

Procédés de fabrication additive appliqués aux céramiques

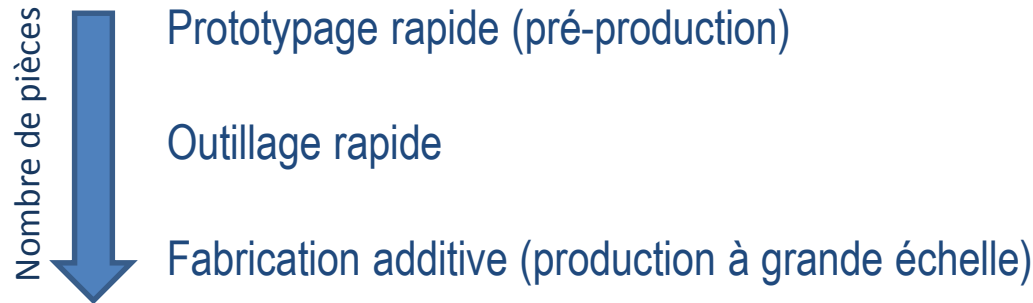
F. Petit – Belgian Ceramic Research Centre
f.petit@bcrc.be

Qu'est-ce que la Fabrication Additive (AM) ?

Définition :

Procédé de mise en forme d'une pièce par ajout de matière grâce à l'empilement de couches successives en opposition aux procédés par retrait de matière, tel que l'usinage (ASTM F2792-10).

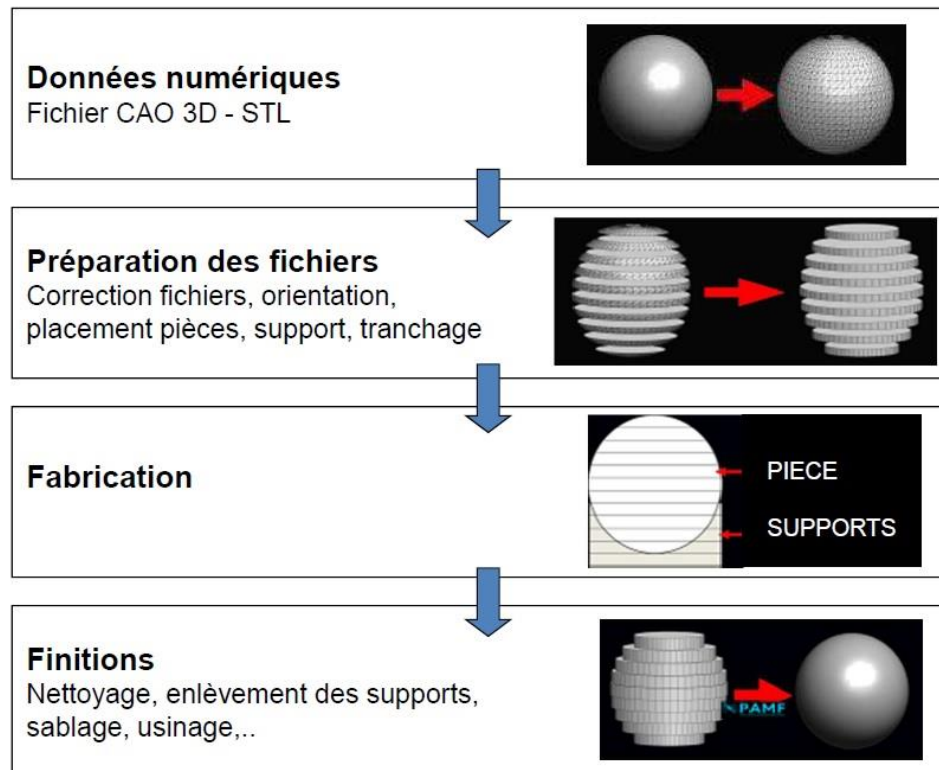
Différentes terminologies pour une même idée :



Dénominateurs communs à toutes les technologies AM :

3 entrées indispensables dans tout processus AM : la CAO, la matière première et l'énergie.

- **CAO** : représentation numérique de l'objet à fabriquer
- **Matière première** : sous forme de liquide, poudre, feuildard ou film
- **Energie** pour la mise en forme : laser, lumière UV ou IR, source de chaleur ... stimulant différents phénomènes physiques & chimiques.



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.

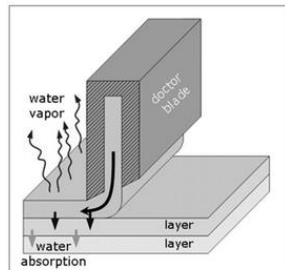
Quelles sont les technologies additives existantes ?

