



L'esprit de l'innovation !

✉ contact@chlorodia.fr

www.chlorodia.fr

N° SIRET : 537 661 480 00039

**Ariane Castel**

# Technologies duales : les imprimantes 3D en Chine, Russie, Inde et à Singapour

Avril 2014



Au profit de la Délégation aux Affaires Stratégiques  
Ministère de la Défense



## *Sommaire*

### **I. Les imprimantes 3D et les contrôles d'exportation**

- I.1 Les différentes technologies d'impression 3D
- I.2 L'impression 3D pour remplacer les techniques traditionnelles par moules
- I.3 Les avantages et les inconvénients des imprimantes 3D
- I.4 Les poudres métalliques : une industrie restreinte et localisée
- I.5 Le prix de la technologie
- I.6 Le marché des imprimantes 3D

### **II. Etat de l'art de la Chine**

- II.1 Investissements déterminants du gouvernement chinois
- II.2 Des acteurs chinois centralisés et axés sur l'impression de pièces métalliques
- II.3 Focus sur les organismes publics et entreprises chinoises travaillant sur des procédés d'impression 3D à base métallique
- II.4 Coopérations nationales et internationales actives en Chine
- II.5 Conclusion pour la Chine

### **III. Etat de l'art de l'Inde**

- III.1 Absence du gouvernement indien
- III.2 Des acteurs indiens dispersés et un positionnement peu technologique
- III.3 Focus sur les organismes publics et entreprises indiennes travaillant sur des procédés d'impression 3D à base métallique
- III.4 Nombreuses coopérations nationales et internationales en Inde
- III.5 Conclusion pour l'Inde

### **IV. Etat de l'art de la Russie**

- IV.1 Absence d'une stratégie du gouvernement fédéral russe mais quelques initiatives pour le développement des imprimantes 3D
- IV.2 Des acteurs russes regroupés et un positionnement fortement technologique
- IV.3 Focus sur les organismes publics russes travaillant sur des procédés d'impression 3D à base métallique
- IV.4 Coopérations internationales russes particulièrement orientées vers la France
- IV.5 Conclusion pour la Russie

### **V. Etat de l'art de Singapour**

- V.1 La fabrication additive constitue un enjeu stratégique pour le gouvernement singapourien
- V.2 Des acteurs singapouriens en nombre limité mais sur un positionnement fortement technologique
- V.3 Focus sur les organismes publics à Singapour travaillant sur des procédés d'impression 3D à base métallique
- V.4 Coopérations internationales de Singapour
- V.5 Conclusion pour Singapour

### **Conclusion**

### **Bibliographie**

## *Liste des annexes*

**Annexe 1** : direct production of titanium powder from titanium ore by perform reduction process.

**Annexe 2** : liste des organismes publics, des entreprises, des publications et des brevets chinois.

**Annexe 3** : liste des organismes publics, des entreprises et des publications indiennes.

**Annexe 4** : liste des organismes publics, des entreprises et des publications russes.

**Annexe 5** : liste des organismes publics, des entreprises, des publications et des brevets singapouriens.

## *Liste des illustrations*

**Illustration 1** : technique de la FDM.

**Illustration 2** : la stéréolithographie.

**Illustration 3** : technique SLS/DMLS.

**Illustration 4** : objet conçu par DMLS.

**Illustration 5** : *Direct Laser Deposition*.

**Illustration 6** : les différentes technologies d'imprimantes 3D et leurs applications double usage.

**Illustration 7** : substitution et complémentarité des imprimantes 3D dans la technique traditionnelle de fabrication de pièce métallique par moulage.

**Illustration 8** : coût de revient d'une pièce produite par imprimante 3D et par la technique traditionnelle de moulage.

**Illustration 9** : utilisation du scanneur pour créer un fichier utilisable en impression 3D.

**Illustration 10** : estimation du nombre de ventes d'imprimantes 3D professionnelles dans le monde.

**Illustration 11** : distribution cumulative des imprimantes 3D dans la région Asie-Pacifique jusqu'à la fin de l'année 2009.

**Illustration 12** : comparaison des parts de publication entre 2005 et 2009.

**Illustration 13** : géo-localisation des organismes publics qui travaillent sur les imprimantes 3D en Chine.

**Illustration 14** : distribution géographique des entreprises chinoises du secteur de l'impression 3D sélectionnées pour cette étude.

**Illustration 15** : années de dépôt de brevet par les organismes publics et les entreprises chinoises.

**Illustration 16** : nombre d'entreprises chinoises créées par années.

**Illustration 17** : positionnement technologique des organismes publics et des entreprises chinoises.

**Illustration 18** : géo-localisation des organismes publics et des entreprises travaillant sur des procédés d'impression 3D à base métallique.

**Illustration 19** : en 2010, le NPU a produit une aile centrale d'avion de ligne COMAC'S C919 de 3 mètres de long.

**Illustration 20** : le plus grand composant 3D imprimé d'avion de chasse en titane par *Laser Direct Manufacturing*.

**Illustration 21** : coopérations nationales et internationales des centres de recherche et des entreprises en Chine.

**Illustration 22** : géo-localisation des organismes publics et des entreprises qui travaillent sur les imprimantes 3D en Inde.

**Illustration 23** : positionnement technologique des organismes publics et des entreprises chinoises et indiennes.

**Illustration 24** : géo-localisation des organismes publics travaillant sur des procédés d'impression 3D à base métallique en Inde.

**Illustration 25** : nombre de publications par organismes indiens.

**Illustration 26** : coopérations nationales et internationales des centres de recherche en Inde.

**Illustration 27** : coopérations nationales et internationales des centres de recherche en Inde sur l'impression 3D de pièces métalliques.

**Illustration 28** : géo-localisation des organismes publics qui travaillent sur les imprimantes 3D en Russie.

**Illustration 29** : positionnement technologique des organismes publics et des entreprises russes.

**Illustration 30** : géo-localisation des organismes publics travaillant sur des procédés d'impression 3D à base métallique en Russie.

**Illustration 31** : nombre de publications par organismes russes.

**Illustration 32** : coopérations nationales et internationales des centres de recherche en Russie.

**Illustration 33** : coopérations nationales et internationales des centres de recherche en Russie sur l'impression 3D de pièces métalliques.

**Illustration 34** : géo-localisation des organismes publics qui travaillent sur les imprimantes 3D à Singapour.

**Illustration 35** : positionnement technologique des organismes publics et des entreprises russes et singapouriennes.

**Illustration 36** : géo-localisation des organismes publics travaillant sur des procédés d'impression 3D à base métallique à Singapour.

**Illustration 37** : nombre de publications par organismes singapouriens.

**Illustration 38** : coopérations internationales et nationales des centres de recherche singapouriens.

**Illustration 39** : coopérations nationales et internationales des centres de recherche de Singapour sur l'impression 3D de pièces métalliques.

## I. Les imprimantes 3D et les contrôles d'exportation

La fabrication additive<sup>1</sup> (*additive manufacturing*, AM) est un processus par lequel un objet 3D est créé par dépôt des couches successives de matière. L'objet est conçu à l'aide de logiciels tels que CAD.

Ces machines, développées depuis plus de 25 ans étaient au départ réservées aux laboratoires<sup>2</sup>. Depuis les années 2000, elles connaissent un brusque développement. Leur prix, en chute libre, les rend accessibles à de plus en plus d'entreprises. On voit même apparaître des imprimantes 3D personnelles.

Si actuellement cette technologie a encore des limites importantes - vitesse d'impression lente, coût de la matière première élevé, taille des objets imprimés restreinte ou qualité relative des pièces - ces capacités évoluent.

Grâce à la diversité des matériaux comme la résine, le nylon, le plâtre, le sable, la céramique ou la poudre de métal, la technologie d'impression 3D a été appliquée avec succès dans le domaine de l'aérospatiale, des pièces d'automobiles, des machines, du matériel médical, des produits électroniques, du design industriel et de nombreux autres domaines.

Déjà utilisées dans l'industrie et le design pour les phases de prototypages, les imprimantes 3D sortent de cette enclave et pourraient bouleverser la production.

L'impact sur la défense et la sécurité des imprimantes 3D sera de modifier de manière significative la production et les chaînes d'approvisionnement, en rapprochant la fabrication du point d'utilisation. Elles pourront aussi réduire les coûts, les délais de façonnage et les besoins en personnels compétents. Elles ouvrent aussi la porte à la production sur mesure

---

<sup>1</sup> Ces deux expressions synonymes qualifient l'ensemble des techniques de fabrication couche par couche. La dénomination « fabrication additive », utilisée par les leaders historiques du secteur, est aujourd'hui principalement associée au monde industriel. Elle désigne l'ensemble des procédés de fabrication par ajout de matière, qui regroupe sept types de techniques : l'extrusion de matière, la projection de matière, la projection de liant, la lamination de papier, la photopolymérisation, la fusion de lit de poudre et le dépôt d'énergie dirigée.

Plus récente, la formulation « impression 3D » a été popularisée par les médias.

<sup>2</sup> La toute première imprimante 3D, la SLA-250, a été lancée fin 1988 par ce qui était alors une très jeune entreprise, 3D Systems, fondée en 1986 par l'ingénieur Chuck Hull. Le procédé utilisé était la stéréolithographie, technique qu'il a mise au point et brevetée en 1984. À cette époque, l'expression « impression 3D » n'existe pas encore. Chuck Hull parle de « stereolithography apparatus », qui désigne un système de fabrication par couches successives utilisant un matériau sensible aux rayons ultraviolets. 3D Systems est à l'origine du STL (Standard Tessellation Language), un format de fichier devenu depuis le standard pour l'impression 3D.

