

Etude du marché, achat, intégration et validation d'un équipement de prototypage rapide, étude des possibilités d'utilisations futures des techniques d'impressions 3D

Ing. B. VAN DER SMISSEN
Ing. E. DENIS
ECAM - Bruxelles

ASCO industries pour rester compétitive sur le marché de l'aéronautique est grande consommatrice de prototypes. La venue sur le marché d'imprimantes 3D professionnelles à un prix plus abordable rend possible la réalisation de prototypes en interne. Le travail a consisté en l'identification des besoins, le questionnement du marché des imprimantes 3D, pour finalement proposer un choix à ASCO pour effectuer la commande de l'imprimante 3D la mieux adaptée à ses besoins. Le processus se termine par l'intégration de la machine dans l'entreprise.

Mots-clefs : Asco Industrie, prototypage, impression 3 D, implémentation.

To stay competitive in the aerospace market, ASCO industries has an extensive use of prototypes. The emergence of professional 3D printers at affordable prices made it possible to manufacture prototypes internally. The process included the identification of the needs of ASCO, and the inquiry of the 3D printers market. Once that step completed, ASCO had a panel of choice, and was able to order the 3D printer that best suits its needs. Finally, the final stage was the integration of the machine in the company.

Keywords : Asco Industries, prototyping, 3 D, printing, implementation.

1. Introduction

1.1. La société ASCO

ASCO est une entreprise d'origine bruxelloise, spécialisée en usinage de pièces d'aéronautique. Cette production est actuellement basée sur l'usinage par enlèvement de matière.

Avec 1300 employés dans le monde et 253 millions d'euros de chiffre d'affaire en 2012, ASCO est un leader mondial en fabrication d'éléments d'aéronautique. Leur produits sont toujours finis au mieux et utilisables tel quels.

1.2. Demande de l'entreprise

Chez ASCO, la division « Industrialisation » se charge du développement. Celle-ci a un grand besoin en prototype. En effet, le département ne crée pas de nouvelle pièce, mais les reçoit des clients (ou du design office) et doit faire le lien avec la production. Il leur faut donc trouver les méthodes d'usinages, de fixations, et autres pour ces pièces. Pour cela, un prototype est utile pour se représenter réellement la pièce et ses difficultés.

Le prototypage améliore donc la communication entre les départements.

Les prototypes étaient précédemment commandés à Sirris (le centre collectif de l'industrie technologique belge).

Actuellement, le prototypage rapide veut presque toujours dire une impression en trois dimensions.

La modélisation de prototypes est devenue une phase indispensable et cruciale lors de l'intégration des besoins réels dans le monde virtuel.

Mettre en place un équipement de prototypage à domicile permet à l'entreprise d'imprimer autant de prototypes que désiré, d'utiliser ce système pour faire de la validation de plan, ainsi que d'avoir un pied dans cette nouvelle technologie.

En effet, beaucoup pensent que la technologie dite de « rapid manufacturing and tooling » c'est-à-dire l'ensemble des techniques de scanning 3D et d'impression 3D, représente une grosse partie de l'avenir de l'industrie [4].

2. Etat de la technologie

2.1. Définition de l'impression 3D

Qu'est-ce que l'impression tridimensionnelle (3D)

L'impression 3D peut être définie comme un procédé de fabrication par superposition de couches bidimensionnelles interconnectées représentant chaque fois une coupe de l'objet en cours d'impression.

Cette technique permet la fabrication de composants directement depuis le modèle virtuel tridimensionnel ; celle-ci étant toujours restreinte par la réalité de l'impression 3D laquelle est limitée dans son utilisation par l'obligation d'un post-process plus ou moins contraignant et par le volume maximal d'impression.

À l'origine, la technique d'impression 3D n'était utilisée que pour ce qu'on appelait le Rapid prototyping (le prototypage rapide) qui permet de faire plus rapidement de la validation de concept et de donc diminuer considérablement le temps de mise sur le marché (time to market).

Actuellement on parle également de rapid manufacturing (ou additive manufacturing) car il est possible d'imprimer directement des pièces fonctionnelles voire de la production en petite ou moyenne série grâce à des techniques très variées.

Une troisième application qui s'est développée ces dernières années : le rapid tooling. Il s'agit de la fabrication d'outils sur mesure ou d'outillage consommable (par exemple pour fabriquer rapidement une présérie ou un master de moule).

2.2. Propriétés de l'impression tridimensionnelle

Type d'imprimantes

Il existe plusieurs catégories d'imprimantes :

- Les imprimantes personnelles
- Les imprimantes professionnelles
- Les imprimantes de production

Prototypage rapide

L'utilisation la plus courante de l'imprimante 3D est pour le prototypage rapide.

Le prototypage rapide comporte trois notions essentielles, et utilise deux moyens informatiques. Les notions essentielles sont : le temps, le coût et la complexité des formes. Toutes sont fonction de la technologie utilisée par l'imprimante et de la matière première associée.