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	

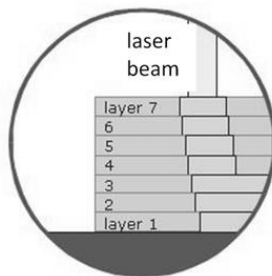


Methode à base de suspensions céramiques (LSD : Layerwise Slurry Deposition)

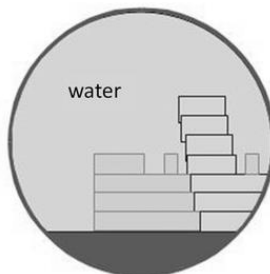
Deposition of layer



Selective Laser Sintering



Cleaning



Principe:

Chaque couche de l'objet est obtenue par coulage en bande d'une suspension chargée en poudre céramique qui est séchée.

La consolidation sélective de la couche est obtenue par traitement laser.

L'objet fabriqué doit subir un traitement thermique complémentaire pour atteindre ses propriétés finales.

Avantages

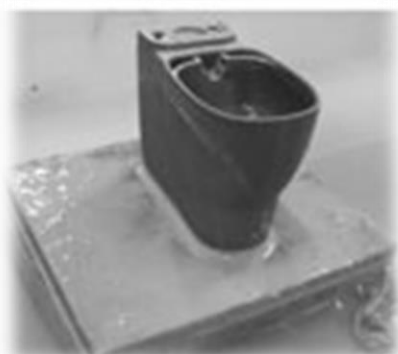
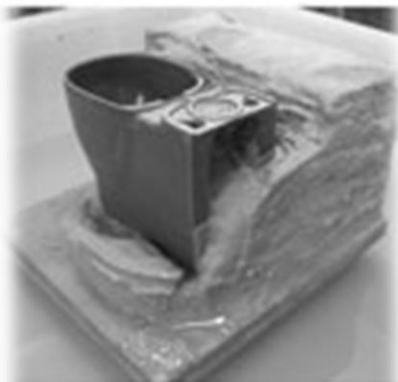
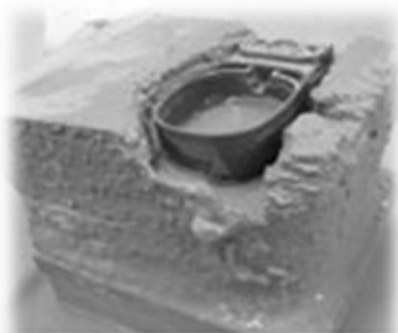
- Bon fini de surface (poudres fines)
- Aucun support de fabrication requis
- Densité des pièces frittées meilleure qu'en binder jetting.
- Compatible toute matière céramique.

Limitations

- Cycle long (temps de séchage des couches prohibitif)
- Pas complètement dense après frittage (+ micro-fissures)



Methode à base de suspensions céramiques (LSD : Layerwise Slurry Deposition)



Porcelaine (densité > 80%)*

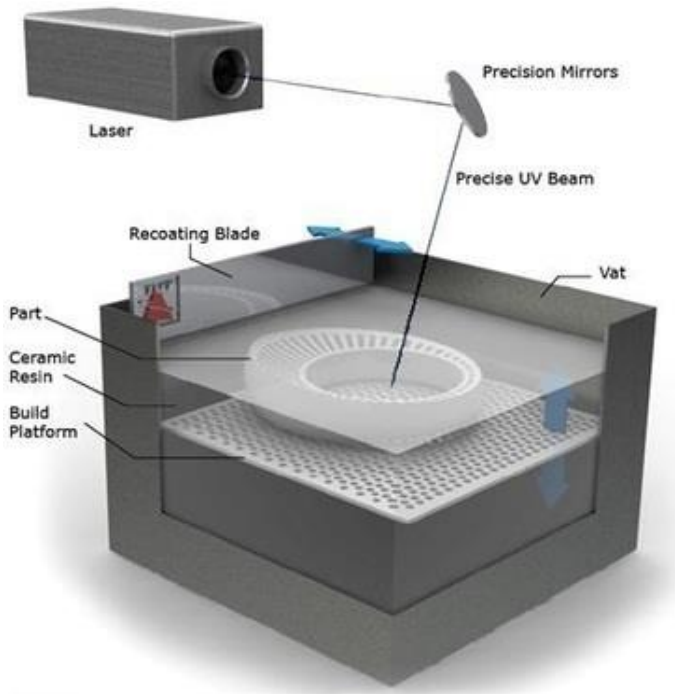


SiO₂ (densité > 95%)*

* Source : "Ceramic Institut Clausthal GmbH"



