

IMPRESSION 3D : ELABORATION DE SURFACES ET VOLUMES COMPLEXES

5

Temps de préparation :2 h 15 minutes

Temps de présentation devant les examinateurs :10 minutes

Entretien avec les examinateurs :10 minutes

GUIDE POUR LE CANDIDAT :

10 Le dossier ci-joint comporte au total : 16 pages

- Guide candidat : 1 page
- Document principal : 14 pages
- Glossaire : 1 page

Travail **suggéré** au candidat :

Après avoir rappelé quelle était l'utilité du prototypage rapide et ses principaux procédés, le candidat pourra par exemple :

- Détailler les technologies mises en œuvre par l'impression 3D,
- Proposer une synthèse de la gamme d'obtention d'une pièce par impression 3D,
- Appliquer cette gamme à exemple une pièce de la vie courante, et indiquer précisément les options qu'il retiendrait pour fabriquer cette pièce.

15 **CONSEILS GENERAUX POUR LA PREPARATION DE L'EPREUVE :**

- Lisez le dossier en entier dans un temps raisonnable.
- Réservez du temps pour préparer l'exposé devant les examinateurs.
- Vous pouvez écrire sur le présent dossier, le surligner, le découper ... mais tout sera à remettre aux examinateurs en fin d'oral.

20 • En fin de préparation, rassemblez et ordonnez soigneusement TOUS les documents (transparents, etc.) dont vous comptez vous servir pendant l'oral, ainsi que le dossier, les transparents et les brouillons utilisés pendant la préparation. En entrant dans la salle d'oral, vous devez être prêts à débiter votre exposé.

25 • A la fin de l'oral, vous devez remettre aux examinateurs le présent dossier, les transparents et les brouillons utilisés pour cette partie de l'oral, ainsi que TOUS les transparents et autres documents présentés pendant votre prestation.

1- INTRODUCTION.

Aujourd'hui, pour réaliser un imprimé (plaquette publicitaire, dépliant...) l'infographiste n'hésite pas à imprimer plusieurs versions de son document : maquettes, épreuves numériques, *cromalins* pour BAT...

Dans le domaine de la 3D, on ne peut se permettre une telle façon de travailler. Pendant tout le processus de modélisation de l'objet, l'ingénieur doit se contenter de la visualisation 3D à l'écran. En matière de design, on peut envisager la fabrication d'un prototype après l'approbation des instances nécessaires de l'entreprise. Les coûts de fabrication d'un prototype de façon manuelle sont, aujourd'hui encore élevés, Réaliser l'usinage d'un moule courant à partir des techniques traditionnelles revient aux environs de 20 000€. Une fois usiné, il n'est pas rare d'avoir de mauvaises surprises. En effet, c'est à ce moment là que l'on peut réellement se rendre compte de la prise en main de l'objet, et le placer dans son environnement final (par exemple une pièce dans un moteur). De plus, ces prototypes sont souvent très fragiles et ne peuvent simuler une utilisation réelle. Même si les designers sont rompus avec l'affichage 3D sur des écrans, la matérialisation physique de leurs objets est une phase qu'ils ne peuvent ignorer.

Enfin, dans cette phase de développement de nouveaux produits, la disponibilité rapide de prototypes fonctionnels est souhaitée de plus en plus. Elle permet de tester les résistances ou stabilités, mécanique et thermique, de la pièce au cours du temps, la résistance chimique ou la biocompatibilité, mais aussi l'esthétique dans le cadre de pré-étude avec le public.

C'est l'objet du *prototypage rapide*.

2- PRINCIPALES TECHNOLOGIES DU PROTOTYPAGE RAPIDE.

Le prototypage rapide permet de produire un objet réel à partir d'un fichier CAO, le plus souvent en le découpant en tranches, puis en déposant ou solidifiant de la matière couche par couche, pour, en fin de compte, obtenir la pièce terminée. De nombreuses technologies sont apparues au cours des années 90 et continuent de se développer jusqu'à côtoyer maintenant la production de petite série sur des pièces à forte valeur ajoutée.

Les principales sont : la FDM (Fused Deposition Modeling), la stéréolithographie, la SLS
55 (Selective Laser Sintering), la LOM (Lamination Object manufacturing).

2.1- FDM (Fused Deposition Modeling) ou impression 3D.

Cette technique consiste à faire fondre une résine (généralement du plastique) à travers une
buse chauffée (voir schéma n°1). Un petit fil de plastique (de l'ordre du dixième de
millimètre) en sort. Ce fil est déposé en ligne, et vient se coller sur ce qui a été déposé
60 auparavant. La FDM est un brevet mondial déposée par STRATASYS au début des années
90. Elle sera décrite plus précisément dans la troisième partie.