Les moyens informatiques sont le reverse engineering et la CAO :

- le reverse engineering qui consiste à reconstruire les plans d'un système (d'une pièce) sans en avoir les plans d'origine ni le mode de fonctionnement, ce qui est possible grâce à un système d'acquisition de formes souvent par scanner 3D.
- la conception assistée par ordinateur (CAO) : en effet, la conception de nouvelles pièces se fait actuellement presque toujours par le dessin d'un modèle 3D, grâce à un programme de CAO (Catia, Pro/E, Solidworks,...).

Types de produits imprimables

Prototypes

La conception d'une pièce passe principalement par deux étapes de prototypages : la représentation visuelle, permettant de valider le design et la représentation fonctionnelle permettant de valider les fonctions de la pièce.

Le prototype de visualisation (ou modèle de conception) ne nécessite pas d'avoir un matériau semblable à celui de la pièce finale

Moule / master de moule

Certaines imprimantes peuvent fabriquer des modèles de cire (cire projetée par une tête d'impression)

Rapid tooling

Les progrès des techniques d'impression 3D permettent aujourd'hui de créer des outils ou des parties d'outillages directement après impression (et un post-traitement bien sûr). Les principales utilisations en rapid tooling sont de fabriquer les empreintes de moules ou des supports personnalisés de pièces à usiner.

Produits finis (rapid manufacturing)

Les produits finis imprimés directement sont nombreux et dans des applications très variées (produits finis car n'étant pas un prototype ou un master de moule. Il va de soi que la plupart de ces pièces nécessitent encore un post traitement). On appelle cela rapid manufacturing car la pièce passe du modèle virtuel au modèle final sans étapes intermédiaires.

2.3. Techniques

Malgré la diversité technique, le principe de fabrication et les étapes de la création d'une pièce par impression tridimensionnelle sont toutefois semblables (à quelques variantes près) :

1. La création du modèle 3D en CAO.
2. Le maillage STL (maillage en triangle inventé par Chuck Hull spécialement pour l'imprimante 3D).
3. Le transfert depuis le programme de CAO vers celui de l'imprimante (paramètre du hachage en couche et création du support éventuel) ; Le support créé dépend de la technique et de la volonté de l'utilisateur (plus il y a de supports, mieux la pièce est soutenue, mais plus il faut prendre de temps pour le retirer).
4. La fabrication du modèle grâce aux techniques additives.
5. La finition du prototype (étapes très variable selon la technique et la machine utilisée, mais presque toujours indispensable).

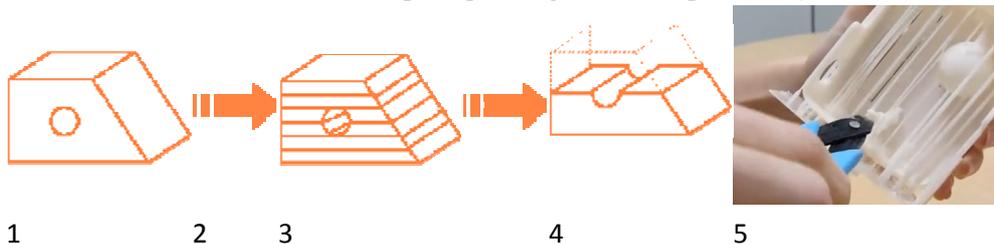


Figure 1 : Etapes de réalisation d'une pièce

Trois techniques de fabrication principales cohabitent dans ce domaine, avec de nombreuses variantes pour chacune d'elles. Il s'agit de la stéréolithographie (première technique historique), du frittage de poudre par laser (SLS) (qui permet entre autres l'impression de pièces métallique) et l'extrusion de filament plastique (FDM).

Diversification générale

Afin d'avoir une vision globale des différents principes de fabrication et une compréhension générale, François Nonnemacher [2] propose une classification des techniques d'impression 3D. Elle définit le procédé par l'état initial et final du matériau.

Il distingue trois catégories :

- liquide/solide
- solide/solide
- poudre/solide

Stéréolithographie (SLA : Stereolithography Apparatus)

C'est par cette technique que le monde de la production additive a fait ses premiers pas.

Classée dans les **Liquides/solide**, la stéréolithographie se décline en plusieurs techniques. La plus répandue est la Photopolymérisation Point par point : un rayon ultraviolet est concentré et projeté sur une plateforme plongée dans une cuve remplie de photopolymère.

Lorsque le rayon est passé sur toute la surface de la couche 2D concernée, le bac descend légèrement et la résine recouvre la précédente couche. Lorsque le rayon touche la matière, celle-ci se durcit tout en se liant à la couche inférieure.

Les gros avantages de cette technique sont la très haute résolution obtenue lorsque l'objet est retiré du bac et la réutilisation possible du liquide non durcit.

L'ennui de cette technique est que l'objet ne possède pas de support venant de la matière première vu que celle-ci est liquide, il est nécessaire d'imprimer des « colonnes de support » difficiles à enlever et nécessitant du polissage. L'objet imprimé peut également nécessiter un traitement durcisseur aux UV si la pièce recherchée nécessite une rigidité plus importante. Son autre désavantage est le prix très important de la résine.

