

N'est pas Prométhée ou Mary Shelley qui veut

Une petite histoire de la stéréophotolithographie...

Jean-Claude André

Résumé	La lumière permet la photo-polymérisation d'un monomère liquide. Si l'on sait absorber celle-ci dans les trois dimensions, on peut réaliser un objet concret ; tel a été le concept de base de la stéréophotolithographie développé en 1984, qui conduit aujourd'hui à un marché considérable (5 milliards €/an) dans des domaines non envisagés à cette époque.
Mots-clés	Stéréophotolithographie, photo-polymérisation, histoire, brevets.
Abstract	Is that possible to be Prometheus or Mary Shelley? A short story of the stereophotolithography Light is able to induce the photo-polymerization of a liquid monomer. If we are able to be clever enough for achieving a space-resolved absorption, it is possible to create a real 3D object. This basic concept of the stereophotolithography has been developed since 1984 leading to an exponential market (about 5 billions €/year) in emerging fields not yet explored at that time.
Keywords	Stereophotolithography, photo-polymerization, history, patents.

Si de nombreux progrès ont été réalisés dans le domaine de l'informatique, les aspects actionneur et mise en forme des matériaux sont encore un peu en décalage pour réaliser des formes personnalisées, ou en vue d'applications biomédicales, etc. Il y a donc des entrées pour des pièces actives dans un marché considérable à l'échelle du monde. D'autres applications moins futuristes se mettent déjà en place à partir de procédés encore « rustiques » de fabrication de pièces passives, dans des domaines très variés.

Ces réalisations d'objets sans machine-outil (celle qui enlève de la matière) se développent de plus en plus à partir de procédés dits de « fabrication additive ». Le procédé utilisant de la lumière développé dans les années 1980 à Nancy reposait sur la connaissance des coordonnées de l'objet à créer, mémorisées dans un ordinateur pilotant des miroirs galvanométriques et l'ordonnancement du déplacement de la lumière pour transformer un oligomère liquide en un solide par polymérisation d'une couche, « voxel » après « voxel ». L'ajout d'une deuxième couche, puis d'une troisième, etc. permettait de créer ainsi la pièce prototype. Cette base sert de concept fondateur des technologies de fabrication additive (figure 1).

En 1984, basée sur l'idée de jouer sur un processus à un photon avec une amplification liée à la réaction radicalaire en chaînes, la photo-polymérisation d'un monomère liquide en un solide se produit là où la lumière atteint la surface, pour autant que l'énergie lumineuse absorbée dépasse un certain seuil. Pour ce qui concerne la pénétration de la lumière, il convient de disposer d'une épaisseur optique μ légèrement plus grande que celle de la couche placée sur l'objet en construction et d'adapter la puissance du laser pour polymériser le fluide en profondeur afin de relier aussi les couches entre elles.

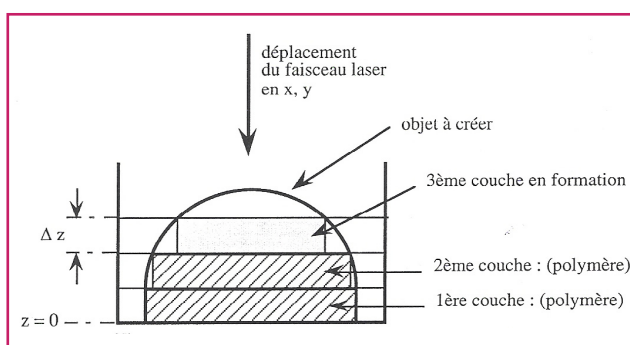


Figure 1 - Schéma historique du principe de réalisation d'un objet couche par couche.

Mais tout n'est pas si simple dans la vraie vie ! Grâce à des masques, de premières expérimentations ont été tentées, en utilisant des monomères acryliques linéaires : le polymère formé étant soluble dans le fluide qui lui avait donné naissance, l'échec avait été cuisant... D'où l'idée d'utiliser des monomères multifonctionnels conduisant à un matériau insoluble dans son monomère. L'enthousiasme dura tant que furent réalisés par masquage des objets convexes (à base plus large que la partie qui était en construction, comme sur la figure 1).

Mais la réalisation, en éclairage modeste, d'un petit pont avec son tablier enjambant du liquide s'est traduite par deux piles reliées par un volume imprécis : le polymère du tablier plus dense que le monomère « coulait » durant la transformation !... Ainsi, deux difficultés ont été cernées, celle de l'augmentation de la densité du photo-produit par rapport au précurseur (provoquant ainsi un retrait) et celle de la nécessité

de placer « au bon endroit » des supports transitoires (quitte à les ébarber ensuite) pour que la pièce devienne réalisable... (figure 2).