En 1989, Scott et Lisa Crump créent l'entreprise Stratasys et lancent sur le marché ses premières imprimantes qui permettent de déposer le matériau liquéfié couche par couche grâce à une tête d'extrusion qui se déplace. Il faut ensuite attendre 1993 pour voir apparaître le procédé 3DP (Three Dimensional Printing), mis au point au MIT (Massachusetts Institute of Technology). Il est assez proche de la technique employée pour les imprimantes 2D à jet d'encre : une glue est projetée sur une surface de poudre pour former peu à peu l'objet.

Dates clés de l'impression 3D :

1952 : Kojima démontre les avantages de la fabrication par couches superposées.

1967 : Swainson dépose un brevet aux États-Unis pour un système de durcissement de résine par double rayon lumineux.

1981 : Kodama publie trois méthodes de solidification holographique.

1984 : Chuck Hull dépose le brevet 4575330 d'utilisation de la stéréolithographie.

1986 : création de 3D Systems. D'autres acteurs entrent en jeu.

1989 : lancement de Stratasys et des premières imprimantes FDM.

1990 : la fabrication additive est utilisée pour la réalisation de moules.

1995 : Z Corporation lance les premières imprimantes 3DP.

1996 : premières mentions des machines industrielles comme « imprimantes 3D ».

2000 : la fabrication additive est utilisée pour des pièces de production.

permettant d'usiner des pièces complexes jusqu'ici difficile, voire irréalisable, par la technique traditionnelle de moulage.

**Le développement rapide de cette technologie et les enjeux potentiels en termes de sécurité et de défense nécessitent des travaux permettant de comprendre et d'anticiper les risques qu'il serait nécessaire de contrôler, en particulier par le biais du contrôle des exportations.**

En effet, les imprimantes 3D constituent un nouveau mode de fabrication qui pourrait à terme contribuer à la prolifération des armes de destruction massive et des armements conventionnels en s'affranchissant des barrières établies par les différents régimes de contrôle multilatéraux. Aujourd'hui des équipements, tels que les machines outils ayant plus de trois axes, sont contrôlés par différents régimes de contrôle des exportations (NSG, MTCR et Arrangement de Wassenaar). Ces associations d'Etats fournisseurs quasi exclusifs de technologies sensibles visent à éviter la diffusion vers des Etats proliférants dépourvus de capacités de production d'armes. Ainsi beaucoup de ces pays ne disposent pas de machines outils capables de fabriquer des armes. Or, ces armes pourraient être en partie réalisées à l'aide d'imprimantes 3D qui ne font pas actuellement l'objet de contrôles aux exportations. A partir d'une imprimante 3D associée à des données numériques, il sera possible de construire des pièces qui aujourd'hui nécessitent un usinage spécialisé. Il s'agit donc de mieux appréhender l'ensemble du processus d'impression 3D (matériaux, technologies et logiciels utilisés) pour identifier chaque élément constitutif de la filière.

Ainsi, des recherches et développements par certains Etats proliférants pourraient couvrir dans les faits des initiatives visant à s'affranchir les contrôles existants ou à détrôner l'avance technologique occidentale acquise en matière de machines-outils.

Cette étude vise à évaluer l'état de l'art de plusieurs pays, tels que la Chine, l'Inde, la Russie et Singapour sur les technologies d'imprimante 3D et à estimer la qualité du tissu industriel qui s'est formé autour de cette technologie. Une attention particulière est portée sur les imprimantes 3D capables de produire des pièces métalliques (acier maraging, titane, terres rares, etc.) utilisées ou utilisables dans l'aérospatial, les hautes énergies ou les applications militaires. Cette étude a permis d'identifier les principaux acteurs publics et privés du domaine, leurs coopérations nationales et internationales ainsi que leur degré d'indépendance vis-à-vis des technologies occidentales.

## I.1 Les différentes technologies d'impression 3D

Plusieurs procédés d'impression 3D ont été développés depuis les années 1970. Ils diffèrent dans la manière dont les couches sont déposées et dans les matériaux utilisés pour créer des objets. Un certain nombre de ces procédés sont maintenant disponibles.

On peut les classer en trois grands groupes :

- le dépôt de matière ;
- la solidification par la lumière ;
- l'agglomération par collage.

Pour chacun des procédés il faut :

- une imprimante 3D ;
- de la matière première sous forme liquide, de fil ou de poudre ;
- un fichier 3D de l'objet à réaliser (au format STL), un logiciel de modélisation ou un scanner (avec l'objet à reproduire par rétroconception) ;
- un logiciel CAO pour préparer ce fichier (autoCAD, Inventor, Maya, etc.) ;
- un ordinateur pour effectuer ces opérations et transmettre à l'imprimante toutes les indications du fichier 3D.

### Impression par dépôt de matière

La technique de FDM (*Fused Deposition Modeling*).

Il s'agit de la technique utilisée par les imprimantes 3D personnelles. Ce procédé a été développé par S. Scott Crump à la fin des années 1980 et il est commercialisé par la société israélienne *Stratasys* en 1990. La technique consiste à déposer, couche par couche, un fil (de un dixième de millimètre) de matière thermoplastique, de la cire, des polycarbonates ou du métal pour créer la pièce. Les marchés visés sont l'agroalimentaire et le médical.

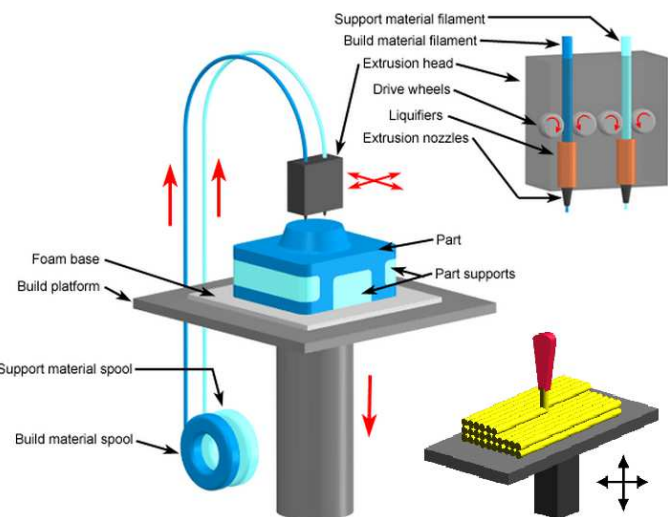


Illustration 1 : technique de la FDM.

### Impression par solidification par la lumière

La technique de la stéréolithographie (SLA).

Brevetée en 1986 par Charles Hull co-fondateur de la société américaine *3D Systems*, elle consiste à solidifier un liquide photosensible à l'aide d'un laser ultraviolet. Une fois que la couche initiale de l'objet a durci, la plate-forme est abaissée, une nouvelle couche de surface de polymère liquide est ensuite exposée. Le procédé est répété jusqu'à ce que la totalité de l'objet soit formé et soit totalement immergé dans le réservoir. Les objets ont une bonne qualité de finition (0,0005 mm)

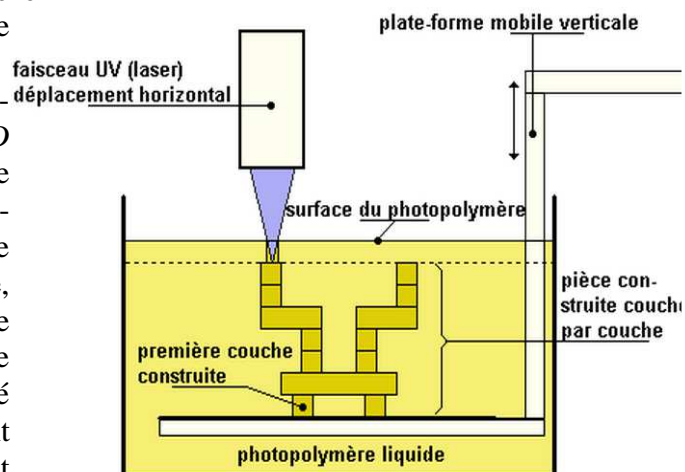


Illustration 2 : la stéréolithographie.  
Source Proform Rapid Prototyping

mais son coût reste élevé. A cause des vapeurs toxiques dégagées par les photopolymères, l'imprimante doit être placée sous une hotte aspirante.

Le technique polyjet diffère de la stéréolithographie car les têtes d'impression vont déposer des gouttes de matière photosensible. Une exposition aux rayons ultra-violet va ensuite durcir cette matière. Sa précision est similaire à la stéréolithographie.

La technique de frittage sélectif au laser (*Selective Laser Sintering, SLS*).

Découverte en 1980 à l'Université du Texas, elle a été développée en 2003 par la société allemande EOS. Un laser très puissant va fusionner une poudre sur des points très précis définis par le fichier STL. Les particules de poudre, sous l'effet de la chaleur (sans atteindre le point de fusion), vont fondre et se fusionner entre elles pour constituer la cohésion de la pièce. Une nouvelle couche de poudre est ensuite étalée et à nouveau durcie par le laser puis reliée à la précédente. Ensuite l'objet peut être sorti de la poudre libre, pour être brossé et pucé. Les poudres peuvent être de nylon, de verre, de céramique ou de plastique. Des poudres métalliques peuvent être utilisées avec un liant pour créer des pièces métalliques.