Frittage sélectif par laser (SLS)

Cette technique est principalement utilisée pour l'impression de métal ; bien qu'elle ne produise pas que des objets métalliques. En effet, ce mode de fabrication s'applique aussi à du plastique très résistant ; les pièces peuvent alors être plus grande et plus solide, en ayant une meilleure résolution que la technologie FDM. Cette technique est classée comme **Poudre/Solide**.

Un laser solidifie une poudre par fusion ou frittage. La poudre est préchauffée sous son point de fusion. Le laser parcourt la couche selon la forme de l'objet (à la façon de la stéréolithographie), ensuite, un rouleau étale une nouvelle couche. Cette technique nécessite un nettoyage de la pièce, ensuite un post traitement afin d'améliorer la diffusion moléculaire et parfois une infiltration, permettant de solidifier les pièces.

L'avantage de cette technique est que les matériaux utilisés sont plus résistants que les photopolymères. La poudre peut également être récupérée. Le coût de fabrication est un peu moins élevé dans le cas de matériaux non métalliques. La précision par contre est moins bonne. En effet, celle-ci dépend de la granulométrie de la poudre utilisée, alors que le SLA dépend du laser UV.

Le prix de la machine est son plus gros désavantage et fait hésiter les entreprises à se lancer dans cette voie.

Extrusion de filament (FDM)

Le FDM est composé de filaments de matière solide qui sont ensuite extrudés (la matière est donc fondue juste assez pour pouvoir être modifiée à souhait tout en durcissant presque directement une fois sortie de la buse). Cela la classe en **Solide/solide**. En effet la classification est effectuée par rapport à la matière première avant toute modification.

Les imprimantes personnelles sont donc principalement de technologie FDM, la machine étant en général moins chère que pour une technique de SLA ou SLS. Cependant, le prix du matériau n'est pas négligeable, tout en étant moins cher que pour le SLA.

L'ABS présente une meilleure solidité que la résine utilisée en stéréolithographie. Et permet à l'impression d'être définie « work free » c'est-à-dire qu'il n'est pas nécessaire d'avoir un post-traitement. Cependant, pour des pièces complexes, il est nécessaire de créer des supports à retirer à la pince en général, sauf pour certaines machines (proposant un support dans une matière différente de celle de la pièce), qui offrent la possibilité d'enlever le support en le dissolvant.

La résolution n'est pas la meilleure existante : en X et Y les performances sont assez bonnes mais la résolution en Z qui correspond à l'épaisseur de couche est mauvaise car elle manque souvent de constance. Elle peut être affinée grâce à l'expérience de l'utilisateur. Un autre désavantage est la nécessité d'un polissage conséquent pour avoir un bon état de surface (selon l'expérience acquise durant ce travail). Enfin, un dernier défaut est le temps d'impression (lié également à l'épaisseur de couche). La technologie FDM est une des techniques les plus lentes.

Exemple de techniques particulières

Il existe énormément de variations des techniques de base, ainsi que certaines techniques neuves, très différentes.

Polyjet/multijet

Une technique fort prometteuse actuellement est tirée des technologies à jet d'encre (appelée Polyjet Printing par Stratasys et Multijet printing par 3Dsystem¹).

¹ (3dsystems. (2013). *What is MJP (MultiJet Printing)?*)

Le système de projection est double car pendant qu'un projette les gouttes de matière, l'autre dépose le support (en cire). Bien que le matériau soit projeté sous forme liquide, sa forme de stockage est solide. Ces techniques se placent donc dans le **Solide/solide**.

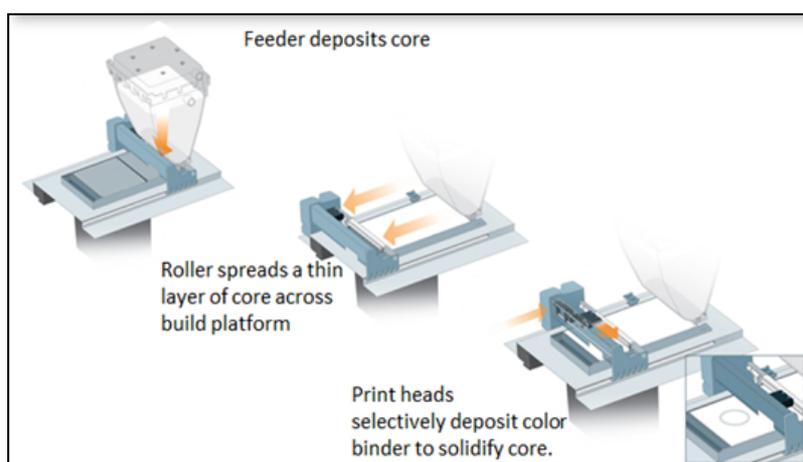


Figure 2 : Principe de fonctionnement de CJP²

Color jet printing

Le Color jet printing repose sur la projection d'un liant sur la surface d'une cuve de poudre. Le principe de fonctionnement de cette technique est donc du **solide/solide**.

Grâce au fait que la poudre entoure complètement la pièce, elle n'a pas besoin de support et peut avoir des géométries complexes, des assemblages non démontables, etc.

