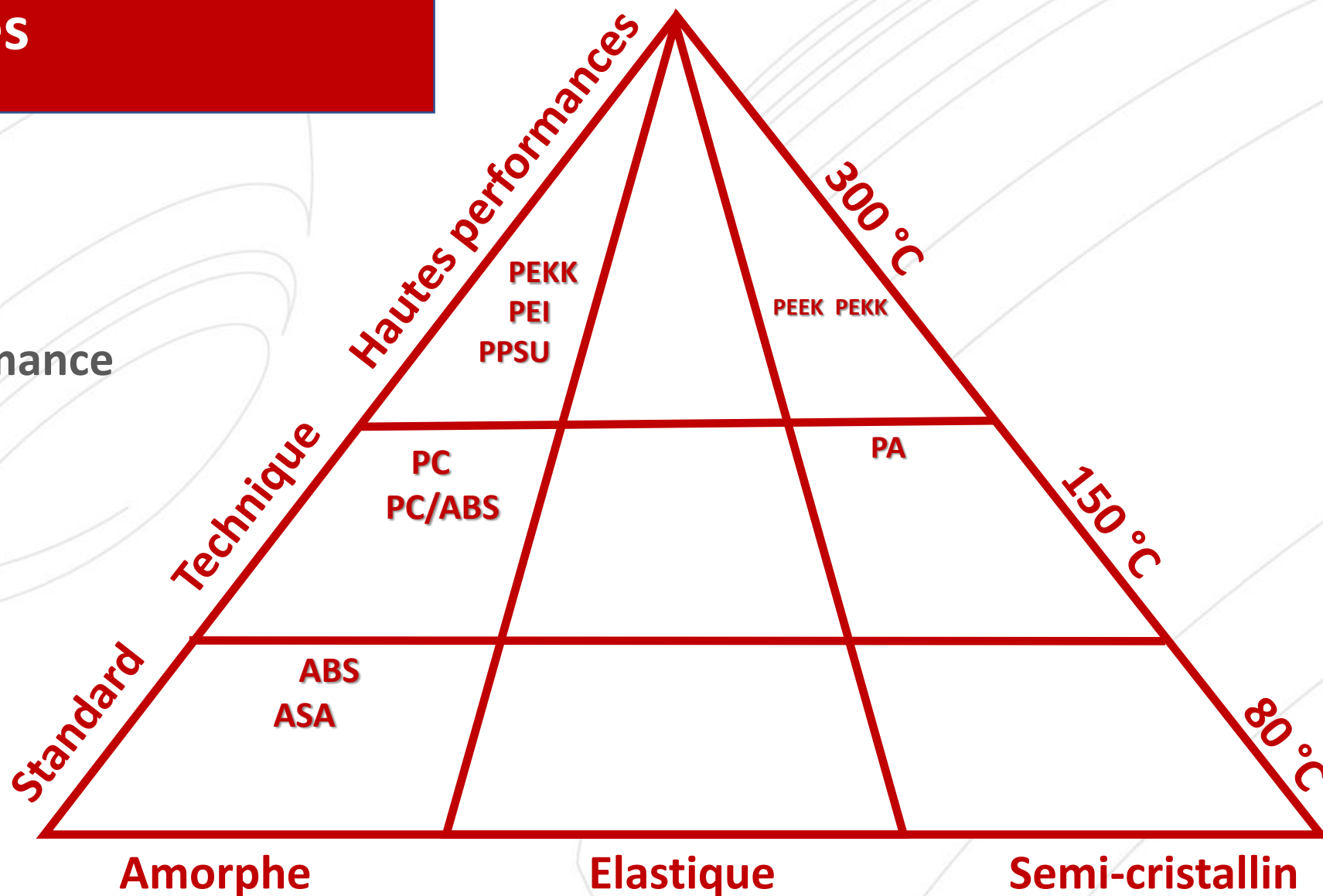




Thermoplastiques

Classifiés en :

- Famille physiques
- Niveaux de performance
- Imprimables 3D
- Industriels



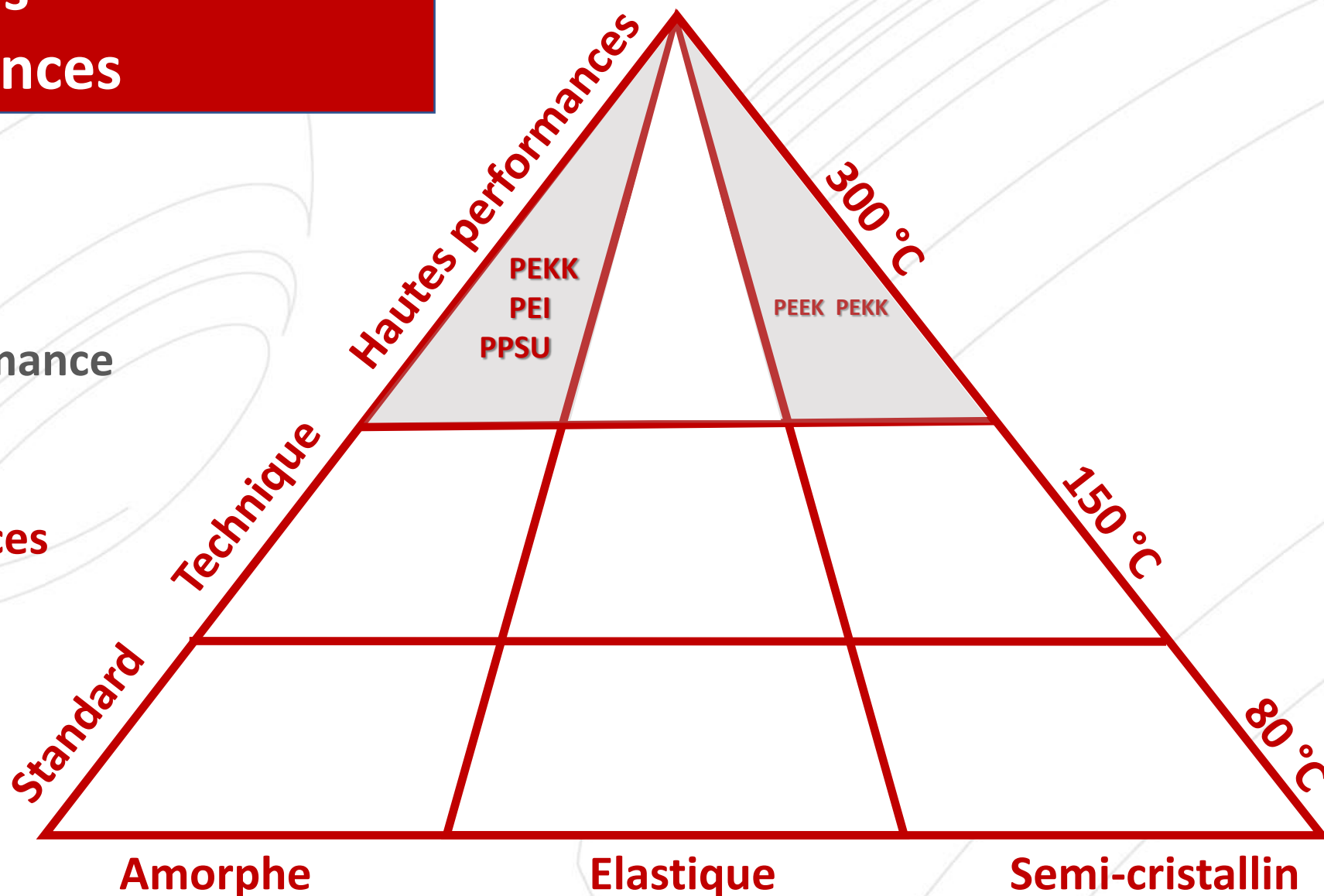


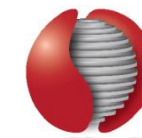
Thermoplastiques Hautes performances

Classifiés en :

- Famille physiques
- Niveaux de performance
- Imprimables 3D
- Industriels
- **Hautes performances**

1. PPSU
2. PEI
3. PEKK
4. PEEK





Polymères thermoplastiques Hautes performances

Caractéristiques typiques

	Famille	Impression 3D		HDT 264 psi	Résistance mécanique	Résistance T°	Résistance chimique	Prix
		FDM	SLS					
PEI	Amorphe	Maitrisée	NA	155°C	++	+	+	+
PPSU	Amorphe	Maitrisée	NA	190°C	++	++	++	+
PEKK	Amorphe	Maitrisée	NA	150°C	+++	+	++	+++
PEEK	Semi-cristallin	Difficile	Maitrisée	240°C	+++	+++	+++	+++

FDM : Fused Deposition Modeling - Dépôt de fil fondu

SLS : Selective Laser Sintering – Frittage de poudre par faisceau laser





FDM Technology

Imprimantes FDM industrielles de haute performance

Grands volumes d'impression : FORTUS 400 mc → 400 x 355 x 400 mm

: FORTUS 900 mc → 900 x 600 x 900 mm



FORTUS 400 mc



FORTUS 900 mc



SLS Technology

Imprimante SLS industrielle de haute performance

Volume d'impression : EOSINT P 800 : 700 x 380 x 580 mm



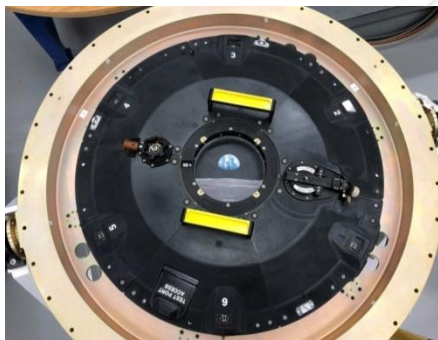
EOSINT P 800



Polymères thermoplastiques Hautes performances

Domaines d'application :

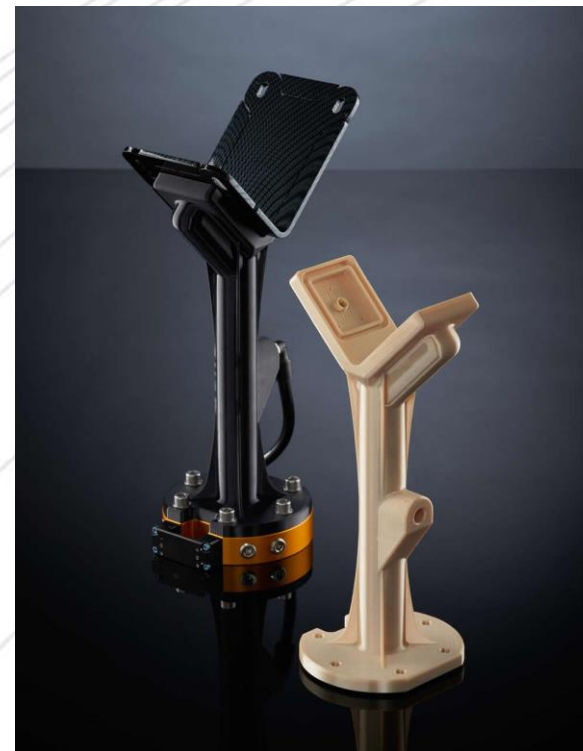
- Aéronautique
- Spatial
- Défense
- Drones
- Ferroviaire
- Médical





Utilisations ↔ Matériau

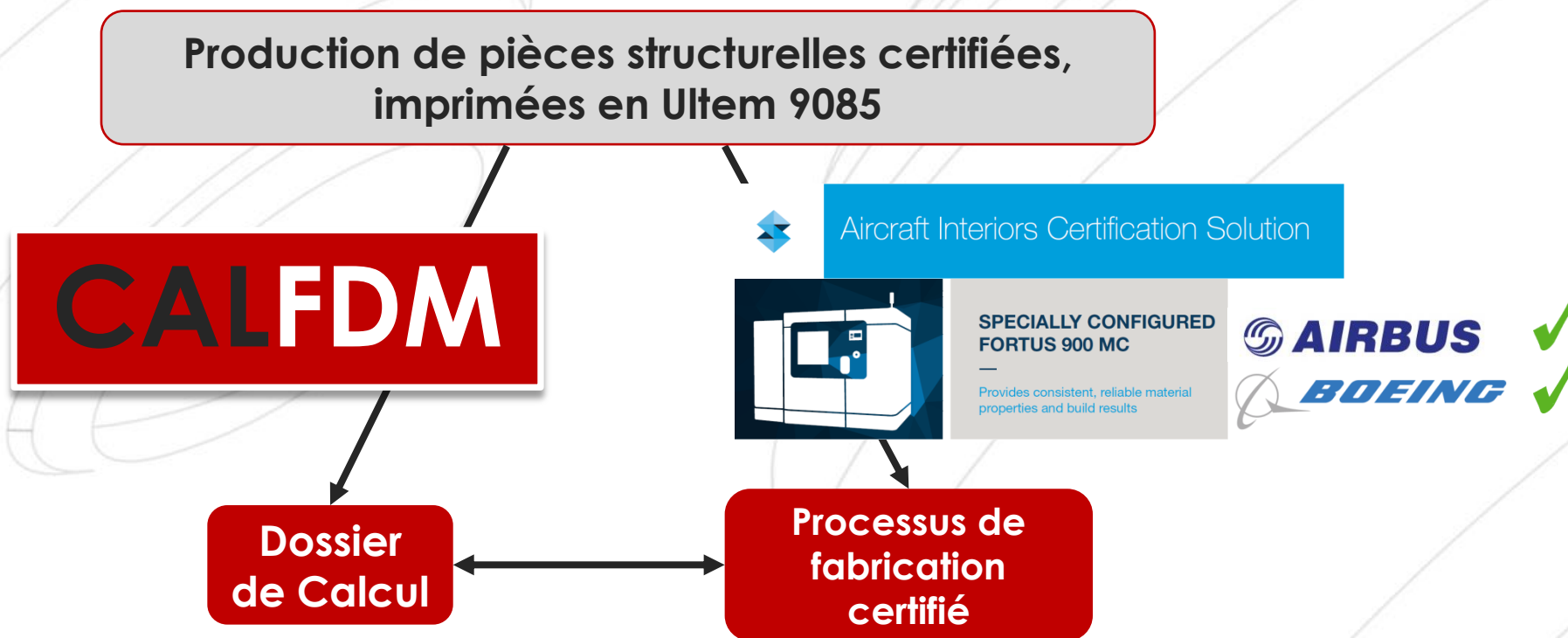
- Prototypage, essais fnls → Ultem 9085, PPSU, PEKK
- Outillages et Gabarits → Ultem 9085
- Pièces de série → Ultem 9085, PEKK





Dimensionnement Calculs Éléments Finis

Objectif visé





Dimensionnement Calculs Éléments Finis

Applications cibles

Applications qui se prêtent à la fabrication FDM et dont les conditions de chargement et d'utilisation nécessitent un dimensionnement par calcul.

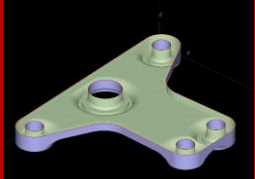
- Éléments de support, de fixation
- Éléments de transmission de mouvement
- Autres



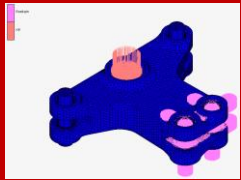
Dimensionnement Calculs Éléments Finis

CALFDM Méthodologie

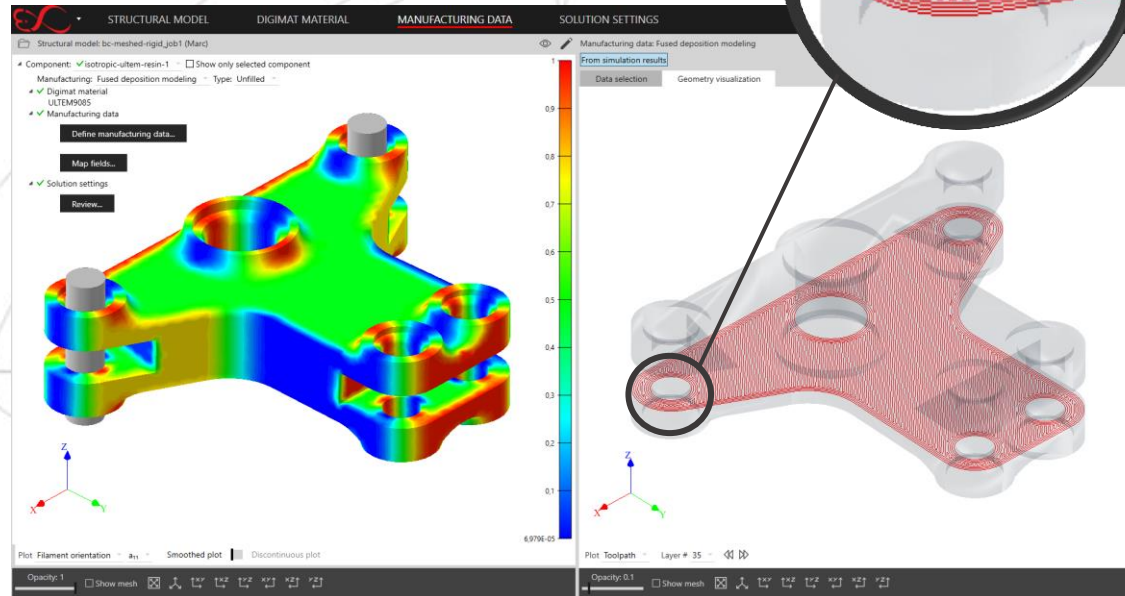
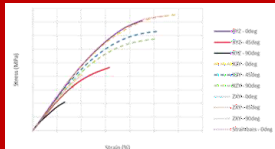
Paramètres
d'impression



Modèle FEA
(Charges & CL)

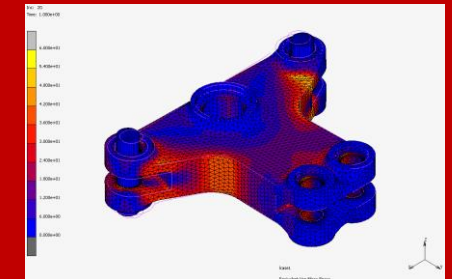


Carte Matériau



Calcul
FEA

Resultats



Contraintes
Déplacements

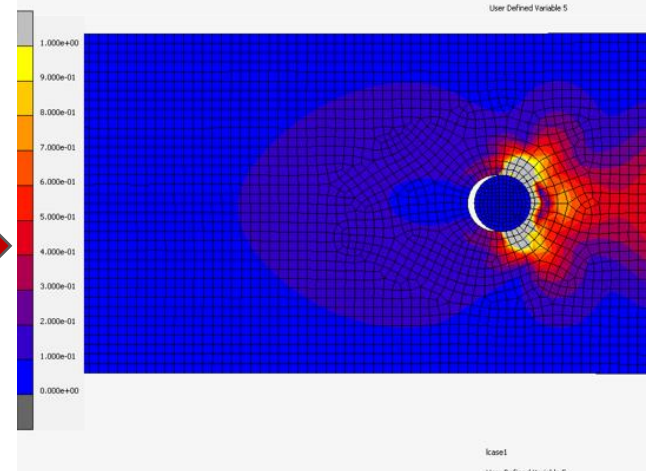
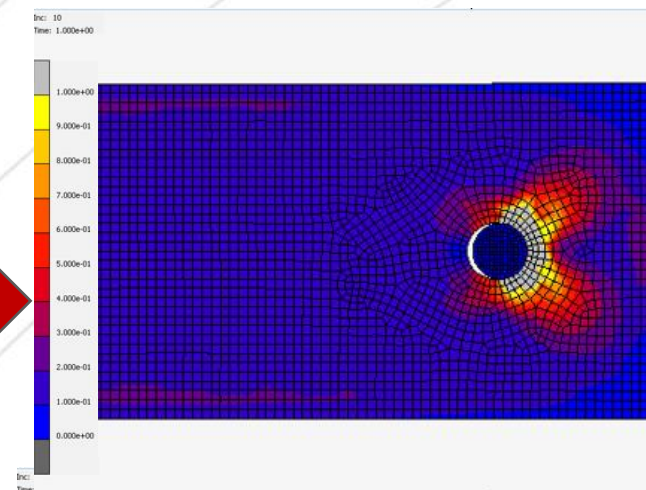
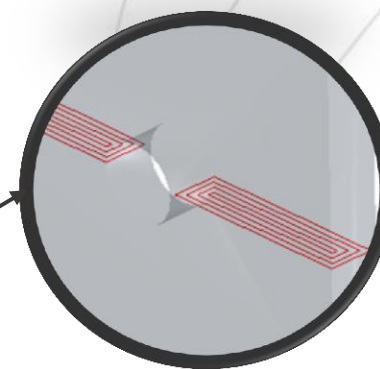
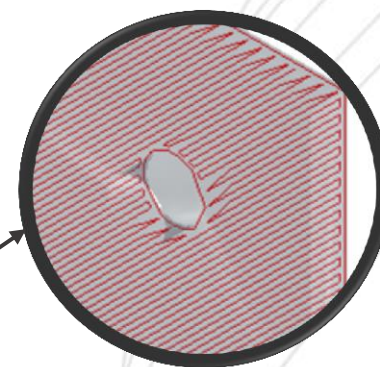
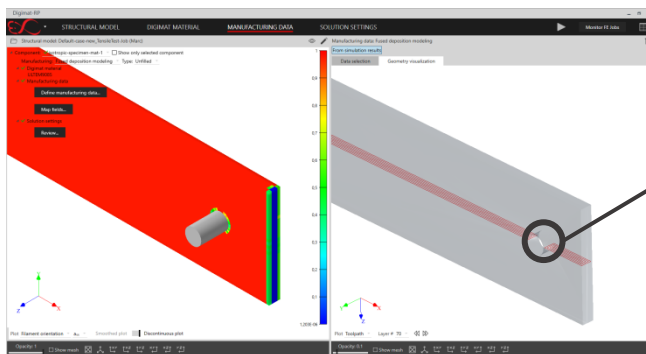
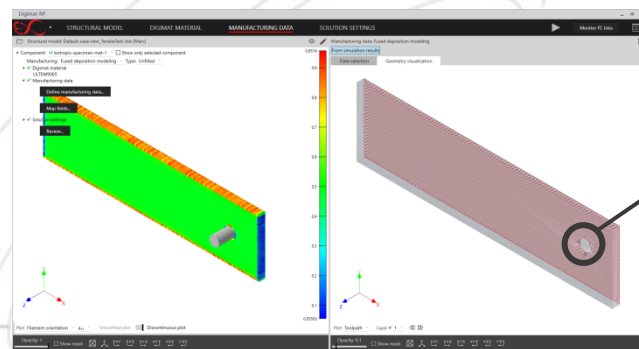
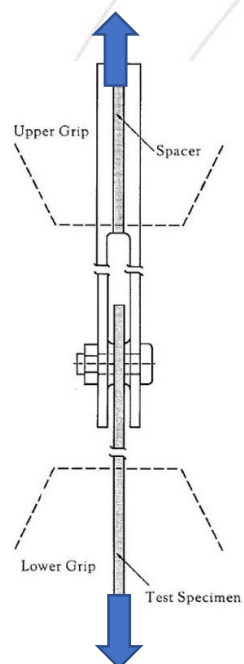


Dimensionnement Calculs Eléments Finis

Simulation d'essai

Etude des **moyens de fixations** compatibles des pièces imprimées en Ultem 9085 :

➔ Simulations de **matage plan**



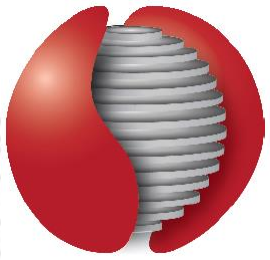


Synthèse

Addiparts dispose :

- D'une expertise en FA de **Polymères à hautes performances**;
- d'un **service de conception et d'optimisation** de pièces fabriquées par FDM;
- d'une **maîtrise du procédé** d'impression FDM;
- d'une **expertise complète**, du design jusqu'à la mise en œuvre de la pièce;

permettant de concevoir, dimensionner, certifier et produire des pièces polymères imprimées 3D à haute résistance mécanique avec une **garantie opérationnelle**.