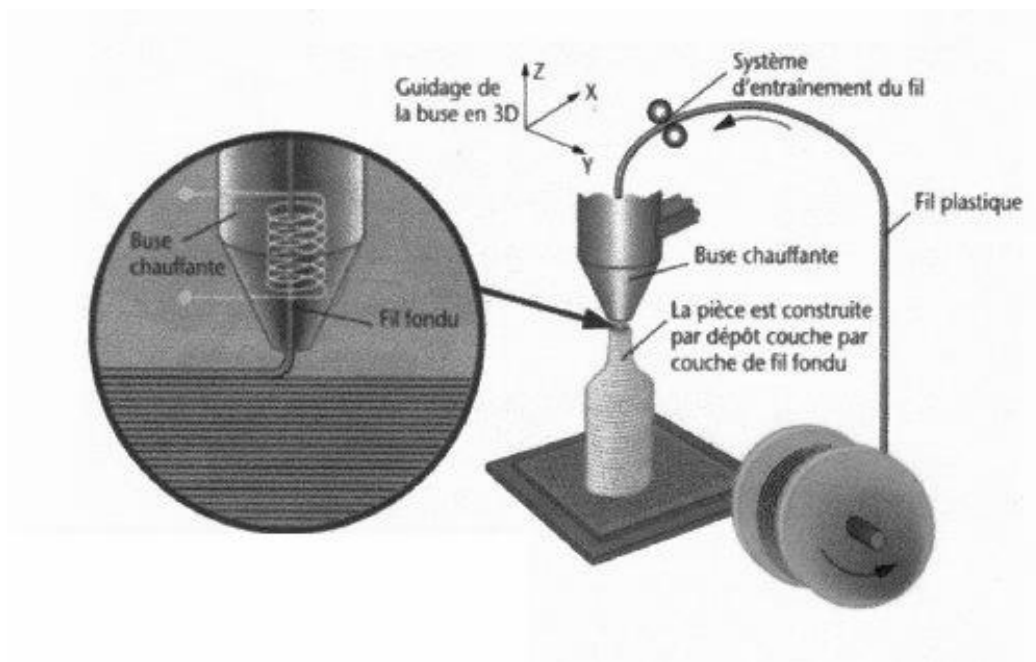


Schéma n°1

2.2- La stéréolithographie.

65 Tous les systèmes sont basés sur le même principe.

La pièce est construite sur une plate-forme horizontale, plongée, ou non, dans un liquide
plastique *monomère*. La solidification se produit par *photo-polymérisation* résultant d'un
impact de lumière sur la surface supérieure du liquide. La photo-polymérisation du
monomère est déclenchée par un simple rayon ultra violet ou une lumière dans les
70 fréquences visibles.

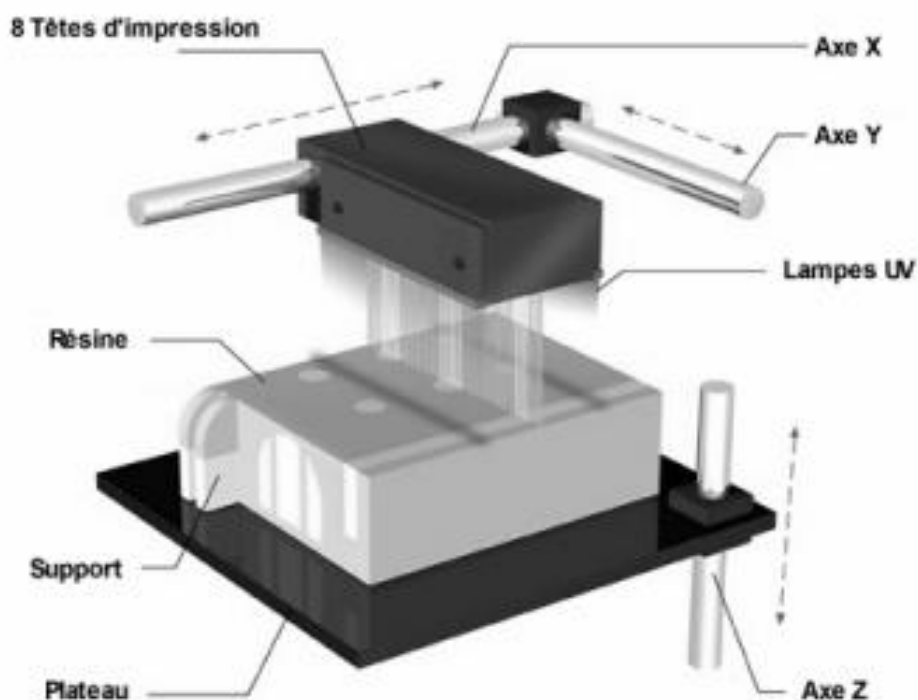
L'absorption de la lumière par le liquide limite l'épaisseur de polymérisation à quelques dixièmes de millimètre. Ceci correspond à peu près à l'épaisseur des strates.

Une fois qu'une couche de monomère est solidifiée, la pièce s'enfonce de la valeur de l'épaisseur de la strate suivante et une nouvelle section est solidifiée. Il y a autant de cycle
75 que de nombre de couches nécessaires pour obtenir l'intégralité du volume de l'objet. A la fin, la pièce est « séchée » au four pour accroître au maximum la résistance du matériau.

Deux techniques principales de polymérisation sont aujourd'hui utilisées :

Les ultras violets.

Cette technique utilise en général une résine spéciale sensible au traitement ultra violet
80 déposée par des buses d'impression (voir schéma n°2). Le principe est très similaire à la FDM, mais il n'y pas besoin d'utiliser une tête chauffante. A la fin de chaque couche 2D une lampe ultra-violette traite la résine qui durcit à certains endroits qui formeront la pièce et reste molle à d'autres qui formeront le support.



Le laser.