Les buses utilisées déposant le liant, sont identiques à celles des têtes d'impression des imprimantes à jet. Cette méthode se targue d'être une des plus rapide et propose comme gros argument de vente une impression en couleur avec un matériau économique et écologique (la poudre est fabriquée à base de plâtre), dont le rendu visuel est très fidèle au modèle de base. Il



Figure 3: Impression d'un modèle 3D en couleur avec une analyse de contraintes

² (Tavco Service 2013, 10 31). *Wide-Format Plotter, 3D Printer, and Scanner Blog.*)

existe également la possibilité d'imprimer plusieurs modèles à la fois, ce qui améliore le temps d'impression par pièce.

Par contre, cette technique propose des pièces aux surfaces rugueuses, possédant une résistance faible. Le post-traitement, sans être excessivement long, nécessite quand même de la patience pour enlever toute la poudre non liée ainsi que de l'application lors du solidifiant (assez agressif).

Le Color Jet Printing est donc pertinent pour des prototypes de validation de conception et de Design. Cette catégorie d'imprimante 3D est idéale pour les produits de consommation, d'ameublement, d'architecture, pour les jouets et les objets de démonstration. Ces produits permettent de changer la manière de procéder pour les professionnels engagés dans la modélisation architecturale, le marketing, le design de mode etc.

Fabrication d'objets par stratification (Laminated Object Manufacturing (LOM))³

Le principe de stratification se base sur le découpage de sections de pièces correspondant à une couche de l'objet 3D, dans des feuilles ou des plaques de matériaux ayant un certain calibre. Elle se classe donc dans les **Solide/solide**.

Le principal point faible de ce type de technologie est son incapacité à créer des formes creuses. La géométrie des pièces ainsi créées doit donc être assez simple car le support n'est pas amovible partout.

Céramique

La technique d'impression céramique est destinée principalement aux activités artistiques, mais l'industrie céramique l'utilise également pour le prototypage. Il s'agit d'imprimer ce qui aura un fini, une qualité et un toucher très proche d'une céramique cuite.

Cette technique peut être une sorte de déclinaison du Color Jet Printing car elle fonctionne aussi avec de la poudre ; elle se classe également en **poudre/solide**.

2.4. Caractéristiques

Résolutions réalisables

La résolution des imprimantes 3D est définie comme les imprimantes papier : elle s'exprime en *PPP (Points Par Pouce, en anglais DPI ou Dot Per Inch)*. Cette notion ne concerne que la capacité qu'a le système de passer du modèle virtuel au modèle réel imprimé.

3 (Mcor technologies. (s.d.). *True colour 3D printing.*)

La résolution, donnée en mm, dans l'axe Z (la hauteur), est l'épaisseur de couche et la résolution en X et Y est l'épaisseur du grain ou de la poudre. L'épaisseur minimale des détails définit l'épaisseur que la machine est capable de fabriquer pour un détail ou une paroi.

La plupart des procédés promettent 100 μ m, ce qui est le cas pour l'imprimante acquise par ACSO. Les Objets® de Stratasys donnent une résolution de 28 μ m (PJP) ce qui confirme que leur résolution est excellente mais contrebalancée par tous les coûts élevés liés à ces imprimantes.

Pour les imprimantes 3D utilisant la technologie Fused Deposition Modeling (FDM), plus la résolution de l'imprimante est élevée plus le temps d'impression l'est également. Enfin, les imprimantes personnelles qui utilisent la technologie de Stéréolithographie permettent une résolution nettement supérieure, mais elles nécessitent un traitement de solidification des pièces (souvent par traitement UV) et un enlèvement du support.

Volume d'impression

Le volume d'impression (build volume) est une caractéristique fondamentale dans le choix d'une imprimante. En effet, lorsqu'on a choisi le type de technique nécessaire pour l'application désirée, le paramètre faisant le plus varier les prix de la machine au sein d'une même catégorie est le volume d'impression.

Un bénéfice important des grands volumes d'impression est la possibilité d'imprimer plusieurs pièces lors d'une même impression, ce qui permet d'optimiser l'utilisation de la machine et surtout d'augmenter la vitesse par pièce.

Une autre commodité plus évidente est, pour les modèles volumineux, qu'il n'est pas nécessaire de les découper en sous-parties imprimées séparément.

Vitesse d'impression

Un des grands défauts des sociétés commercialisant les imprimantes 3D est leur manque de clarté quant à la vitesse d'impression. En effet, celles-ci ne font que préciser qu'une machine est plus rapide qu'une autre, ou qu'une troisième est la plus rapide de sa catégorie, sans donner aucune précision sur une vitesse réelle.

Il est néanmoins possible de déduire des vitesses d'impression pour certaines imprimantes, ou tout du moins d'avoir un point de comparaison tangible. Ainsi, pour la technologie FDM, la vitesse d'impression est définie comme étant celle de la tête d'extrusion.

Les imprimantes qui utilisent la technique d'impression par liaison de poudre ainsi que la stéréolithographie, définissent leur vitesse grâce à la

vitesse en Z, c'est-à-dire que le temps d'exécution est plus influencé par l'étalement d'une nouvelle couche que par le « dessin » de la couche par la tête d'impression.