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

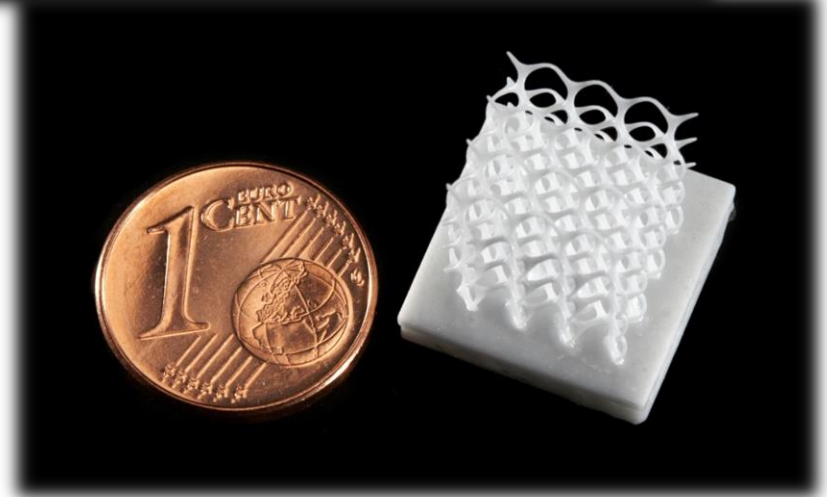
- Difficilement compatible avec nitrures et carbures.
- Déliantage problématique & microfissuration
- Pièces massives (épaisseur > 1cm) difficilement réalisables
- Performances mécaniques parfois < attentes



Methode stéréolithographique (SLA : StereoLithography Apparatus)



Pièces en alumine (Admatec)

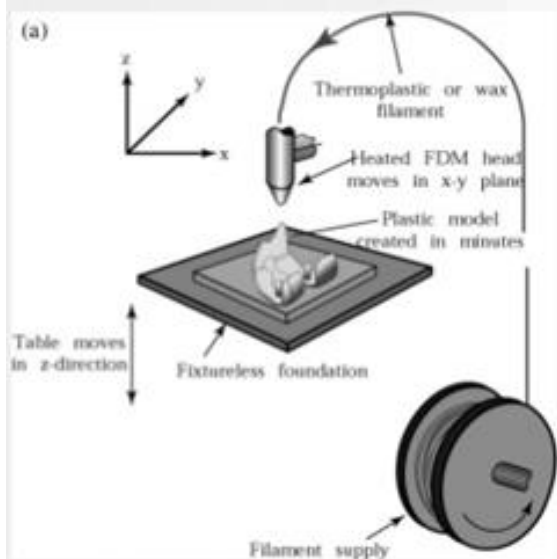


Pièces en alumine (Lithoz)



Methode par impression thermoplastique (FDM : Fused Deposition Modeling)

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

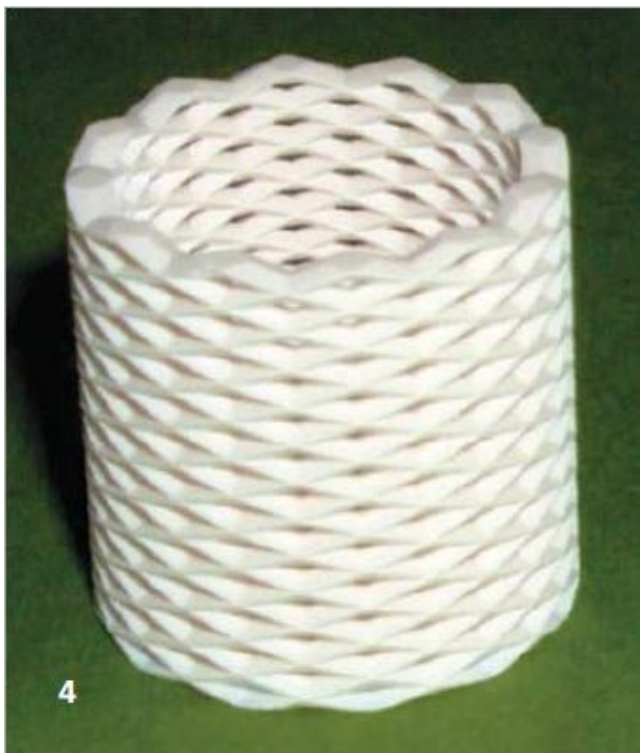
- Compatible toute matière céramique
- Compatible gros objets (> 10 cm)
- Relativement rapide et peu onéreux
- Compatible multi-matières