Sous l'action de ce laser, une résine liquide photosensible est solidifiée par une transformation chimique (voir schéma n°3). Le faisceau de lumière émis par le laser est projeté à la surface de la résine par un jeu de miroirs dynamiques. Le mouvement de ces
90 miroirs, pilotés par un ordinateur interprétant les données fournies par le logiciel de CAO, fait parcourir au faisceau une trajectoire correspondant à une section de pièce considérée. Sur son passage, le laser polymérise la résine, et seule la région balayée reste solidifiée. Précision, état de surface, et temps de fabrication dépendent du choix de la hauteur de couche. Après réalisation d'une section, la plate-forme supportant l'objet en cours de
95 fabrication descend dans la cuve de résine d'une hauteur correspondant à l'épaisseur de la section (habituellement entre 0,07 mm et 0,75 mm). L'empilement des couches permet d'obtenir une pièce tridimensionnelle. Consécutivement à la polymérisation d'une section, un dispositif de raclage intervient pour niveler uniformément la surface. Une fois que la surface de la cuve de résine est immobile, le laser peut démarrer la polymérisation d'une
100 nouvelle section.

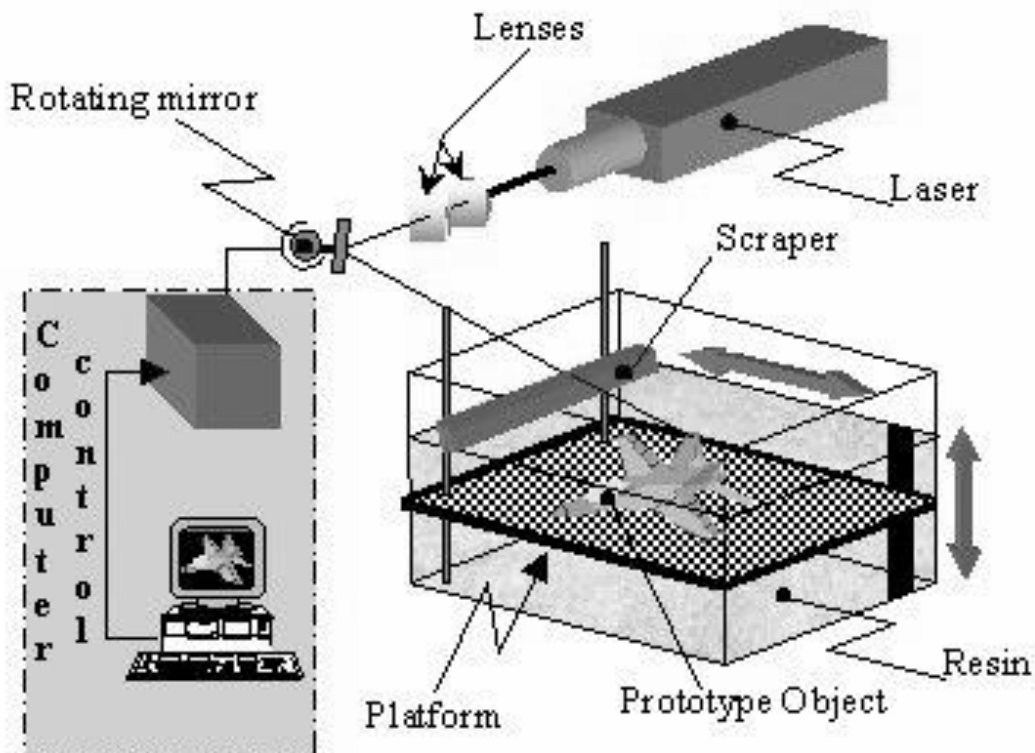


Schéma n°3

2.3- SLS (Selective Laser Sintering)

Comme son nom l'indique, le frittage sélectif au laser utilise un laser très puissant pour
105 transformer une poudre en un objet solide par fusion ou frittage. Comparé à la
stéréolithographie, le polymère est remplacé par une poudre préchauffée à une température
juste en dessous du point de fusion.

Un laser trace la forme de chaque strate fusionnant de la poudre en couche fine. Les grains
qui ne sont pas chauffés ne sont pas affectés et restent comme support pour la couche
110 suivante, et d'éventuels porte-à-faux de la pièce. Une nouvelle couche est étalée par un
rouleau mécanique, et le cycle recommence (voir schéma n°4). Ce procédé ne nécessite pas
de post-séchage au four. Les applications industrielles d'aujourd'hui traitent les matières
thermoplastiques suivantes: PVC, polycarbonate, ABS et nylon. Des recherches sont en
cours à l'Université de Texas et de Louvain, pour traiter des métaux comme le bronze, le
115 cuivre et les céramiques.