Fiabilité

La fiabilité ou précision de reproduction d'une imprimante est un facteur important mais difficile à obtenir et/ou à quantifier. Elle est néanmoins déterminante dans le choix d'une machine car elle définit le type d'imprimante concerné. En effet, si la fidélité aux mesures du modèle de base est très importante (faible tolérance), il faut d'office écarter les imprimantes personnelles (même si elles sont de plus en plus fiables avec l'évolution de la technologie et de la concurrence).

2.5. Avantages de l'impression tridimensionnelle

L'impression 3D présente de nombreux avantages, tant par la multiplicité de ses emplois, que par son utilisation assez simple mais pleine d'opportunités, sans oublier le temps réduit pour la validation d'un concept, d'un nouveau produit. Les avantages résumés sont :

- Amélioration du processus de conception
- Diminution du coût
- Création d'assemblages sans étape de montage
- Communication facilitée
- Vaste panel d'utilisation
- Réalisation de pièces à la géométrie complexe, non usinable.

2.6. Désavantages

Si on peut supposer que les technologies additives vont être à l'origine d'une révolution, nous n'y sommes pas encore.

En effet, la plupart des avantages et possibilités offerts par cette technologie ne sont pas encore accessibles facilement : le prix de la technologie reste un frein énorme au développement et à l'utilisation de cette technologie par les entreprises.

On est donc encore loin de l'utopie où le consommateur achèterait un fichier et non plus un objet.

Les principaux freins sont :

Le prix par pièce, le débit de production, la limitation des propriétés mécaniques, la précision accessible, l'état de surface des pièces, la résolution.

2.7. Futur de l'imprimante 3D

Même si le futur est toujours imprévisible, on peut affirmer que l'impression 3D n'a pas fini d'évoluer. La tendance de ces dernières années a clairement été une ouverture vers le grand public ; ceci grâce à une diminution conséquente du prix et une diversification des offres pour les nombreuses imprimantes personnelles. Et même si les imprimantes professionnelles restent très chères, de plus en plus d'entreprise commencent à envisager l'acquisition d'une de ces machines.

Impression 3D et troisième révolution industrielle

Bien que les imprimantes 3D aient fait une entrée assez discrète dans nos industries, certains pensent avoir affaire à la 3^{ème} révolution industrielle. Ces machines auront, et ont déjà, une influence sur notre appareil de production. En effet, ces dernières changent déjà la réflexion concernant la conception. Cette technologie comble le vide entre la matière et l'information, entre le virtuel et le tangible.

Projets en phase de recherche - Innovations

Imprimer des maisons en quelques heures

La NASA s'intéresse à cette technique en vue de construire une base lunaire ou martienne.⁴

De leur côté, les chinois ont également développés une technique similaire et ont construit les premières maisons vendue à Shanghai pour seulement 4300€ l'unité.

Organe :

Une autre application porteuse d'espoir développe l'idée d'une imprimante biologique, qui serait capable à terme de créer un organe sur mesure, organe qui pourrait alors être transplanté ou servir à des essais pharmaceutiques in vitro.

Autres :

Il existe bien d'autre projet utilisant cette nouvelle opportunité que nous offre la technologie. Comme la création d'imprimante solaire, imprimante de nourriture (pour les astronautes par exemple), etc.

⁴ (Neal, R. W. (2013, 10 29). *3D Printers That Build Entire Houses: Contour Craftings Aims To Print 2,500 Square-Foot-Homes In 20 Hours*)

3. Choix et intégration d'une imprimante 3D chez ASCO à Zaventem

3.1. Désidératas et propositions

Identification des besoins

En ayant pris connaissance des possibilités qu'offraient les techniques de prototypage rapide, les besoins d'ASCO ont pu être définis.

En étudiant les caractéristiques différenciant les machines, certaines propriétés ont été définies plus précisément.

Le budget matériel alloué pour le projet était de 10 000 euros (hors accessoires).

Enfin, le fournisseur devait être belge ou avoir une succursale en Belgique.

Adéquation besoins et possibilités

Les besoins de l'entreprise dépassaient le niveau atteint par les imprimantes personnelles en termes de vitesse, résolution et fidélité visuelle.

Le budget ne permettait cependant pas une machine de production.

Afin de rencontrer les impératifs de précision et de rapidité désirés par ASCO, le type d'imprimante choisie est une imprimante professionnelle d'entrée de gamme.

Un autre paramètre entrant en considération dans le choix de l'imprimante a bien sûr été le type de pièce que celle-ci pouvait réaliser.

Les pièces d'ASCO faisant souvent près d'un mètre de large, les prototypes seraient généralement mis à l'échelle.

La résistance de la pièce n'était pas non plus une exigence principale celle-ci pouvait être dans une matière relativement fragile, tout en restant manipulable.

De même, l'état de surface n'était pas une des exigences principales.

En conclusion, il nous fallait une machine produisant assez rapidement des prototypes permettant la validation de design, il fallait donc une fidélité visuelle au modèle virtuel. Les demandes d'offres ont donc été envoyées à certaines entreprises en tenant compte des précédentes réflexions.

Demandes d'offres

Au final, six offres ont été reçues ce qui limite le choix tout en autorisant une analyse comparative concurrentielle des caractéristiques techniques et des prix de vente des six fournisseurs.