Limitations

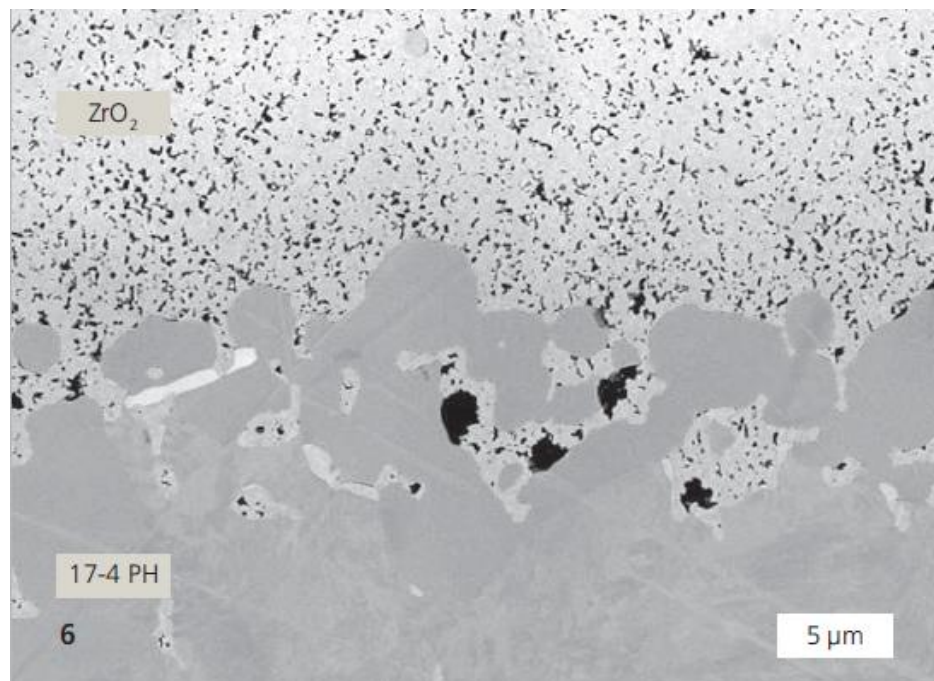
- Pièces poreuses après frittage
- Déformations des pièces
- Supports de fabrication requis (= cicatrices sur les objets)
- Performances mécaniques < attentes



Methode par impression thermoplastique (FDM : Fused Deposition Modeling)



Pièce frittée en zircone*

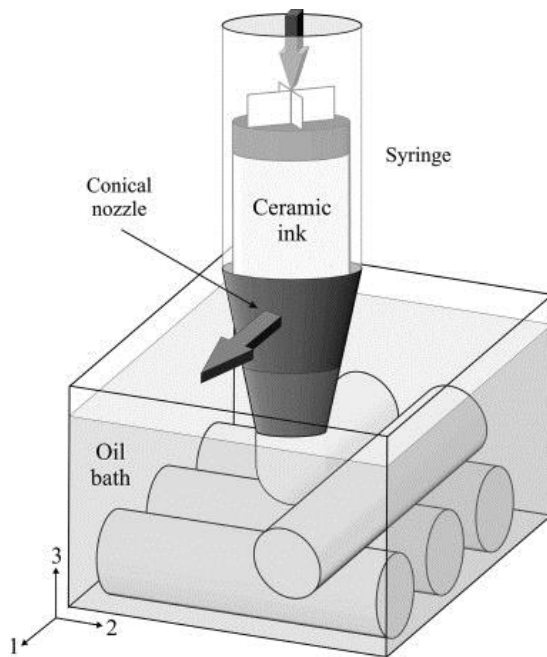


Exemple de matériau à gradient produit par
FDM (bottom : acier inox, top : zircone)*

* Source : Fraunhofer IKTS



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

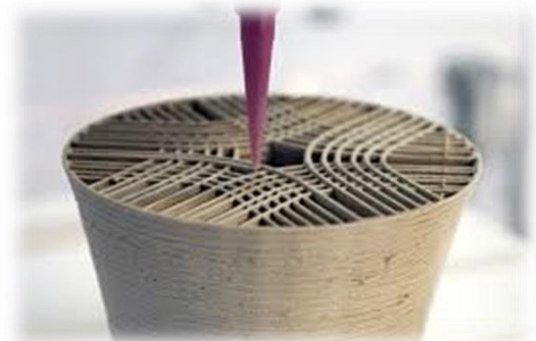
- Etats de surface grossiers
- Possible déformation des pièces
- Supports de fabrication requis (= cicatrices sur les objets)
- Essentiellement utilisée pour la fabrication de scaffolds et de filtres