ADDIPARTS

Merci pour votre attention

ADDIPARTS s.p.r.l.
Z.I. de Jumet
Allée Centrale, 68
6040 Jumet

Tél.: + 32 (0) 472 59 03 29
www.addiparts.com

Enjeux et perspectives du nettoyage en phase vapeur de pièces issues de la fabrication additive.

Inventec / Laurent Levasseur

14 mai 2019

Inventec

Groupe Dehon

- 120 collaborateurs / 5 continents / 10 filiales / 5 laboratoires
- Cleaning – Coating – soldering
- *Promosolv, Promoclean, Topklean, Quicksolv*



Semiconductor



Automotive



Industrial



Telecom



Energy



Aerospace



1° Solution innovante de nettoyage par voie humide: *des questions à foison...*

- Impression 3D: *qu'est-ce qu'on nettoie?*
- Traditionnel: forgeage, décolletage, huiles etc... impression 3D: c'est de la particule/poudre : *comparer les performances ?*
- Donc le solvant ne doit pas dégraisser mais départiculer: *choisir un moyen de nettoyage adapté ?*
- Nature des pièces :métal, plastique, céramique... *compatibilité ?*
- Solvant: tension de surface faible, faible viscosité –*capter la particule mais encore ?*
- ... : ... ?

Mêmes pièces donc même solution de nettoyage?

Quelle différence ?

Usage

- Pièces traditionnelles ?

Coût



matériau

forme

Performances

- Pièces 3D ?



Caractéristiques

Nature

process différents pour nature similaire

- Traditionnel : exemple Forgeage
- Soustractive
- Méthode d'usinage : taillage, calibrage, rectification...
- Outillage, **lubrifiants**
- 3D : Mise en forme de poudres
- Additive
- Type de méthode d'usinage
- **Choix des poudres**

Comparaison des performances

: sont elles égales ?

- Techniques
- Economiques
- Ecotoxiques

OUI / NON ?

→ OUI : Le nettoyage se borne au départiculage si nécessaire

→ NON : Le nettoyage revient à considérer les pollutions issues d'un réajustage

Des performances (frittage pour la dureté, polissage pour la rugosité...

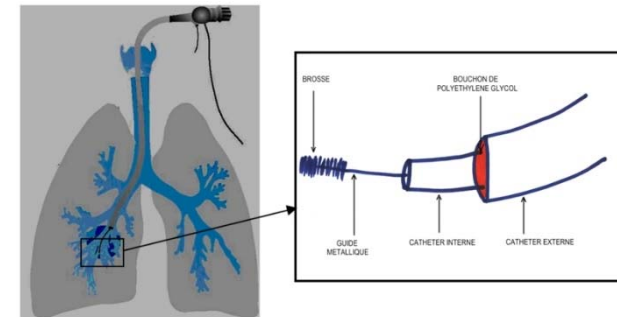
(porosité, ressuage, compatibilité matériaux)

Qu'est ce qu'on cherche à nettoyer? (pollutions différentes ?)

	Traditionnel (soustractive)	3D (additive)
Matières organiques	Huiles, graisses	Non (sauf sur pièces métal , post-traitement métal type frittage, polissage...)
Particules	Copeaux, ambiance	<u>Issues de poudre</u>

2- Etude de cas:

- **Description des pièces sales:** état initial : « Ecouvillon de type médical »
- Quelle matière? ISO 175 / compatibilité solvant / matière au point d'ébullition du solvant.
- Quel polluant? Résidu de poudre, « éclats et copeaux plastiques », poussières d'ambiance
- Quelle forme? Géométrie complexe
- Quel nombre? Nombreuses et disposées en vrac
- Cadence? Élevée (1000 à 5000 / lot)



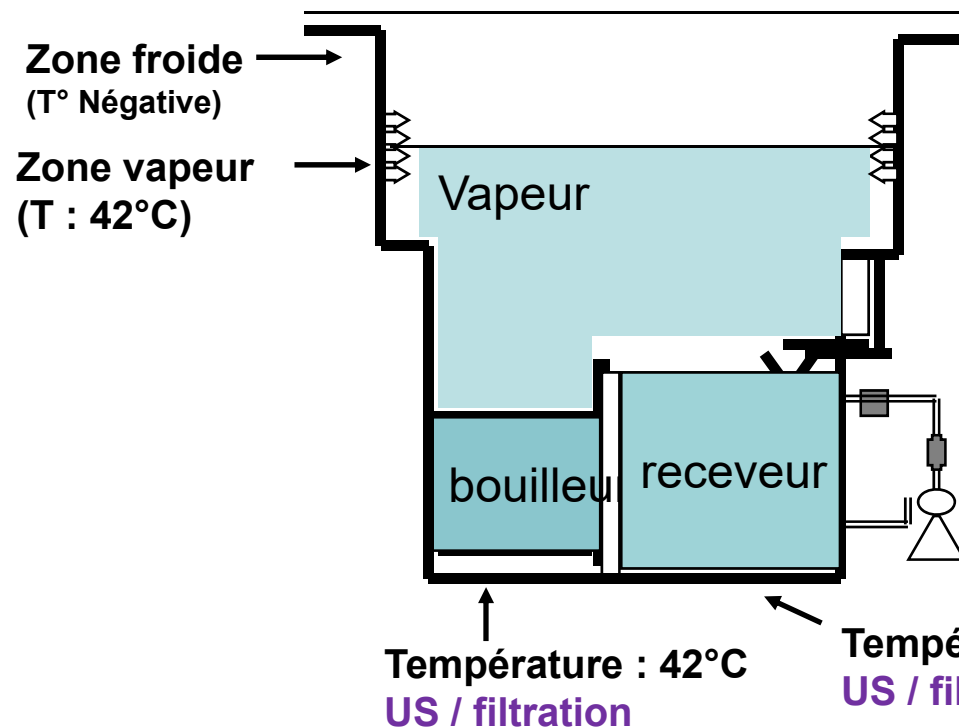
Exemple d'un cas d'usage critique : dispositif de Wimberley pour les prélèvements par écouvillon.

Quel produit de nettoyage?

→ Contraintes et solutions

- Cycle court car cadence élevée
- Plastique
- Géométrie complexe
- Particules de même matière que la pièce
- Séchage rapide
- Chimie non agressive
- Faible tension de surface, faible viscosité
- Déplacement et non solubilisation des polluants.
- Viscosité faible importante pour éviter les phénomènes d'adsorption

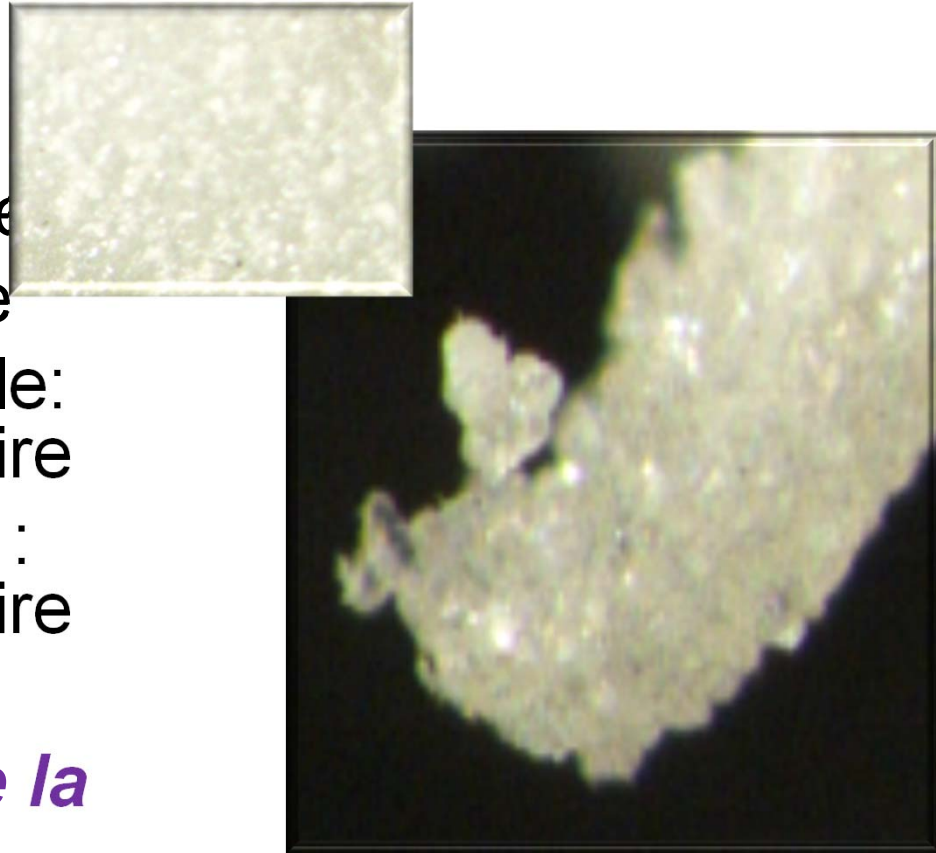
Process azéotropique



*Sur base Hydrofluoroether
Ininflammable
Choix de solvation (TDE)
Process simple et court
Compatibilité
Non toxique
ODP nulle
GWP faible
Point d'ébullition bas*

Perspectives particulières...

- 3 cas possibles
- Schémas des particules
1. Rugosité: polissage
 2. particule détachable: comptage particulaire
 3. particule détachée : comptage particulaire



***Est-ce qu'on crée de la
particule quand on
nettoie?***

Critère de propreté?

Comptage particulaire :

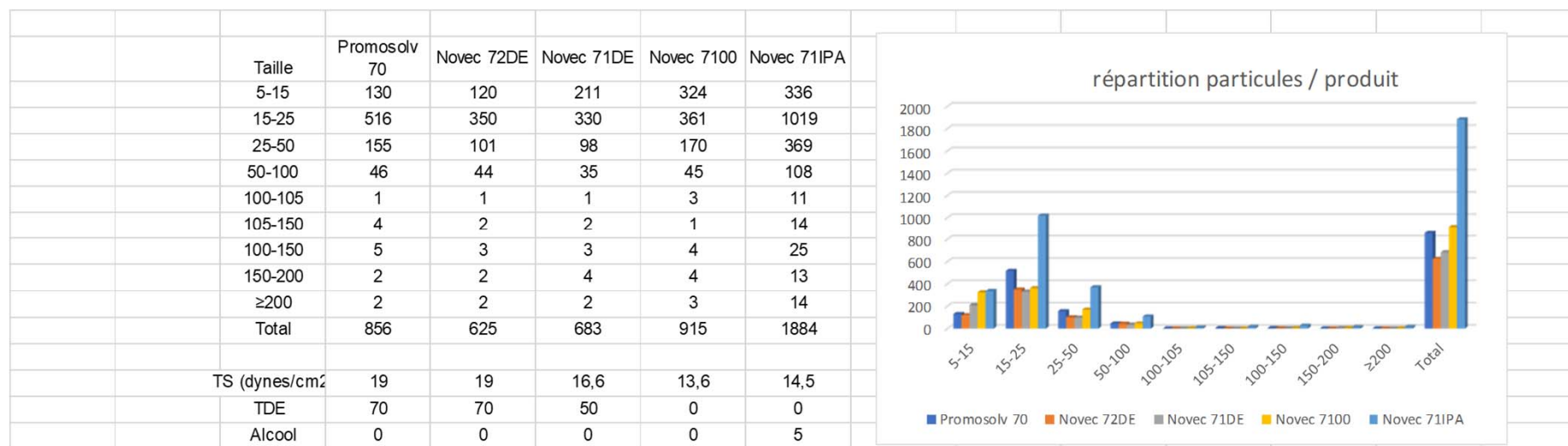
- Comptage particulaire

- Classe demandée=cahier des charges
- Résultats obtenus = comparaison
- Les Normes qualifient la classe, l'usage ultérieur qualifie le besoin

Comptage de particules NF ISO 16232-10	Novec 72 DE FINAL	Novec 72 DE REFERENCE
5 à 15 µm (B) (Cts/100ml)	755	1420
Classe	10	11
15 à 25 µm (C) (Cts/100ml)	189	504
Classe	8	10
25 à 50 µm (D) (Cts/100ml)	129	307
Classe	7	9
50 à 100 µm (E) (Cts/100ml)	47	54
Classe	6	6
100 à 150 µm (F) (Cts/100ml)	8	9
Classe	3	3
150 à 200 µm (G) (Cts/100ml)	3	1
Classe	2	0
200 à 400 µm (H) (Cts/100ml)	2	2
Classe	1	1
400 à 600 µm (I) (Cts/100ml)	1	0
Classe	0	0
600 à 1000 µm (J) (Cts/100ml)	0	1
Classe	0	0
SUP 1000µm (K) (Cts/100ml)	0	0
Classe	0	0

Choix de la solution process/produit sur solvant base HFE

- Analyse des résultats et choix de produit : critères de choix dépendant de la composition, de la compatibilité avec le substrat, des caractéristiques physico-chimiques, des phénomènes d'adsorption... Recherche des interactions et des synergies

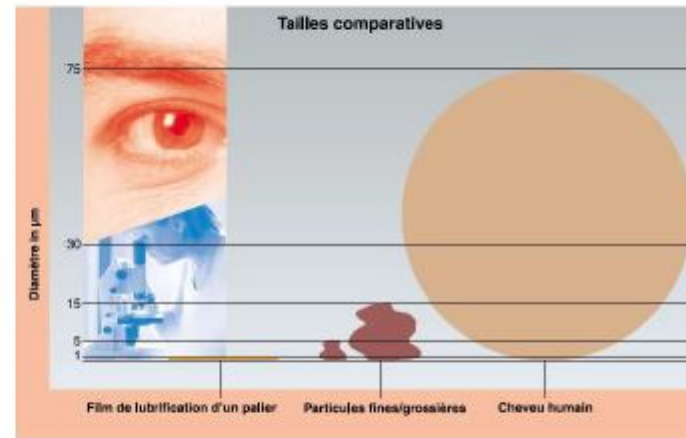


3- Exigences et perspectives du contrôle de propreté par comptage particulaire

Exemple de particules

Que compte-t-on?

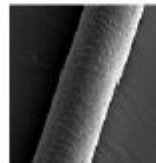
Le comptage particulaire permet de dénombrer des particules allant de quelques μm jusqu'au particules visibles à l'œil nu



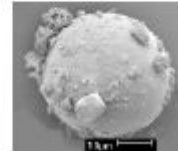
Grain de sable
 $100\mu\text{m}$



Cheveu
 $75\mu\text{m}$



Particule de
farine $25\mu\text{m}$



Bactérie
 $2\mu\text{m}$

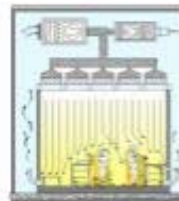


Quelques domaines d'applications

Protection des moteurs de pompes, compresseurs etc.



Production ou opération en atmosphère contrôlée



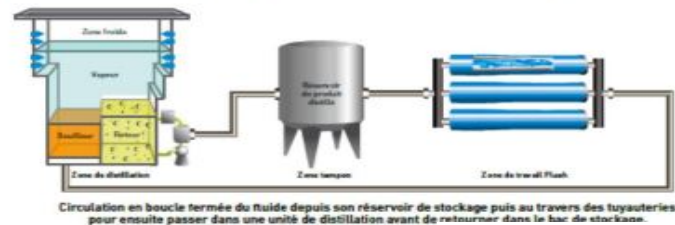
Contrôle de propreté sur composants critiques



Une méthode de contrôle
pour la fabrication additive?

Aéronautique/ aérospatial

- Norme fréquemment utilisée : NAS1638 et maintenant SAE AS4059 rev E
- Exemple : Nettoyage par Flushing



Automobile

- Norme fréquemment utilisée : ISO 16232 ou VDA 19.1
- Exemple

test lot of 5 parts	permissible particle amount (pcs.) within particle classes (µm)					swirls (max. thickness 60 µm)
	30 - 50	50 - 100	100 - 200	200 - 500	>500	
amount	*	250	100	30	2	12

* documentation only

In general and especially in cases of no fulfillment, the cleanliness has to be agreed upon together with RB production.

ENTER

Médical ?

- Nouvelle norme en cours de développement : ISO19227 qui comprend une mesure de comptage particulaire

Tableau 1 : Comparatif de la norme NF S94-091 et de la nouvelle norme ISO 19227

Le nouveau test	NF S94-091	ISO 19227
Contamination microbienne	Recherche de contamination microbienne	Recherche de contamination microbienne
Teneur en endotoxines	≤ 0,5 U/ml	≤ 0,5 U/ml
Aspect visuel	Aucune trace de saleté	Graves à l'usage par le fabricant
Conteneur	Non contaminé	Si effet bactériologique observé, mais en l'absence de mesure de mesure pour éviter le risque
Tout le système	Représentatif de la production	Représentatif de la production
Hygiène	≤ 0,5 mg/l	≤ 0,5 mg/l
Conteneur	≤ 0,5 mg/l	≤ 0,5 mg/l
Contamination microbienne	≤ 0,5 mg/l	≤ 0,5 mg/l
Contamination particulaire	≤ 0,5 mg/l	≤ 0,5 mg/l

Pour le comptage particulaire :
Le seuil est à déterminer

Normes associées au comptage

SAE AS4059 rév. E

La classe permet de caractériser l'état de contamination de la pièce

NAS classes (based on maximum contamination limits, number of particles for 1 mL)						
MTD	>4 µm	>6µm	>14µm	>21µm	>38µm	>70µm
ACFTD	>2 µm	>5µm	>15µm	>25µm	>50µm	>100µm
Size code	A	B	C	D	E	F
000	195	76	14	3	1	0
00	390	152	27	5	1	0
0	780	304	54	10	2	0
1	1560	609	109	20	4	1
2	3120	1220	217	39	7	1
3	6250	2430	432	76	13	2
4	12500	4860	864	152	26	4
5	25000	9730	1730	306	53	8
6	50000	19500	3460	612	106	18
7	100000	38900	6920	1220	212	32
8	200000	77900	13900	2450	424	64
9	400000	156000	27700	4900	848	128
10	800000	311000	55400	9800	1700	256
11	1600000	623000	111000	19600	3390	512
12	3200000	1250000	222000	39200	6780	1024

Méthodes de mesure

Mesure directe

Comptage des particules en semi continu dans le solvant ayant servi au traitement de finition

Mesure par extraction

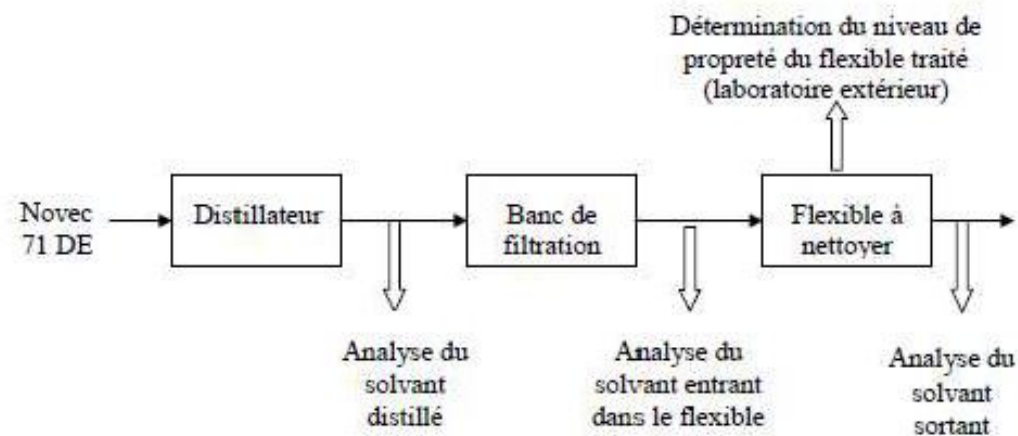
Etape 1 : prélèvement par extraction des particules en utilisant un solvant et une action mécanique