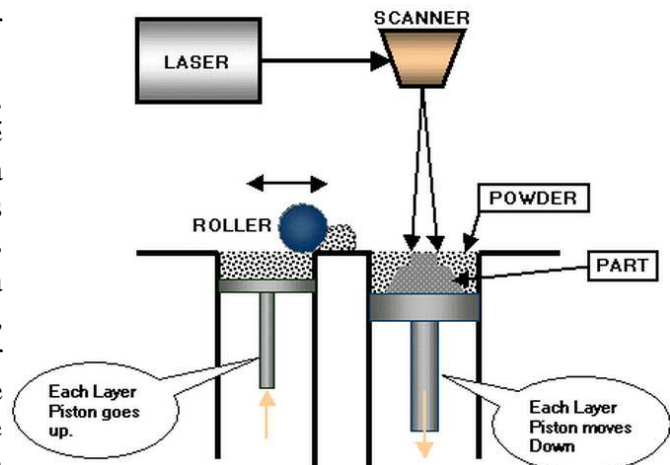


Illustration 3 : technique SLS/DMLS. Source mindtribe

La technique du frittage laser direct de métal (*Direct Metal Laser Sintering, DMLS*).

Elle repose sur le même procédé que la SLS mais elle fonctionne presque avec tous les alliages métalliques. Cette technologie est efficace (précision de 0,1 mm) avec un coût faible.



Illustration 4 : objet conçu par DMLS.

La technique de fabrication directe par laser (*Direct Metal Deposition, DMD*).

Elle consiste à fondre des poudres métalliques à l'aide d'un laser. Une buse coaxiale permet de réaliser l'injection homogène de poudres métalliques au travers d'un faisceau laser dont la puissance moyenne peut varier de 50 watts à 6000 watts. Les poudres sont alors fondues pour former un dépôt homogène et dense sur la surface elle aussi fusionnée. Ces dépôts ou empilements successifs réalisés sont protégés tout au long de la construction par un gaz neutre pour parer aux problèmes d'oxydation. Le rendement de déposition peut dépasser 90 % de la masse de matière injectée. Cette technique permet de réaliser des dépôts fins de 300 µm. Les structures métallurgiques obtenues sont saines et exemptes de défauts métallurgiques.



La matière étant acheminée vers le substrat sous forme de poudre métallique, il est évidemment possible, dans la limite où les matériaux mis en œuvre sont compatibles, de réaliser des constructions multimatériaux (résistance à l'usure, l'abrasion, la dissipation calorique, modification locale des propriétés magnétiques, etc.). Cependant, la granulométrie des poudres employées doit être comprise en moyenne entre 45 et 90  $\mu\text{m}$ .

En plus de réaliser des pièces fonctionnelles, cette technique permet de réaliser des réparations sur des pièces usées ou cassées.

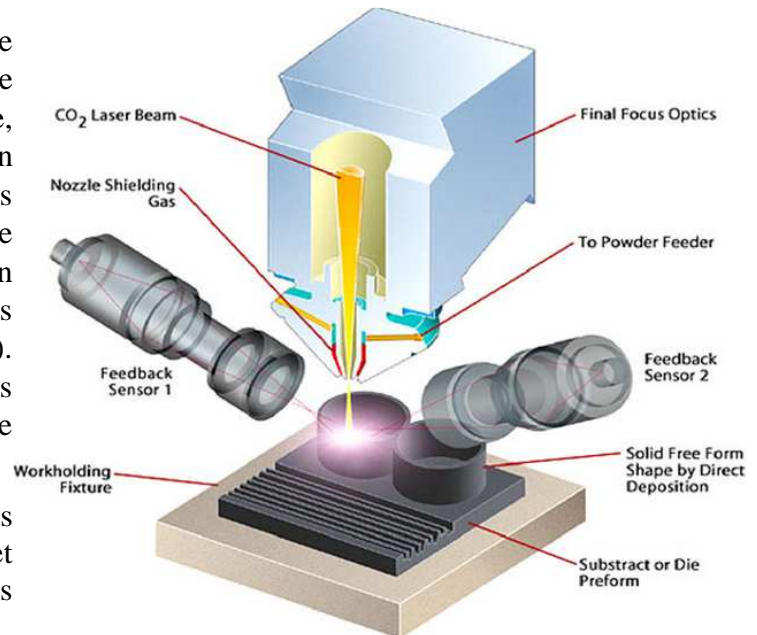


Illustration 5 : *Direct Laser Deposition.*  
Source Center for Laser-aided intelligent manufacturing

### **Impression par agglomération par collage**

La technique *Three-Dimensional Printing* (3DP)

Développée par l'institut de technologie du Massachusetts (MIT) en 1993 et commercialisée par la société américaine Z Corporation. Le procédé consiste à l'étalement d'une fine couche de poudre de composite sur une plate-forme. Puis sur celle-ci, la tête d'impression va déposer des petites gouttes de glue colorées. En combinant ces gouttes, on obtient alors la couleur désirée. La plate-forme s'abaisse au fur et à mesure que les couches de poudre sont collées.

**Si l'on peut considérer que nous ne sommes qu'aux prémices de l'impression 3D, d'ici dix ans, les pièces alliant plusieurs métaux pourraient être produites en une seule opération tout en ayant diminué leurs imperfections.**

Classification	Material	Process description	Weapons	Armour and PPE <sup>3</sup>	Defense logistic and support	Electronics (sensing)	Energy (storage)	Aerospace (airframe)
<b>Power bed fusion<sup>4</sup></b>	Metal (powder)	Direct Metal Laser Sintering DMLS Selective Laser Melting SLM <sup>5</sup> Electron Beam Melting EBM <sup>6</sup>						
	Polymer	Selective Laser Sintering SLS Selective Heat Sintering SHS Selective Mask Sintering SMS High Speed Sintering HSS						
	Ceramic ou verre	Selective Laser Sintering SLS						
<b>Directed Energy Deposition</b>	Metal (powder feed)	Direct Metal Deposition DMD Laser Engineer Net shaping LENS <sup>7</sup> Laser Consolidation LC Laser Deposition LD Ion Fusion Formation IFF Laser Aided Additive Manufacturing LAAM						
	Metal (wire feed)	Electron Beam Direct Melting EBDM Wire & arc deposition WAAM Shape Metal Deposition SMD						
<b>Material Jetting</b>	Photopolymer	Polyjet, Ink-jetting						
	Ceramic	3DP (models, medical implant) S-Print (sand cores)						
<b>Material extrusion</b>	Polymer and metal	Fused Deposition Modeling FDM						
<b>vat photopolymerisation<sup>8</sup></b>	Photopolymer (céramic, résine)	Stereolithography SLA Digital Light processing DLP SLA / DLP <sup>9</sup> , CeraFab, CeramPilot						
<b>Sheet lamination</b>	Hybrids	Ultrasonic Consolidation UC						
	Métallique							
	Ceramic	Laminated Objet Manufacture LOM						

S'applique  Ne s'applique pas

Illustration 6 : les différentes technologies d'imprimantes 3D et leurs applications double usage<sup>10</sup>.

Le tableau ci-dessus présente les différents procédés de fabrication additive. Il positionne également les différentes applications militaires auxquelles peuvent répondre chacun de ces procédés. Cette liste n'est pas exhaustive.

<sup>3</sup> Equipement personnel de protection.

<sup>4</sup> Fusion sur lit de poudre.

<sup>5</sup> Fusion sélective au laser. Cette technologie fonctionne avec de l'alliage de titane, acier inoxydable et alliage Co-Cr et permet de fabriquer des objets de haute densité avec une bonne précision.

<sup>6</sup> Fusion par faisceau d'électrons. Cette technologie est compatible avec les alliages en titane.

<sup>7</sup> Formation nette machinée par laser.

<sup>8</sup> Cuve de polymérisation.

<sup>9</sup> A la différence de la SLA, la DLP n'applique aucun déplacement de lumière sur l'axe horizontal, mais seulement un abaissement progressif de la plate-forme sur l'axe vertical. La DLP est donc 2 à 5 fois plus rapide.

<sup>10</sup> Inspirée de *Shaping our National Competency in Additive Manufacturing*, Robert Quarshie, Materials KTN septembre 2012.

## **I.2 L'impression 3D pour remplacer les techniques traditionnelles par moules**

Les modèles maîtres et les moules sont utilisés sur le court terme ou comme outils jetables pour de la production. Par exemple, grâce aux techniques de moule à cire perdue, ou de moule en silicone, il est possible de créer dans n'importe quel matériau, une pièce normalement impossible à usiner. Les modèles d'imprimantes 3D permettant d'imprimer de la cire répondent particulièrement bien à ces besoins et elles sont peu technologiques. Les imprimantes 3D sont aussi très utilisées dans le domaine de l'outillage, de la fonderie ou du moulage.

- **Coulée centrifuge** : la coulée centrifuge utilise la force centrifuge. Pour les pièces en métal, en plastique et en cire, la coulée centrifuge est une méthode simple, abordable et rapide pour le prototypage ou la production. Pour la coulée centrifuge, l'imprimante 3D peut ainsi remplacer la délicate étape de création du maître modèle par usinage.
- **Moulage au sable** : dans ce cas l'impression 3D permet de réaliser rapidement le maître modèle sans passer par une fastidieuse et coûteuse étape d'usinage CNC. Les coûts de fabrication sont souvent divisés par deux.
- **Outillage de drapage de matériaux composites** : pour fabriquer une pièce **en matériaux composites**, il faut déposer des couches sur un outillage (coûteux et long à produire). L'impression 3D est parfaitement adaptée à ces méthodes de fabrications.