Il y restait en fin de compte 2 constructeurs : 3DSystems, inventeur de la stéréolithographie et Stratasys, inventeur de la technique FDM, rachetant

tous deux de nombreuses sociétés afin d'acquérir leurs compétences et ainsi augmenter leurs gammes de technologie d'impression 3D. Plusieurs revendeurs proposaient ce matériel.

3.2. Choix et commande

Choix

Après avoir éliminé Stratasys principalement pour la vitesse d'impression des prototypes des machines dans la gamme de prix considérée.

La technique Color jet printing est donc la technique choisie pour l'imprimante acquise pour ASCO.

Comme l'impression en couleur n'était pas vitale, il ne nous restait qu'à choisir entre la Projet 160 et le modèle supérieur, la Projet 360. Les avantages de la 360 étaient surtout le volume de construction, la diminution de la taille minimum des détails et le fait que la station de nettoyage était intégrée. Malgré cela, ces avantages n'étaient pas convaincants en regard du dépassement de budget que cette machine imposait.

En effet le volume de production de la 160 permettant une diagonale d'environ 250mm ce qui répondait au cahier des charges imposé par ASCO.

En résumé, les raisons du choix de la Projet 160 sont :

- le prix moins élevé que la Projet 360,
- la résistance correcte des pièces tant que les parois ne sont pas trop fines,
- Un post-process limité, notamment grâce au fait que le support n'est pas collé à la pièce (ce qui apporte également une meilleure fidélité par rapport au modèle.
- Le prix moins élevé de la matière première (en particulier par rapport à la Projet 1000 dont les qualités étaient proches et le prix d'achat de la machine moindre (technique proche de la stéréolithographie).

Un des arguments de vente pour la technologie à poudre de 3DSystems est la qualité offerte par la poudre : le Visijet PXL (utilisée dans la Projet 160) possède une granulométrie fine et un beau rendu.

La Projet 160 a donc été choisie malgré le dépassement de budget de 25% car elle répondait bien mieux que les autres offres aux demandes du cahier des charges.

Description machine :*Figure 4: Projet 160*

La Projet 160 est la première de la série X60 de 3Dsystem. Elle imprime des pièces monochromes dans un volume compact.

Cette imprimante nécessite une station de nettoyage de la poudre restée sur le modèle, ainsi qu'un ordinateur toujours connecté. En effet, l'imprimante n'a pas de mémoire et reçoit l'information (les couches à imprimer) par petit lot de 5 couches.

Caractéristiques	Projet 160
Résolution	300 x 450 dpi
Couleur	Blanc
Taille minimale des détails	0,4mm
Épaisseur de couche	0,1mm
Vitesse d'impression verticale	20mm/h
Volume de fabrication (X, Y, Z)	236 x 185 x 127 mm
Matériau de fabrication	Visijet PXL (85% plâtre de Paris)
Systèmes d'exploitation	Windows 7 i5
Température de fonctionnement	13 - 24 °C
Dimensions de l'imprimante	74 x 79 x 140 cm
Poids de l'imprimante	165 kg
Alimentation électrique	208-240V, 4,0A
Niveau de bruit max pendant l'aspiration de la poudre non liée :	86 dB
Certifications	CE, CSA

Consommables de la machine :

Les prix des consommables, bien que moindre pour cette imprimante que pour beaucoup de concurrentes, reste une part importante du coût de fonctionnements de la machine.

La poudre à imprimer est composée de plâtre à 90% (type plâtre de Paris).

3.3. Intégration

Sécurité hygiène

L'utilisation de l'imprimante requiert comme vu précédemment 3 produits différents : la poudre composite, le liant et le durcisseur. Il a donc été nécessaire de prévoir la signalisation de ces précautions à prendre.

L'étude des risques liés à l'utilisation de la machine fut la première étape en vue de l'intégration de la machine. C'est-à-dire qu'en fonction des exigences de sécurité, d'hygiène de puissance nécessaire,... les possibilités n'étaient pas les mêmes.

La conclusion fut que, si la machine est placée en environnement de bureau, il lui faut quand même une séparation avec les personnes assises dans un bureau paysager. En effet, le bruit, même si il n'est pas excessif est un inconfort pour les personnes proches de la machine. De plus, l'odeur de l'infiltrant peut déranger les personnes n'étant pas correctement équipés.

Livraison

Le bon de commande a été envoyé le 21 janvier 2014.

Compte tenu des six semaines prévues pour la livraison, la machine est arrivée le lundi 10 mars à l'entreprise chargée du dédouanement, et après quelques difficultés administratives, a été livrée chez ASCO mercredi 12 mars au matin.

Le déballage de la machine a été effectué par un technicien du fournisseur.

En effet, il était crucial de vérifier si la machine n'avait pas été penchée pendant le trajet (ce qui aurait été une clause de refus de la machine) ainsi que de voir si aucun éléments n'avait été abîmés pendant le transport.