Etape 2 : Quantification par comptage particulaire

Utilisation d'un solvant mouillant, possible à filtrer et facilement évaporable

Exemple de mesure directe sur le fluide de finition

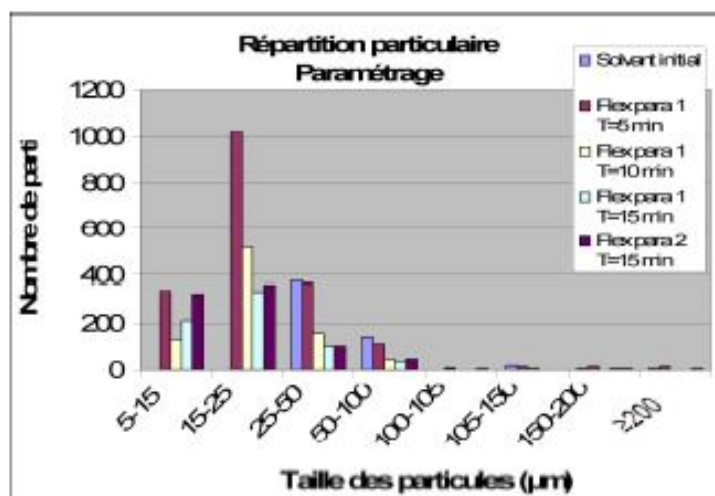
Schéma de principe



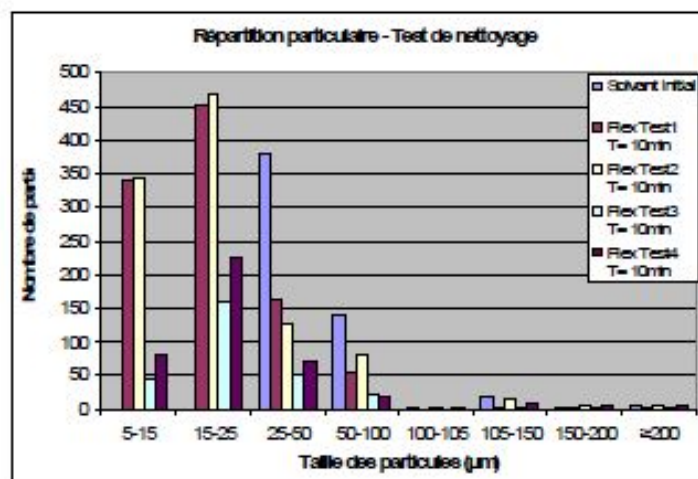
Cahier des charges client : contamination particulaire de classe 1

Exemple de mesure directe sur le fluide de finition

Prélèvement pour comptage particulaire après une circulation de 30s dans les tubes



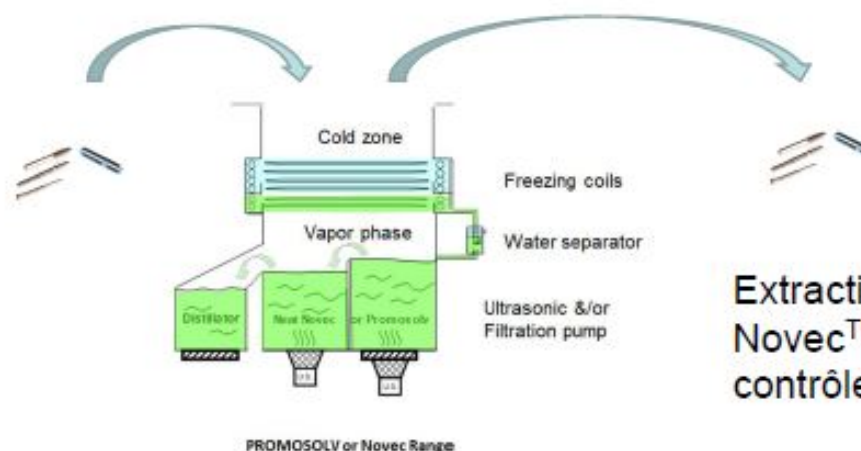
Prélèvement pour comptage particulaire après une circulation de 10min dans les tubes



Etude nécessitant une atmosphère contrôlée pour confirmer les résultats

Exemple de mesure par extraction après traitement de finition

Schéma de principe



Extraction particules avec 3M™
Novec™ 7100 pour analyse de
contrôle particulaire

Cahier des charges clients : Pas de particules au-dessus de 200µm

Le comptage particulaire : une mesure pour qualifier la propreté parmi d'autres

- Contrôle visuel
 - Aspect
 - Test au chiffon blanc
- Tests d'énergies de surface
 - Encre de tests
 - Cleanospector
 - Test film d'eau
- Quantification du résidu sur les pièces
 - RNV après extraction
 - Contrôle particulaire

Merci de votre attention

L'hybridation technologique au CRIBC – usinage hybride

Fabrice Petit

Belgian Ceramic Research Centre

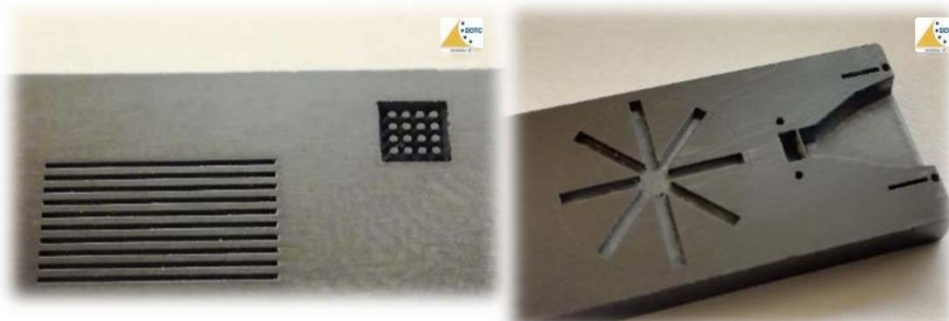
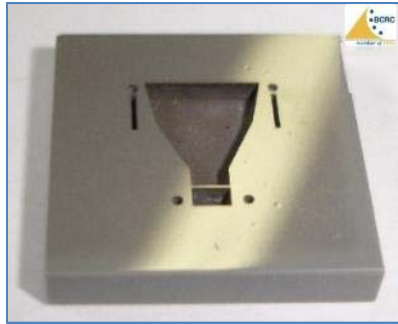
f.petit@bcrc.be



Avec le soutien du Fonds Européen de Développement Régional

Usinage laser des céramiques

Usinage de Si_3N_4



Usinage de SiC

Ablation Laser

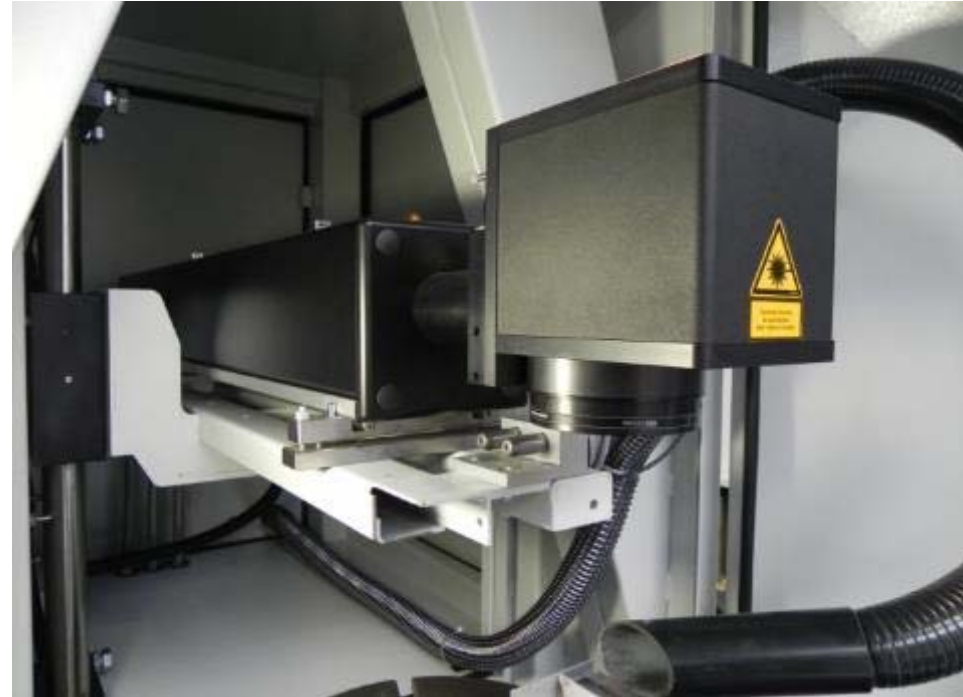
Avantages

- Adaptée aux matériaux difficilement fraisable
- Usinage sans contact
- $\varnothing$ spot laser jusqu'à 20 μm

Limitations

- Faible taux d'ablation sur les pièces denses
- Zone affectée thermiquement

Usinage laser des céramiques

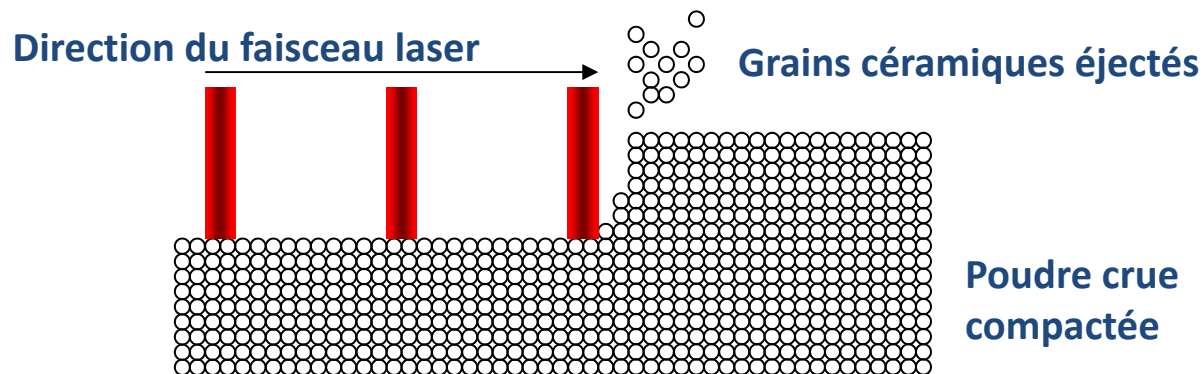
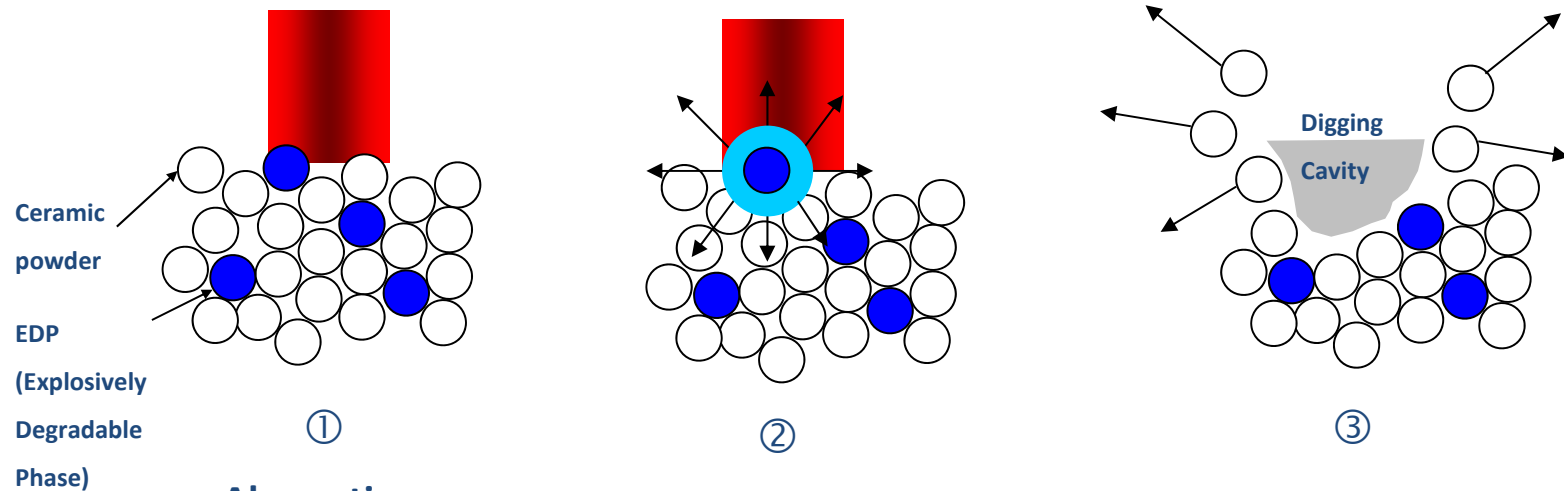


Equipement laser 5 axes :
(Table XY + axe Z + Axe rotative theta/phi) + 2 axes optiques XY
(tête galvanométrique)

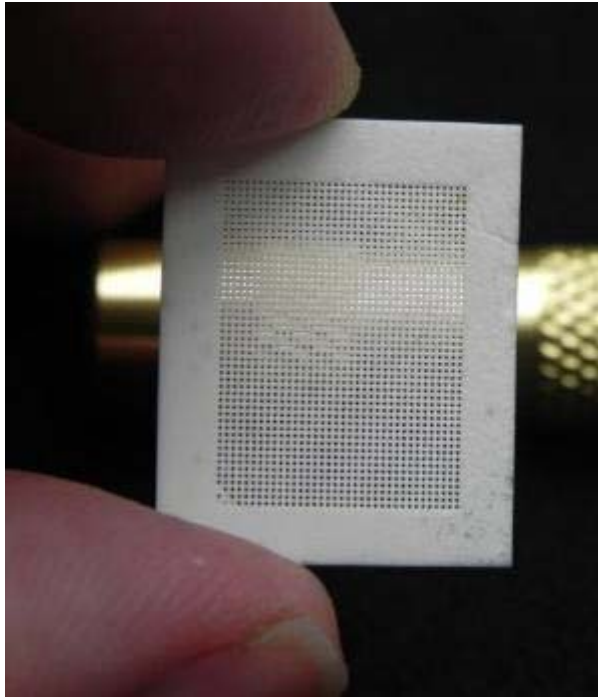
Source laser Nd:YAG (lampe) ; Puissance moyenne : 100 W ;
Q-switch pour utilisation du mode pulsé ns

Usinage laser des céramiques

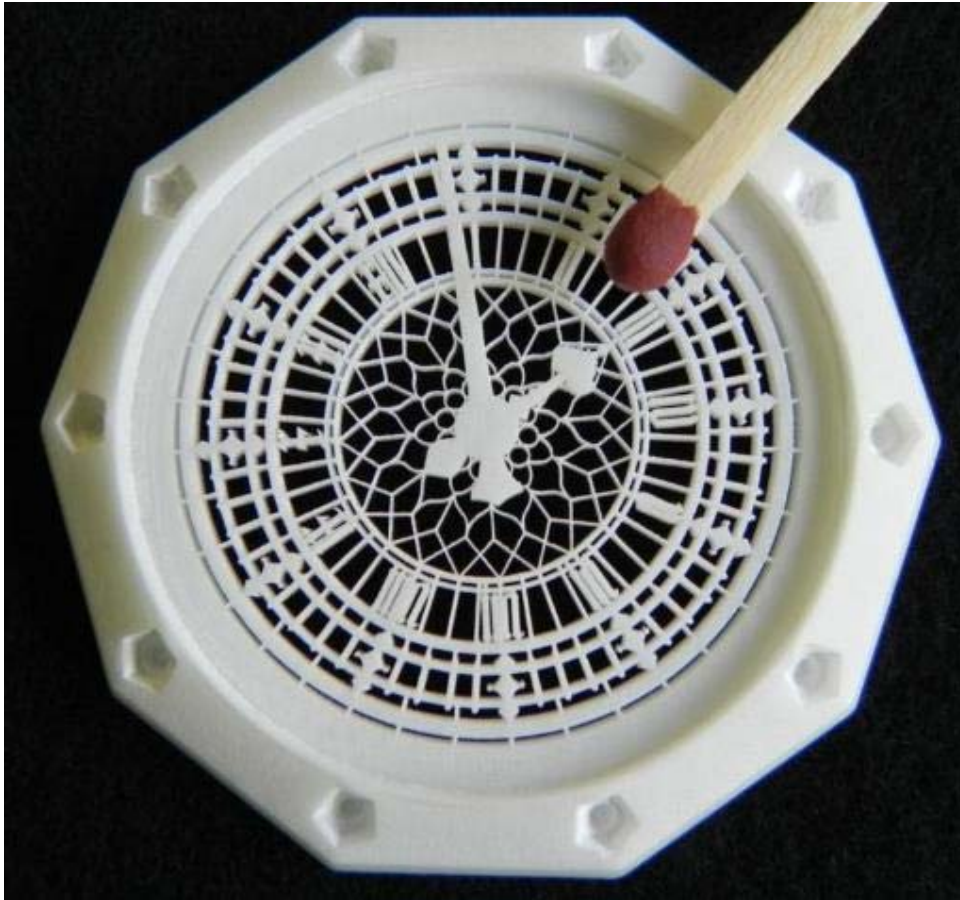
Brevet WO/2012/164025 - PCT/EP2012/060261



Usinage laser des céramiques



Usinage laser des céramiques



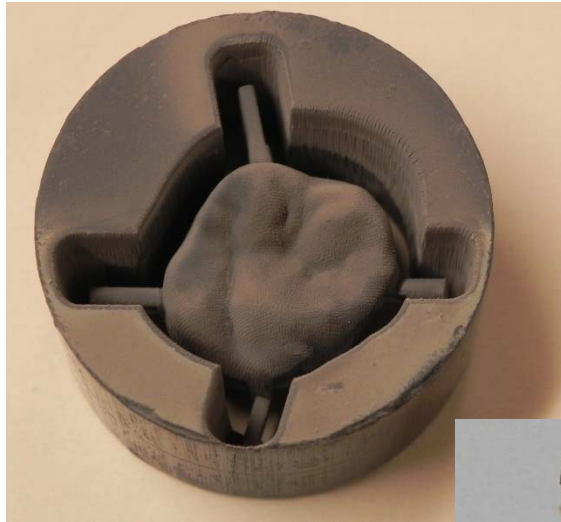
Matériau : Zircone blanche
Temps d'usinage : 1h
Epaisseur minimale < 100 μm

Usinage laser des céramiques



Gravure profonde pour de la zircone noire - usinage laser en cru

Usinage laser des céramiques



Molaires en zircone blanche – usinage laser en cru

Fraisage CAD/CAM

Avantages

- Technologie industrielle mature pour les céramiques
- Taux d'ablation élevé
- Bon fini de surface

Limitations

- Grande perte de bonne matière
- Usure / casse des outils diamantés
- Risque d'endommagement de la pièce

Cru



Préfritté



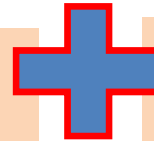
Dense



Fraisage CAD/CAM

Avantages

- Technologie industrielle mature pour les céramiques
- Taux d'ablation élevé
- Bon fini de surface



Ablation Laser

Avantages

- Adaptée aux matériaux difficilement fraisable
- Usinage sans contact
- Ø spot laser jusqu'à 20 µm

Fabrication hybride soustractive (Fraisage CAD/CAM + Ablation laser)

→ Combinaison des avantages des deux techniques

Usinage Hybride des céramiques



Mécanique

- 5 axes mécaniques pour le positionnement et l'usinage
- 3 axes optiques (xy et z focus rapide)

Optique

- Caméra numérique haute résolution

Outils d'usinage

- 1 source laser ns (IPG 100 W moyenne)
- 1 source laser fs (Amplitude systems 10 W moyenne)
- 1 micro-fraiseuse (400 W, 30 000 rpm)

Scanner for 3D reconstruction

- 1 scanner laser-ligne intégré (micro-epsilon)

+ Possibilité de passer d'un outil à l'autre ...