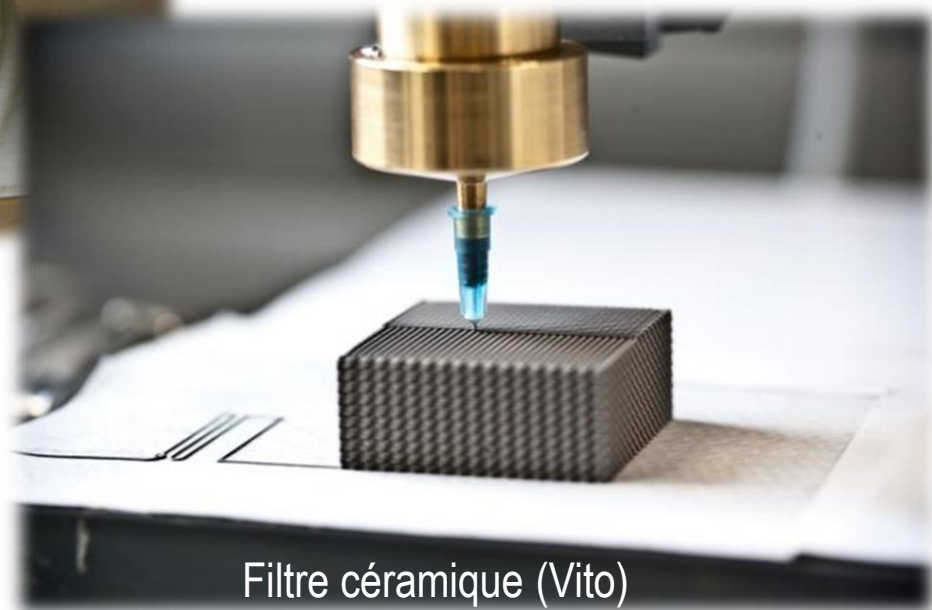
Methode par extrusion directe (Robocasting)



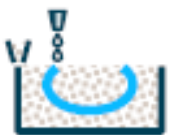
Pièce crue en porcelaine (WASP)



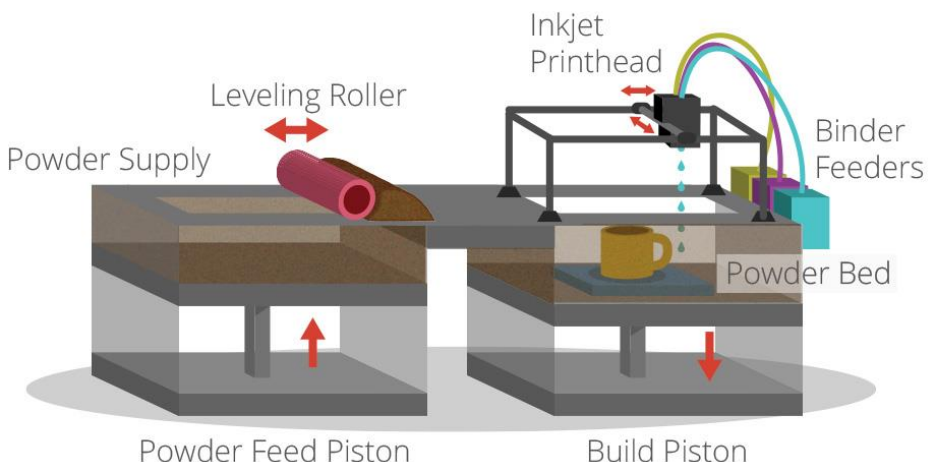
Structure en argile (Unfold)



Filtre céramique (Vito)



Methode par Impression 3D (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.

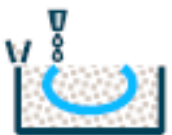
L'objet fabriqué doit subir un traitement thermique (déliantage/frittage) pour atteindre ses propriétés finales.