Intégration physique

Afin d'intégrer la machine dans l'entreprise, il a fallu lui trouver un emplacement correct ou les personnes concernées pourraient l'utiliser. Il fut également nécessaire d'écrire une procédure de création de pièce, afin de faciliter le choix des paramètres aux utilisateurs, et de comptabiliser par qui, quand et pour quel projet elle serait utilisée.

Un programme de formation a également été mis en place tant pour l'utilisation quotidienne de l'imprimante que pour qu'un opérateur puisse résoudre en interne le maximum de problèmes de première intervention.

Le lieu choisi a été une ancienne salle de serveurs informatiques et où il n'y avait plus que des armoires vides et une imprimante de plans A0.

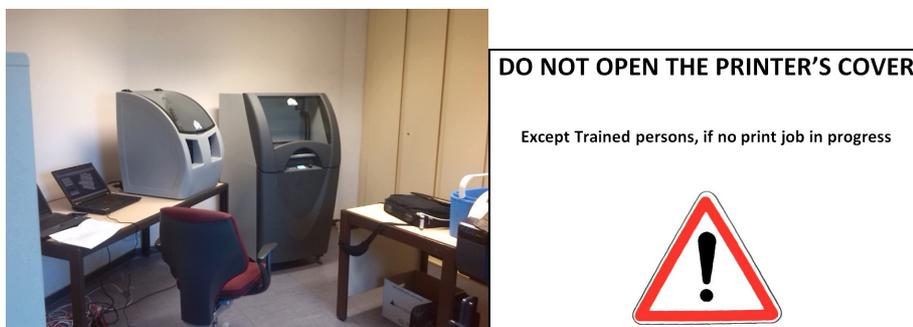


Figure 5: Implantation Projet 160

Enfin, pour éviter les accidents dus à la curiosité (la pièce ne peut être verrouillée car utilisée pour l'imprimante de plan), une affiche précise la liste des personnes ayant reçus la formation et la personne responsable. Une autre affiche prévient les non-utilisateurs de ne pas ouvrir le couvercle de l'imprimante (car même si elle semble à l'arrêt, elle est peut-être en phase d'initialisation ou de séchage de la pièce).

Formations des responsables d'impression de prototypes

Comme première étape de la formation interne, les documents relatifs à l'utilisation de l'imprimante ont été placés sur l'intranet technique d'ASCO. Cela comprend les guides d'utilisateurs nécessaires pour répondre à la plupart des questions, un « quick start » et les documents relatifs à la dangerosité des produits utilisés (« safety data sheet »). Les documents suivants ont été développés :

- Un document reprenant la procédure de commande des prototypes ainsi qu'une explication de sa logique.
- Un document explicatif concernant la conversion d'un fichier Catia en un fichier STL.
- Un document écrit à la suite des « safety data sheet » concernant les dangers de l'utilisation de l'infiltrant.
- Un training report comprenant les opérations de maintenances.

Ce dernier fut utile pour former deux autres groupes d'utilisateurs et permettra aux responsables de l'imprimante de former d'autres personnes dans le futur.

En effet, plusieurs départements ont montré un grand intérêt dans la possibilité d'utiliser des prototypes.

3.4. Tests et essais de l'imprimante

Validation dimensionnelle

Des tests dimensionnels basés sur les tests NAS (National Aerospace Standards) ont été effectués afin de connaître les possibilités réelles de la machine d'un point de vue tolérances dimensionnelles, ainsi que pour vérifier les déclarations du fournisseur.

Dimensions à tester :

Épaisseur minimale : 0,1mm

Épaisseur minimale de détails : 0,4mm

Volume d'impression : 236x185x127mm

Tolérance 0,3 à 0,5 mm sur machine color jet printing

Résultats des tests :

Etant donné une tolérance intrinsèque de 100 μm , la majorité des géométries sont conformes.

Parfois, de manière aléatoire, nous constatons une erreur au niveau dimensionnel.

Généralement lorsqu'une erreur est constatée, elle est relativement importante (de l'ordre de 200 μm).

La prudence est donc conseillée en cas d'utilisation de l'imprimante à des fins de validation dimensionnelle.

Peinture

La matière utilisée dans la Projet 160 est vendue comme pouvant être peint. Cependant, il fallait voir si la peinture utilisée pour les pièces d'aéronautique usinée à ASCO tenait sur cette matière, car cette peinture est surtout une protection contre l'oxydation du métal.

Le test fut concluant : le petit modèle d'avion ainsi peint, en plus d'être plus esthétique que les modèles sortant de l'imprimante, est bien plus résistant.

Nous n'avons pas vérifié l'impact de cette peinture sur la précision dimensionnelle, ni mesuré le gain effectif sur l'état de surface après peinture.



*Figure 6:
Utilisation
marketing de
l'imprimante*

Test de fiabilité

Les pièces nécessitent un temps de séchage minimal d'une heure et demi après création. Les laisser plus de 24 heures dans la chambre de construction abîme le rendu qui sera plus rugueux en raison de l'adhésion non désirée de grains supplémentaires.

Par contre une heure de plus que le temps proposé est recommandée si la pièce imprimée possède des parois minces. Il est également possible de cuire ces pièces à 40-60°C pendant 2 heures pour plus de résistance.

