

Impression 3D et matériaux

T. Aubert – Collège Montaigne

Exemple d'objet réalisé par la société Shapeways (USA), qui se déplace en « marchant » grâce à la force du vent. Il a été réalisé par « impression 3D », sans assemblage de pièces a posteriori. Vidéo (promotionnelle) :

<http://youtu.be/qJuTMOY7Uik>

Plan de ce document

1. Généralités sur l'impression 3D Page 2

Fabrication « conventionnelle » : qu'est-ce que c'est ?

L'impression 3D : qu'est-ce que c'est ?

L'impression 3D : à quoi ça sert ?

2. Les « imprimantes » 3D Page 4

Pilotage informatique

Stéréolithographie – Frittage laser – Dépôt de filament fondu

3. Les matériaux disponibles Page 6

Matières plastiques – Métaux – Autres matériaux

4. À propos de ce document Page 9

1. Généralités sur l'impression 3D

Fabrication « conventionnelle » : qu'est-ce que c'est ?

On peut regrouper les principales façons classiques de fabriquer une pièce en 3 catégories :

1 – Enlèvement de matière :

On part d'un bloc de matière qu'on « taille » pour lui donner la forme souhaitée. Exemples :



Le perçage permet de faire des trous dans une pièce.

En tournage, la pièce (ici en bois) tourne et l'outil est fixe. Cela permet de réaliser des formes de révolution.



En fraisage, c'est l'outil qui tourne.

+ **Avantages :** Pas besoin de moules ou autres outillages coûteux et longs à fabriquer. Les machines à commandes numériques sont très développées

- **Inconvénients :** Perte de matière. Usure des outils. Lenteur de fabrication. Formes (relativement) limitées.

2 – Le moulage :

La matière est fondue puis injectée dans un moule.



Les deux parties d'un moule destiné à fabriquer des jouets par injection plastique.

<http://youtu.be/wmRRDIFNxoM>



+ **Avantages :** Grande liberté dans les formes. Seul moyen adapté pour les matières plastiques. Rapidité de fabrication.

- **Inconvénients :** Les pièces métalliques obtenues par moulage ont généralement de moins bonnes caractéristiques mécaniques. Outillage très coûteux (moules).

3 – La déformation :

On frappe un matériau métallique à froid ou à chaud pour lui donner une nouvelle forme.



Emboutissage : Des plaques métalliques sont frappées entre deux « matrices » sur d'énormes presses (ex éléments de carrosserie d'une auto).

Forgeage : un lingot métallique est chauffé puis frappé entre deux matrices (ex outils à main)



+ **Avantages :** Adapté aux pièces métalliques fines (emboutissage). Bonnes caractéristiques mécaniques des pièces (forgeage)...

- **Inconvénients :** Installations très lourdes, outillage couteux.

L'impression 3D : qu'est-ce que c'est ?

Il y a plusieurs procédés dont les points communs sont :

- Fabrication « couche par couche » d'une pièce
- Fabrication directe à-partir d'un modèle numérique sur ordinateur.

+

Avantages : La fabrication dès que le modèle est représenté sur ordinateur. Pas de coût d'outillages. Liberté dans les formes sans précédent...

-

Inconvénients : Matériaux disponibles encore limités. Très grande lenteur de la réalisation « couche par couche ».

L'impression 3D : à quoi ça sert ?

Prototypage : L'impression 3D est avant tout une technique de « prototypage rapide » : le but est de fabriquer rapidement un prototype sans devoir réaliser de moule ou de longs usinages. Les pièces obtenues sont couteuses et trop fragiles pour être fonctionnelles.



Carter-cylindre de moteur pour modèle réduit réalisé par stéréo lithographie



La pièce fonctionnelle sera réalisée par moulage en alliage d'aluminium.

Industries de pointe : L'impression 3D se développe pour les industries de pointe qui cherchent à faire des pièces complexes, en petites quantités : aéronautique, domaine médical (prothèses, greffes...), etc.



Un implant crânien (1^{ère} utilisation début 2013 aux États Unis) revient à environ 10000€.

EADS peut imprimer des pièces en titane, par exemple pour ses Airbus A380. Ci-dessous deux pièces assurant la même fonction technique : celle en arrière plan, réalisée par des méthodes conventionnelles, est deux fois plus lourde.



Applications « grand public » : L'impression 3D devrait se développer pour des objets plus grand public nécessitant des temps de développement très courts et devant être fabriqués à un faible nombre d'exemplaires. Les imprimantes personnelles sont aussi en plein essor, permettant à chacun de fabriquer des objets qu'il a créés ou dont il a acheté les fichiers sur Internet...