Usinage Hybride des céramiques

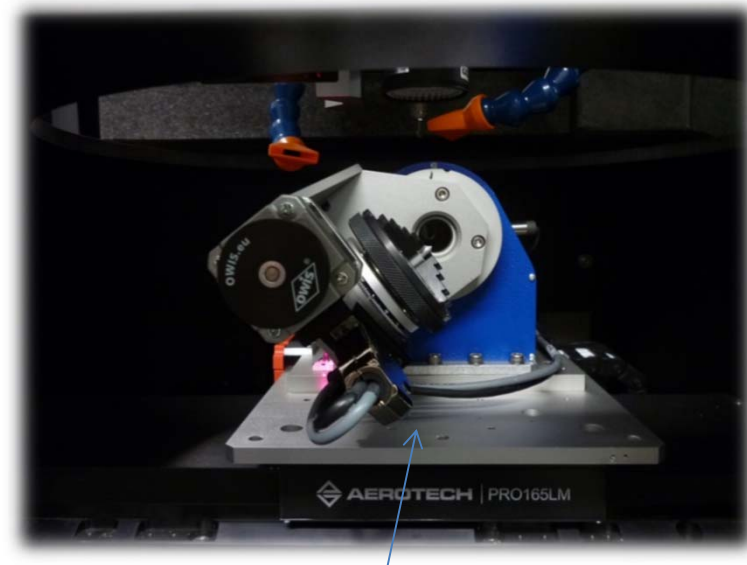


Scanner laser

Micro-fraiseuse

Microscope

Tête galvanométrique
(ns & fs lasers)

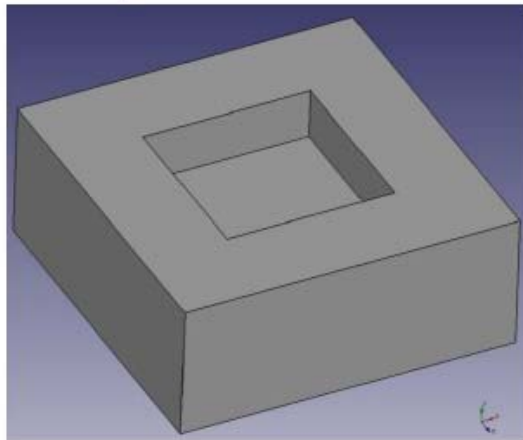


2 axes rotatifs + 3 axes cartésiens xyz

Example d'hybridation

Aim : to machine a 3 mm deep cavity with straight edges and sharp angles

CAD object



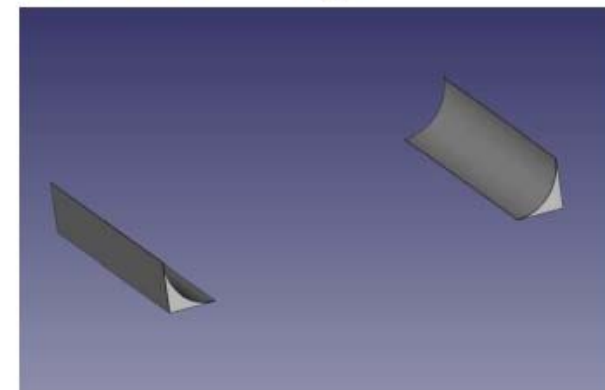
Tool milling
(tool diameter : 1 mm)

In-situ scanning profile

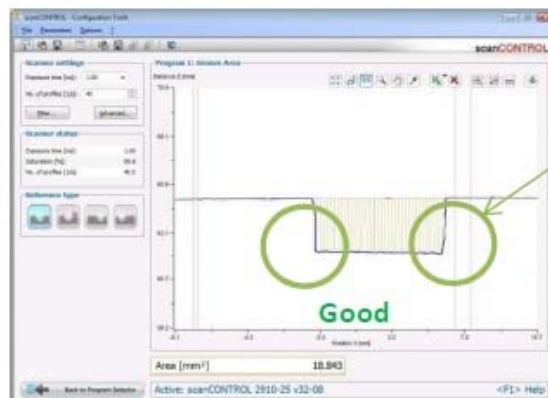


Determination
of excessive
material

CAD object

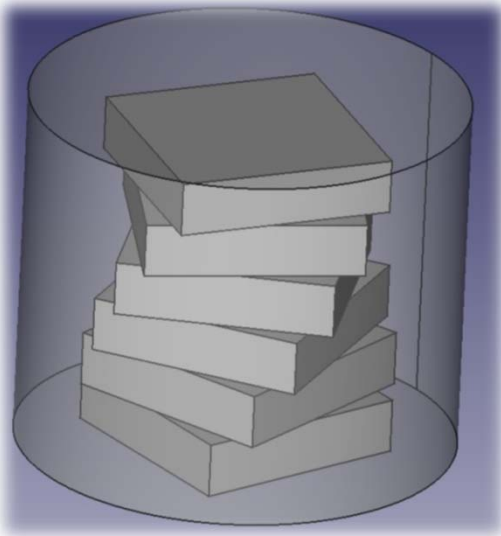


Suppression of round edges



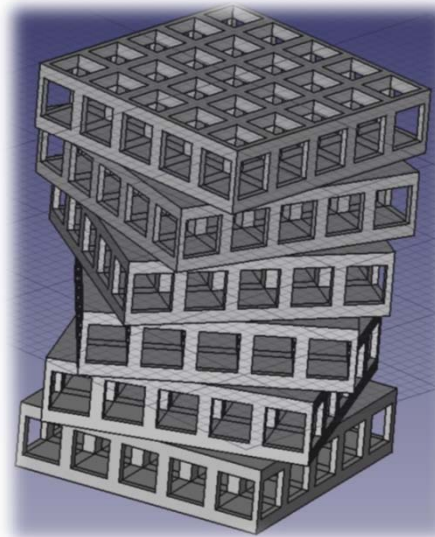
Laser milling
(tool « diameter » : 30 µm)

Exemple d'hybridation



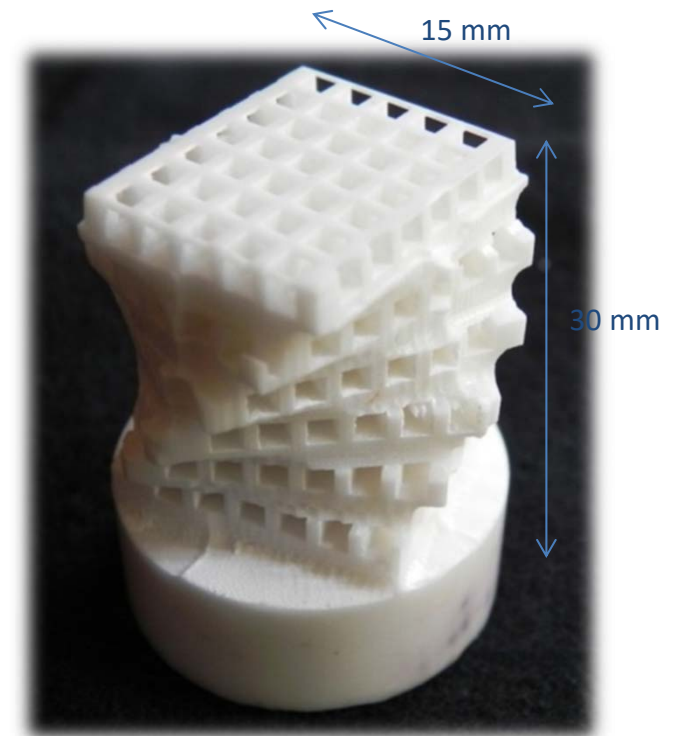
Etape 1

Usinage à l'outil de la tour
hélcoïdale à partir d'un compact
céramique de zircone



Etape 2

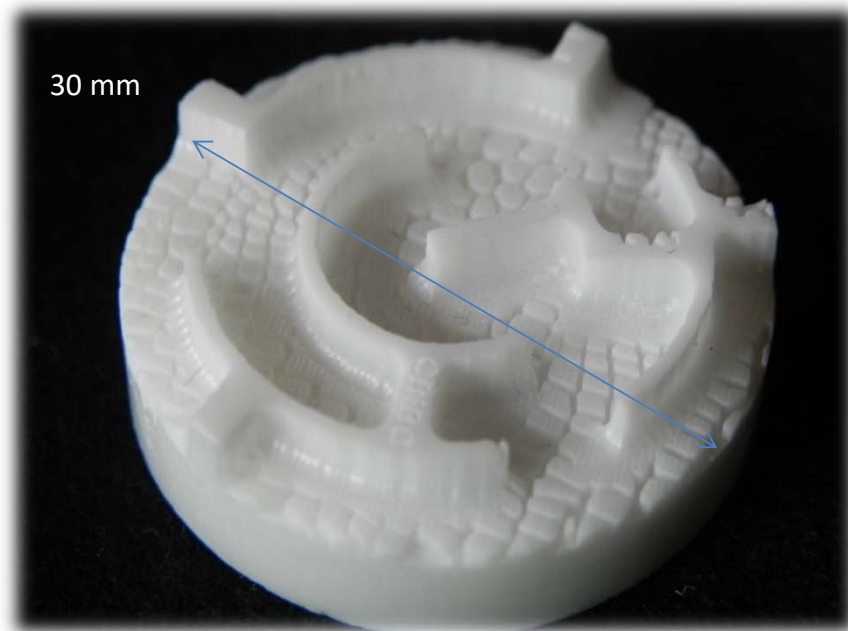
Post-usinage laser
des canaux internes



Pièce finale après frittage
(densité : 6,06)

Temps d'usinage global : approx. 3 heures

Exemple d'hybridation



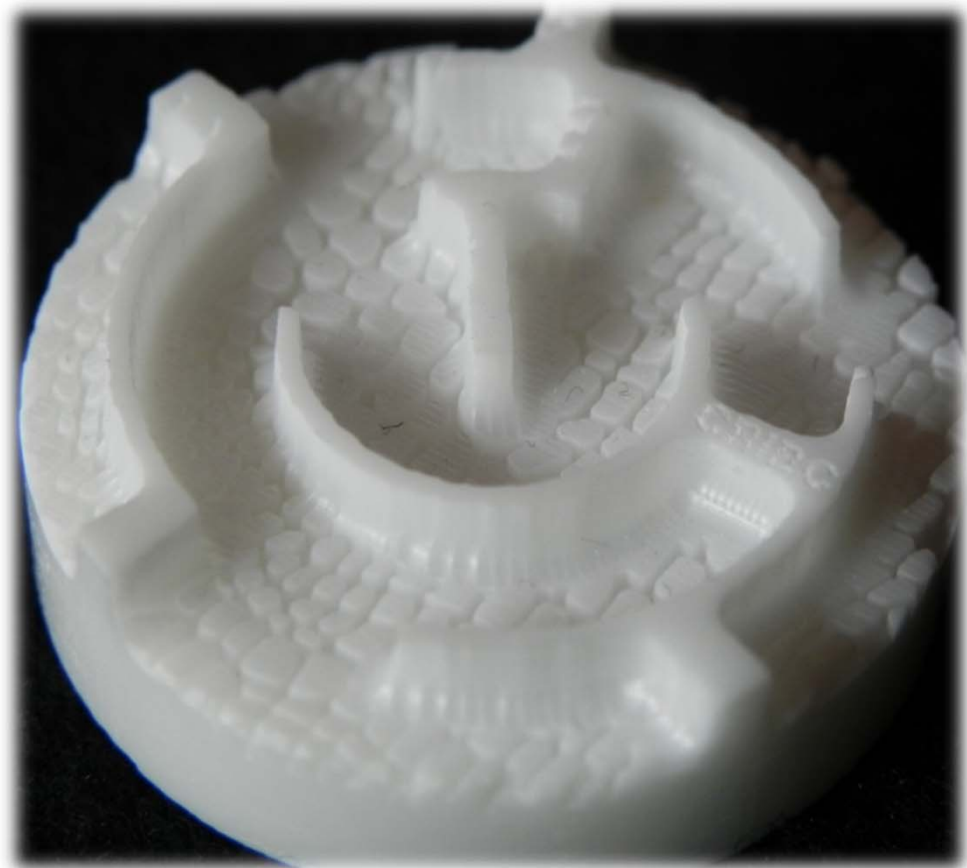
Etape 1

Usinage du labyrinthe à la fraise

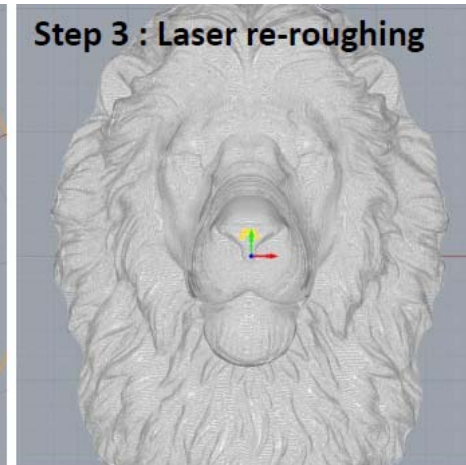
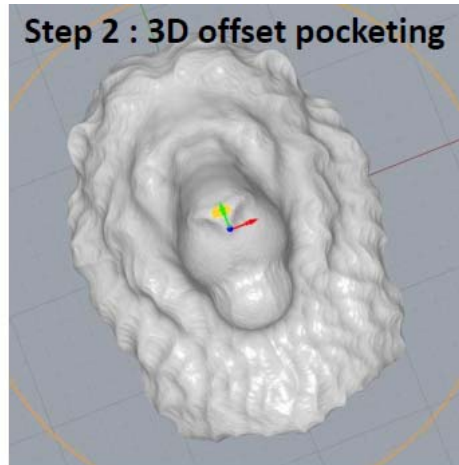
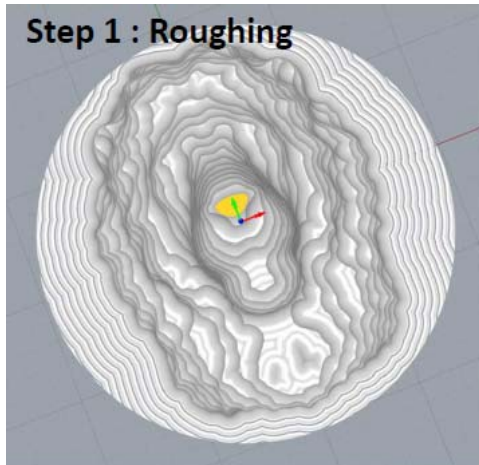
Etape 2

Texturation de surface au laser

Temps d'usinage global : approx. 30 min



Usinage Hybride des céramiques



Temps ~10 min



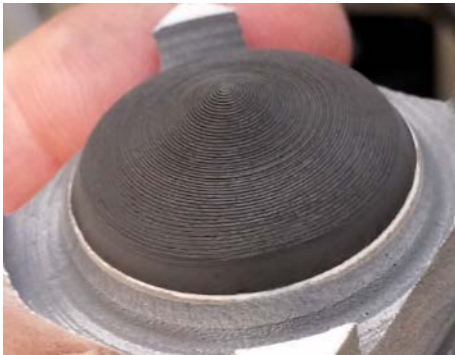
Temps ~1 min



Temps ~4 min

Temps d'usinage total sans hybridation avec un outil de 50 μ m ~25 h

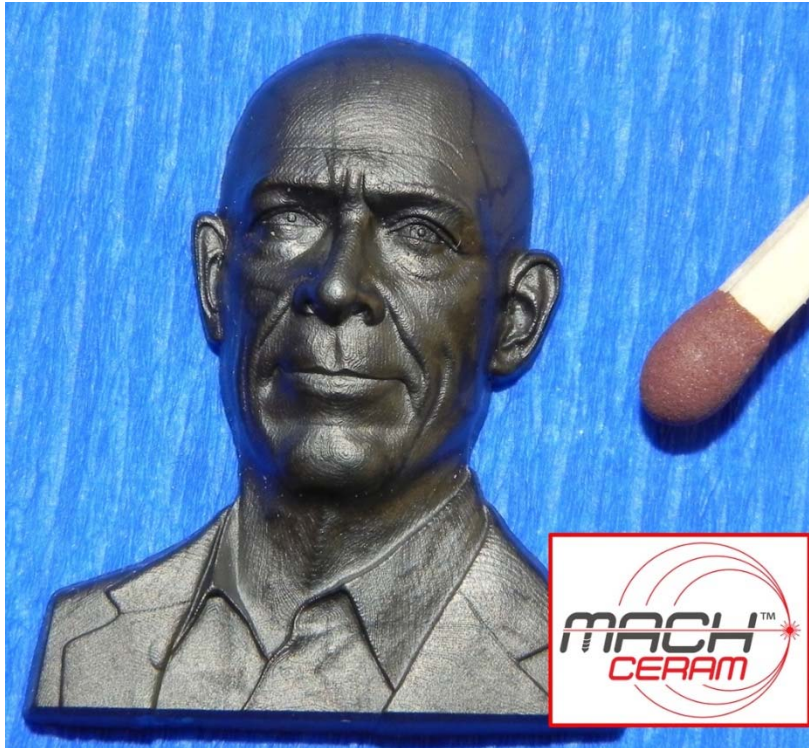
Usinage Hybride des céramiques



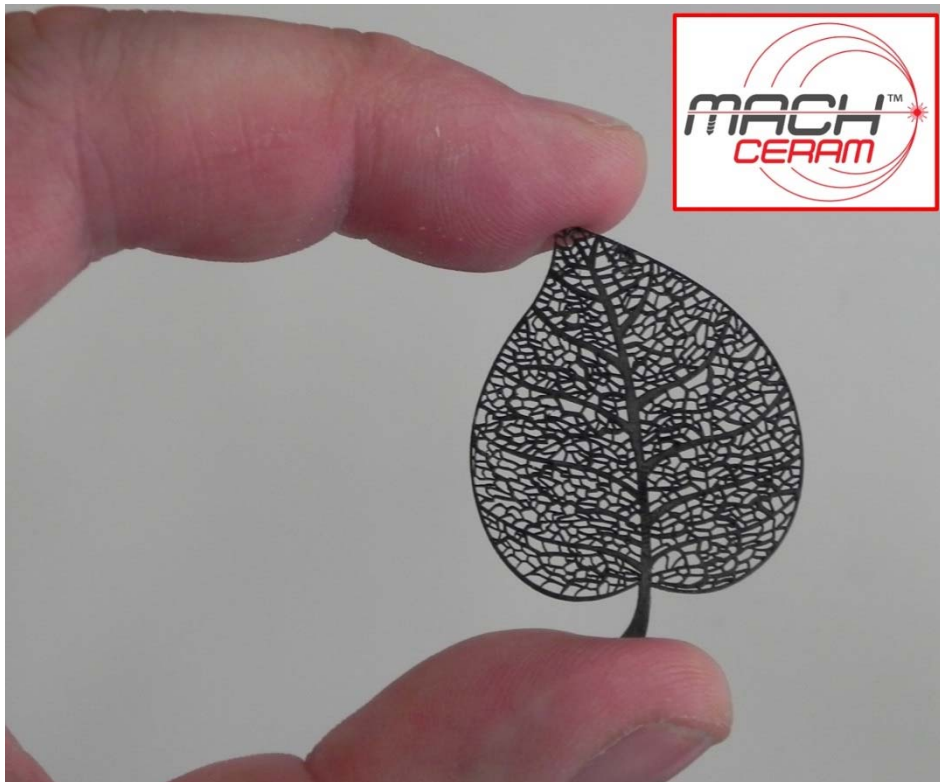
Al_2O_3
 ZrO_2
 WC-Co



Usinage Hybride des céramiques



Usinage Hybride des céramiques



Usinage Hybride des céramiques



Propriétés des matériaux frittés

Propriété	Zircone blanche	Zircone noire
Densité	> 6,05	> 5,95
Porosité résiduelle	< 0,5 %	< 0,7 %
Résistance à la rupture	> 1 GPa	> 800 MPa
Dureté Vickers (HV1)	> 1200	> 1200

	Fraisage conventionne I	Usinage laser conventionne I	Moulage par injection	Impression 3D	Usinage hybride
Tolérances	~ 20 µm	< 5 µm	< 50 µm	< 100 µm	< 50 µm
Finesse	> 400 µm	< 100 µm	< 100 µm	> 250 µm	< 80 µm
Complexité géométrique	moyen	faible	faible	Très élevé	élevé
Propriétés mécaniques	excellent	moyen	moyen	Faible à moyen	excellent
Applicabilité aux céramiques colorées	oui	oui	oui	Peut-être	yes
Recyclabilité des matières premières	non	non	non	limité	yes
Temps de process	moyen	faible	élevé	faible	moyen
Personnalisation	Faible à moyen	faible	non	oui	oui
Volume de production	moyen	faible	élevé	faible	moyen
Coût de production	moyen	élevé	faible(si nr >>) élevé(si nr < 1000)	élevé	moyen

Merci de votre attention Questions?

Fabrice Petit

Belgian Ceramic Research Centre

f.petit@bcrc.be

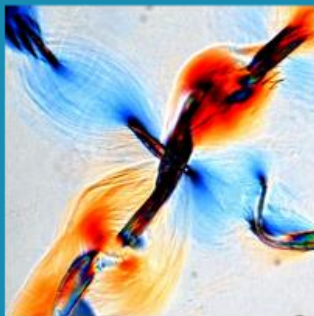


Avec le soutien du Fonds Européen de Développement Régional

FUTURE MATERIALS...