**Conception par imprimante 3D**

**Conception traditionnelle**

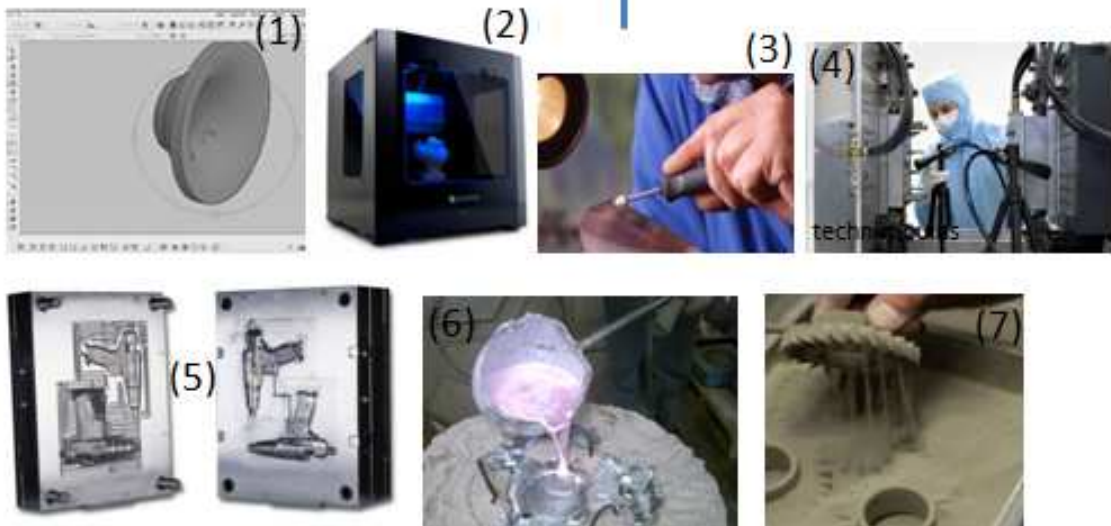
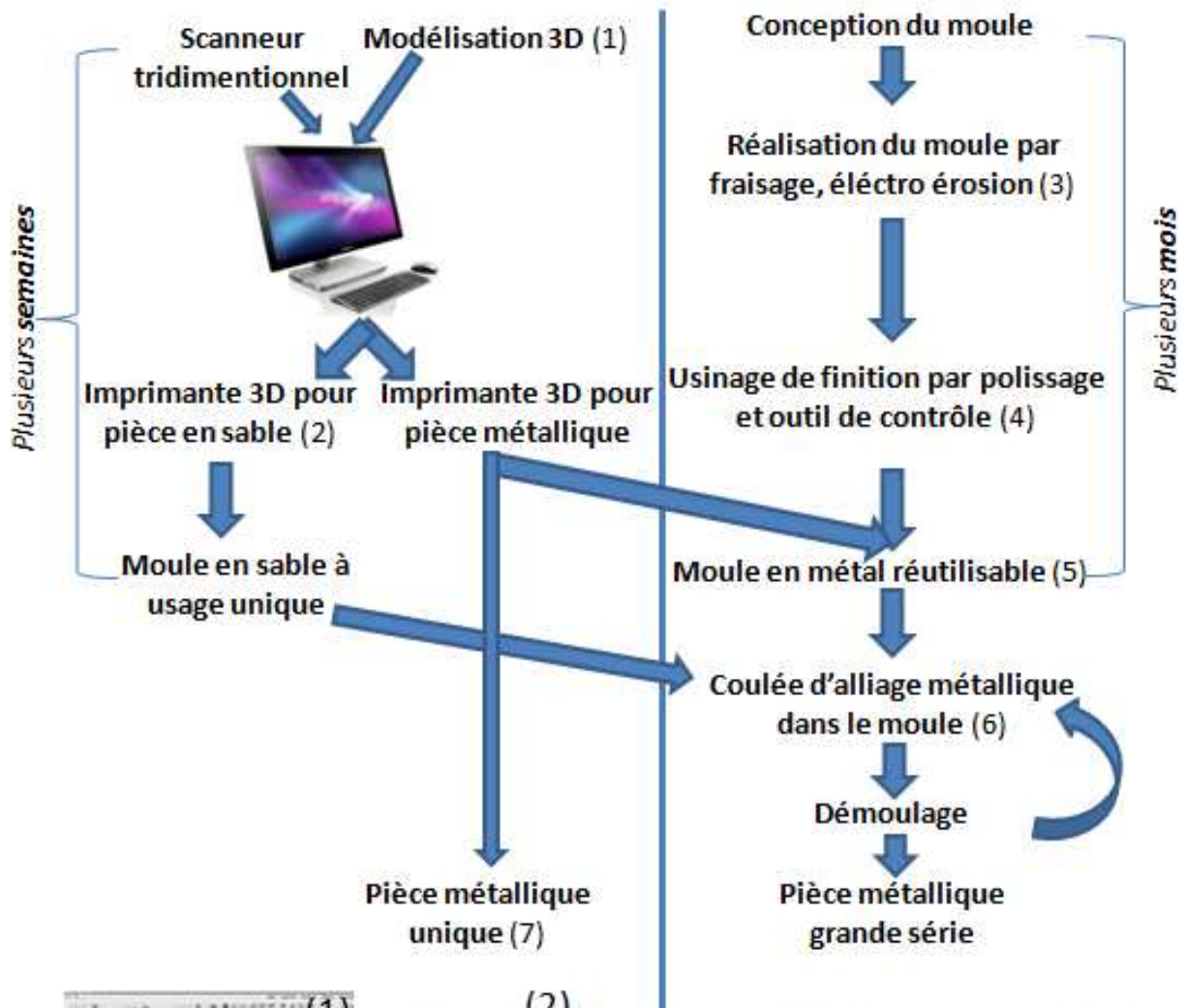


Illustration 7 : substitution et complémentarité des imprimantes 3D dans la technique traditionnelle de fabrication de pièce métallique par moulage.

### I.3 Les avantages et les inconvénients des imprimantes 3D

Malgré leurs nombreux avantages, les imprimantes 3D restent des technologies émergentes et présentent encore des inconvénients. Les principaux avantages sont de :

- Réaliser un objet **sans perdre de matière première**. Ce qui peut être très intéressant quand la matière première est chère.
- **Réparer les pièces cassées** d'un appareil sans faire appel au circuit des pièces détachées.
- Fabriquer **des pièces à géométries internes complexes** irréalisables par moulage. L'industrie aéronautique produit des pièces dont la géométrie est les plus complexes.
- Les objets complexes nécessitant l'assemblage de plusieurs pièces pourraient être réalisés en une seule pièce et donc éviter les étapes de montage.
- **Réduire le temps de développement** d'un produit en produisant directement un prototype 3D à la demande. Il faut traditionnellement quatre à six semaines pour concevoir un moule avant de pouvoir produire une pièce. Cette même opération ne prend que quelques heures avec une imprimante 3D et permet ainsi d'identifier rapidement les erreurs de conception du prototype.
- Produire en petites séries.
- **Réduire considérablement les coûts des phases de pré-industrialisation.**
- **S'exempter du matériel, des machines et des compétences pointues que requiert le métier de machiniste-mouliste** pour concevoir des moules 3D imprimés en cire, en sable<sup>11</sup> ou en métal afin de fabriquer des pièces métalliques ou dans d'autres matériaux. Ces moules<sup>12</sup> pourront être utilisés pour la production rapide en grande série du produit final.
- S'exempter du matériel, des machines et des compétences pointues que requiert le métier de machiniste-mouliste pour produire des prototypes et de petites séries.
- Permet de **s'exempter des techniques de fonderie<sup>13</sup> ou d'injection<sup>14</sup>** (machiniste-mouleur) pour produire des prototypes et des petites séries.
- Les pièces produites par impression 3D ne subissent **pas le stress de l'injection** : leur **résistance mécanique est donc différente** de celles de pièces qui sont produites d'une manière classique.
- **L'obtention d'un fichier 3D d'une pièce suffit à la réalisation d'un objet**. Il n'est donc pas utile de posséder la pièce pour la reproduire. Attention, le contrôle aux exportations devrait s'appliquer aussi aux fichiers.
- **L'utilisation d'un scanner peut palier l'absence du fichier**. Si l'utilisateur dispose de la pièce à réaliser il peut faire de la rétroconception de celle-ci. Si la vulgarisation

---

<sup>11</sup> Les moules en sable sont à usage unique contrairement aux moules métalliques qui sont réutilisables. Le démoulage est rendu possible par la différence de matière entre le moule et le métal coulé.

<sup>12</sup> Les pièces produites à partir de moule peuvent être réalisées par injection de matériaux plastiques ou être destinés aux secteurs de la fonderie pour fabriquer des pièces métalliques.

<sup>13</sup> Pour les pièces métalliques. La fonderie requiert une compétence particulière car les métaux sont fondus à très haute température et ils dégagent des rejets toxiques.

<sup>14</sup> Pour les pièces plastiques et autres matériaux.

des scanners est atteinte, la qualité de ceux-ci reste importante lors de la réalisation d'objet par imprimante 3D.