Avantages

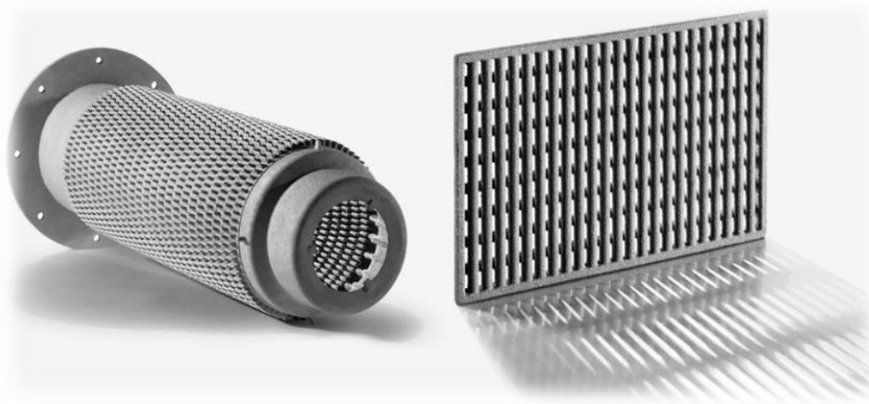
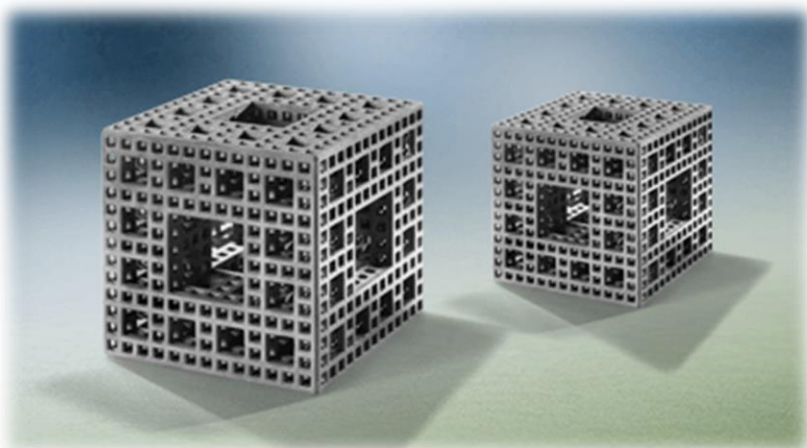
- Très rapide et peu onéreux
- Grandes pièces réalisables (> 1 m)
- Aucun support de fabrication n'est requis
- Compatible toute matière

Limitations

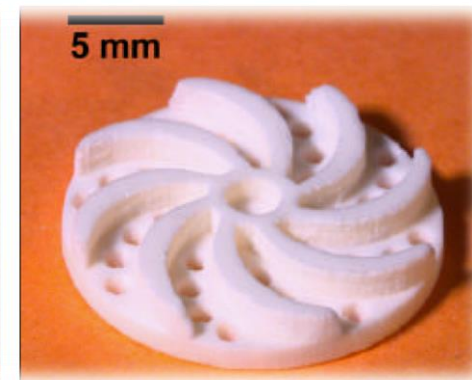
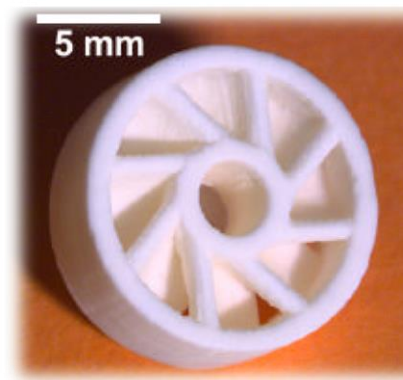
- Etats de surface très grossiers
- Pièces poreuses après traitement thermique
- Supports de fabrication requis (= cicatrices sur les objets)
- Performances mécaniques << attentes.



Methode par Impression 3D (3DP : 3D printing)



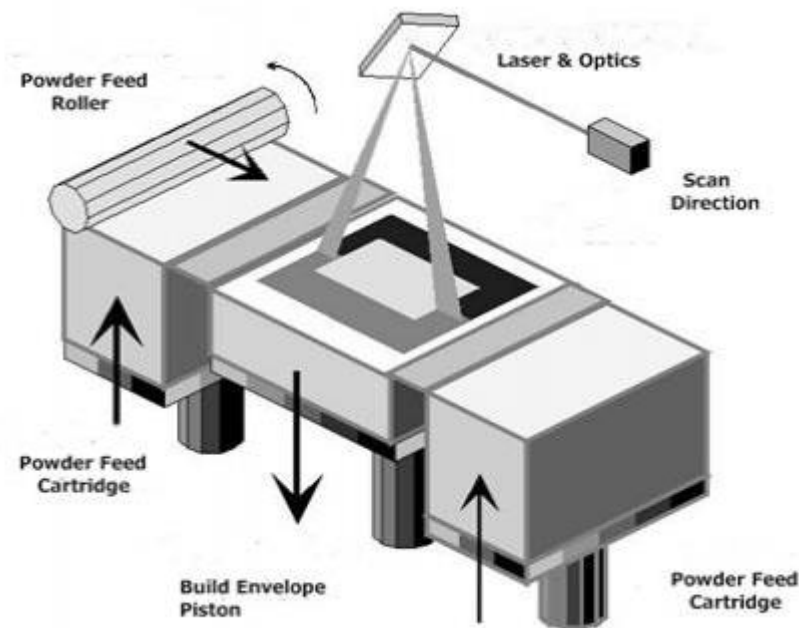
Pièces en RBSic (Schunck)