Des sociétés proposent de réaliser des figurines à-partir de dessins des enfants de leur clients.



Publicité pour une imprimante 3D domestique.



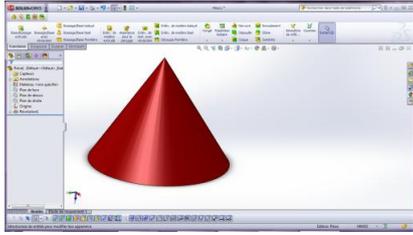
Une scie sauteuse dont une des pièces a été refabriquée par impression 3D.

2. Les « imprimantes » 3D

Pilotage informatique...

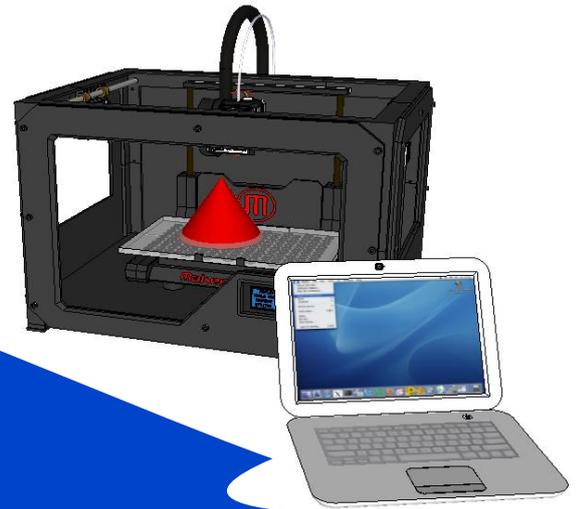
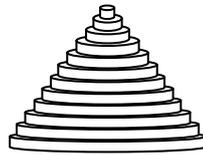
Quelque soit le type d'imprimante 3D, elle est - comme une imprimante classique - pilotée par un ordinateur qui lui envoie les instructions dans l'ordre de leur exécution.

1- CAO : Le concepteur définit la pièce sur ordinateur en 3D avec un logiciel de Conception Assistée par Ordinateur (CAO).



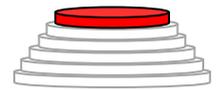
2- Préparation :

Un logiciel « découpe » la pièce en un grand nombre de tranches horizontales.



3- Transmission :

Les instructions sont envoyées tranche par tranche à l'imprimante en commençant par la tranche inférieure.



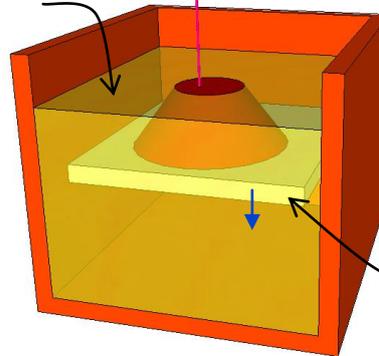
La stéréolithographie

On utilise un matériau qui est liquide au départ, et qui se solidifie lorsqu'on l'expose aux ultraviolets d'un faisceau laser.

C'est la technique de prototypage rapide la plus ancienne, qui n'est pas accessible directement au grand public.

<http://youtu.be/V3URKrvIXd8>

La matière est initialement à l'état liquide.



Un faisceau laser se déplace pour solidifier la matière sur la couche supérieure.

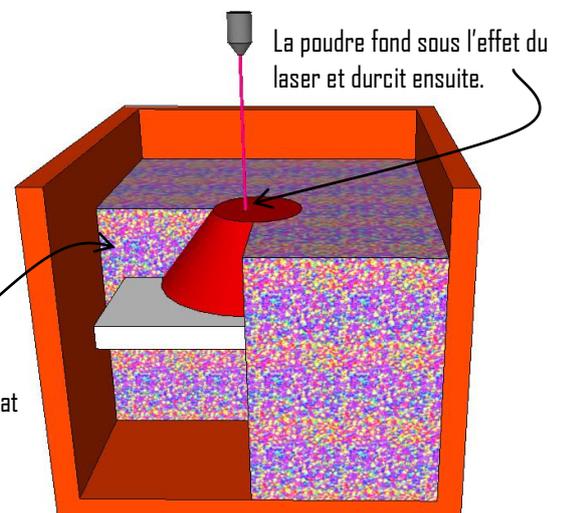
Lorsqu'une couche est terminée le plateau descend pour passer à la suivante.