Les principaux inconvénients sont de :

- Avoir une gamme de **couleurs et de matériaux plastiques limitées** pour les imprimantes 3D grand public. Pour la fabrication de pièces métalliques tous les métaux ne sont pas encore utilisables mais cela tend à changer.
- Les imprimantes laser nécessitent de **disposer d'un atelier et d'un opérateur spécialisé**.
- La **surface des objets produits n'est pas parfaite**. Elle laisse apparaître les couches d'impression. Cependant, la technique de polymérisation de résines par lumière visible ou ultraviolet offre une qualité de surface d'une précision de 15  $\mu\text{m}$ . L'impression métallique peut offrir une précision de 25 à 30  $\mu\text{m}$ , la qualité de la poudre jouant un rôle important dans la précision.
- La **taille des objets fabriqués est également limitée**. Toutefois, cette limitation peut être contournée en fabriquant un objet de taille conséquente en plusieurs fois. Avec le modèle Fortus 900mc de Stratasys (Israël), équipé d'un bac de 91,4 cm x 61 cm x 91,4 cm, il devient possible d'imprimer des pièces plastiques de grande taille. Le *State Key Laboratory of Solidification Processing, Northwestern Polytechnical University* (NPU), en Chine a récemment démontré qu'il été possible de fabriquer une aile centrale d'avion de 5 mètres.
- Si l'utilisateur souhaite créer un objet dont il n'a pas le fichier 3D, il devra **maîtriser les logiciels de modélisation 3D** qui, gratuits ou payants, sont souvent difficiles à comprendre pour un utilisateur classique.
- Les **prix d'une imprimante 3D commencent à mille euros et montent jusqu'à un million d'euros** pour un équipement utilisant du frittage laser.
- Selon les procédés, la vitesse actuelle de fabrication de pièces **ne permet pas d'envisager la production en grande série**.
- **L'accès à la matière première qui est utilisée pour imprimer est un enjeu**. En effet, la qualité de la matière première a un impact sur la qualité du produit final. Des recherches sont effectuées en Chine pour améliorer les poudres utilisées<sup>15</sup> afin d'améliorer la densité de l'objet, la qualité de surface ou sa capacité à se déformer. Le coût de la matière reste élevé même pour les objets plastiques. Des recherches sont également menées en Chine afin de réduire la consommation en matière lors de l'impression et de diminuer la quantité de déchets<sup>16</sup>. Certaines entreprises internationales ont même racheté leur fournisseur de matière première.

---

<sup>15</sup> LI Xiao-yan, ZHANG Shu, YU Deng-guang, « Application of uniform design method in research of three dimensional printing's powder », Journal of University of Shanghai for Science and Technology, février 2007.

<sup>16</sup> Weiming Wang, Tuanfeng Y. Wang, Zhouwang Yang, Ligang Liu, Xin Tong, Weihua Tong, Jiansong Deng, Falai Chen, Xiuping Liu, "Cost-effective printing of 3D objects with skin-frame structures", ACM Transactions on Graphics, 6 novembre 2013.

**Si les freins sont nombreux, ils sont pour la plupart en passe d'être levés, ce qui rendrait d'autant plus intéressant l'utilisation de l'imprimante 3D pour le secteur militaire.** En plus des avantages précédemment cités qui ne sont pas spécifiques au domaine militaire, on peut ajouter :

- **Les pièces de rechanges** : la gestion des pièces de rechange pour les systèmes d'armes est une tâche complexe, fastidieuse et coûteuse impliquant des stocks importants. Beaucoup de systèmes militaires, y compris les avions, sont de plus en plus utilisés au-delà leur durée de vie initialement prévue, avec un risque de disposer de pièces potentiellement défectueuses. Étant donné que beaucoup de ces pièces ne sont plus produites, les refaire par usinage peut prendre souvent plusieurs années, sans compter le temps supplémentaire pour la qualification et la livraison. L'impression 3D a été identifiée comme une solution potentielle aux problèmes d'inventaires liés pièces de rechanges. A court terme, les composants les plus susceptibles d'être fabriqués par impression 3D ont des dimensions inférieures à 30 centimètres cube et sont faits de matériaux à haute valeur (exemple : le titane...) <sup>17</sup>. Expédier des fichiers numériques à la place des pièces pourrait accroître l'efficacité de la chaîne logistique et des infrastructures de défense associées, notamment par la réduction des inventaires. Moins d'énergie serait utilisée pour conditionner, transporter et stocker les pièces de rechange. Cette réduction de stockage serait un grand avantage pour des systèmes d'armes à espace limité tels que les sous-marins, qui nécessitent un grand nombre de pièces de rechange lors de leur service.

- **Les composants pour systèmes d'armes** : de nombreux organismes liés à la défense, en particulier aux États-Unis, ont montré un intérêt pour la R&D ainsi que pour l'approvisionnement de composants fabriqués par impression 3D. Par exemple, l'*US Air Force* mène des recherches sur les méthodes de production par imprimantes 3D pour des pièces métalliques destinées à des avions, des éléments de réacteurs et des résines plastiques pour les aéronefs téléguidés (drones). L'*US Navy* effectue des recherches sur la façon de qualifier rapidement les pièces produites à l'aide de nouvelles techniques comme la fabrication additive pour réduire le temps d'acquisition de 8 à 28 mois à un délai de 2 et 7 semaines <sup>18</sup>.

- **L'entretien et les réparations** : une utilisation croissante des imprimantes 3D est la réparation de pièces et outils de valeur qui sont endommagés. Les procédés utilisés pour la réparation peuvent travailler localement en dehors d'un atelier, les réparations pouvant être effectuées sur des pièces et des outils qui sont sensiblement plus grands que ce qui peut être construit par la plupart des imprimantes 3D. Ainsi, l'*US Army* a utilisé un procédé développé dans les années 1990 par le *Sandia National Laboratory*, le *Laser Engineered Net Shaping* (LENS) pour réparer les turbines du char Abrams M1 <sup>19</sup>.

---

Jun Xiong, Guangjun Zhang, Zhilong Qiu, Yongzhe Li, " Vision-sensing and bead width control of a single-bead multi-layer part: material and energy savings in GMAW-based rapid manufacturing", Elsevier Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 27, Issue 3, Pages 641–645, juin 2011.

<sup>17</sup> Frazier, William E, *Direct Digital Manufacturing of Metallic Components: Vision and Roadmap*. Présentation réalisée lors du Direct Digital Manufacturing of Metallic Components: Affordable, Durable, and Structurally Efficient Airframes, Solomons Island, MD, 2010.

<sup>18</sup> Frazier, William E., and Malinda Pagett, Additive Manufacturing: Direct Digital Manufacturing of Metallic Components. In *2011 Commercial Technologies for Maintenance Activities (CTMA) Symposium*. Quantico, VA, 2011.

<sup>19</sup> Fink, C.W, "An Overview of Additive Manufacturing, Part I." *AMMTIAC Quarterly*, no. 4 (2), 2009, p7-11.

Il est difficile de calculer l'économie réalisée si l'on utilise l'imprimante 3D à la place de la technique de moulage car, pour cette dernière, si le prix du moule est important, l'amortissement se fait sur un grand nombre de pièces. Cependant, le secteur militaire fonctionne avec un nombre de pièces produites par moule limité. Le coût de la fabrication du moule pèse donc d'avantage sur le prix de chaque pièce. En utilisant l'imprimante 3D, qui évite l'étape coûteuse de la fabrication du moule, le prix de revient d'une pièce peut être réduit pour des séries limitées. Dans d'autres secteurs, bien que l'objet fabriqué par impression 3D a un coût linéaire avec la quantité, la technique traditionnelle reste à privilégier car elle a la particularité de réduire les coûts avec la quantité. Par exemple, la fabrication de composants en plastique ABS devient rentable par imprimante 3D si la quantité n'excède pas environ 1 500 pièces.

**Même si les coûts de l'impression de pièces métalliques restent élevés, cette technologie permettrait surtout à certain pays d'acquérir une indépendance.**

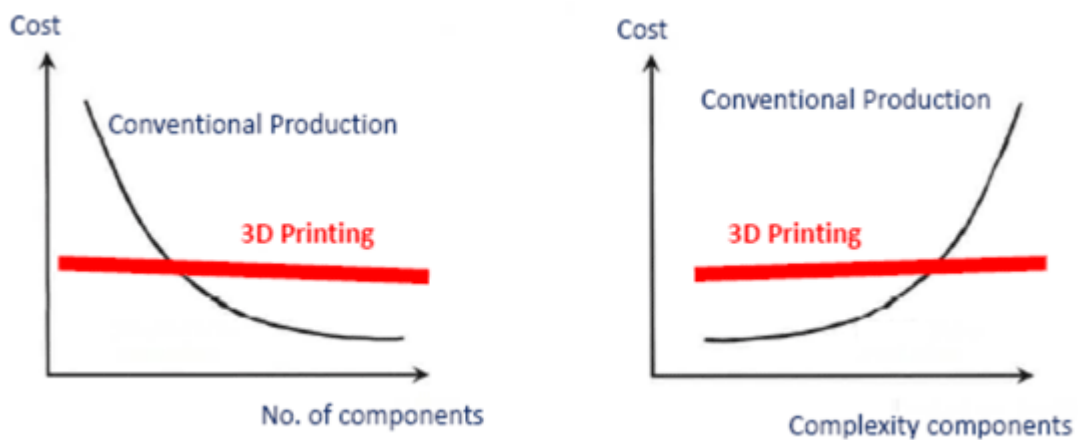


Illustration 8 : coût de revient d'une pièce produite par imprimante 3D et par la technique traditionnelle de moulage<sup>20</sup>.

<sup>20</sup> « PM-13 India: Special Session focuses on Additive Manufacturing », powder metallurgy review, 27 mars 2013.