Pièces en Alumine (Source : MIT)



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

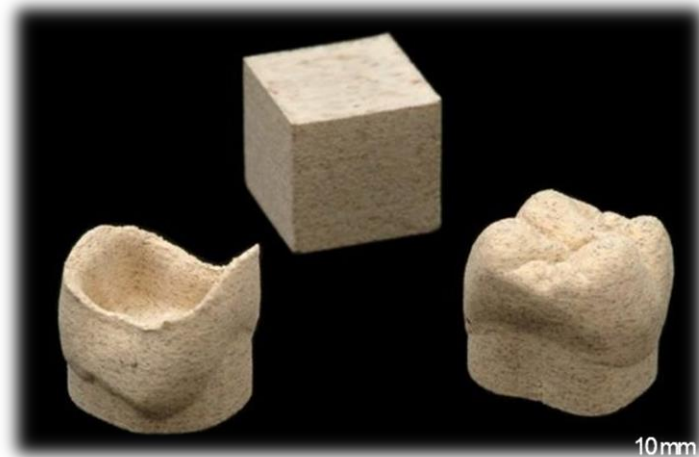
- Technologie onéreuse
- Etats de surface rugueux
- Pièces poreuses et microfissurées après fabrication (choc thermique)
- Supports de fabrication requis
- Performances mécaniques <<< attentes.



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



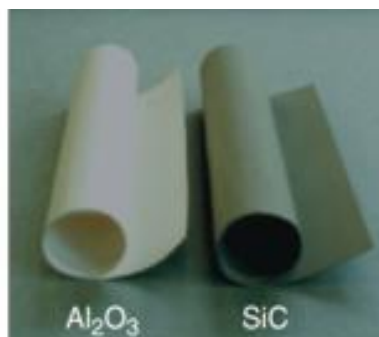
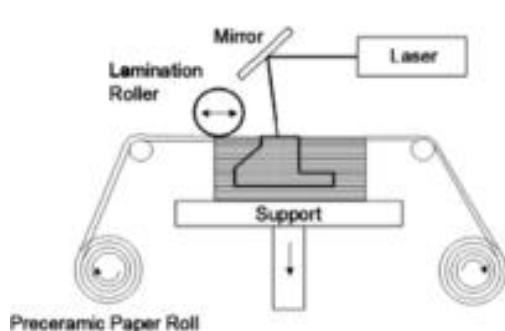
Pièces en Alumine (CRIBC)



Pièces en zircone (Fraunhofer ILT)



Methode par empilement de couche (LOM : Laminated Object Manufacturing)



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

- Technologie propre
- Bons états de surface
- Pas de limitation de matières
- Investissements limités

Limitations

- Recyclabilité problématique
- Porosité après frittage



Methode par empilement de couche (LOM : Laminated Object Manufacturing)

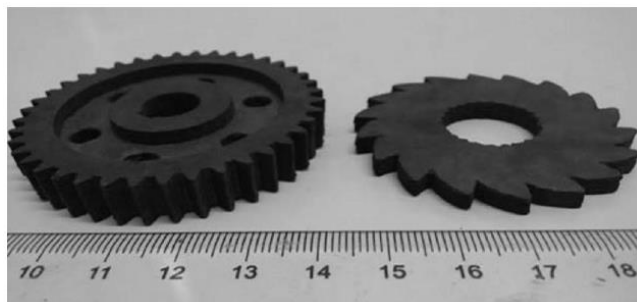
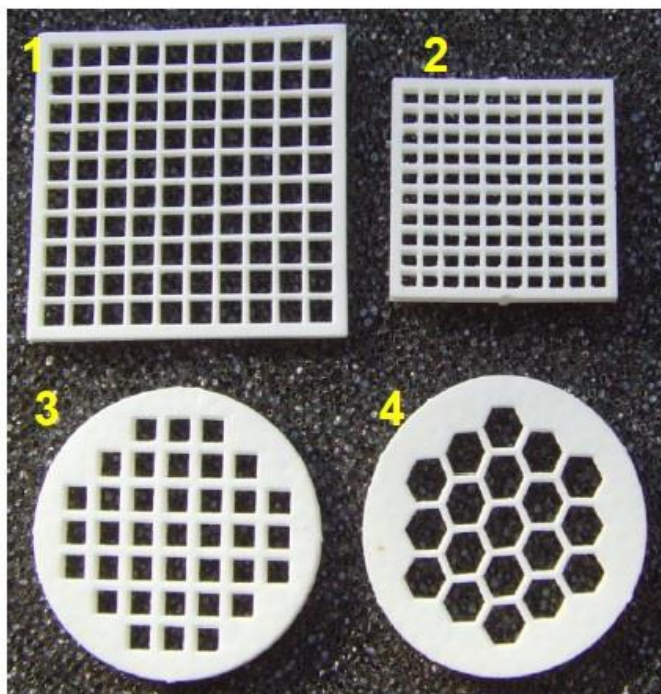


Fig. 11 : The 3-dimensional-shape gear wheels fabricated by means of LOM after heat treatment.