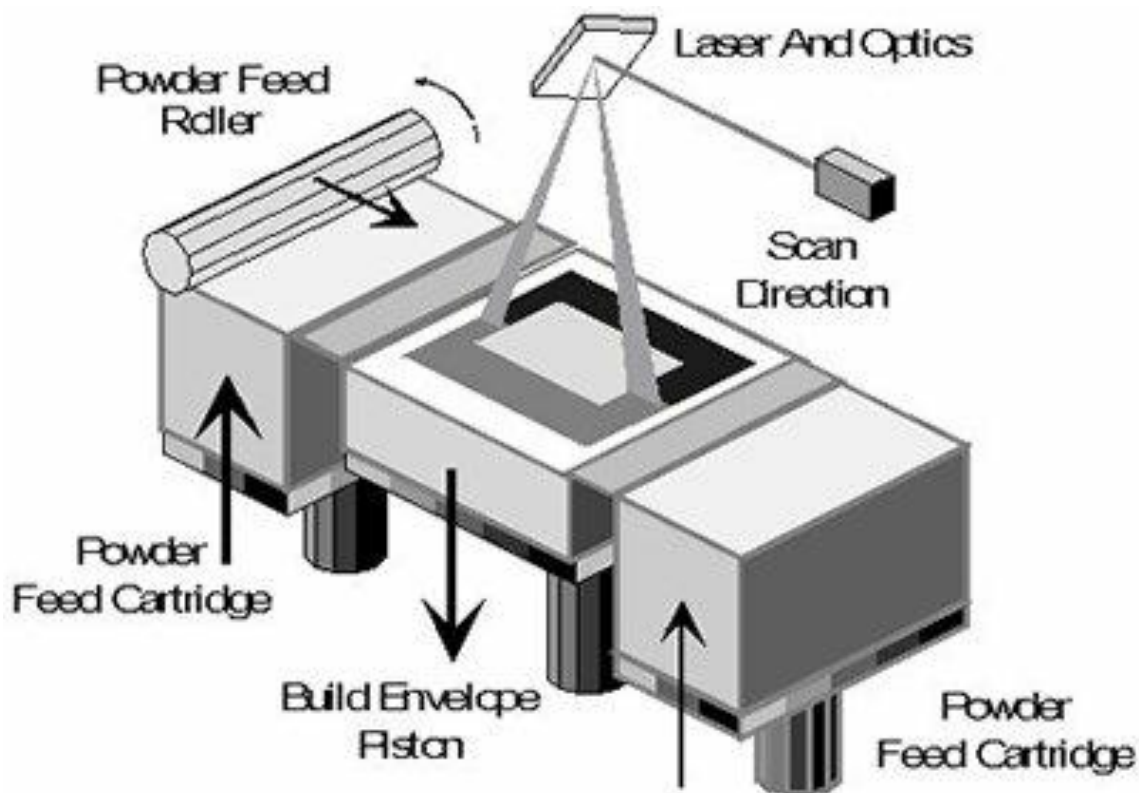


Schéma n°4

2.4- LOM (Lamination Object manufacturing)

Le procédé LOM (Lamination Object Manufacturing) procède par empilage de couches de matériau thermocollant, automatiquement découpées par un laser de puissance. Il permet de fabriquer des pièces pleines à moindre coût. La technologie LOM n'utilise pas le changement d'état des matériaux. Des feuilles sont découpées, empilées et collées. Selon les techniques utilisées, le découpage peut être la dernière opération. Une feuille de papier mince, recouverte d'un film de polypropylène, est déposée sur la section précédente et comprimée à haute température. La chaleur fait fondre le film qui colle la feuille de papier. Un laser découpe le contour correspondant à la section considérée à une profondeur égale à la hauteur de couche (voir schéma n°5). La pièce finale a une texture proche de celle du bois.

Ce procédé est cinq à dix fois plus rapide que les autres, et garantit une précision de l'ordre de 10% des dimensions totales. Cette rapidité est due au fait que le laser ne balaye que le contour de chaque section et non la surface complète.

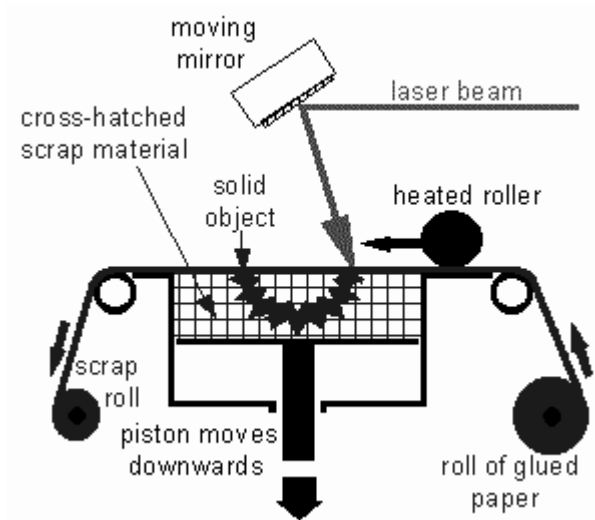


Schéma n°5



Pièce obtenue par LOM

3- LA FDM OU IMPRESSION 3D.

135 L'impression 3D est une technique de prototypage rapide récente. Cette technique permet la réalisation de pièces, en ABS le plus souvent mais pas seulement, de volumes et de surfaces complexes en un temps relativement rapide. Elle est maintenant utilisée dans l'industrie mais aussi dans des secteurs aussi variés que l'architecture, l'art ou la fabrication de personnages de Wargame.



140 Ces formes n'auraient pas pu être obtenues en usinage traditionnel. De surcroît, le coût d'installation, de mise en œuvre et de fabrication est comparativement plus concurrentiel. En effet, les imprimantes 3D ne nécessitent pas d'installations particulières : il suffit d'un PC et d'une prise de courant. Elles ne produisent aucun élément nuisible, comme les copeaux, odeurs, produits toxiques,... De ce fait elle s'intègrent parfaitement dans un bureau d'études (voir photo 1).

145



Photo n°1

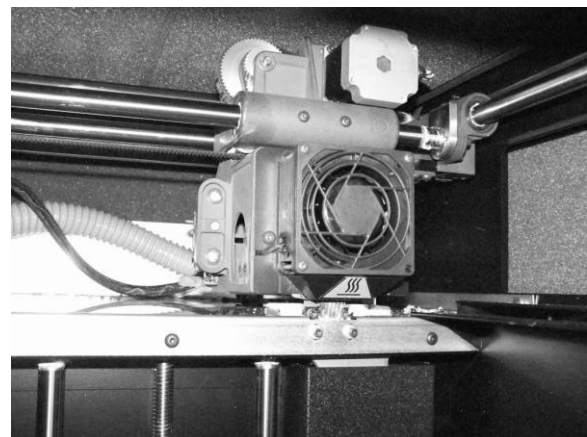


Photo n°2

Le principe est donc assez proche de celui d'une imprimante 2D classique : les buses utilisées, qui déposent de la matière, sont d'ailleurs identiques aux imprimantes de bureau (voir photo n°2). C'est l'empilement de ces couches qui crée un volume.