Frittage laser

Cela ressemble beaucoup à la stéréolithographie mais le matériau initial se présente sous forme de poudre. Un faisceau laser va faire fondre la poudre dans les zones nécessaires. C'est cette technique qui permet de créer les pièces les pièces dans les matériaux aux meilleures caractéristiques mécaniques, comme le titane.

En-dehors des coûts matière, cette technique utilise des machines encore coûteuses et énergivores et nécessite un traitement par des personnes qualifiées après impression.

La matière est initialement à l'état de poudre.



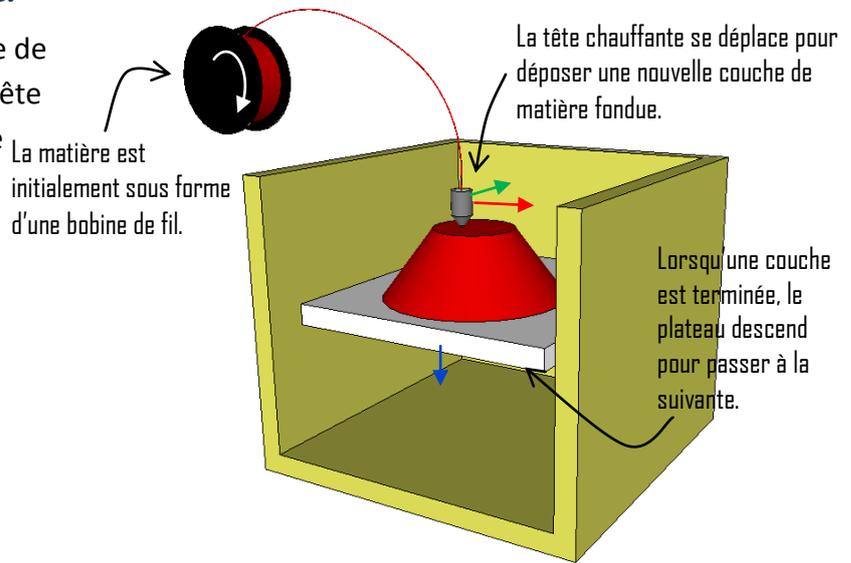
La poudre fond sous l'effet du laser et durcit ensuite.

Dépôt de filament fondu

Le matériau initial se présente sous forme de bobine de fil. Le fil avance jusqu'à une « tête d'impression » qui le fait fondre afin de le déposer au fur et à mesure sur la pièce.

C'est cette technique qui est la plus courante, notamment pour les petites imprimantes qu'on peut retrouver dans le domaine de l'éducation ou chez des particuliers.

<http://flic.kr/p/eCqqQT>



3. Les matériaux disponibles

L'évolution du marché et des techniques, ainsi que la possibilité de combiner les matériaux entre eux font qu'il serait difficile de faire une liste exhaustive des matériaux utilisés en impression 3D, mais voici une présentation des principaux :

Les matières plastiques

Plastiques disponibles :

Matériau	État avant impression	Technologie
ABS	Fil	Dépôt de filament fondu
PLA	Fil	Dépôt de filament fondu
Polyamides	Poudre	Frittage laser
Résines	Liquide	Stéréolithographie

L'ABS (acrylonitrile butadiène styrène)



C'est un matériau intéressant pour ses caractéristiques mécaniques (utilisé pour les briques Lego™ ou des coques de téléphone par exemple), mais qui se rétracte lorsqu'il refroidit, ce qui peut créer des déformations dans les pièces.

- Température de fusion : entre 200 et 250°C
 - Températures d'utilisation : de -20°C à +80°C
 - Coloration : dans la masse (plusieurs teintes de fil disponibles)
 - Résistance aux chocs : bonne
 - Résistance à l'humidité : très bonne
 - Risque de jaunissement aux UV de certains ABS blancs
- Coût (très) approximatif : de 2€/kg (matière brute en grande quantité) à 20€ / bobine de fil d'1kg achetée à l'unité.
 - Masse volumique : 1.05 Kg/L

Impact sur l'environnement :

- L'ABS est obtenu à partir de pétrole (non renouvelable).
- L'ABS n'est pas biodégradable.
- L'ABS est recyclable.

Le PLA (acide polylactique)



Il est fabriqué à partir d'amidon de maïs, et donc biodégradable. Il ne rétrécit que peu au refroidissement mais son aspect peut se dégrader au contact de l'eau.