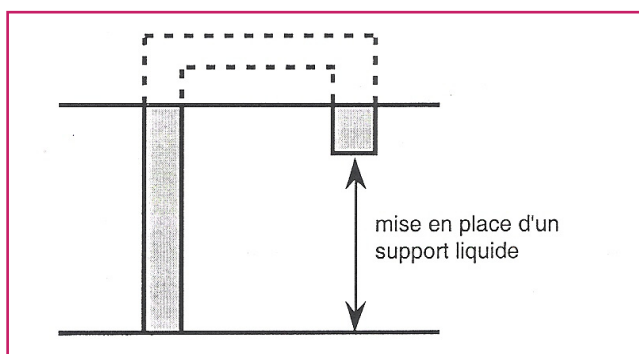


Figure 2 - Illustration de la difficulté de construire un objet solide sans support.

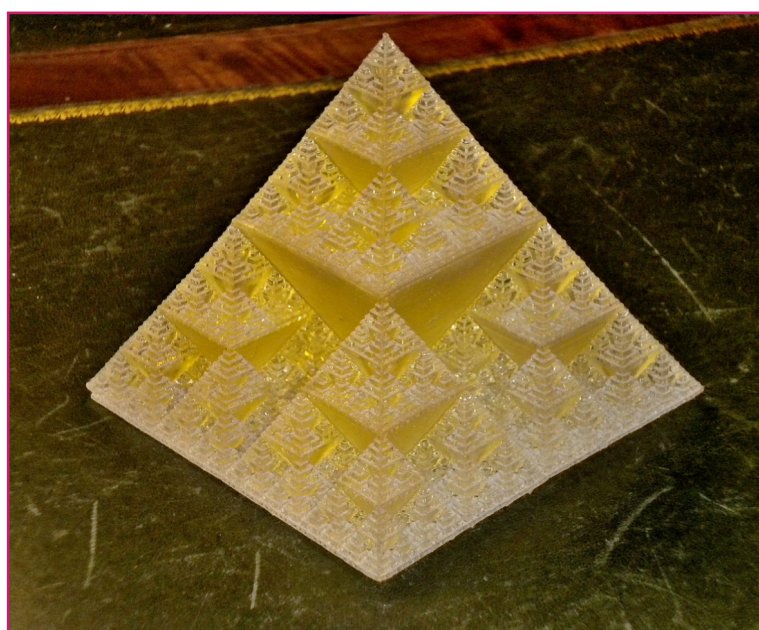


Figure 3 - Exemple d'objet non réalisable par des voies classiques : une pyramide fractale.



Figure 4 - Photo de l'auteur tenant des bustes-portraits réalisés par stéréophotolithographie (photo Vosges-Matin, DR).

Il y avait donc nécessité de faire un travail d'ingénierie en exploitant tout ce qui était accessible dans notre « boîte à outils ». Jouer sur le procédé, le choix des sources lumineuses et la conduite optimisée des faisceaux lumineux, les matériaux et leurs formulations, le choix des amorceurs photochimiques, la commande informatisée des miroirs galvanométriques, puis piloter la réalisation d'une pièce (avec ses supports) ont relevé d'un exercice d'acrobatie intellectuelle qui a dépassé un peu l'interdisciplinarité « classique », parce que les soutiens disciplinaires (humains et financiers) ont été dispensés avec modération, mais pas uniquement... L'activité relevait du « bricolage » et, au moins au début, était très artisanale, mais il s'est agi d'une recherche « apprenante ». Ainsi fut fait avec des lasers ultraviolets, visibles ou infrarouges. Des pièces de plus en plus complexes commencèrent à sortir pour notre plus grande satisfaction (c'était magique !) et plus d'une vingtaine de brevets furent déposés [1-2] (pour le premier, quinze jours seulement avant nos concurrents américains, en particulier Charles Hull à l'origine de la société 3D Systèmes qui regroupe environ 700 personnes [3]).

Ce procédé de « photocopieuse 3D » à partir d'un fichier numérique était attractif pour les milieux socioéconomiques, souhaitant réaliser des pièces prototypes coûteuses, complexes, et impossibles à réaliser autrement (figure 3). Aujourd'hui, le marché annuel est de plusieurs milliards d'euros... Plus ludique, on peut aussi, d'après des données numériques, reproduire un buste, comme celui de l'auteur (figure 4). Mais peu de responsables y ont cru au moment où cette opération a pris corps, ce qui fait que le savoir-faire qui aurait pu être, au moins en partie, français n'est pratiquement plus présent sur le territoire national. Même les start-up que nous avons soutenues grâce à notre transfert technologique ont été rachetées par l'industriel américain qui avait breveté quinze jours après nous... Petite leçon amère pour le soutien à la créativité et pour l'industrialisation issue de la recherche !

Où en est-on aujourd'hui ? Où va-t-on ?