150 L'imprimante numérique est constituée d'une table réalisant l'axe Z, et d'une buse asservie, qui se déplace sur les axes XY grâce à des moteurs pas à pas (voir schéma n°6). Le filament d'ABS est extrudé à travers cette buse à une température juste au dessus de son point de fusion, et forme par le trajet de ses déplacements chaque couche du modèle.

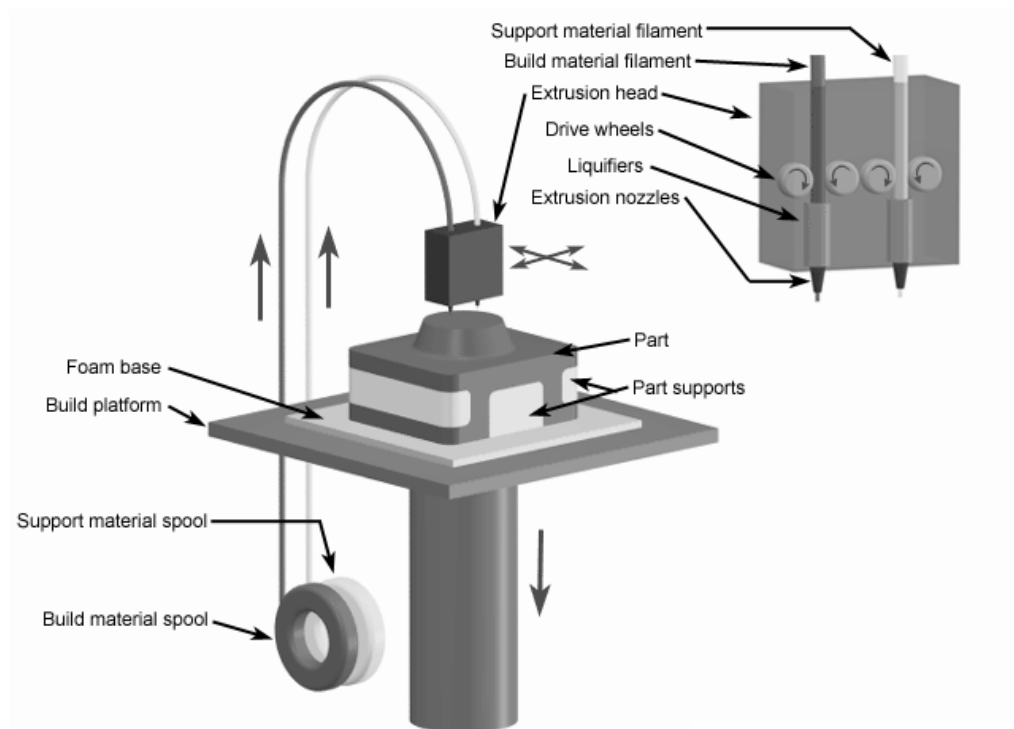


Schéma n°6

155 Le plastique durcit immédiatement après écoulement de la buse. Une fois qu'une couche est construite, la table baisse d'une pas sur l'axe Z, pas dont la valeur varie en fonction de la précision souhaitée pour le modèle. Ce modèle en construction est maintenu par un matériau « support », qui sert également à construire les vides du modèle, et le maintenir. En effet, si la matière en fusion était déposée dans le vide elle tomberait sur la table. Il convient donc de construire une sorte d'échafaudage comme lors de la construction des
160 ponts (voir photo n°3).