## **I.4 Les poudres métalliques : une industrie restreinte et localisée**

Les technologies d'imprimantes 3D *Selective Laser Sintering (SLS)*, *Selective Laser Melting (SLM)*, *Electron Beam Melting (EBM)* et *Laser Metal Deposition (LMD)* utilisent de la matière première sous forme de poudre métallique. Cependant, la qualité de ces poudres influence beaucoup le produit final. Par exemple, une morphologie sphérique, une taille régulière des particules et une densité élevée, confèrent de bonnes propriétés d'écoulement à la poudre métallique. De plus, la taille de la poudre joue sur les performances mécaniques et la surface de l'objet réalisé (les poudres à faibles teneurs en oxygène se traduisent par des microstructures propres et de faibles niveaux d'inclusion dans les pièces finies).

**Certain de ces matériaux peuvent être plus résistants lorsque la pièce est fabriquée par une imprimante 3D plutôt que par la technique traditionnelle de moulage.** Pour améliorer encore ces performances, il est possible de compléter le processus par une étape de finition avec un traitement H.I.P.<sup>21</sup> qui permet de densifier encore plus la pièce et de diminuer sa porosité<sup>22</sup>.

Les recherches avancent à grands pas dans ce domaine et il est désormais possible de produire des pièces aux propriétés physiques plus intéressantes que celles réalisées avec la fabrication soustractive traditionnelle (usinage). Des chercheurs ont, par exemple, développé une technique qui permet de modifier jusqu'à la structure atomique du métal utilisé, créant ainsi un métal qui se solidifie plus rapidement et plus uniformément lors de son passage à l'impression. Avec les imprimantes 3D basées sur la technologie EBM, SLM et DMLS, **l'impression peut se faire dans une atmosphère sans oxygène (gaz argon par exemple).** Alors que la majorité des moulages sont effectués à l'air libre, l'inclusion d'oxygène qui fragilise l'objet est donc moins importante avec une imprimante 3D.

L'acier a été le premier métal commercialement disponible pour la fabrication additive. Depuis plusieurs métaux sont utilisables : l'**acier maraging**, le **titane**, le **cobalt-chrome**, l'inconel, l'aluminium, l'acier inoxydable, l'or, la zircone, l'alumine, le platine, le hastelloy, le bronze, le nickel, le fer et l'argent. La société anglaise METALYSE a développé un procédé adapté pour la production du métal d'oxyde à partir de **terres rares**.

### **L'acier maraging**

Résistant à la rupture, ce type d'acier est principalement utilisé pour fabriquer de l'outillage rapide et des moules pour leur dureté (50 HRC sur l'échelle C de Rockwell). Ils supportent également très bien le polissage.

### **Le chrome-cobalt ses alliages**

Les alliages à base de cobalt, et en particulier le chrome-cobalt, sont utilisés pour les procédés de moulage à cire perdue. Désormais, ils peuvent être employés en fabrication additive, notamment grâce à la technique EBM.

Le CoCrMo est l'alliage de cobalt-chrome le plus fréquent dans la réalisation de prothèses médicales. Extrêmement rigide, il possède un état de surface très lisse tout en étant très résistant à l'usure.

Des alliages combinant cobalt, chrome et molybdène servent couramment pour des applications biomédicales et pour l'ingénierie à haute température (turbines, aérospatiale).

### **Le titane et ses alliages**

---

<sup>21</sup> La compression isostatique à chaud est une forme de traitement thermique qui utilise une pression élevée.

<sup>22</sup> Avec la technique SLM sans atmosphère contrôlé et sans finition les pores sont inférieurs à 20 microns.

Ils se caractérisent par leur excellente solidité, un faible poids et une résistance à la corrosion hors du commun. C'est pour ces raisons que l'on retrouve ce métal dans beaucoup de domaines exigeants comme la chirurgie, la médecine, l'aérospatiale, l'automobile, l'industrie chimique, l'extraction de pétrole ou de gaz, etc.

Cependant, les techniques traditionnelles de fabrication en titane s'avèrent complexes et coûteuses. Ce métal est en effet difficile à travailler car il durcit rapidement, ce qui nécessite des outils de haut niveau. Par ailleurs, durant la phase de soudure, il est souvent contaminé par des impuretés qui risquent de le fragiliser. C'est pourquoi l'impression 3D apparaît aujourd'hui comme la meilleure technologie existante pour réaliser des pièces en titane, car elle permet de travailler le métal sans contraintes, et d'éviter la phase risquée de soudure.

Il faut noter que les alliages à base de titane sont plus solides que le matériau pur. L'alliage Ti6Al4V est le plus courant, notamment dans l'aérospatiale, l'industrie automobile et la marine.



Les techniques permettant de produire ces poudres sont complexes et spécifiques. La plupart des fabricants sont donc indépendants des entreprises d'imprimantes 3D. Cependant, on observe depuis peu plusieurs rachats de société fabricantes de poudre par des entreprises d'imprimantes 3D :

- Le fabricant de machine EBM, *Arcam* (Suède) a racheté *AP&C* de *Raymor Industries* (Canada) qui est un fabricant international de poudres métalliques de haute qualité dont des poudres de titane ;
- Le fabricant américain de machine SLA et SLS, *3D Systems*, a racheté en 2012 la société américaine *Z Corporation* qui crée ces composites ;
- *3D Systems*, a aussi racheté la société française *Phénix Systems* (à Riom) qui avait développé avec la société française *Sint-tech* des poudres d'acier maraging, d'alliage chrome-cobalt et d'acier inoxydable. La société est néanmoins restée en France ;
- Le fabricant de machine israélien *Stratasys Inc.* a racheté la société *Objet Ltd.* qui produit des imprimantes 3D, des consommables de résine sous forme de cartouche, et propose des services.

Les dates de création des entreprises fabricantes de poudre laissent à penser que leur activité ne s'est pas construite à partir de ce type de produit. Les fabricants de poudre ne vendent que la poudre, à l'exception de la société suédoise *Arcam* qui **vend aussi la seule machine commercialement disponible pour la fabrication de poudre d'alliage de titane.**

Les constructeurs ont déposé des brevets sur leurs imprimantes 3D, mais aussi sur les composants compatibles avec celles-ci. Chaque fabricant possède donc sa propre gamme de matériaux imprimables.

L'étude a permis de détecter onze fabricants de poudre métallique :

- 3 américains (ExOne, 3D Systems/Z Corporation/Phenix systems et Stryker Orthopaedics)
- 2 français (Dentorum, Creatix 3D)
- 2 suédois (Arcam et Sandvikvend Materials)
- 1 hollandais (VDM Alloys)
- 1 allemand (EOS GmbH Electro Optical Systems)
- 1 anglais (Metalysis)
- 1 israélien (Objet Ltd./ Stratasys Inc.)

**Aucune de ces sociétés ne se trouve en Asie. Elles sont toutes situées dans des pays où existent de forts contrôles aux exportations. De plus, ceux-ci sont membres des régimes multilatéraux (à l'exception d'Israël). De nombreux matériaux et alliages sous forme de poudres utilisables dans l'aéronautique (titane, niobium, chrome-nickel...) sont inscrits sur les listes de biens et technologies à contrôler alors que d'autres (certaines terres rares, l'acier maraging, et en règle générale les matériaux du domaine nucléaire) ne le sont pas. Les techniques de fabrication de ces poudres ne sont également pas contrôlées. Même en détenant la technologie d'imprimante 3D, il n'est pas possible de fabriquer des pièces sans ces poudres. Le contrôle de ces poudres est donc un élément primordial. Consulter le détail de ces onze sociétés en annexe 2 : liste des organismes publics, des entreprises, des publications et des brevets chinois (Liste des entreprises à l'international qui fabriquent des poudres métalliques).**

## **I.5 Le prix de la technologie**

Pour évaluer le coût de l'impression 3D, il faut considérer l'achat de l'imprimante 3D sans oublier de comptabiliser le coût des éléments consommables (poudre métallique par exemple) et éventuellement le coût d'un scanner.

### **Prix des imprimantes 3D**

Les prix des imprimantes 3D commencent à 400 € et peuvent s'élever à un million d'euros. Le tarif des imprimantes 3D professionnelles peut varier en fonction de la technologie, du nombre de couleurs que l'imprimante utilise (pour des objets en plastique), de la qualité de la finition de l'objet qui dépend de l'épaisseur de couche (exprimée en  $\mu\text{m}$ ), de la vitesse d'impression, de la taille de l'objet imprimé, des matériaux utilisables pour l'impression, etc.

Le tarif des imprimantes 3D grand public varie de 400 à 2 000 €. Il faut compter 400 € pour une impression en plastique de dimension 15x15x15 centimètres mais les tarifs sont en baisse. Un projet vise à commercialiser l'impression 3D par la stéréolithographie SLA à partir de 70 €<sup>23</sup>. Si les imprimantes 3D grand public n'utilisent que des matériaux en plastique, le développement d'un **dispositif qui imprime des pièces métalliques pour seulement 1 500 €** est en cours dans une Université du Michigan<sup>24</sup>.

Il faudra compter 90 000 € pour une imprimante 3D qui fabrique des objets en résine par technologie Modelage à jets multiples<sup>25</sup> avec une finition de 16  $\mu\text{m}$ .

Pour une imprimante destinée aux prothésistes dentaires permettant la fabrication précise avec une cire spécifique par la technologie Modelage à jets multiples avec une finition de 29  $\mu\text{m}$ , le montant peut commencer à 90 000 €.

Pour une imprimante 3D utilisant une technologie Modelage à jets multiples, permettant une productivité maximale, d'une dimension de 380x380x250 mm et une finition d'une épaisseur de couche de 0,05 mm, la valeur oscille entre 190 000 et 260 000 €.

Pour une imprimante 3D couleur permettant la fabrication de modèles en résines monochrome ou polychrome soit solides, soit souples (comme avec un élastomère), soit résistants à la température, pouvant faire des moules utilisables en fonderie de métaux non ferreux (aluminium), compter entre 15 000 € et 100 000 € avec la technologie impression par poudres.