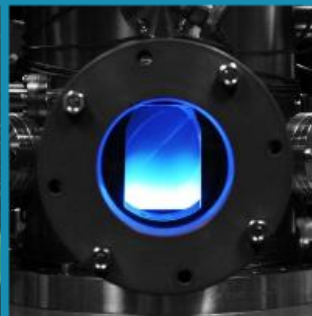
ADVANCED
MATERIALS FOR
ENERGY
APPLICATIONS



INNOVATIVE AND
SUSTAINABLE
POLYMERIC
MATERIALS



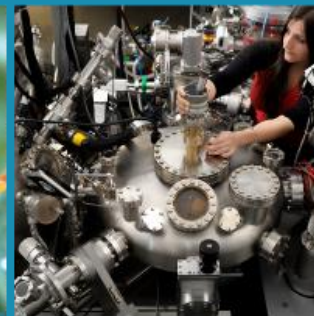
CELLS FOR
MATERIALS AND
MATERIALS FOR
CELLS



MULTIFUNCTIONAL
SURFACES



LIFE CYCLE
THINKING

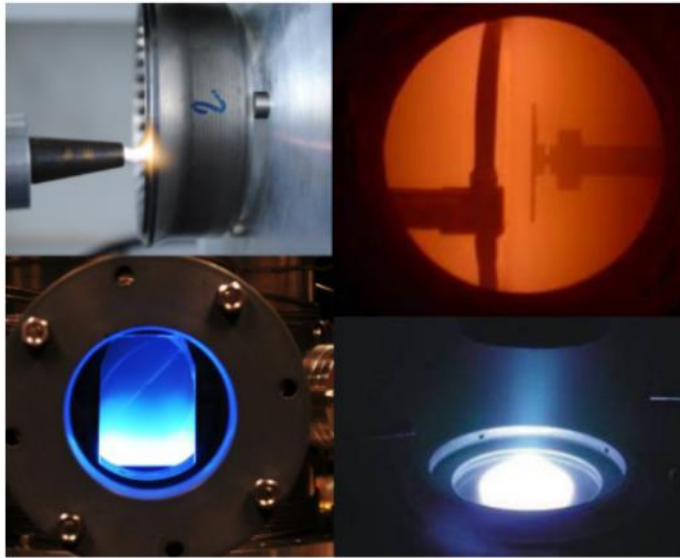


CHARACTERIZATION
PLATFORM

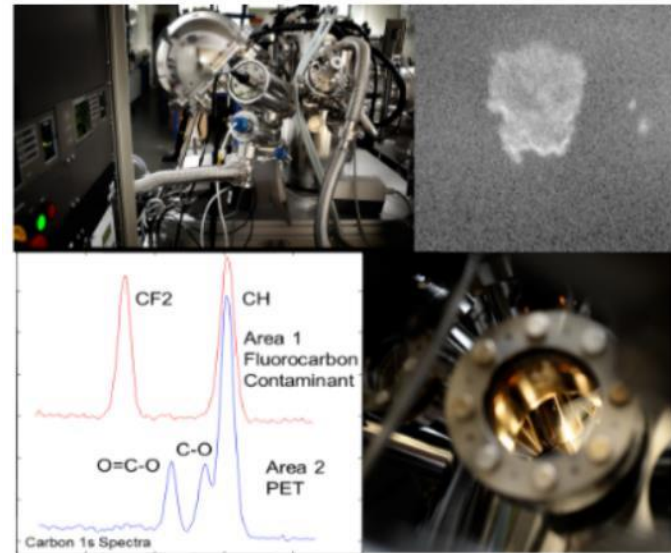
... MADE BY TODAY'S PEOPLE

Unité de Démonstration 1

Traitement de surfaces par voie sèche



- ✓ Plasma atmosphérique
- ✓ Plasma sous vide
- ✓ Implantation ionique



- ✓ Analyses chimiques
- ✓ Analyses de microscopie et d'imagerie
- ✓ Analyse tribologique

Deposition by magnetron sputtering

Reactive mode

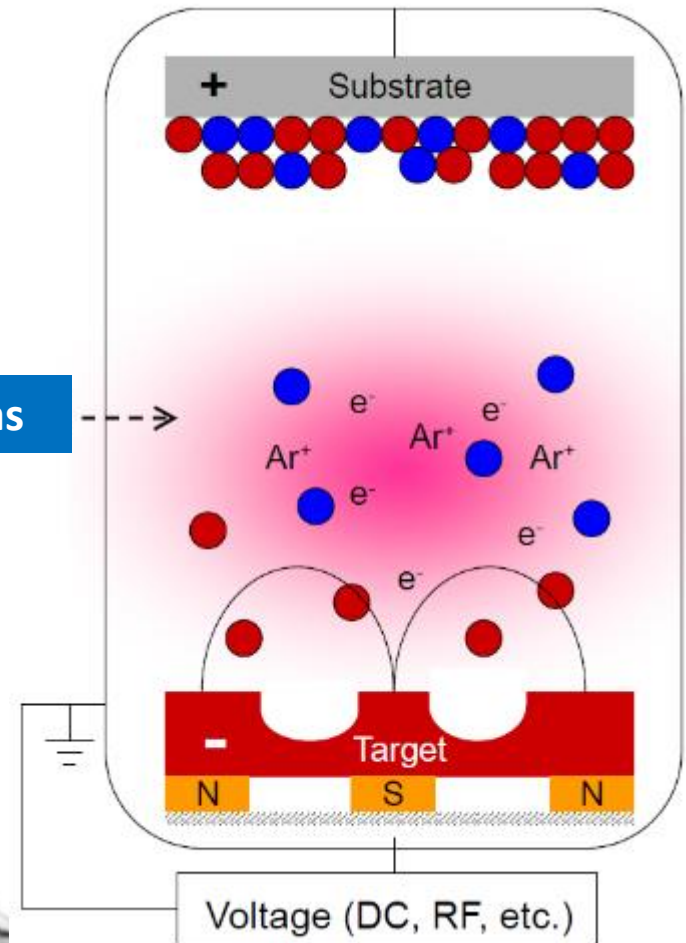
- Reactor under high vacuum (10^{-6} Torr)
- Argon + other gas (N_2 , O_2 , CH_4 ...)
- $3 < \text{working pressure} < 20$ mTorr

Applications

Decoration, cutting tools, drill bits, etc.



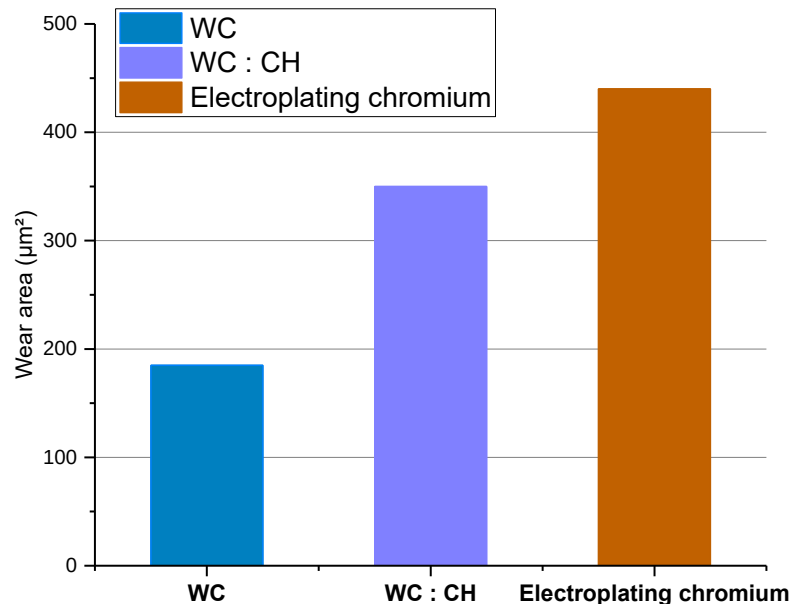
Argon + Reactive gas



Developement of tailored coating

Hybrid coating (WC:CH)

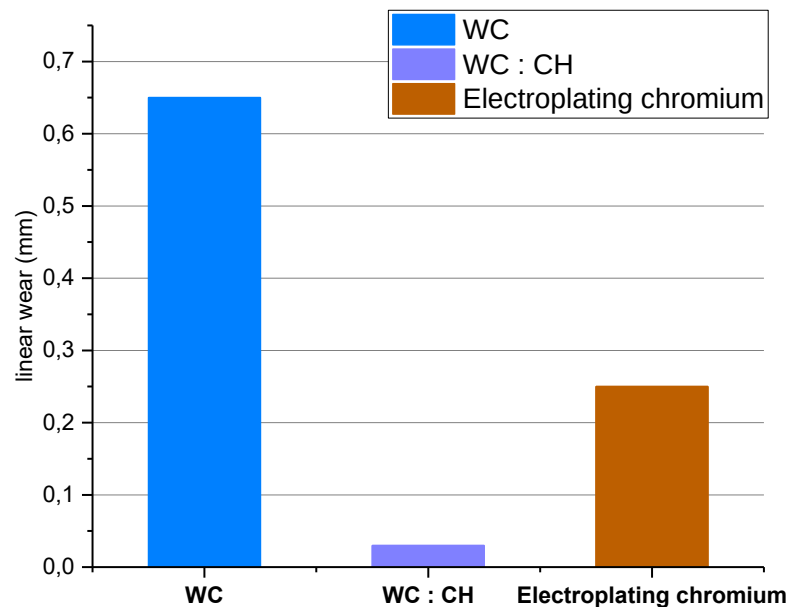
LOW LOAD 1N



Wear resistance improved by hard coating or low friction coefficient coating with one matrix



HIGH LOAD 150N



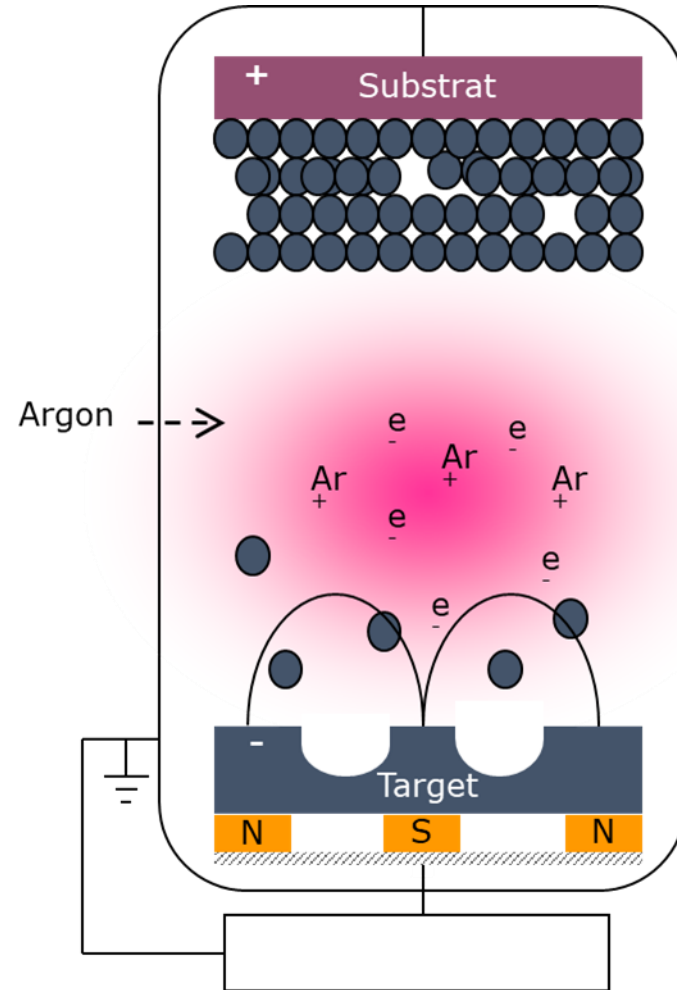
adaptation of technology to demand

Limitation of PVD

Coating formation on the substrate by condensation of materials

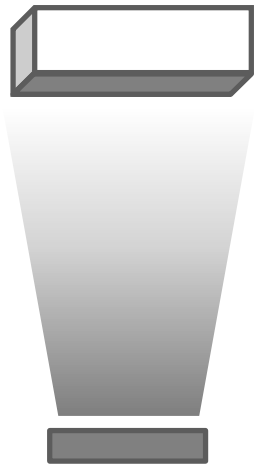
Transport of material towards the substrate surface

Incorporation of materials in the transport media



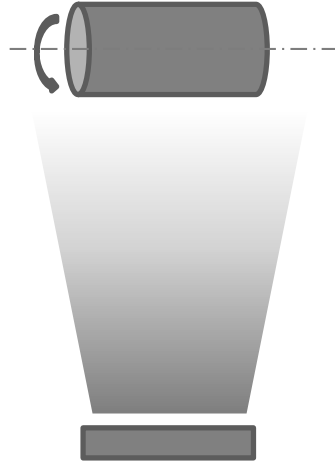
Surface treatment on different shapes

One face



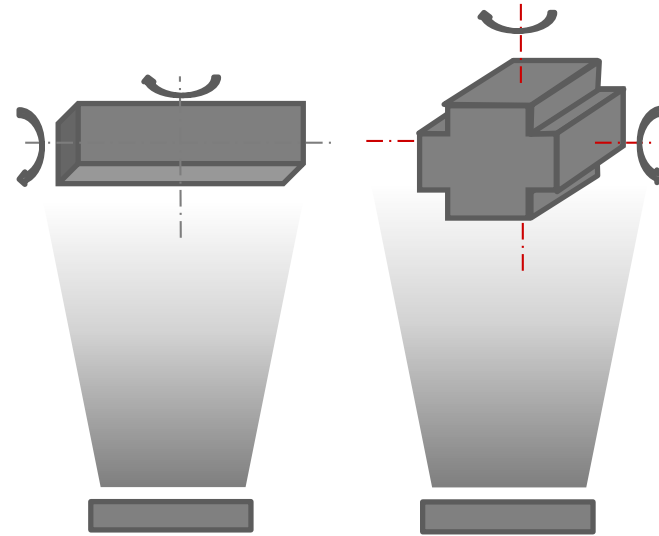
Static mode

Outer of tube



Rotating substrate

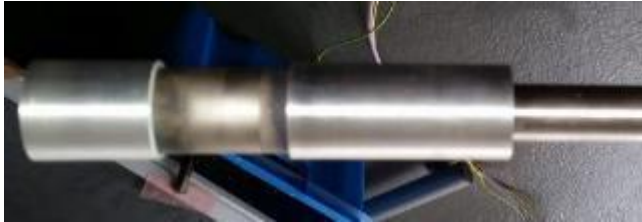
All faces of complex shapes



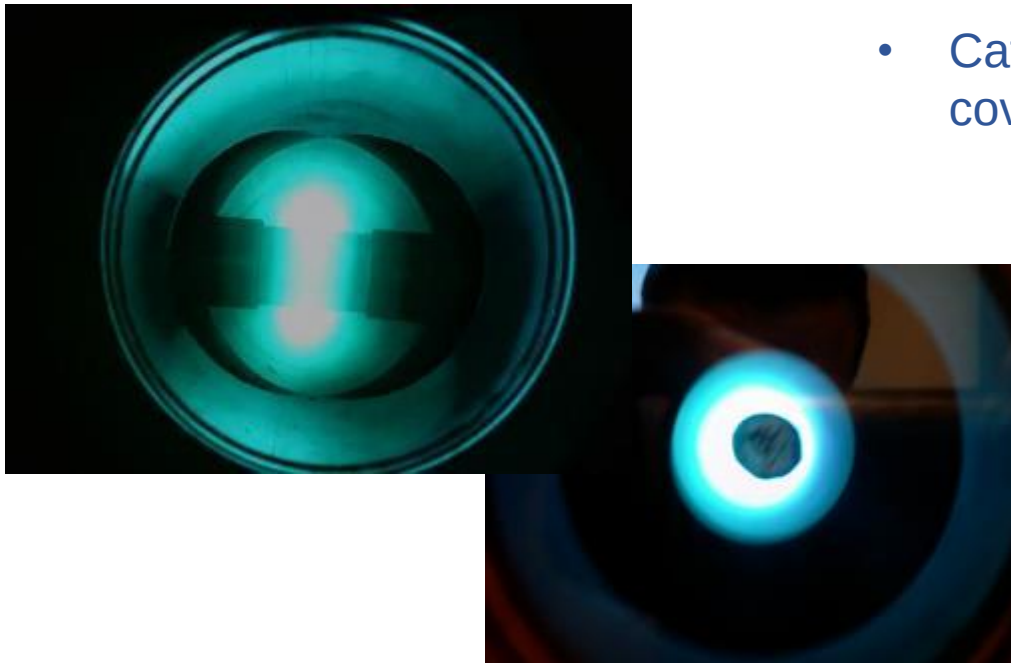
2 axes of rotation (planetary)

What about small parts and cavities?

Surface treatment of complex shape



- Development of small cylindrical cathode
- Isotropic emission of material
- Cathode can travel inner the tube to cover the wall

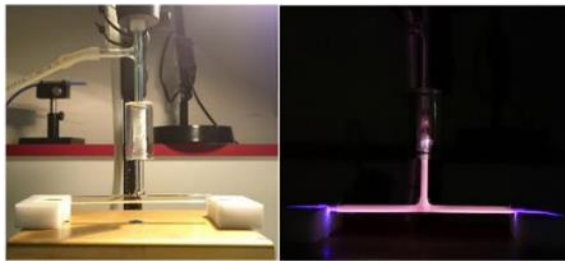


Surface treatment of complex shape

Procédé plasma et fonctionnalisation



Générateur



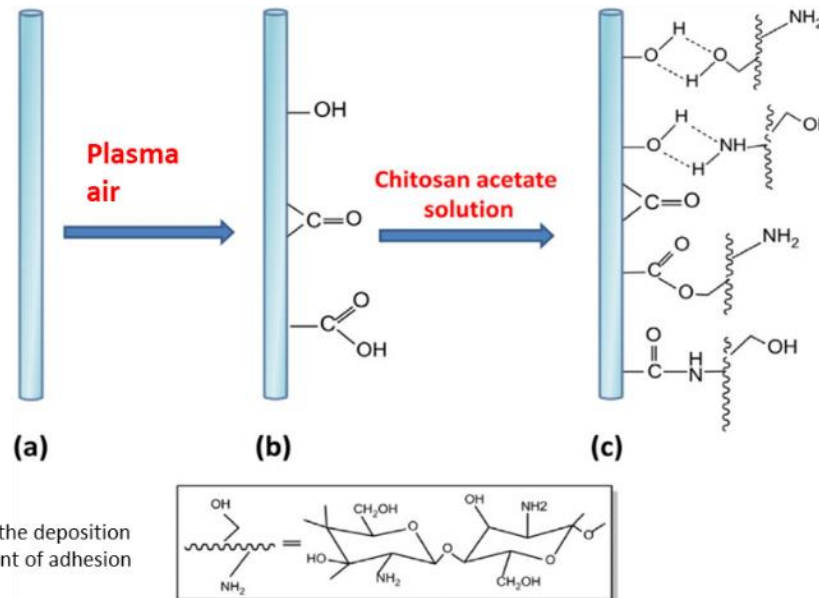
Tube en T

Gaz: He + air ($N_2 + O_2$)

Température amb

Espèces réactives

Mécanismes possibles du revêtement du chitosan sur les fibres :



Y. Ren, et al., Influence of DBD plasma pretreatment on the deposition of chitosan onto UHMWPE fiber surfaces for improvement of adhesion and dyeing properties, Appl. Surf. Sci. (2016)

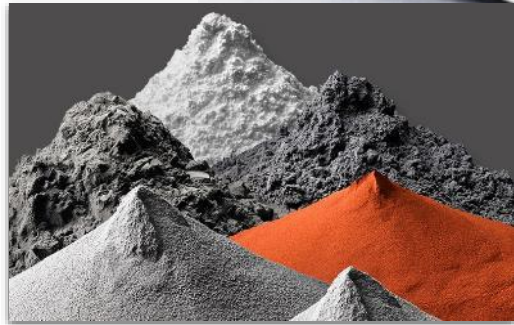
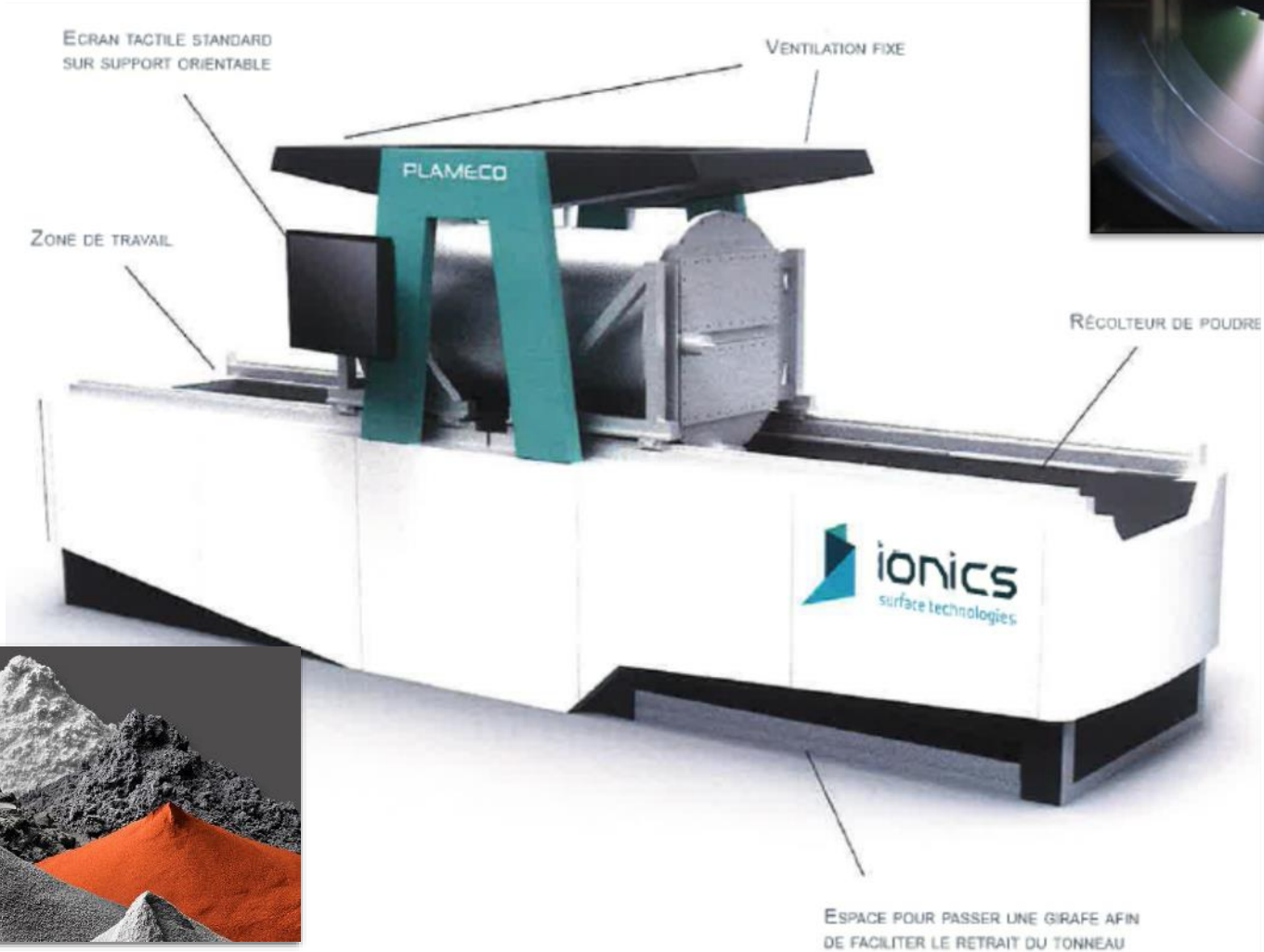
Intérêt des traitements de surfaces en voie sèche pour la fabrication additive en pré-traitement?