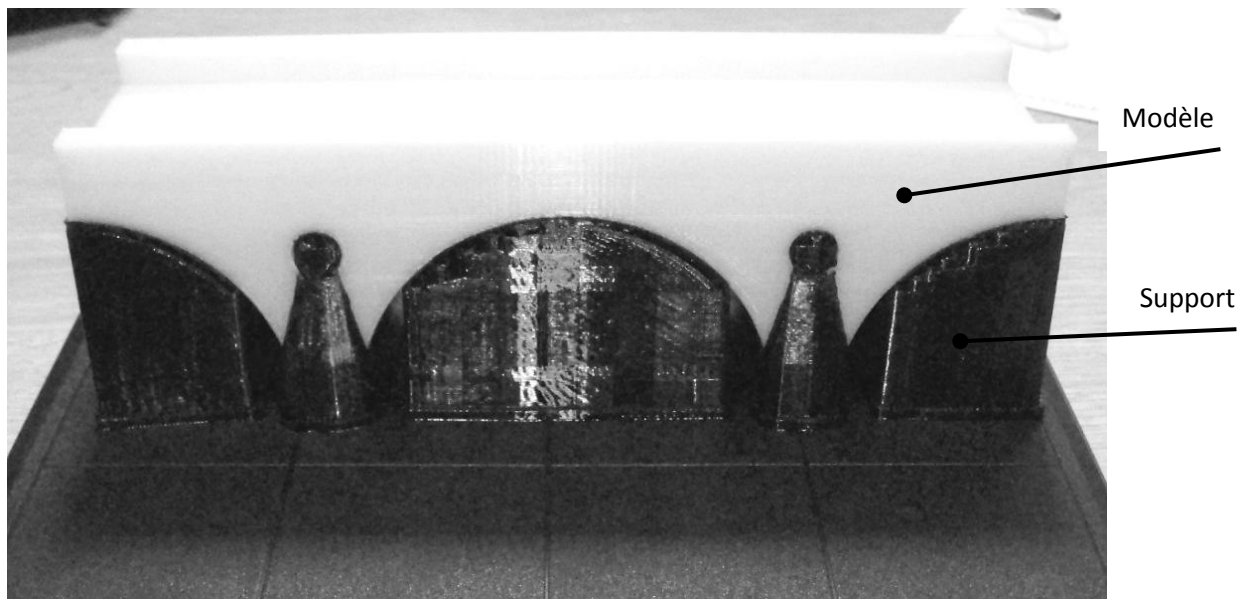


Photo n °3

Les matériaux compatibles avec les imprimantes 3D sont de la famille des ABS et des polycarbonates, dont les plus utilisés sont :

- 165 • ABS-M30 : Le plus versatile des matériaux de la gamme, il permet la solubilisation et offre un large éventail de couleurs. Il dispose également d'un bon compromis de caractéristiques mécaniques (*limite élastique* $Re = 36 \text{ MPa}$, *Module d'Young* $E = 2 \text{ GPa}$). Utilisé pour le test fonctionnel en prototypage rapide, certaines applications de production numérique directe / fabrication rapide, ou encore l'Architecture et le
- 170 BTP !
- ABS-M30i : Il s'agit d'un ABS bio-certifié (ISO 10993), idéal pour les applications de fabrication rapide médicales et alimentaires.
- ABSi : La nature translucide de l'ABSi est idéale pour les applications d'éclairage/transmission de la lumière et des flux. Il trouve de nombreuses
- 175 applications de fabrication rapide en automobile et aéronautique.
- PC : Le polycarbonate industriel le plus classique, offrant les performances mécaniques attendues par la plupart des industries (médical, automobile, aéronautique, électronique...) ($Re = 68 \text{ MPa}$, $E = 2,2 \text{ GPa}$).
- PC-ABS : Il s'agit du thermoplastique le plus utilisé dans l'industrie actuellement, il
- 180 offre le meilleur des 2 composants réunis (Polycarbonate et ABS). Il offre un niveau de résistance mécanique élevé ($Re = 41 \text{ MPa}$, $E = 2 \text{ GPa}$).

- ULTEM 9085 : Le dernier né de la gamme des matériaux proposés. Il s'agit du thermoplastique numéro 1 dans les applications et produits nécessitant une résistance au feu (V0), et des performances mécaniques extrêmes ($R_e = 71 \text{ MPa}$, $E = 2,2 \text{ GPa}$).

185

Etapes de réalisation.

La **première étape** consiste, comme dans les fabrications classiques, à concevoir sa pièce sous un modèleur quelconque (Solidworks, Catia, ProEngineer, ...). Lors de la conception, aucune règle n'est spécifique à l'impression 3D. Cependant, cette technique permettant de fabriquer des pièces imbriquées « les unes dans les autres », il conviendra de ne plus se restreindre et de penser différemment en termes d'assemblage.

190

Exemple : Un sifflet se fait traditionnellement en trois pièces, deux pour le carter, une pour la bille. On enferme la bille en assemblant les deux carters. En impression 3D, la bille se fabriquera en même temps que le carter, et y sera progressivement enfermée au fur et à mesure de la construction des strates. Il n'y a donc pas besoin de concevoir le carter en deux parties.

195

La **deuxième étape** consiste à convertir le fichier pièce ou assemblage dans un langage que comprend la machine. Il s'agit des extensions .STL du terme (stéréolithographie). Cette conversion consiste en la conversion des surfaces et des arrêtes de la pièce volumique en triangles et lignes délimitant des volumes. Plus ceux-ci vont être petits, plus le temps de calcul sera long, mais plus la pièce sera précise. La précision d'usinage est moins due aux capacités de la machine qu'à la précision d'interpolation des formes géométriques lors de la conversion des fichiers.

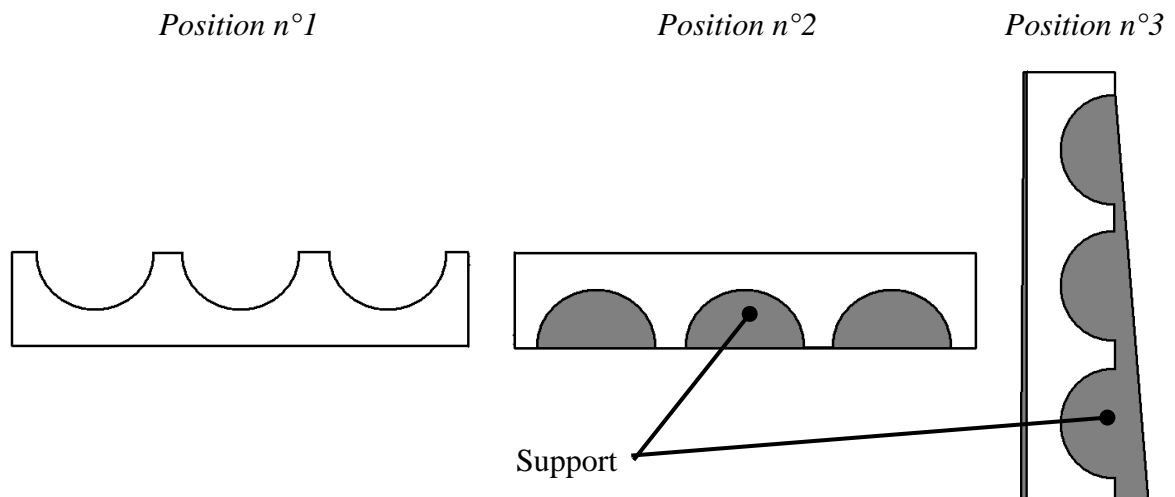
200

La **troisième étape** va consister à choisir les options d'impression via l'interface machine. Outre le choix de la hauteur des strates (de 0,1 à 0,3 mm), deux paramètres vont influencer notablement les caractéristiques de la pièce obtenue :