- Température de fusion : 185°C environ
 - Températures d'utilisation plus basses que pour l'ABS
 - Coloration : dans la masse (plusieurs teintes de fil disponibles)
 - Sensible à l'humidité (lave-vaisselle...)
 - Résistance aux chocs : moyenne, matériau cassant si on le plie.
 - Convient pour un contact alimentaire (non toxique)
- Coût (très) approximatif : de 2€/kg (matière brute en grande quantité) à 25€ / bobine de fil d'1kg achetée à l'unité.
 - Masse volumique : 1.4 Kg/L

Impact sur l'environnement :

- Le PLA peut-être obtenu à partir d'amidon de maïs : dans de bonnes conditions de culture du maïs (quantités de pesticides maîtrisées, pas de suppression de cultures vivrières, ...), cela peut-être intéressant du point de vue environnemental.
- Le PLA est biodégradable.
- Le PLA n'est pas recyclable.



Les PA (polyamides)



C'est une famille de matériaux dont le plus connu est le nylon (utilisé dans l'industrie textile notamment). Ils sont généralement un bon compromis entre caractéristiques mécaniques et chimiques.

- Température de fusion : entre 255°C (PA6-6)
 - Températures d'utilisation : de -30°C à +120°C (PA6-6)
 - Coloration : dans la masse (plusieurs teintes de poudres disponibles)
 - Bonne rigidité et bonne résistance aux chocs
 - Contact avec la nourriture possible
 - Résistance à l'humidité : bonne
 - Dégradé par les UV
 - Dégradé par les hydrocarbures et solvants
- Coût approximatif : de 2 à 20 €/Kg
 - Masse volumique : 1.1Kg/L

Impact sur l'environnement :

- Les PA sont obtenus à partir de pétrole (non renouvelable).
- Les PA ne sont pas biodégradables.
- Ils sont recyclables en théorie (c'est la collecte et le tri qui posent problème).

Les métaux

Métaux disponibles en impression 3D :

Matériau	État avant impression	Technologie
Aluminium	Poudre	Frittage laser
Acier inoxydable	Poudre	Frittage laser
Titane	Poudre	Frittage laser
Or, Argent, ...	Poudre	Frittage laser

L'aluminium



L'aluminium est un métal dont les caractéristiques mécaniques sont inférieures à l'acier mais dont la masse volumique est assez faible et surtout qui ne s'oxyde pratiquement pas.

- Température de fusion : 660°C
- Masse volumique : 2.7 Kg/L
- Coût (très) approximatif : à-partir de 3€/kg (matière brute en grande quantité). Le prix des matériaux pour impression est inconnu mais forcément bien plus élevé.

Impact sur l'environnement :

- La fabrication de l'aluminium nécessite beaucoup d'énergie électrique.
- L'aluminium est recyclable.

L'acier inoxydable



Il existe beaucoup de nuances d'acier, dont la plupart rouillent (oxydation). Certains aciers sont cependant inoxydables, et beaucoup ont des caractéristiques mécaniques très intéressantes.

- Température de fusion : 1450°C
- Masse volumique : 7.8 Kg/L
- Coût (très) approximatif : à-partir de 3€/kg (matière brute en grande quantité). Le prix des matériaux pour impression est inconnu mais forcément bien plus élevé.

Impact sur l'environnement :

Les métaux ferreux (dont l'acier) sont non seulement recyclables mais en plus faciles à trier automatiquement (en les attirant avec un champ magnétique).

Le titane



Le titane est un compromis entre de bonnes caractéristiques mécaniques et une masse volumique contenue. Son coût est très élevé ce qui limite les applications.

- Température de fusion : 1670°C
- Masse volumique : 4.5 Kg/L

Impact sur l'environnement :

Le titane est recyclable, mais le faible nombre d'objets produits dans ce matériau rend peu probable le fait qu'un déchet en titane rencontre une filière adaptée...

Autres matériaux

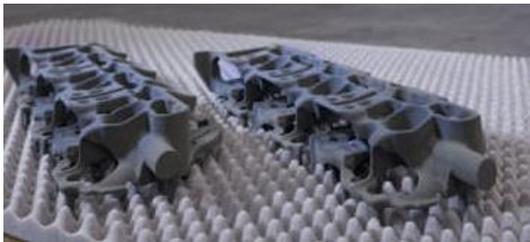
Céramique



On peut imprimer des pièces type céramique pour des prototypes voire des objets de design.

Le produit fini doit être émaillé (nécessite un passage au four) pour que la surface soit dure, colorée et brillante.

Sable



Le sable peut être utilisé pour réaliser des moules éphémères (on les casse au démoulage) pour des pièces métalliques aux formes complexes.