➡ Développement de matériaux « grade » additive manufacturing

Surface treatment of powders

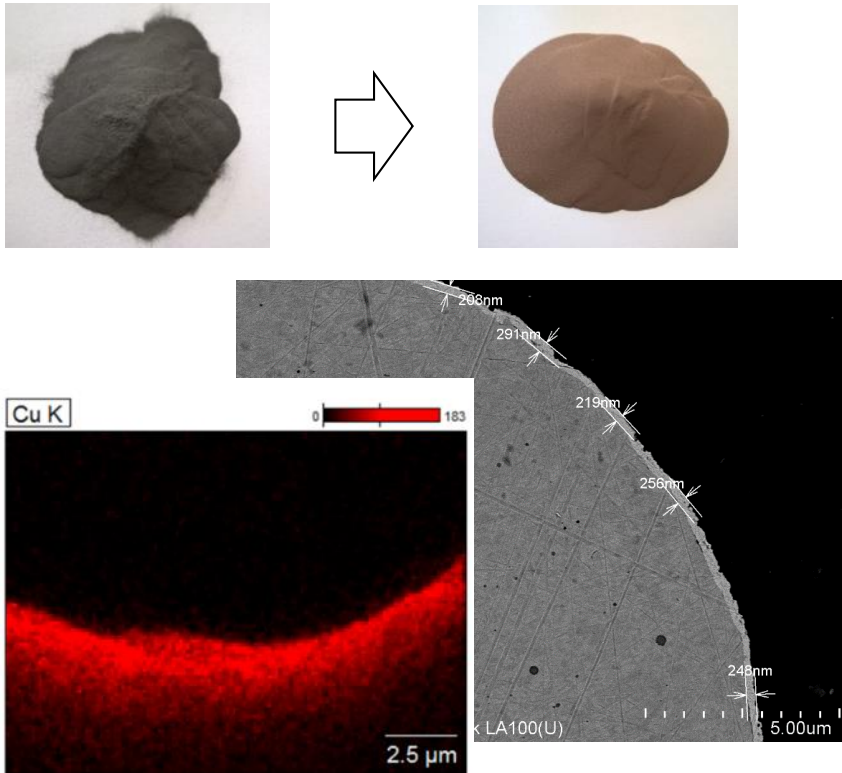


Surface treatment of powders

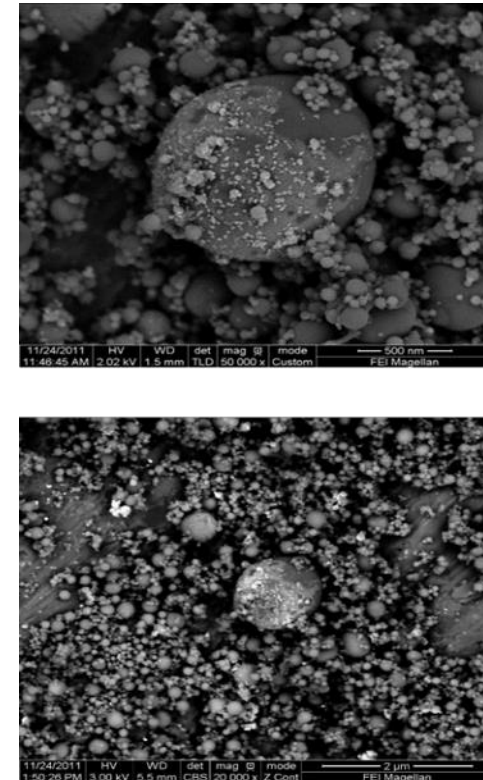


Powder treatment by the magnetron sputtering

Core shell structure
Cu on Zn-powder (60 μm diam)



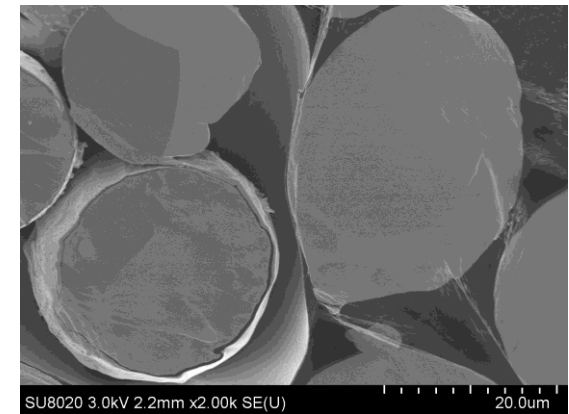
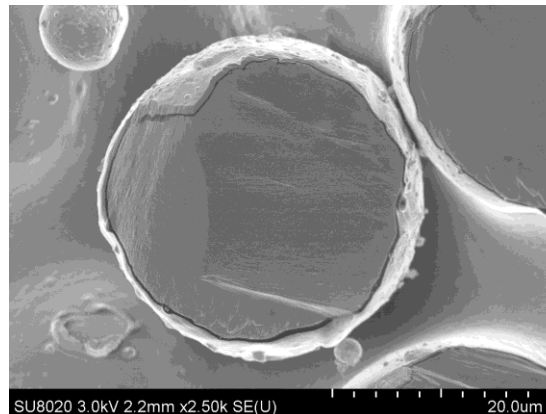
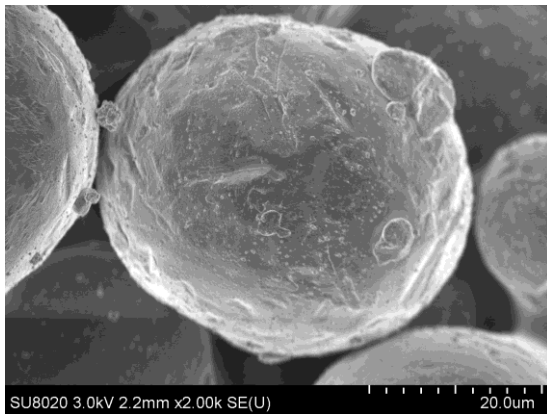
Powder decoration
Au on glass beads (100 μm diam)



Powder treatment by the magnetron sputtering

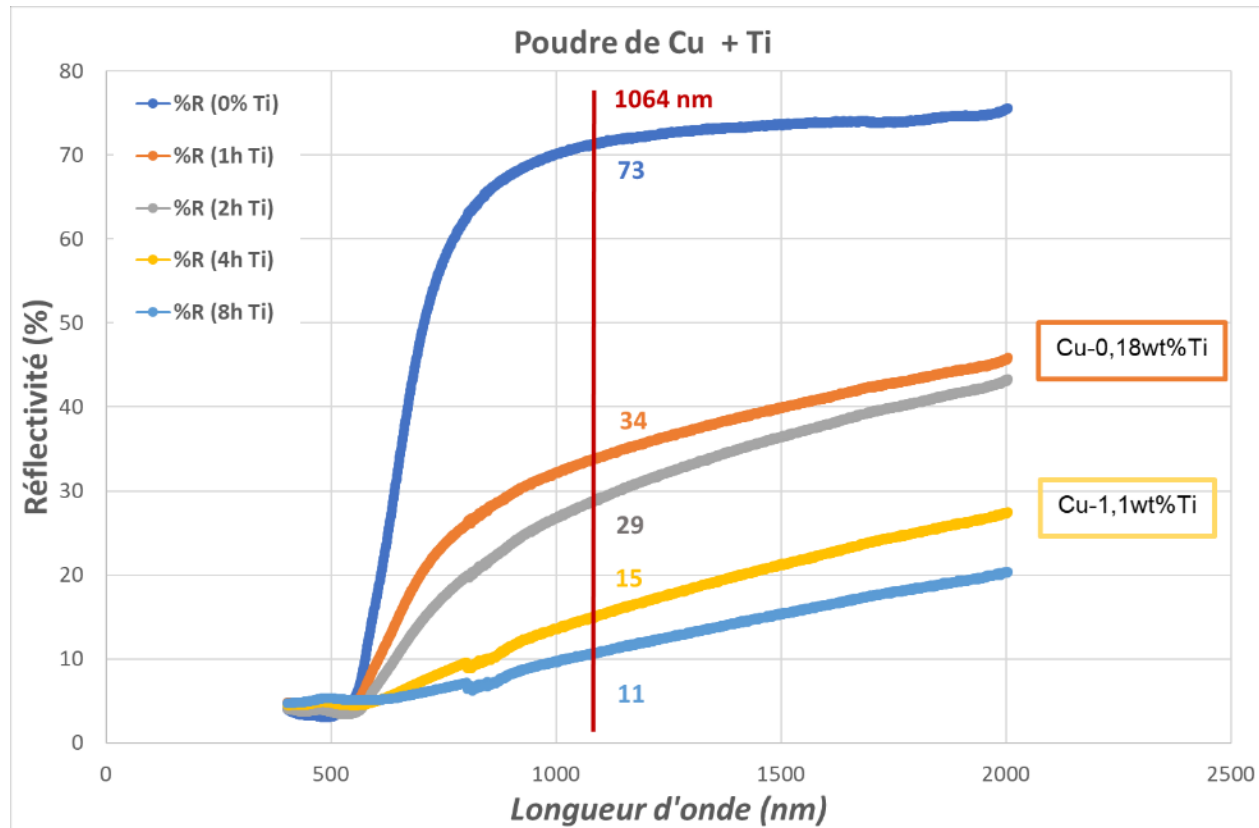
New approach for modification of powder used in Additive Manufacturing

Core-shell structure to improve LASER absorption on high reflective materials (Cu, Au, Ag...)

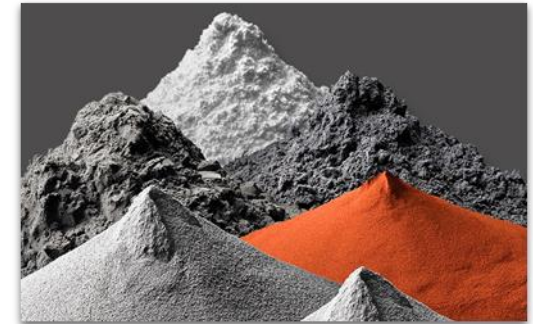


- Improvement of LASER Absorption for high reflectivity and conductivity materials
- Protection against oxidation, water for sensitive material
- Processable composite powders

Powder treatment by the magnetron sputtering



Laser absorption at $\lambda = 1064$ nm [%]	
Cu (GA)	27%
Cu-0,18wt%Ti(coated)	66%
Cu-1,1wt%Ti(coated)	85%



Titanium coating on pure copper powder with drastically increases the laser absorption !

Powder treatment by the magnetron sputtering

Effect on final parts

Laser absorption at $\lambda = 1064$ nm [%]	
Cu (GA)	21,9%
Cu-0,18wt%Ti(coated)	66%
Cu-1,1wt%Ti(coated)	85%

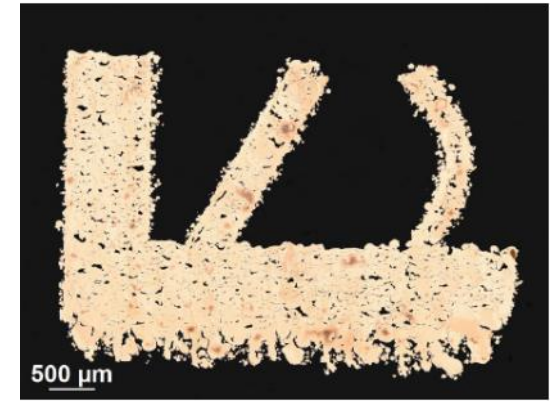
SLM trials



Pure Cu-powder
23,4% Porosity



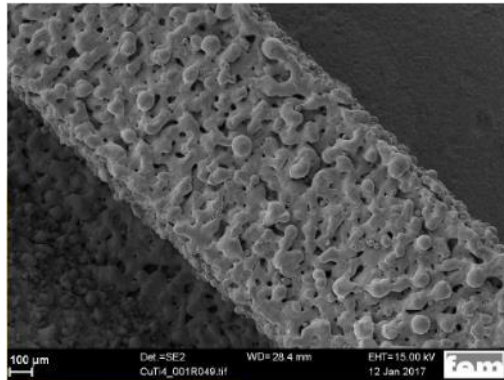
Ti-coated Cu-powder 0,18 wt%
17,6% Porosity



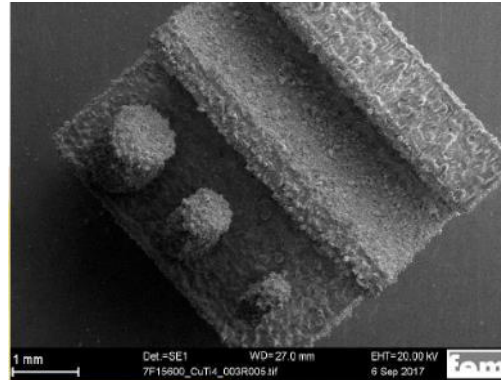
Ti-coated Cu-powder 1,1 wt%
3,5% Porosity

Powder treatment by the magnetron sputtering

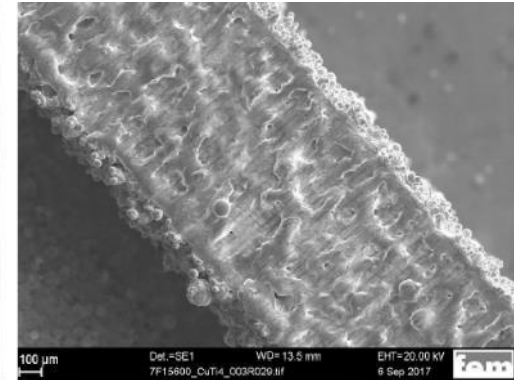
SLM trials



Coated Cu-powder 0,18 wt%
17,6% Porosity



Coated Cu-powder 1,1 wt%
3,5% Porosity

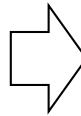
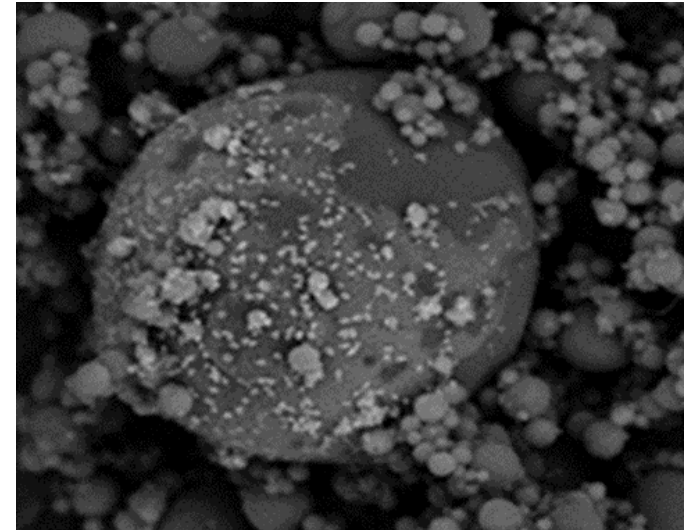


- Due to better energy absorption of powders, the porosity of manufactured parts can be lowered to 3-8%
- The energy absorption by the powders depends on the amount of titanium added.
- An improvement of the alloys between copper and titanium makes it possible to lower the level of porosity of the finished objects

WHAT NEXT ?

Alloying

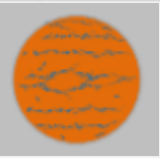
- ✓ Composition fine tuning for R&D purposes
- ✓ Modification of commercial powders
- ✓ Pseudo alloyed powders ...no mixing and no alloying process
- ✓ Any elements are now usable (**Ti**, B, W, P...)

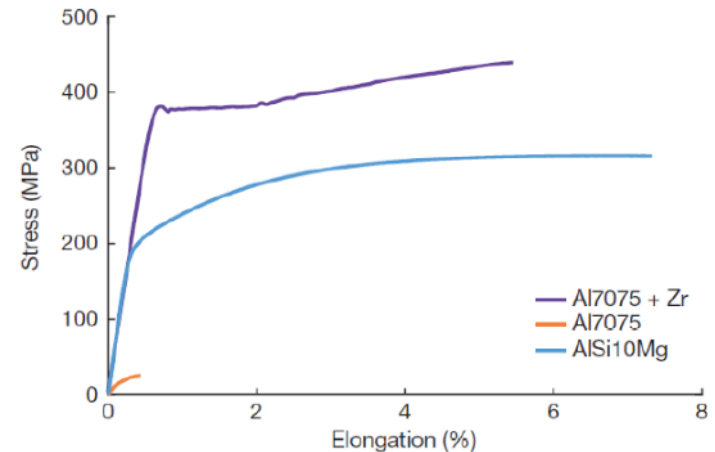


WHAT NEXT ?

Alloying

Development of new material combinations for parts with high mechanical strength

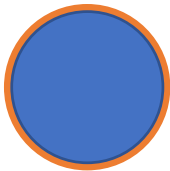
Materials	Powder	Powder Modification	
		Coatings	Composites
Cu + solid immiscibles			
Methods	Inert gas atomization	EB-PVD Plasma Coating	LBM EBM Post-treatments
Al (alloy) + elements or (Al) alloys			



- Control of the crystallization process by addition of elements in the metal matrix
- Control of the grain size in the printed parts

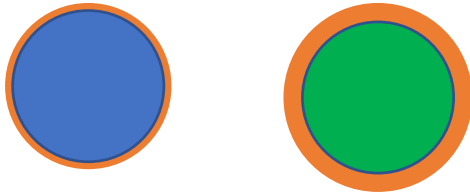
“PLASTICS” adapted for SLS

Improvement of the processability



- Core shell structure with material adapted to the LASER wavelength (typically 10 μm)
- AM of polyolefins

Alloying of polymers



$T_f \text{ blue} \ll T_f \text{ green}$

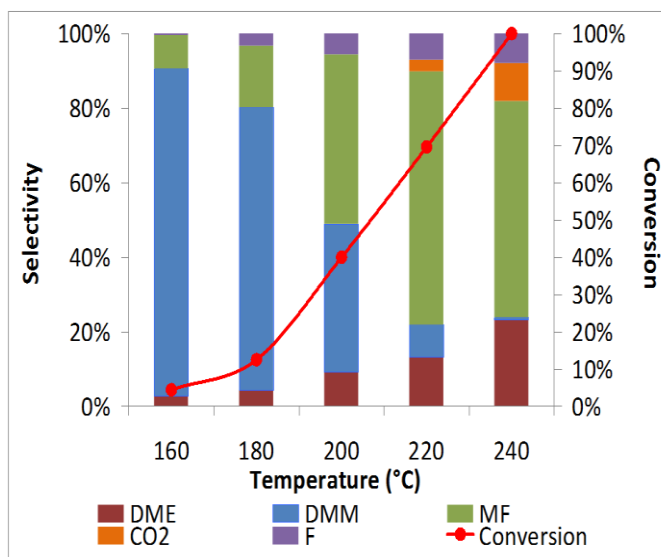
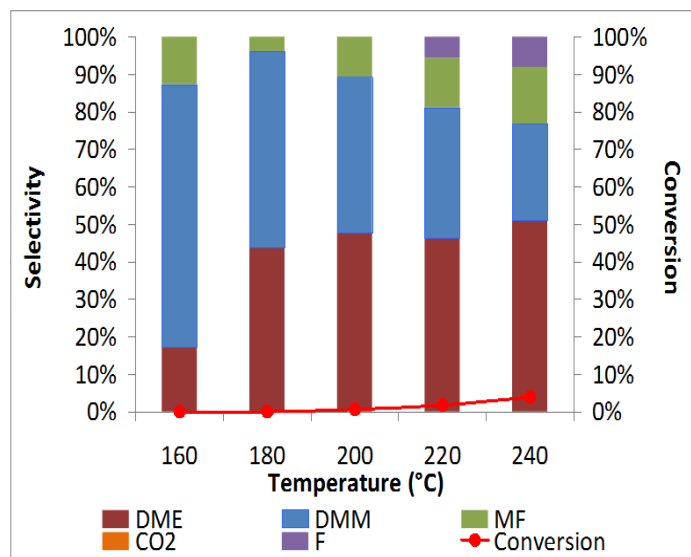
- Control of the LASER absorption by means of the thickness of the active coating.
- Control of the energy amount absorbed by polymer regarding their melting temperature

WHAT NEXT ?

NEW Functionalities

Antibacterial activity Silver based matrix

Development of printed catalyst (addition of the active elements on support Mo, Pt,...)



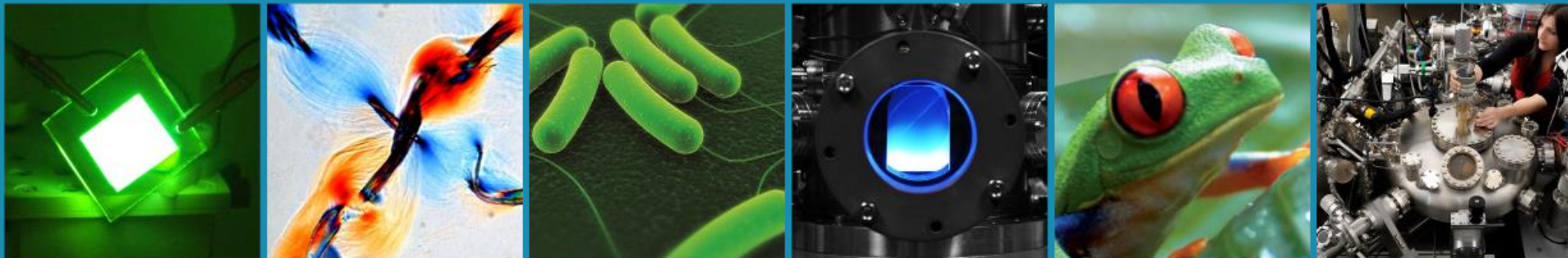
Flame retardant by addition of Phosphate

Protective coating against oxidation and moisture

...

Thank you for your attention

Questions?



www.materianova.be

Technologie des poudres : l'importance du frittage - Technologies accessible dans le cadre de TECH2FAB

(Flash, μ -ondes, SPS, sous-vide,...).