205

- **L'orientation** : la façon dont on va positionner la pièce lors de l'impression. Elle est très importante pour plusieurs raisons.

- 210
- La première est dans la consommation du support. Les schémas suivants sont classés, pour la construction d'une arche, de la position qui consomme le moins de support, à celle qui consomme le plus.



- 215
- Il est à noter que l'on peut positionner plusieurs pièces lors d'une même impression. La photo n°4 montre toutes les pièces constitutives d'un anémomètre, imprimée lors d'une même phase. Cet anémomètre pourrait même être imprimé déjà assemblé !!

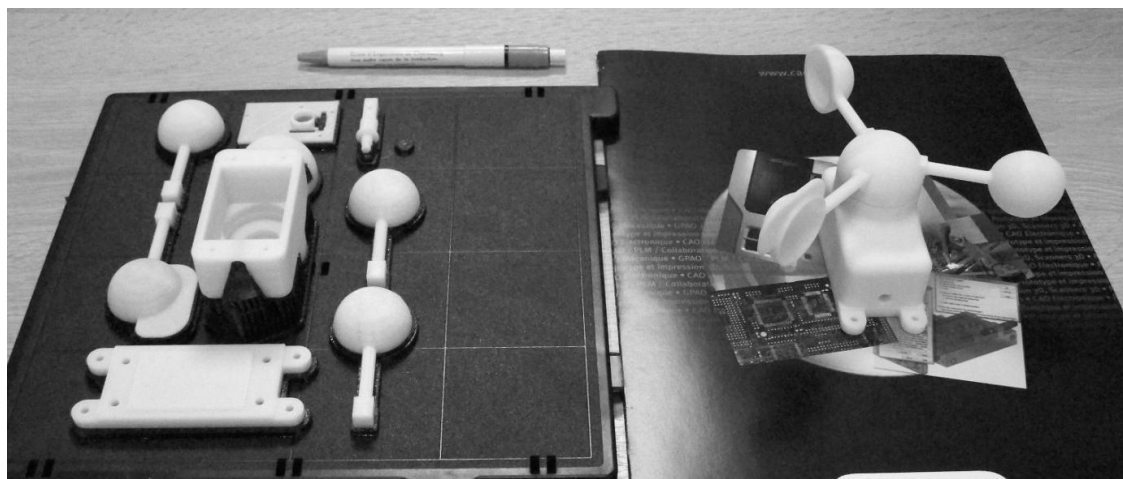


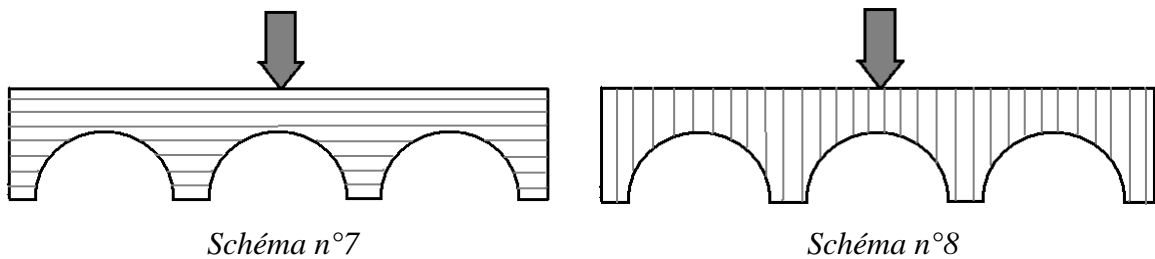
Photo n°4

- **La seconde** est relative au caractère **non isotrope** de la pièce ainsi obtenue.

220

Il est donc important de connaître à priori les contraintes que va subir cette pièce. Le montage strate par strate fait que l'objet imprimé sera moins résistant pour des sollicitations perpendiculairement aux strates, que dans leurs plans. Si l'on reprend l'exemple du pont ci-avant, celui-ci sera soumis à de la flexion. Si il est imprimé de manière horizontale, chaque strate sera soumise à de la flexion (schéma n°7) ce qui sera plus favorable que si il est imprimé de manière verticale ou l'intersection des strates sera soumise à du cisaillement (schéma n°8). Ceci est dû au fait que l'interface strate/strate s'est formée en faisant refondre la strate inférieure et celle-ci est forcément moins homogène que la strate elle-même.

