

032	UTBM Service communication	Industrie	17 MARS 2022
		National	Impression 3D

IT
INDUSTRIE & TECHNOLOGIES

N°1051 >> MARS 2022 - 16,50 €

**FABRICATION ADDITIVE
DIX TECHNOS
QUI REPOUSSENT
LES FRONTIÈRES**
PAGE 20

UN HOMME, UNE TECHNO
PAGE 4
Il cultive les micro-organismes pour produire des colorants
GUILLAUME BOISSONNAT
DIRECTEUR SCIENTIFIQUE DE PILI

CAHIER TECHNIQUE
PAGE 49
Dispositifs térahertz
DE NOUVEAUX OUTILS POUR INSPECTER LE CŒUR DES MATÉRIAUX

« Il faut être indiscipliné pour innover dans ce domaine »

JEAN-CLAUDE ANDRÉ
Directeur de recherche CNRS,
co-inventeur de l'imprimante 3D

Pionnier de l'impression 3D dans les années 1980, ce chercheur passionné décrypte les évolutions les plus prometteuses dans ce secteur.

C'est un fait souvent méconnu, mais l'imprimante 3D a été conçue en France en 1984. Vos travaux et ceux de vos confrères Olivier de Witte et Alain Le Méhauté ont permis de faire émerger la première machine de stéréolithographie. Aviez-vous conscience, à l'époque, que cette invention allait être à l'origine de toute une famille de procédés ?

Lorsque nous avons commencé à travailler sur un procédé de fabrication à partir de résine photosensible et de lumière, il s'agissait avant tout d'un jeu intellectuel. Plus exactement, c'était un défi que m'avaient lancé Alain et Olivier, qui travaillaient tous les deux à la Cilas [Compagnie industrielle des lasers, ndlr], à l'époque division d'Alcatel située à Marcoussis (Essonne). Comme je suis un chercheur spécialisé dans les interactions lumière-matière, ils voulaient me soumettre un problème sur lequel ils planchaient. Donc, à l'origine, l'idée n'était pas de concevoir un équipement industriel. En revanche, lorsque les premières réalisations sont sorties de notre machine initiale de stéréolithographie, fortement artisanale, nous avons tout de suite vu le potentiel du procédé. Il y a quelque chose de magique à voir se construire sous ses yeux, couche par couche, un objet. Je pense que c'est cela qui a séduit autant de personnes et qui les a guidées vers d'autres technologies « sœurs » de ce que l'on nomme aujourd'hui la fabrication additive.

Pourtant, l'impression couche par couche n'était pas présente au début de vos réflexions...

Oui, c'est exact. Avant que je ne rejoigne le projet de recherche, mes compères de la Cilas exploraient un procédé de polymérisation sélective de la matière



DOMINIQUE FONTENAT



au moyen d'une absorption à deux photons. Ils avaient repris un brevet purement théorique, sans preuve de concept, de l'institut américain Battelle. Il fallait à l'origine faire réagir la matière au moyen de deux faisceaux laser, en exploitant un processus d'absorption non linéaire. Avec cette technologie, l'impression ne se fait pas couche par couche, mais dans le volume du bain de résine liquide. Il y avait, à l'époque, de nombreuses difficultés techniques avec ce procédé. Les lasers nécessaires étaient particulièrement chers et encombrants, les résines insuffisamment transparentes... Nous avons donc décidé de faire simple et de nous concentrer sur une polymérisation en surface. Je suis allé prendre des résines acryliques monoréactives sur une étagère du laboratoire à côté et nous avons réalisé la preuve de concept en trois jours. Les premières versions fonctionnaient sans laser, en focalisant la lumière du

soleil ! Cela peut paraître étrange, mais nous avons identifié tous les verrous (ou presque) à faire sauter en fabrication additive moderne : l'impression couche par couche, le concept de voxel - cette unité de base qui permet le passage d'un fichier numérique à une pièce en 3D -, l'utilisation de supports, l'importance de la viscosité des résines...

Votre procédé a-t-il trouvé un écho auprès des industriels à l'époque ?

Absolument ! Les industriels ont tout de suite vu l'intérêt de la technologie, notamment pour la création de pièces de prototypage. Nous avons déposé notre brevet en juillet 1984 - quelques semaines avant l'américain Chuck Hull qui a déposé son propre procédé - et dès 1985, nous étions approchés par des ingénieurs de Renault, PSA, EDF, Dassault et Michelin. Les constructeurs automobiles voulaient que nous leur fabriquions des pièces proto-

types car cela leur aurait fait gagner de nombreuses étapes et du temps. On a tendance à l'oublier, mais la création d'une pièce, même comme prototype, relève d'un processus long...

Et du côté de Michelin ?