700 000 € seront nécessaires pour une imprimante basée sur la technologie SLS permettant de créer des objets de dimension de 250x250x180 cm.

### **Prix de la matière première métallique**

Le prix des matériaux en poudre est beaucoup plus élevé que les matériaux en bloc. Le coût de la poudre de titane varie entre 150 et 600 euros le kilogramme car la technique de fabrication comporte une dizaine d'étapes (voir annexe 1 : direct production of titanium

---

<sup>23</sup> Gilbert Kallenborn, « Une imprimante 3D pour seulement 70 euros, sur Kickstarter », *01net*, 23 septembre 2013.

<sup>24</sup> Marine Goy, « Une imprimante 3D de pièces en métal pour 1500 dollars », *Les numeriques*, 9 décembre 2013.

<sup>25</sup> La pièce est réalisée par dépôt de gouttes de résine thermodurcissable (proche acrylique, polypropylènes ou cire)

powder from titanium ore by perform reduction process). Il faut compter environ 400 € pour 100 grammes de poudre d'argent.

L'entreprise britannique MetalYSIS vient de mettre au point une technique de production à bas coût (75% de réduction) de poudre de titane par électrolyse qui transforme l'oxyde métallique en poudre de titane.

Les prix des matériaux peuvent donc être un frein à la démocratisation de la technologie mais ils évoluent aussi très vite.

### **Prix des scanners tridimensionnels**

Le scanner est un outil important dans l'utilisation d'une imprimante 3D si l'utilisateur possède la pièce mais pas le fichier. Les premiers prix commencent à 220 €. Cependant, pour une utilisation dans le secteur de l'aéronautique par exemple, la résolution du scanner est un critère important, car elle doit atteindre quelques microns. La technologie repose sur un balayage laser sans contact, ou sur de la palpation. Les applications de ces technologies ne sont pas limitées seulement aux imprimantes 3D. Ces scanners peuvent aussi servir à vérifier la conformité des moules ou faire passer les tests de conformité, dans le secteur automobile par exemple. Le coût d'appareils performants monte jusqu'à 90 000 €. Il n'existe que très peu de fabricants dont trois sont en Allemagne, deux au Canada, un au Japon, un au Royaume-Uni et un aux États-Unis. Les entreprises françaises se positionnent aussi sur ce secteur :

- Kreon (kreon.fr) est très présente dans le secteur automobile et aéronautique.
- Tomo Adour se focalise sur les scanners à rayon X et la topographie industrielle.

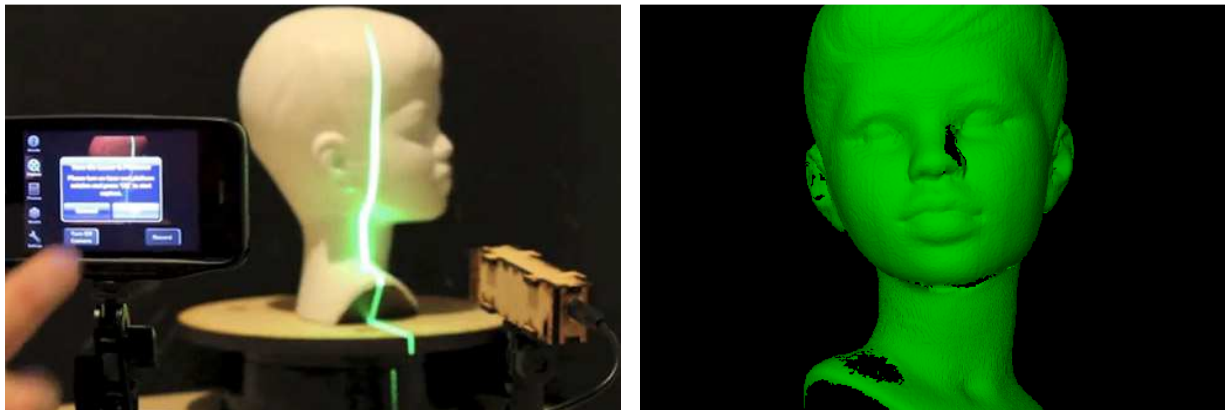
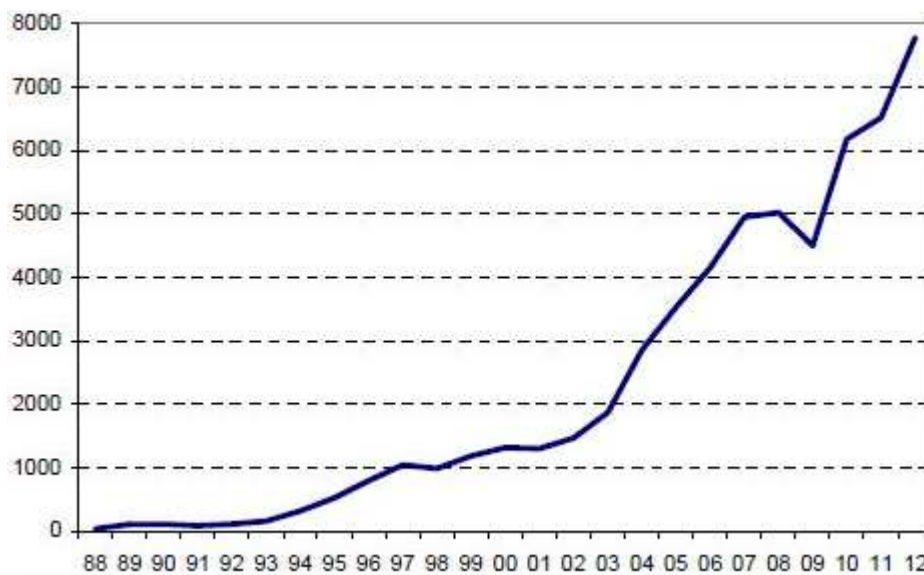


Illustration 9 : utilisation du scanner pour créer un fichier utilisable en impression 3D.

## I.6 Le marché des imprimantes 3D

Le chiffre d'affaires de ce secteur a augmenté de plus de 28 % au cours de l'année 2012 en comptant tous les types de revenus tels que les services et ventes d'équipements (Rapport Wohlers). D'après le graphique ci-dessous, le nombre de machines professionnelles vendues reste faible, mais il suit aussi une nette augmentation.



Source: Wohlers Report 2013

Illustration 10 : estimation du nombre de ventes d'imprimantes 3D professionnelles dans le monde.

Selon le Rapport Wohlers de 2013, les États-Unis détiennent près de 40 % de tous les systèmes d'impression 3D industrielle vendus dans le monde, suivis par le Japon (9,7 %), l'Allemagne (9,4 %) et la Chine (8,7 %). Cependant, les États-Unis perdent progressivement leur position de leader sur le marché des systèmes d'impression 3D de qualité professionnelle. Seize producteurs sont actuellement installés en Europe, sept sont basés en Chine, deux au Japon et seulement cinq aux États-Unis. C'est un changement radical comparativement à 2002, lorsque cette répartition était de dix aux États-Unis, sept en Europe, sept au Japon, et trois en Chine.

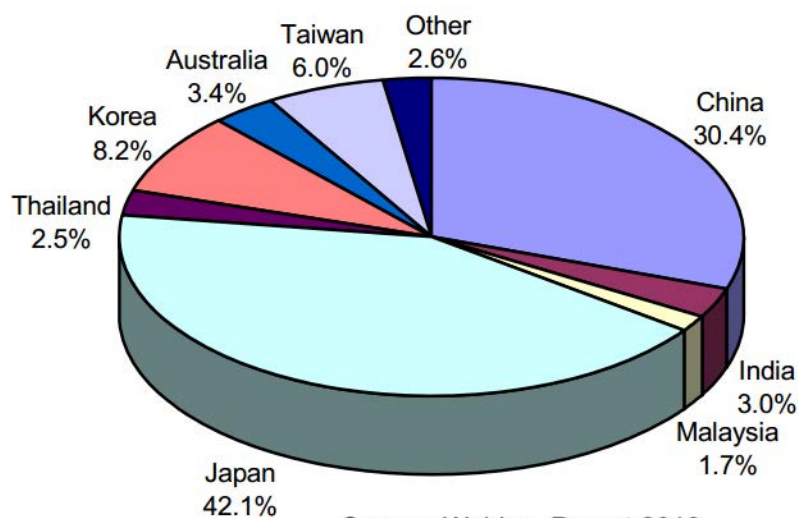
Selon ce même rapport, tous les systèmes de fusion sur lit de poudre métallique (*Power Bed Fusion*) sont fabriqués en dehors des États-Unis : sept fabricants de ces systèmes sont en Europe et deux sont en Chine.

Notre étude a permis de vérifier qu'il n'existe en Chine que deux entreprises qui fabriquent et vendent des technologies d'impression 3D permettant de produire des pièces métalliques, grâce à la technologie DMLS (11. *Longyuan Automated Fabrication Systems Ltd*) et SLM (6. *Wuhan Binhu Mechanical & Electrical*). Voir chapitre ci-après.

La perception des enjeux est clairement exprimée par Luo Jun, directeur général de l'Association des fabricants asiatiques (AMA). Celui-ci est convaincu que la Chine dépassera probablement les États-Unis et dominera le marché mondial de l'impression 3D dans les trois ans à venir, avec une production s'élevant aujourd'hui à 1,2 milliards d'euros.