Al₂O₃ test parts

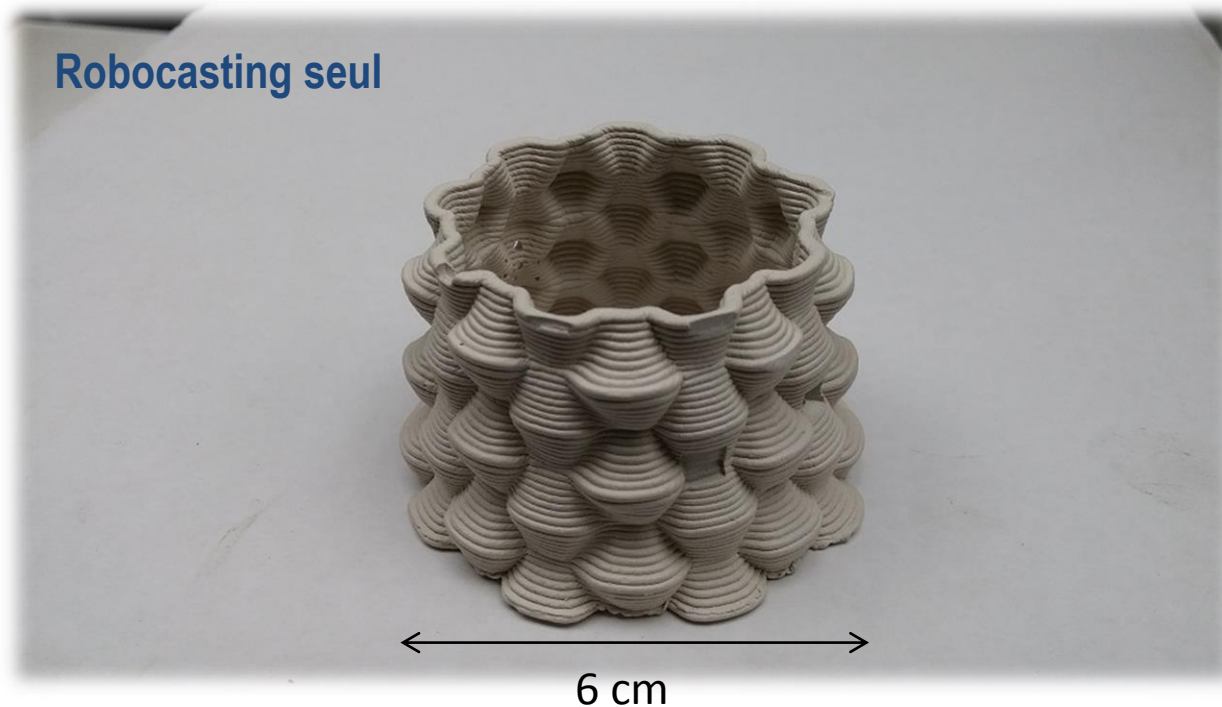


ZTM test part

Methode Hybride – Additif / soustractif

Robocasting + post-usinage

Robocasting seul



Diamètre des cordons extrudés : approx. 1 mm

=

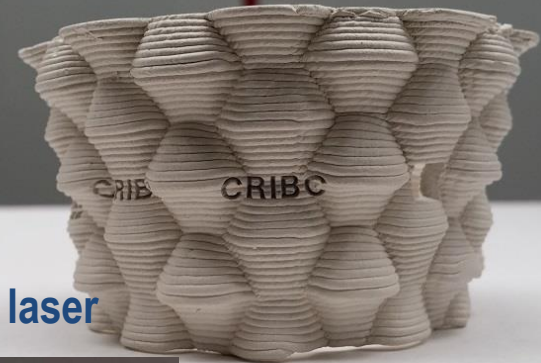
Mise en forme rapide et productive mais résolution très limitée

Methode Hybride – Additif / soustractif

Robocasting + post-usinage



Post-usinage laser



Post-usinage laser



Post-usinage à la fraise

Merci pour votre attention

Questions?

*Belgian Ceramic Research Centre (BCRC)
Avenue Gouverneur Cornez, 4 – B-7000 Mons, BELGIUM
Tel: +32 (0) 65 40 34 34 – Fax: +32 (0) 65 40 34 60
www.bcrc.be*