Michelin avait un besoin très spécifique : pour créer les sculptures de ses pneus, il produit de nombreuses petites lamelles métalliques très fines qu'il insère dans le moule. Ça n'a l'air de rien comme ça, mais ce sont des pièces très techniques. Elles doivent pouvoir créer des formes complexes à la surface du pneumatique, tout en restant en place lorsque l'on démoule le pneu. En 1985 ou 1986, Michelin s'est intéressé à notre procédé pour créer des pièces prototypes et le groupe avait sans doute en tête la production de lamelles avec les technologies 3D de l'équipe (mais dont les performances étaient éloignées de leur besoin).

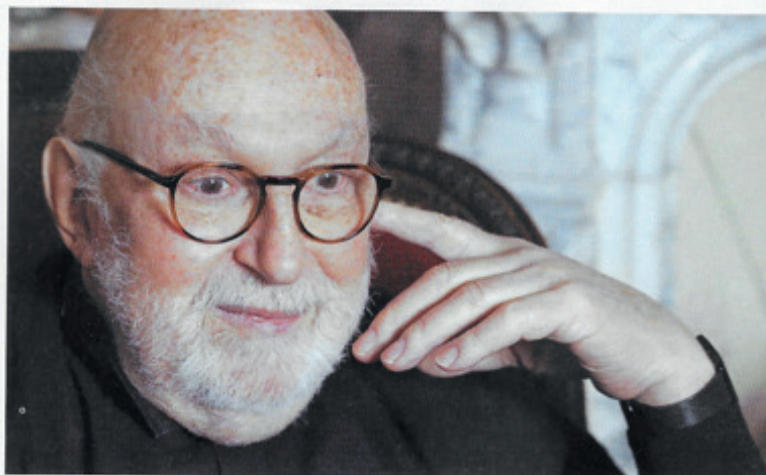
On peut reconnaître aux ingénieurs de Michelin une certaine persévérance : non seulement ils savent désormais produire ces lamelles avec de l'impression 3D de métal, mais en plus ils ont su valoriser intelligemment ce savoir-faire. Ils sont à l'origine avec Fives de la société AddUp, l'un des fleurons français de la fabrication additive métallique. Je suis admiratif de leur parcours.

La fabrication additive est désormais considérée comme essentielle pour l'industrie du futur. Elle rassemble également de nombreux procédés, aux concepts souvent très éloignés. N'y en a-t-il pas trop, selon vous ?

Je ne pense pas. Chaque technologie apporte quelque chose et répond souvent à un besoin spécifique. On a tendance à voir la fabrication additive comme une chose figée, alors qu'il faut être indiscipliné pour innover en impression 3D. Il faut faire converger plusieurs sciences : matériaux, procédés, design... Il faut tester les bonnes idées. Une technique étudiée en laboratoire finira par répondre aux besoins des industriels tout en augmentant nos connaissances scientifiques.

Plusieurs technologies, telles que le Waam et le cold spray, sont des adaptations de procédés existants, dont l'usage a été détourné. Est-ce une approche pertinente ?

C'est une très bonne façon d'aborder les problèmes : partir de ce que l'on connaît et maîtrise, puis pousser les technologies dans leurs retranchements. Il n'y a pas de honte à détourner les procédés et les usages des matériaux préexistants. Des techniques comme le Waam ou le laser-fil peuvent s'apparenter à de la soudure classique, mais c'est en fait plus que cela. De nouvelles questions scientifiques et technologiques se posent. D'une manière générale, je trouve très astucieux les procédés qui associent la matière et l'énergie au même endroit, comme dans les technologies de dépôt par faisceau d'électrons ou par arc-fil. Je trouve également très pertinent d'associer les procédés additifs et soustractifs. Les industriels ont tout à gagner dans ce domaine. Pendant un temps, il y a eu un certain dogmatisme en fabrication additive, dans lequel il fallait absolument tout faire en 3D. Les industriels ont désormais une



DOMINIQUE FONTENAT

vision plus nette du potentiel de l'impression 3D : ils cherchent le procédé, la matière et le post-traitement qui répondront à leurs besoins.

Quelles seront les prochaines grandes innovations en impression 3D ?

La maîtrise de technologies à gradients de matériaux et multi-voxels est toujours attendue. La première permettrait d'obtenir des propriétés inédites en jouant sur des dépôts de matériaux sélectifs. C'est un sujet très excitant, car il pallierait l'un des problèmes majeurs de l'impression 3D actuelle : la difficulté d'appliquer un traitement de surface sur les pièces. Dans le cas des gradients de matériaux, les propriétés de surface pourraient être gérées lors de l'impression. Je m'intéresse à ces gradients dans le cadre de travaux sur l'impression 4D menés avec Frédéric Demoly à l'UTBM sur le site de Sevenans (Territoire de Belfort) [lire page 25]. Les multi-voxels constituent aussi un sujet intéressant pour les industriels. En gérant différentes tailles de voxels, une résolution d'impression variable accélérerait la production des pièces de grande taille, tout en restant très bonne sur certaines zones plus détaillées. J'ai quelques idées dans ce domaine.