Ce sont des procédés très lourds à mettre en place en série et l'impression 3D du sable permet de faire des prototypes réalistes.

Et aussi...



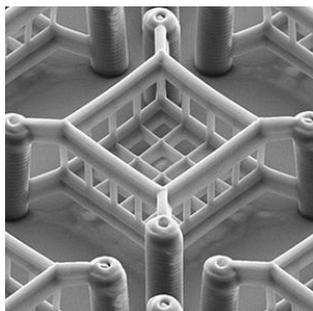
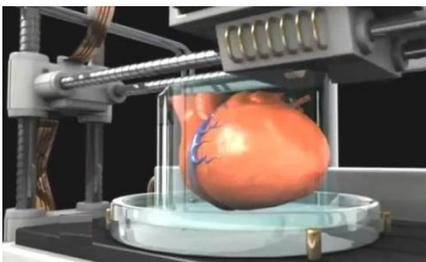
On peut d'ores et déjà imprimer beaucoup d'autres matériaux comme des aliments (chocolat par exemple). On peut aussi imprimer plusieurs matériaux en une fois sur une même pièce.

Mais le plus étonnant est peut-être à venir : des recherches sont faites pour « imprimer » des bâtiments entiers en béton, ou des tissus humains afin de produire des organes...

La miniaturisation des machines permet d'imaginer modifier la structure des matériaux utilisés pour que toutes les zones d'une même pièce n'aient pas les mêmes caractéristiques... Certains affirment donc qu'il est possible d'obtenir des pièces aussi résistantes voire plus qu'avec des procédés conventionnels.

Un « poisson d'avril » (april fool) a circulé sur Internet, présentant une imprimante 3D de pâte à modeler pour enfants de 3 ans...

La limite sera sans doute longtemps encore la vitesse de l'impression, mais les possibilités sont énormes.



À propos de ce document

Ce document ressource regroupe des informations afin de les rendre plus facilement accessibles à des élèves de collège. Les technologies de fabrication en 3D évoluant très rapidement, les informations données ici ne doivent surtout pas être considérées comme « définitives »...

Les ressources utilisées sont notamment :

Pages du site serialmakers, dédié à une collection de livres des éditions Eyrolles :

<http://serialmakers.com/les-materiaux-utilises/>

<http://serialmakers.com/les-materiaux-dimpression-3d/>

<http://serialmakers.com/les-plastiques/>

<http://serialmakers.com/les-metaux/>

<http://serialmakers.com/ceramiques-sables-et-betons/>

<http://serialmakers.com/les-materiaux-organiques/>

Autres pages francophones sur les matériaux ou techniques d'impression :

<http://www.impression-3d.com/impression-3d-2/les-materiaux/>

<http://www.3dnatives.com/materiaux-impression-3d-abs-pla-polyamides-alumide/>

<http://www.3dnatives.com/laboratoire-3dnatives-le-nylon-dans-tous-ces-etats-ou-presque/>

<http://www.monunivers3d.com/guide/abs-pla/> (différence entre ABS et PLA)

<http://pro.01net.com/editorial/578369/l-impression-3d/> Article 01.net

<http://www.3dnatives.com/marche-materiaux-dimprimantes-3d-atteindra-600-millions-dollars-2025/>

Article : « Le marché des matériaux d'imprimantes 3D atteindra plus de 600 millions de dollars d'ici 2025 »

Généralités sur les matériaux :

http://fr.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile_butadi%C3%A8ne_styr%C3%A8ne ABS

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Polyamide> Polyamide

Articles et vidéos en anglais :

<http://www.bitsfrombytes.com/content/3d-printing-materials> Matériaux d'impression

<http://gizmodo.com/how-doctors-are-printing-bones-eyes-noses-and-blood-1474983505> Possibilités de l'impression 3D incluant des cellules humaines (prothèses) – en anglais.

<http://kesheetmetal.com/knockin-tin-blog/digital-fabrication-machines-future> Vidéo (en anglais) d'un reportage de CNN avec interview d'un professeur du MIT.

<http://www.technologyreview.com/demo/425136/printing-parts/?a=f> (le procédé d'impression avec des métaux comme le titane – en anglais).

<http://dmlstechnology.com/dmls-materials> exemples de caractéristiques techniques de métaux pour impression par frittage.

<http://www.3dprint-uk.co.uk/portfolio/pricing/> Exemple d'estimation de prix pour des pièces en nylon chez un « imprimeur » anglais.