Lorsqu'on utilise la machine intensivement, on constate qu'un bon entretien et un bon nettoyage après chaque pièce est vraiment indispensable. En effet, la poudre s'accumule légèrement sur les axes après chaque impression, ce qui influence négativement la précision et le rendu des pièces.

Utilisation limite

La pièce ci-dessous est l'une de celle ayant nécessité une adaptation au niveau de l'échelle et du positionnement, et à avoir présenté des parois d'une épaisseur inférieure à la limite d'impression minimale de la machine (qui est standardisée à 0,4mm, car manifestement trop fragile sous cette valeur).

Ce cas-ci synthétise la majorité des problèmes.

Cette pièce fait 1,8m de long et 300mm de large, l'épaisseur de ses parois est de 4mm.

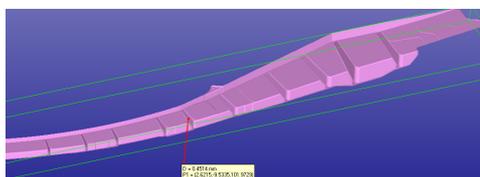


Figure 7: Frame 54 dans 3DEdit Pro

Pour l'imprimer dans la machine, il a fallu la mettre à l'échelle : la diagonale de l'imprimante autorise la construction de pièce d'environ 25mm. Pour que la longueur de 1800mm fasse 250mm, l'échelle utilisée était à peu près de 1 : 8.

Les parois ayant parfois une épaisseur inférieure à 4mm, lorsque la pièce est mise à l'échelle, on atteint une épaisseur de paroi limite : 0,4mm ou inférieur. La meilleure solution envisagée a été d'épaissir les parois avec le programme 3DEdit pro fourni avec la machine, de scinder la pièce en deux avec l'endroit d'encollage à l'emplacement de cette surépaisseur.

4. Conclusion

4.1. Résultats concrets

L'objectif opérationnel a été pleinement rempli (l'imprimante fonctionne et donne pleine satisfaction).

La qualité des produits finis (dimensions et finitions) est conforme aux prescriptions et donc acceptable.

Bien que le solidifiant et le liant qui sont des consommables restant coûteux, et malgré le fait que le budget initial a été dépassé de 25%, la rentabilité du projet semble acquise. Ceci doit néanmoins être validé sur base d'une plus longue période d'utilisation.

L'implantation et l'intégration du nouvel équipement se sont déroulées sans difficultés majeures.

4.2. Apports de ce projet à l'entreprise

Mise en place d'une nouvelle stratégie de prototypage et développement d'une nouvelle vision d'avenir en cette matière.

Indépendance en matière de prototypage :

- Conservation de la propriété intellectuelle en interne chez ASCO ;
- Libération des contraintes financières et opérationnelles (p.ex. délais) liées à la sous-traitance
- Renforcement de l'image de marque high-tech d'ASCO à l'extérieur de l'entreprise.
- Augmentation de la motivation interne des collaborateurs grâce à un projet fédérateur interdépartemental.
- Rassemblement international autour de ce nouveau concept de prototypage (projet Lean manufacturing).
- Potentiel de croissance envisageable par l'utilisation de l'imprimante à des fins promotionnelles et de marketing.

4.3. Difficultés et désavantages

- Danger de tomber dans un excès d'utilisations devenant superflues au détriment d'une approche « classique » de prototypage (solution de facilité essais-erreur)
- Obligation d'imposer un alourdissement administratif pour maintenir tant l'utilisation que la bonne rentabilité de l'équipement.

- Relative faiblesse au niveau de la résistance des prototypes comparée aux pièces usinées. Ceci est une limitation du champ d'application.

5. Sources

- [1] CFPR. (s.d.). *Centre for Fine Print Research UK*. Le 03/14, Adresse URL : <http://www.uwe.ac.uk/sca/research/cfpr/research/3D/index.html>
- [2] DUBOIS, P., AOUSSAT, A., & DUCHAMP, R. (2000, 04 10). *Prototypage rapide – Généralités*, (réf : TI : bm7017). Techniques de l'Ingénieur, Traité Génie mécanique, p. 13.
- [3] IFTS. (s.d.). *Prototypage rapide*. Consulté le 04 16, 2014, Adresse URL : <http://www.univ-reims.fr/formation/ufr-instituts-et-ecoles/institut-de-formation-technique-superieur-ifts/presentation/materiel-et-machines/prototypage-rapide.html>
- [4] LE VIF, INDUSTRIE. (2013, 05 17). *Une technologie unique pour les Industrie Awards*. Consulté le 03 2014, Adresse URL : <http://industrie-technique-management.levif.be/itm/actualite/une-technologie-unique-pour-les-industrie-awards-video/article-4000304838142.htm>
- [5] MCOR TECHNOLOGIES. (s.d.). *True colour 3D printing*. Consulté 04/14, Adresse URL : <http://www.mcor technologies.com/3d-printers/iris/>
- [6] REEVES, D. P. (2012). *Putting 3D Printing into your value stream: opportunities for new business models* (p. 60). Adresse URL : <http://www.econolyst.co.uk>
- [7] SIRRIS. (2010). *Du rapid prototyping au rapid tooling*. Liège: Sirris.