G. Bister, JP Erauw, L. Boilet, S. Hocquet - CRIBC

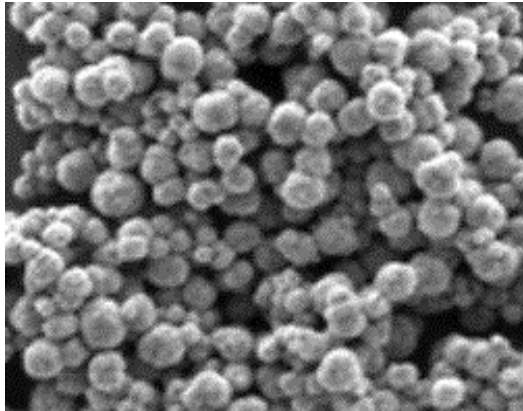
g.bister@bcrc.be



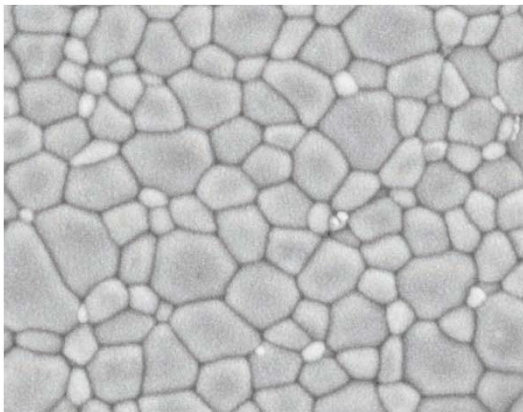
FRITTAGE - Introduction

Traitement thermique à $t < t_{\text{fusion}}$

COMPACT PULVERULANT

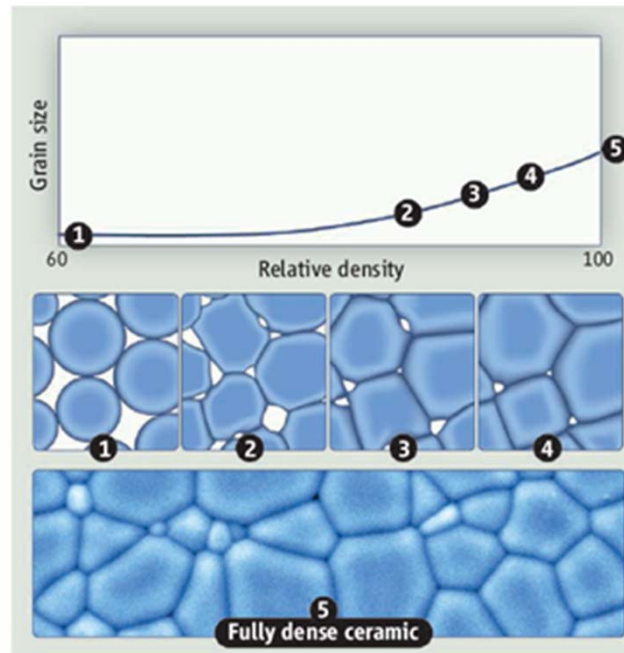


MATERIAU COHERENT



Diminution de la porosité

Maîtriser les retraits
 Maîtriser les distorsions
 Croissance de grain

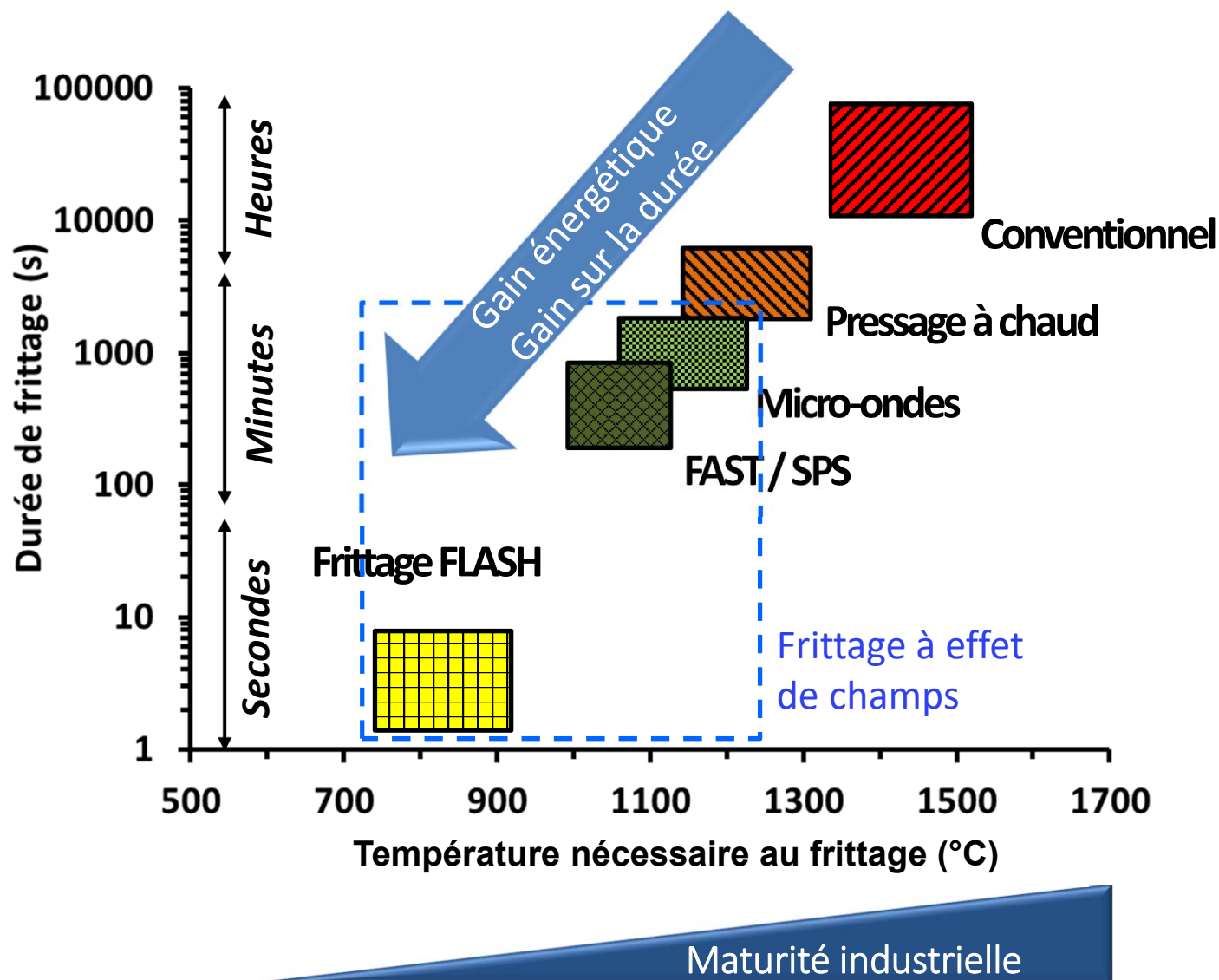


G. Messing et al., Science 322 (2008) 383

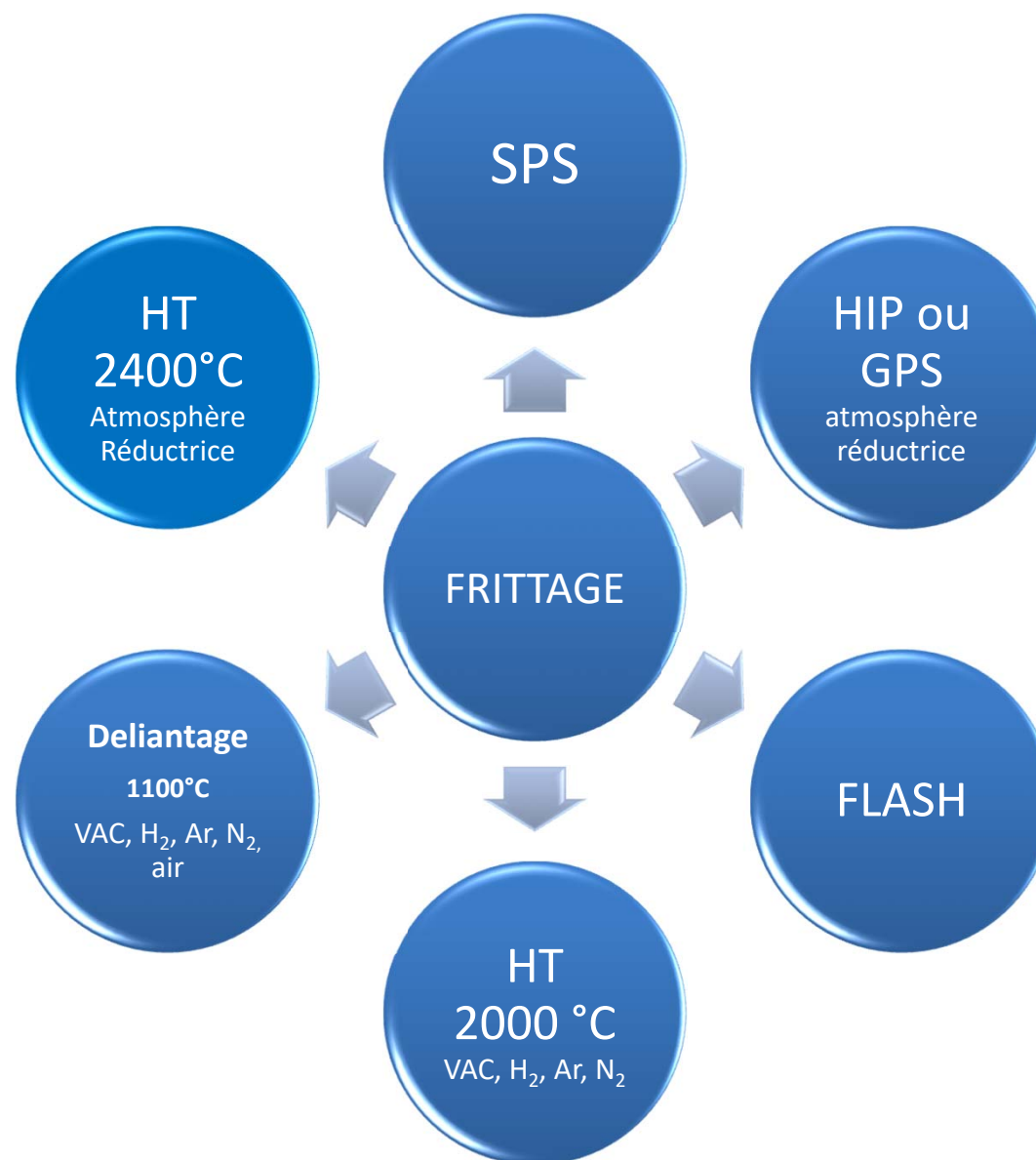


FRITTAGE - Introduction

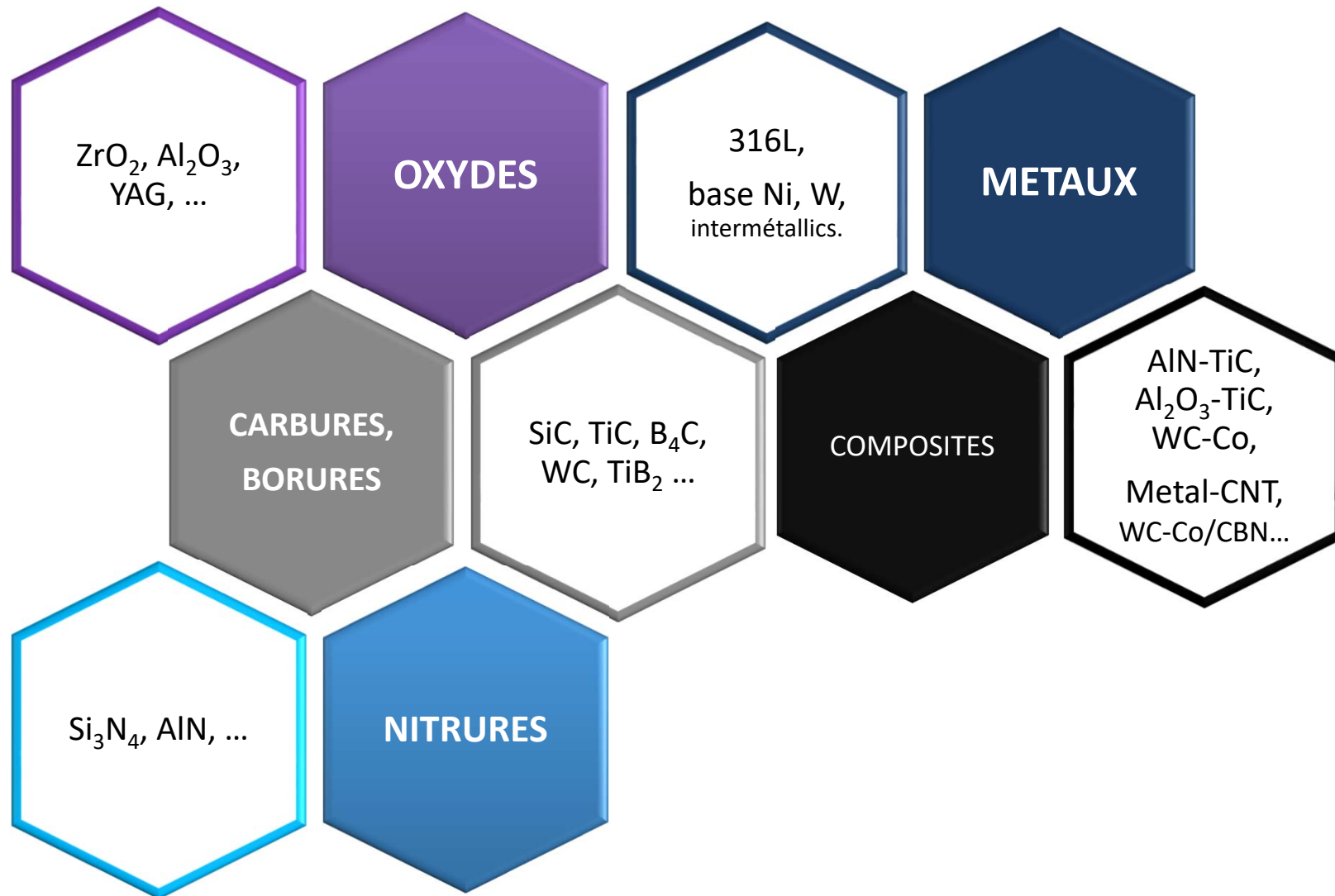
Les technologies de frittage



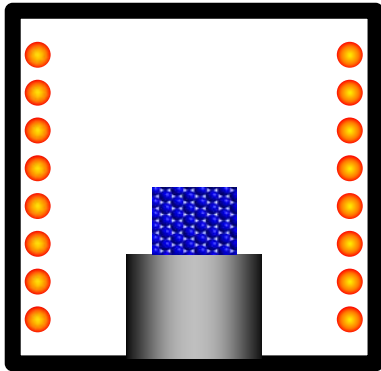
FRITTAGE au BCRC - Plateforme



FRITTAGE au BCRC - Matériaux



Frittage naturel en atmosphère contrôlée



- 😊 Economique
- 😊 Batch ou continu
- 😊 Atmosphère contrôlable
- 😊 Pièces complexes
- 😞 Long (Jours)
- 😞 Porosité possible
- 😞 Peu adapté pour certains matériaux

$T_{\max} = 2000 \text{ et } 2400^* \text{ } ^\circ\text{C}$
Max : $\sim 20 \text{ } ^\circ\text{K/min}$
Air, Ar, N_2 , H_2 , vide
Atm. neutre ou réductrice*
Vide primaire* et secondaire
($< 5 \cdot 10^{-3} \text{ mbar}$) ($< 5 \cdot 10^{-5} \text{ mbar}$)

* Four graphite



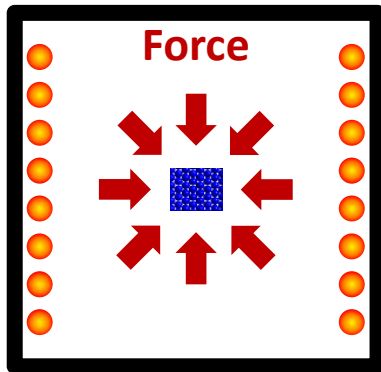
Four propre résistances au W



Four avec résistances au graphite



Frittage assisté mécaniquement

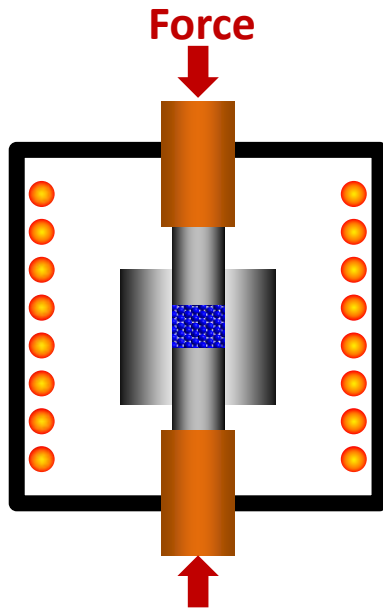


- ☺ Pression isotrope (évite des défaut de pressage)
- ☺ Atmosphère contrôlable
- ☺ Elimination (totale) de la porosité
- ☺ Géométries complexes
- ☹ Procédé batch
- ☹ Uniquement post frittage OK
- ☹ Nécessité d'encapsulation pour du frittage

$T_{\max}$: 1800°C max
 $P_{\text{isostatique}}$: 190 MPa
N₂, Ar, He
Four graphite
ϕ 50 x h 80 mm



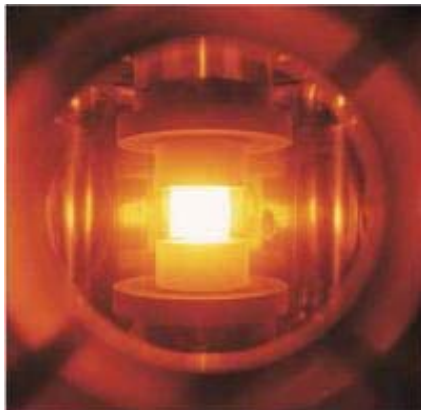
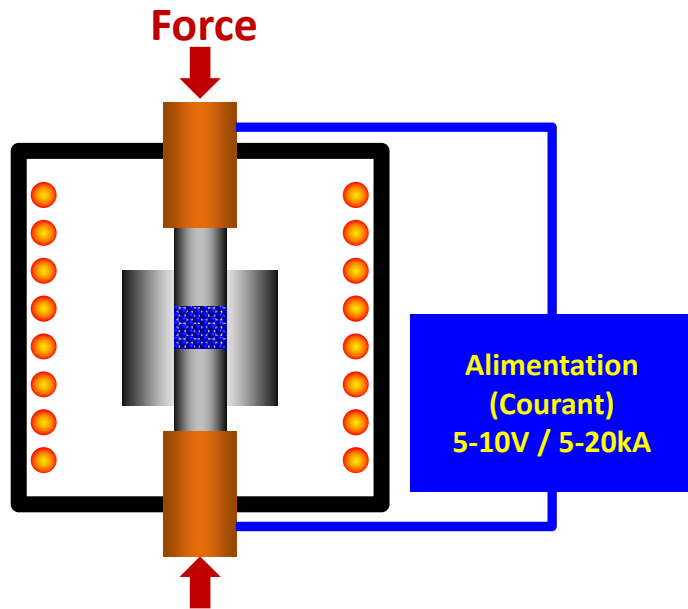
Frittage assisté mécaniquement



- ☺ Réduction de la durée de cycle ↘ (heures)
- ☺ Diminution des températures ↘
- ☺ Atmosphère contrôlable
- ☺ Elimination (totale) de la porosité
- ☺ Elargissement de la palette de matériaux
- ☹ Procédé batch
- ☹ Limitations géométriques

$T_{\max}$: 1800°C max
 $P_{\text{uniaxiale}}$: 50 kN
Jusqu'à 20°C/min
N₂, Ar, vide
Four graphite
 ϕ : de 20 à 150 mm



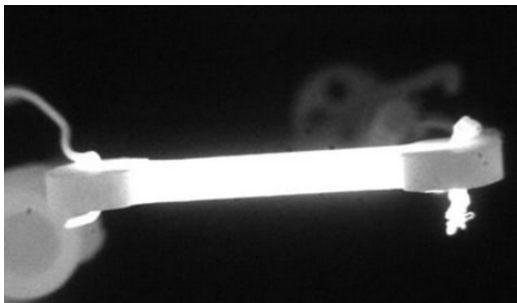
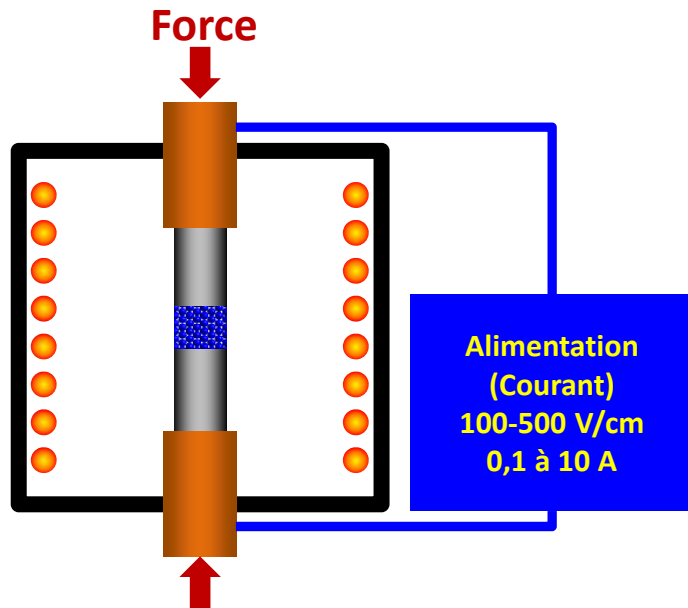