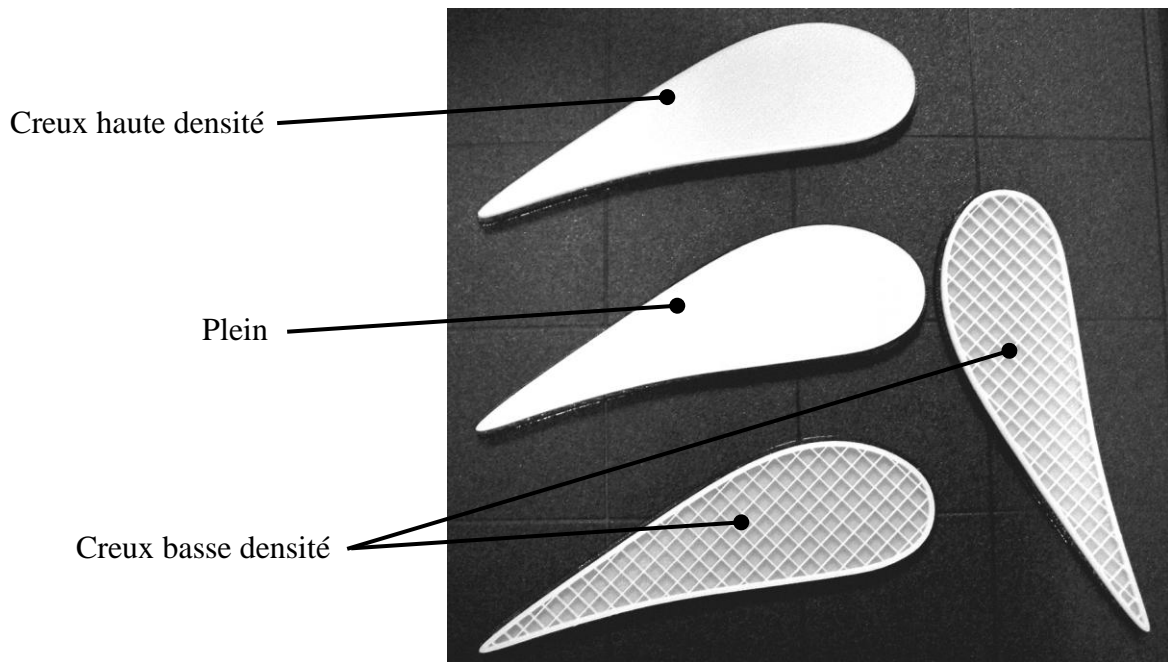
225



230

- **le choix du remplissage** des volumes. Ce choix est très intéressant et découle du parcours de la tête d'impression. Celle-ci fait d'abord les contours (intérieurs et extérieurs) de la tranche considérée et remplit ensuite les interstices par des déplacements à 45°. Le taux de remplissage peut être choisi suivant trois modes : plein, creux basse densité et creux haute densité (voir photo n°5). La possibilité est donc offerte de faire des pièces légères mais robustes. Cependant, étant donné que les réseaux sont forcément orientés à 45° par rapport aux axes X et Y, il conviendra, là encore, de réfléchir aux types et caractéristiques des sollicitations que la pièce subira.

235



240

Photo n°5

La **quatrième étape** consiste à lancer puis réaliser l'impression.

La **cinquième étape** consiste à déposer le modèle dans un bain d'eau et de soude mélangées, afin de dissoudre le support soluble.

245 La pièce ainsi obtenue peut subir des ré-usinage, des polissages, des traitements de surfaces, qui amélioreront la précision des cotes, son aspect, sa résistance ou son état de surface.

4- CONCLUSION.

250 Si le prototypage rapide a révolutionné le monde du prototype au début des années 90, c'est maintenant à l'impression 3D de révolutionner le prototypage rapide. En effet, sa facilité d'installation, d'utilisation et le faible coût d'obtention des pièces en font une technologie incontournable. Mais ses implications vont bien plus loin avec les machines de dernières générations. Il existe maintenant des imprimantes 3D couleurs, dont les pièces ont des résistances mécaniques proches de celles obtenues par injection plastique ou moulage. Ces machines sont même capables de donner des duretés différentes à un même
255 matériau afin de le rendre ergonomique par exemple.

De plus, la possibilité d'imprimer des assemblages et le fait de se passer de plans de définition révolutionnera sans aucun doute le monde de la conception et les bureaux des méthodes.

260 Enfin, les prix très compétitifs des pièces imprimés en font maintenant une alternative intéressante aux moyens de production classiques et ne réservent plus cette technologie au prototypage rapide.

Glossaire

Cromalin : Système d'épreuve rapide couleur, permettant de valider un dossier dans le
265 domaine de l'imprimerie, sans réaliser de plaques d'impression. (Marque déposée DuPont)

Monomère/Polymère : Molécule simple utilisée pour la synthèse des polymères.
Lorsqu'un grand nombre de ces molécules sont associées (« polymérisées »), obtient le
polymère.

Frittage : transformation d'un matériau d'un état poudreux vers un état solide, par
270 modification du couple Pression/Température de ce matériau.

Contrainte de traction : Rapport entre l'effort appliqué à une pièce, et sa section
perpendiculaire à la direction d'application de l'effort. Le résultat est homogène à une
pression (Pa ou MPa).

Limite élastique (Re) : contrainte à partir de laquelle un matériau commence à se
275 déformer de manière irréversible. Au-delà de cette contrainte, le matériau conserve une
déformation résiduelle même après disparition de l'effort appliqué.

Module d'Young (E) : Rapport entre la contrainte de traction et l'allongement relatif
d'une pièce. L'allongement relatif est le rapport entre l'allongement de la pièce (en m) et
sa longueur initiale (en m) et n'a donc pas d'unité. Le module d'Young est exprimé en Pa,
280 ou en MPa ou en GPa.