En dehors de ces deux techniques, nous avons réussi – ironiquement – à abolir l'impression couche par couche avec des collègues de l'institut Fresnel du CNRS à Marseille. Si l'on avait réussi à suivre les brevets de cette organisation en 1984, évitant l'usage de couches, peut-être que le futur de l'impression 3D aurait pu être différent... J'essaie en ce moment de mettre au point un procédé capable d'imprimer une pièce en une seule étape, à l'instar d'un appareil photo. Une évolution radicale de la stéréolithographie, mais je ne peux pas en dire beaucoup plus pour le moment : ce n'est pas breveté, car j'ai des difficultés à trouver les sources lumineuses adaptées pour réaliser une belle preuve de concept. >>>

PROPOS RECUEILLIS
PAR ALEXANDRE COUTO

TRL

POUR CHAQUE TECHNOLOGIE, nous avons indiqué son degré de maturité au moyen de l'indicateur TRL (Technology readiness level) qui comporte neuf niveaux, des premiers pas en laboratoire au déploiement industriel. Pour un procédé donné, nous donnons une fourchette de TRL correspondant aux différentes applications.

TECHNO 1

FAMILLE DE PROCÉDÉS

Extrusion de matière

TRL

2 3

FORCES Ajout de fonctionnalités aux pièces, meilleure utilisation des matériaux, possibilité de créer des objets réparables

FAIBLESSES Connaissance des matériaux à améliorer, nécessité d'établir de nouvelles règles de conception des objets

Explorer la 4^e dimension pour faire évoluer les objets

Une pièce capable de s'adapter à son environnement. C'est ce que promet l'impression 4D, qui programme des fonctionnalités au cœur des matériaux.

L'impression 4D sera-t-elle la prochaine grande évolution de la fabrication additive, au même titre que ce qu'a été, au début des années 1980, l'impression 3D par rapport à celle en 2D? C'est en tout cas l'avis de ses promoteurs, dont fait partie Frédéric Demoly, professeur à l'université de technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM). « Cette quatrième dimension désigne une condition extérieure – température, pH, champ magnétique ou écoulement du temps – qui vient solliciter une matière réactive contenue dans l'objet. Celui-ci peut ainsi changer de forme ou de propriétés selon son environnement », précise-t-il. Ce spécialiste de la conception et de la production assistées par ordinateur a fait de l'impression 4D l'un de ses principaux sujets d'étude. Il a été séduit, en 2013, par la présentation d'un chercheur du MIT, Skylar Tibbitts. À la tête du Self-assembly lab, ce dernier

a été l'un des premiers à mettre en avant les possibilités d'auto-organisation des matériaux pour faire émerger de nouvelles applications. Depuis, de nombreux démonstrateurs d'objets 4D ont fait leur apparition: des fleurs en polymères s'ouvrant sous l'action de la température, ondoyant dans l'eau, ou encore des éléments imprimés se recombinant sous l'effet d'un champ magnétique. En 2017, Frédéric Demoly s'est lancé dans l'impression 4D, avec Jean-Claude André, le pionnier de la fabrication additive [lire page 22]. Les deux chercheurs travaillent à la fois sur les procédés additifs et sur les matériaux pour créer des objets évolutifs. Le potentiel de cette technologie fait rêver: systèmes fonctionnant sans actionneurs électriques, objets reconfigurables pour s'adapter à l'usage, ou encore dispositifs autoréparants... Mais derrière ces promesses, de nombreux verrous restent à lever pour apprendre à associer intimement la chimie des matériaux, le contrôle de leurs réactions aux sollicitations externes et la conception des pièces pour aboutir à des fonctionnalités. Selon Jean-Claude André, la complexité est proche de celle de la robotique auto-assemblée, à cette différence près que les fonctionnalités doivent être « programmées » dans le matériau lui-même. Les procédés de fabrication additive peuvent

permettre de concevoir ces éléments complexes en déposant les matières là où elles sont nécessaires. « Nous travaillons sur des systèmes d'impression 3D multi-matériaux pour aboutir à ces objets complexes », indique Frédéric Demoly. Des équipes de recherche de l'institut Jean Lamour de Nancy se sont également penchées sur des procédés de fonctionnalisation de pièces imprimées. Les chercheurs dirigés par Samuel Kenzari, ingénieur de recherche CNRS, et Thomas Hauet, enseignant-chercheur à l'université de Lorraine, ont adapté une imprimante à dépôt de fil fondu (FDM) pour aimanter des particules de néodyme dans la chambre d'impression. Une première qui ouvre la voie à des réalisations 4D. Les pièces produites peuvent comporter des zones de moments magnétiques différents. « Cela nous permet de fabriquer des pièces imprimées avec des fonctionnalités activables à distance par un champ magnétique », explique Samuel Kenzari. Une technologie qui cherche encore des applications concrètes dans ce domaine. »

ALEXANDRE COUTO

Plongée dans l'eau, cette fleur recourbe ses pétales selon une géométrie déterminée lors de son impression.