Les démarches d'innovation de fabrication additive, considérée comme l'une des dix innovations majeures du XXI^e siècle et objet de recherche toujours intensive aujourd'hui, s'orientent dans différentes directions que toute personne un peu curieuse peut trouver par centaines et sans difficulté sur Internet (mots-clés : stéréophotolithographie, fabrication additive, additive fabrication, imprimantes 3D, 3D printing...), tant le nombre de sites consacrés à la fabrication additive, technologie révéralée en particulier par le président des États-Unis et par Jean-Claude Bernier [4], est élevé (avec possibilité d'aller tout simplement sur le site de l'Association Française de Prototypage Rapide (AFPR) [5]) :

- Procédés améliorés : optimisation du trajet du faisceau laser, racleurs, monomères à faible retrait, biocompatibles pour des applications en médecine, etc. ;
- Mise en place dans le fluide réactif de charges minérales ou métalliques pour réaliser des pièces en « bonne matière » ;
- Pièces directement en métal ou en céramique, frittées ;
- Nouveaux procédés : polymères solubles rendus insolubles par photo-transformation ; l'image latente obtenue, lavée, produit l'objet (les supports deviennent inutiles dans ce procédé) ;

- Utilisation de fils de polymères chauffés qui se solidifient en refroidissant sur l'objet en construction ;
- Photographie 3D à l'aide de matériaux photosensibles et/ou colorés ;
- Polymérisation d'une couche en une fois par masques commandés par le système informatique ;
- Micro-stéréolithographie : utilisation d'ondes évanescentes, etc. ;
- Nano-stéréolithographie : utilisation d'ADN assemblé avec des microscopes à champ proche (projet en cours) ;
- Macro-stéréolithographie : réalisation de maisons en Chine et dans l'espace !
- Demain : réalisation directe du vrai 3D sans couches (projet en cours) ;
- Fabrication collective pour l'électronique ;
- Le rêve pour après-demain : la télétransportation d'artefacts... ou même d'espèces biologiques (mais on n'en est pas encore là...), voire la réalisation à façon de votre serveur robot ?

L'histoire des interactions lumière-matière peut se poursuivre pour autant qu'on laisse la place à l'émergence d'idées et à une vraie interdisciplinarité. Cette « aventure » a nécessité des connaissances en informatique, en automatique, en optique, en physique et chimie des matériaux, en mécanique, en photochimie, et beaucoup de conviction et de sueur pour disposer des financements nécessaires... Quelques partenaires y ont cru, ce qui a permis de passer du concept à des prototypes préindustriels ; mais au fond, avec des formes d'évaluation et de soutien financier par appel d'offre, quelle

place existerait aujourd'hui pour que quelques scientifiques farfelus, donc divergents, puissent « s'amuser » (un peu plus que 35 heures par semaine !) en disposant d'un soutien effectif pour innover en s'appuyant sur de la connaissance scientifique solide dans un espace interdisciplinaire fécond ? Le développement de l'interdisciplinarité peut être non seulement utile à une société en doute, mais également servir de laboratoire pour mieux renforcer les liens entre disciplines et accomplissements d'utilité sociale.

Références

- [1] André J.-C., Le Mehauté A., De Witte O., Dispositif pour réaliser un modèle de pièce industrielle, Brevet français n° 84 11 241, 16 juil. 1984 (suivi de plus de vingt autres et de quelques bonnes dizaines de publications scientifiques à comité de lecture, facteur h oblige !).
- [2] André J.-C., Corbel S., *Stéréolithographie laser*, Polytechnica, 1994.
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/Chuck_Hull
- [4] Bernier J.-C., La 3D, troisième révolution industrielle ?, *L'Act. Chim.*, 2014, 387-388-389, p. 9.
- [5] Association Française de Prototypage Rapide (AFPR), <http://code80.net/afpr>

Jean-Claude André

est directeur de recherche émérite du CNRS au Laboratoire LRGP, UMR 7274 CNRS/UDL, Université de Lorraine*.

* LRGP, UMR 7274 CNRS/UDL, 1 rue Grandville, F-54000 Nancy.
Courriel : jean-claude.andre1@sfr.fr

EVAPORATEUR ROTATIF RC 900

Salon Forum Labo & Biotech

LABORATOIRE

ERGONOMIE ET SECURITÉ.

Pour une évaporation plus simple, plus efficace et plus sûre :

- Pilotage par télécommande sans fil
- Fixation rapide du ballon en un clip
- Réglage de l'inclinaison du ballon par un bouton pratique
- Large ouverture de nettoyage du condenseur
- Protection des personnes par écran polycarbonate

La combinaison du RC 900 avec le groupe de pompage SC 920 et le chiller C 900 constitue un système homogène, efficace et ergonomique dont vous apprécierez les qualités au quotidien.



Pour toutes questions et requêtes pour vos applications Gaz ou Liquides, contactez-nous !

www.knf.fr • lab@knf.fr • 03 89 70 35 00