$T_{\max}$: 2200°C max
 $P_{\text{uniaxiale}}$: 1250kN
Jusqu'à 400°C/min
Ar, N₂, vide primaire
Matrice graphite
 ϕ : de 20 à 150 mm

Frittage sous champ - SPS

- 😊 Réduction de la durée de cycle ↘↘ (minutes)
- 😊 Diminution des températures ↘↘
- 😊 Atmosphère contrôlée
- 😊 Elargissement de la palette de matériaux
- 😊 Contrôle de la microstructure (nanomatériaux,..)
- 😊 Gain énergétique
- 😞 Procédé batch
- 😞 Limitations géométriques
- 😞 Hétérogénéités visibles (grandes pièces)



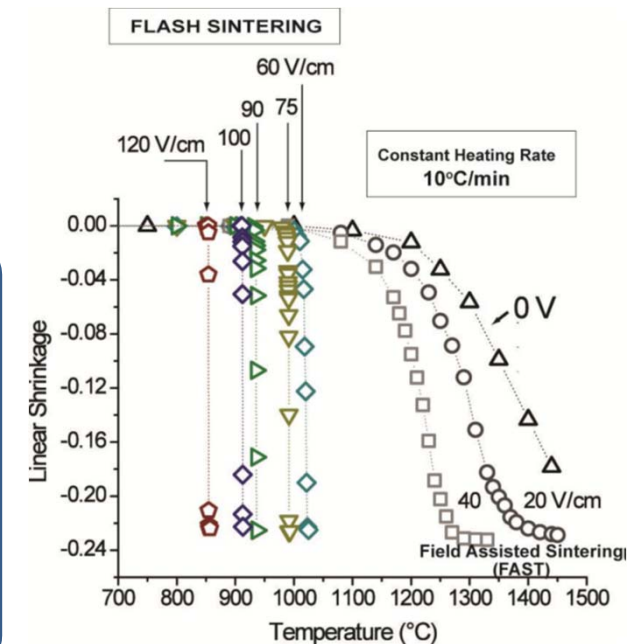


$T_{\max}$: limité par les électrodes
 $P_{\text{uniaxiale}}$: 1250kN
 Jusqu'à 2000°C/min
 Atmosphère contrôlable
 ϕ : petites dimensions

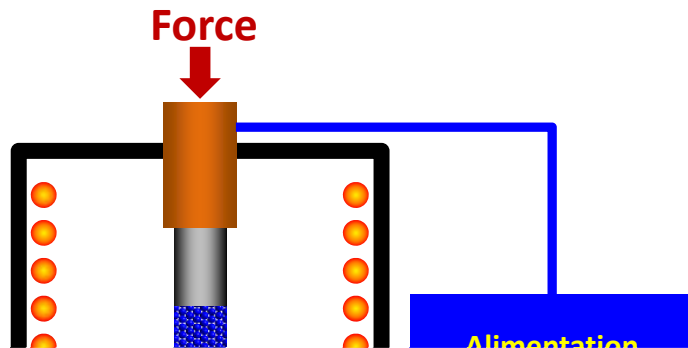
Frittage sous champ - FLASH

SUJET EXPLORATOIRE

- ☺ Réduction de la durée de cycle ↘↘↘ (secondes)
- ☺ Diminution des températures ↘↘↘
- ☺ Atmosphère contrôlable
- ☺ Gain énergétique
- ☹ Limitations géométriques
- ☹ Procédé batch ... ou pas



J. Am. Ceram. Soc., 93 [11] 3556–3559 (2010)



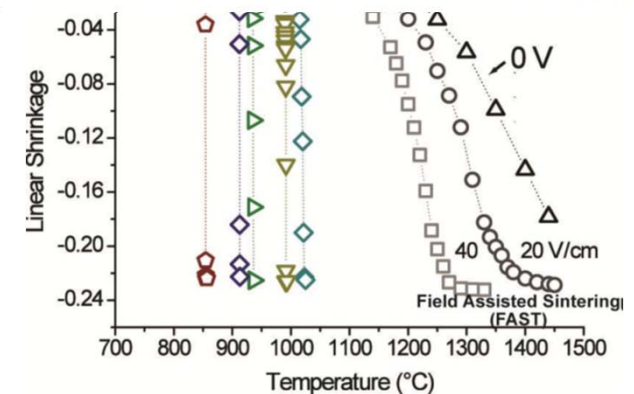
Frittage sous champ - FLASH

SUJET EXPLORATOIRE

- ☺ Réduction de la durée de cycle ↘↘↘ (secondes)
- ☺ Diminution des températures ↘↘↘
- ☺ Atmosphère contrôlable
- ☺ Gain énergétique

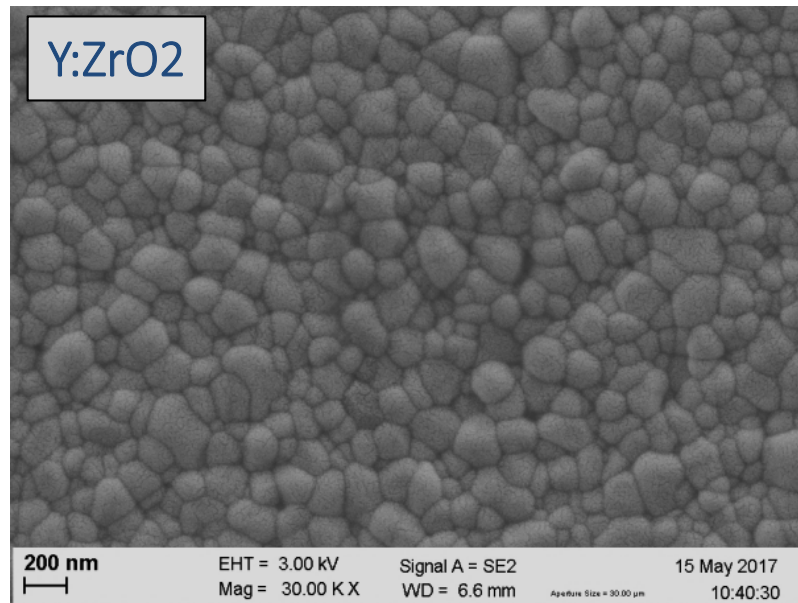


$T_{\max}$: limité par les électrodes
 $P_{\text{uniaxiale}}$: 1250kN
 Jusqu'à 2000°C/min
 Atmosphère contrôlable
 ϕ : petites dimensions

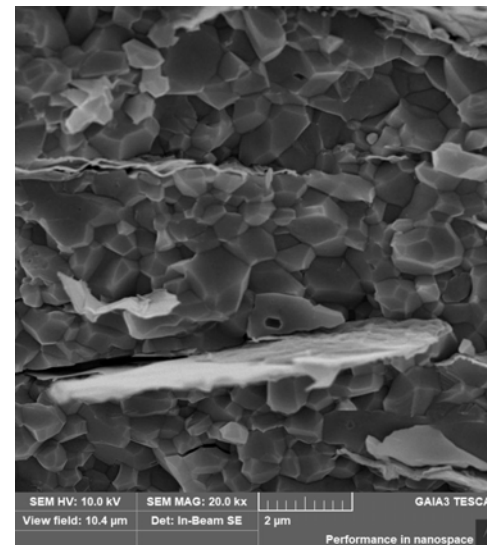
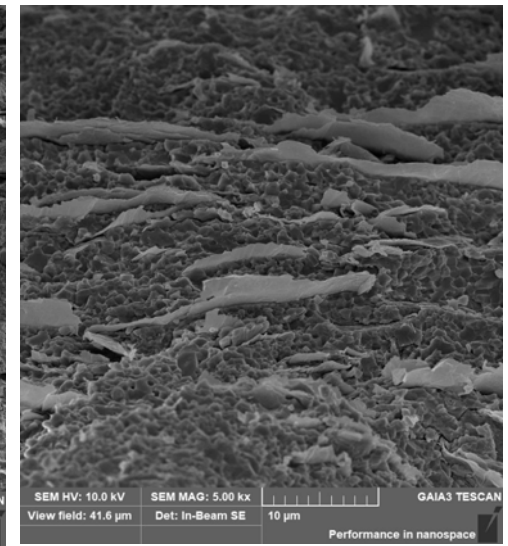
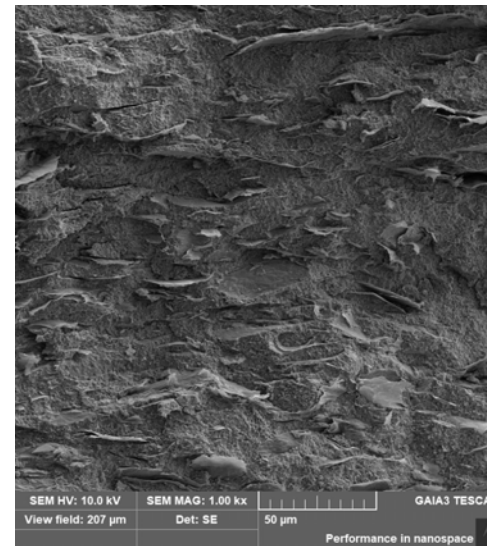


J. Am. Ceram. Soc., 93 [11] 3556–3559 (2010)

Conservation de la micro(nano)structure



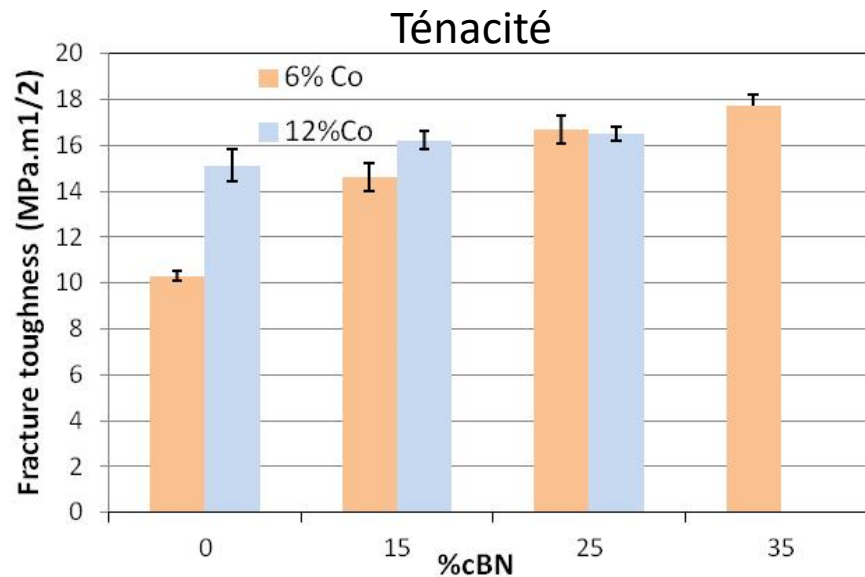
Zircone stabilisée	90 nm d ₅₀
T° palier	1250°C
Temps de palier	5 min
Vitesse de chauffe	200 °C/min
Charge appliquée	40 MPa
Diamètre d'échantillon	40 mm



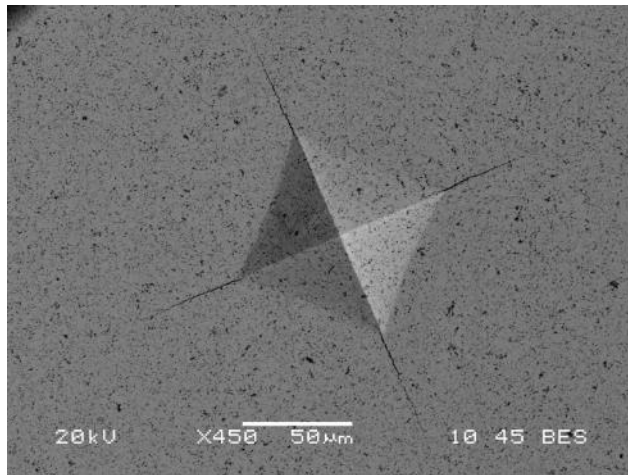
Composite alumine
+ GNP

Frittage par SPS
@1400°C 45MPa

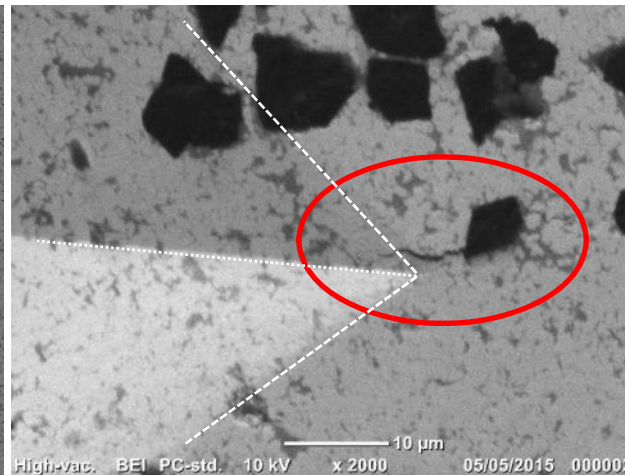




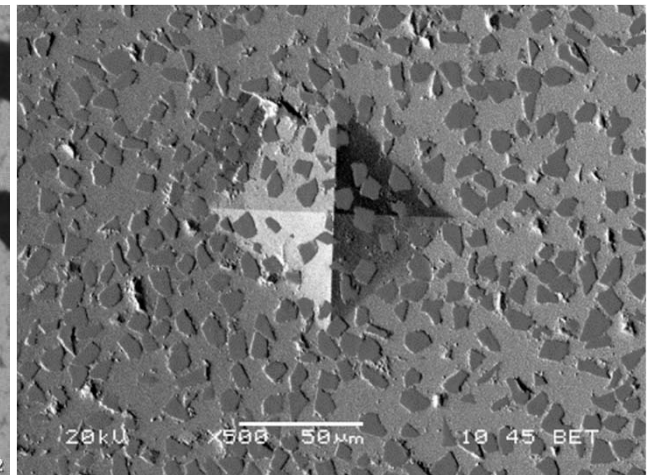
Composite
WC-Co-cBN



WC 6% Co – 0% cBN



WC 12% Co – 15% cBN



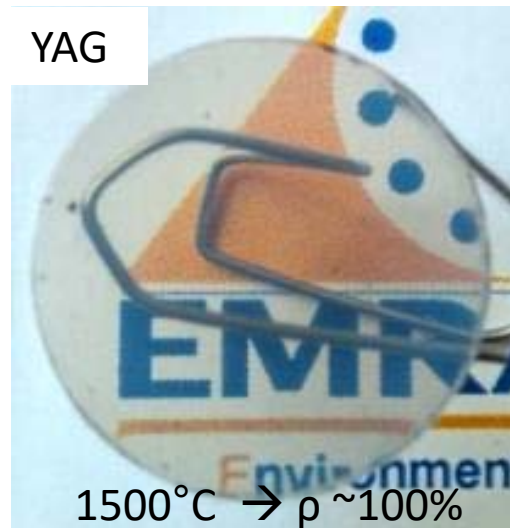
WC 12% Co – 35% cBN

SPS @ BCRC – Thématiques

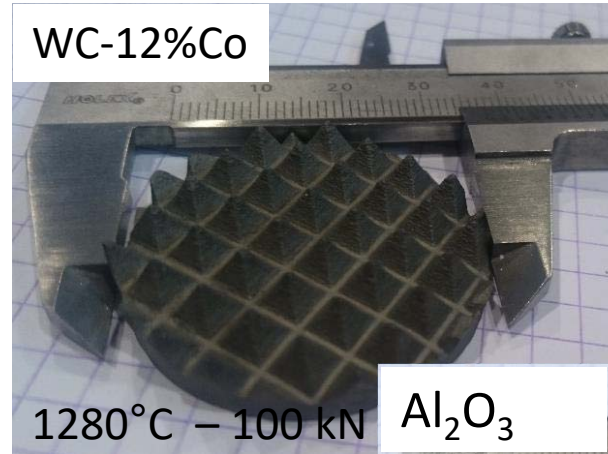
Intermétalliques
Cible PVD



Céramiques
transparentes

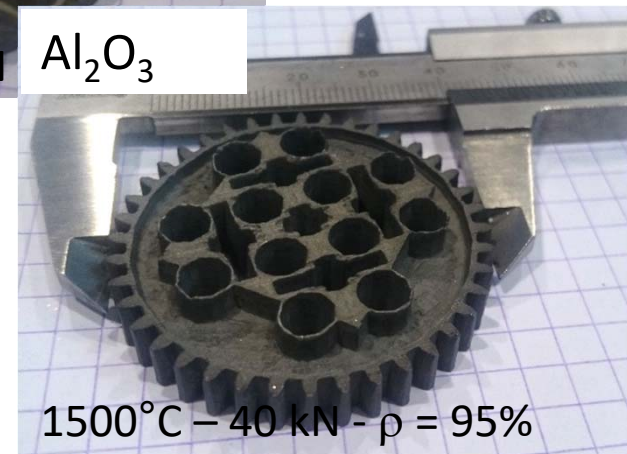


WC-12%Co



Géométries
complexes

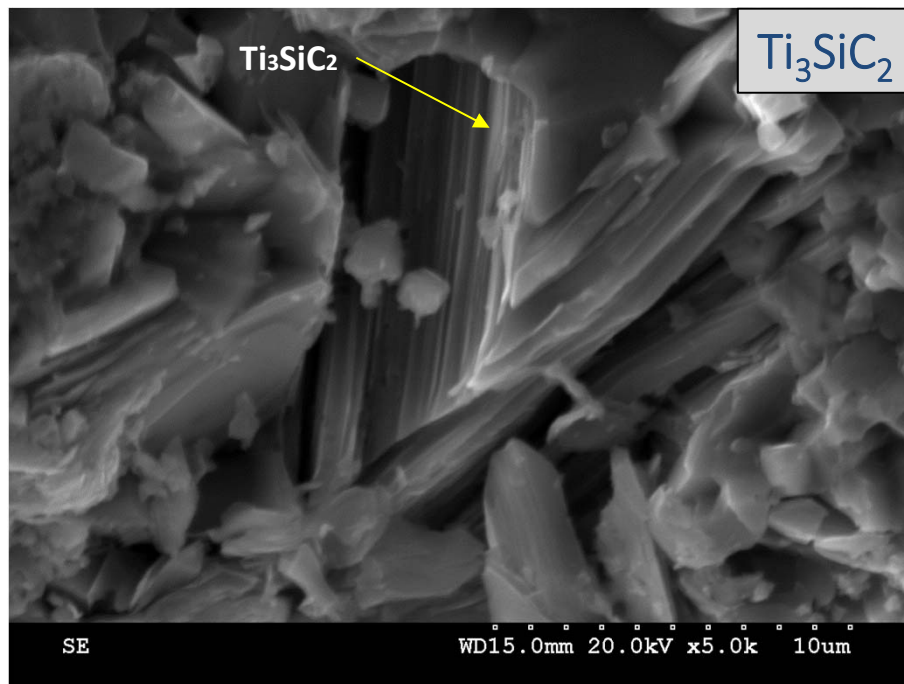
Al₂O₃



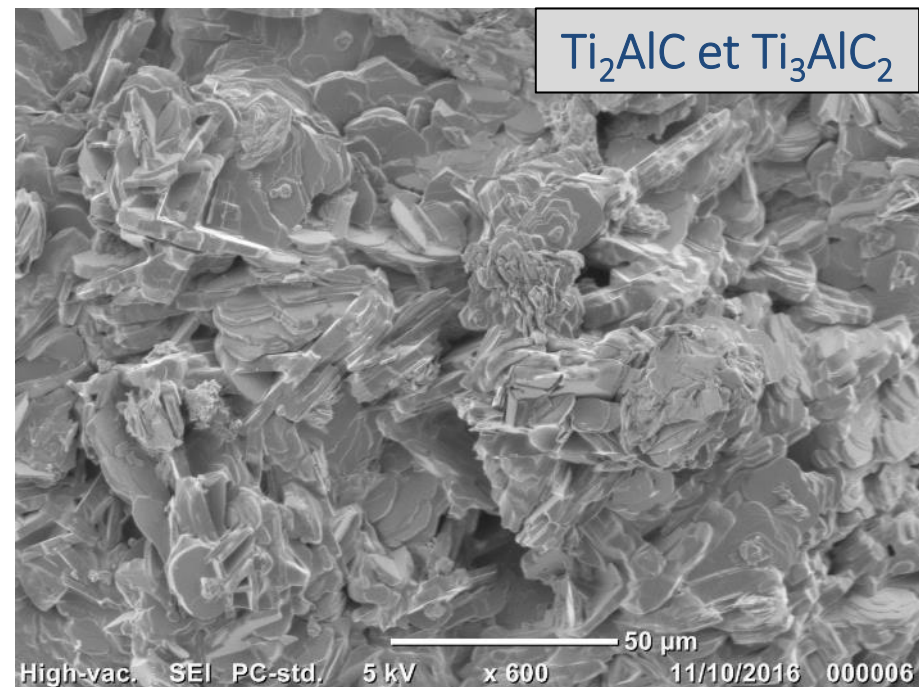
SPS @ BCRC – Thématiques

PHASES MAX

Massif par frittage réactif par SPS
@ 1500°C



Poudre par frittage réactif par SPS
@ 1350°C



Mélange des phases 211 et 312

Merci pour votre attention

Questions?



CRIBC (chef de file)

www.bcrc.be
Mons
+32 (0)65 40 34 34



Materia Nova

www.materianova.be
Mons
+32 (0) 65 55 49 02



UPHF-LMCPA

www.uphf.fr
Maubeuge
+33 (0) 3 27 51 16 76



CRITT-MDTS

www.critt-mdts.com
Charleville-Mézières
+33 (0) 3 24 37 89 89



Matikem

www.matikem.com
Villeneuve d'Ascq
+ 33 3 61 76 02 45



POM Oost-Vlaanderen

Gent
+32 (0) 9 267 86 33



Wallonie