On estime que 26,9% de tous les systèmes installés dans le monde sont situés dans la région Asie-Pacifique. 28,2% sont en Europe et 40,8% sont aux États-Unis. Les 4,1% restant sont au Canada, en Amérique Centrale, en Amérique du Sud, au Moyen-Orient et en Afrique.

Comme le montre l'illustration ci-dessous, près des trois quarts des systèmes installés en Asie le sont au Japon et en Chine. Le segment « Autres » comprend le Brunei, l'Indonésie, la Mongolie, la Nouvelle- Zélande, les Philippines, Singapour et le Vietnam.



Source: Wohlers Report 2010

Illustration 11 : distribution cumulative des imprimantes 3D dans la région Asie-Pacifique jusqu'à la fin de l'année 2009.

Le nombre de publications mondiales sur l'impression 3D a augmenté à progressivement entre 1995 et 2003 avant de se stabiliser. Entre 2005 et 2009 les États-Unis, la Chine, l'Allemagne et le Royaume-Uni avaient les plus hauts taux de publication.

Les publications américaines ont rapidement augmenté en 1992 après avoir atteint un pic en 2006 avant de décroître. L'Allemagne et le Royaume-Uni avaient tous deux des taux de publication similaires, c'est-à-dire une augmentation après avoir culminés en 1994 et 2003. Le taux de publication de la Chine montre une augmentation après 1998, avec un pic en 2009.

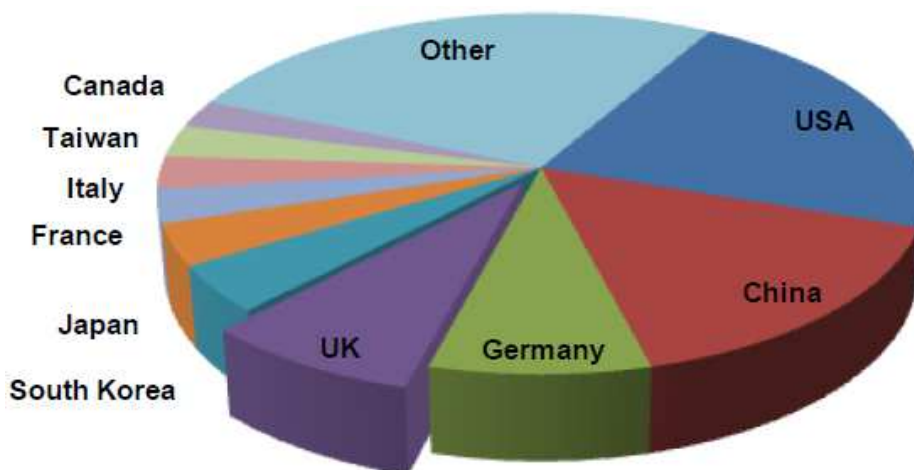


Illustration 12 : comparaison des parts de publication entre 2005 et 2009<sup>26</sup>.

Ces deux dernières illustrations montrent que la Chine est plus présente en matière de recherche qu'en acquisition d'équipement.

<sup>26</sup> *Additive Manufacturing*, Dstl Science & Technology Foresight Briefing Paper, Issue 1.1, décembre 2012.

## II. Etat de l'art de la Chine

### Données de base chinoises

Population (2011)	1,34 milliard
Superficie	9,6 millions de km <sup>2</sup>
Densité de population moyenne (2011)	144 habitants/km <sup>2</sup>
PIB (2012)	8 700 milliards de \$
PIB/habitant (2010)	4 382 \$
IDH (2012)	0,69

La Chine, Singapour, de nombreux pays en Europe, et même l'Afrique du Sud, vont investir dans le développement et la commercialisation de la fabrication additive au cours des prochaines années.

En Chine, comme aux États-Unis, l'industrie de la défense et le secteur militaire jouent un rôle important dans le développement et l'application de la fabrication additive. Cela est particulièrement vrai dans l'aérospatiale.

La Chine a commencé à travailler sur l'utilisation du titane par *Laser Additive Manufacturing* (LAM) en 1995, soit trois ans après que les États-Unis aient rendu public des travaux classifiés commencés dix ans plus tôt par le Département de la Défense<sup>27</sup>. Différents types de LAM existent. Le *Laser Metal Depositing* (LMD) est la méthode sur laquelle la plupart de la recherche chinoise semble s'être concentrée<sup>28</sup>.

Au début, la Chine a tenté de répliquer les progrès réalisés aux États-Unis en établissant des centres de recherche dans les universités et en créant des instituts de recherche. En 2000, le professeur Wang Huaming de la *Beihang University/Beijing University of Aeronautics and Astronautics* BUAA à Pékin, a formé une nouvelle équipe de recherche. Avec le soutien financier issu de nombreuses sources (département Général de l'Armement de l'Armée Populaire de Libération, la Commission pour la Science, la Technologie et l'Industrie de la Défense Nationale, la Fondation Nationale pour les Sciences Naturelles et les programmes 973 et 86), cette équipe a développé durant une dizaine d'années la technologie LMD. En janvier 2013, elle a reçu le premier prix du Prix d'Etat de l'invention technologique pour les dépôts de métaux au laser qui ont permis de produire ce qui est prétendu être le plus grand composant en titane créé par impression 3D au monde. C'est un aileron de cinq mètres de long qui sera utilisé dans l'avion de transport C919.

Depuis plusieurs années, les médias chinois se font écho des avancées réalisées dans le pays en matière d'impression 3D. Ils soulignent en particulier l'utilisation de cette technologie pour la fabrication de composants dans les avions de combats (J-15, J-16, J-20 et J-31), les avions de transport militaires (Y-20) ou commerciaux (C919). Ainsi, en mars 2013, lors de la Conférence Consultative du Peuple Chinois, le chef concepteur du programme d'avion J-15, Sun Cong, a présenté les dernières avancées de l'utilisation de l'impression 3D à finalité militaire<sup>29</sup>.

<sup>27</sup> "Titanium Alloy 3D Printing—2012 First Prize Invention in China".

<sup>28</sup> Eric Anderson, Additive Manufacturing in China : Aviation and Aerospace Applications, *SITC Bulletin Analysis*, mai 2013, p.1.

<sup>29</sup> China to Launch World's First Use of 3D Printing Technology in New-Generation Fighters, *Eastday Military*, 21 mars 2013, <http://mil.eastday.com/m/20130321/u1a7271729.html>.



**En investissant sur cette technologie, le gouvernement chinois espère renforcer son industrie de défense et jouer un rôle important dans la prochaine révolution technologique industrielle.**

## **II.1 L'investissements déterminants du gouvernement chinois**

Lors du Forum *International Additif* de 2012 et de la 6<sup>ème</sup> conférence chinoise *Additif National Manufacturing*, Bo Su, le vice-ministre de l'Industrie et des technologies de l'information, a déclaré que l'impression 3D va profondément affecter l'avenir de l'industrie de la fabrication, et que la Chine va ainsi renforcer l'ensemble de la planification et de la conception de haut niveau.

Le ministère de l'Industrie et des technologies de l'information a jeté **les bases d'une stratégie nationale pour le développement de la technologie d'impression 3D** à long terme. Les rapports de l'administration centrale du mois de janvier 2014 précisent que **les autorités centrales ont élaboré et confirmé un plan d'investissement de près de 170 millions d'euros pour un programme de sept ans, dans le but de devenir un leader mondial dans l'impression 3D.**

La Chine souhaite également **développer un écosystème innovant autour des imprimantes 3D**. Elle va donc établir un environnement administratif favorable et utiliser des incitations fiscales pour accélérer le développement de la technologie d'impression 3D. Le gouvernement central compte parrainer des programmes de R&D à l'instar de ce que vont faire les gouvernements provinciaux et les autorités municipales.

Juin Luo, le directeur général de l'*Asia Manufacturing Association* (AMA) à Pékin, a lancé le *3D Printing Technology Alliance* mondiale en juin 2013<sup>30</sup>. Son principal objectif est de promouvoir la coopération industrielle dans le secteur de l'impression 3D. Wang Huaming, professeur de science des matériaux à l'école d'ingénieurs de l'Université d'aéronautique et d'astronautique de Pékin, est le président de cette alliance. Les organisations membres comprennent l'Université de Tsinghua, la *Wuhan Binhu Electronic Technology Company*, etc.

**L'AMA prévoit de créer 10 instituts d'innovation sur l'impression 3D dans 10 villes chinoises, avec un financement initial de 14 millions d'euros par institut.** Ces instituts comprendront des centres de formation et des salles d'exposition où les dirigeants de l'industrie pourront en apprendre davantage sur la technologie et ses évolutions. En mars 2013, l'AMA a signé un accord pour établir le premier de ces centres dans la zone de Nankin. L'AMA prévoit que le marché de l'impression 3D en Chine devrait atteindre 1 milliards d'euros en 2016.

A l'heure actuelle une grande partie des 57 millions d'euros de soutien au développement des imprimantes 3D provient de la défense. La Chine est particulièrement intéressée dans la recherche afin d'utiliser l'impression 3D pour accroître l'efficacité de son armée de l'air, en particulier dans la production de sa prochaine génération d'avions de chasse, les J-20 et J-31.

Dans le cadre de cet investissement de 57 millions d'euros, la Chine étudie le frittage laser comme moyen de réduire les coûts de travail du titane pour la réalisation de composants pour l'aérospatiale.

---

<sup>30</sup> Evènement annoncé lors de la conférence « 2013 World 3D Printing Technology Industry Conference ».

## **II.2 Des acteurs chinois centralisés et axés sur l'impression de pièces métalliques**

La Chine est l'une des premières nations à s'être intéressée aux imprimantes 3D. Les ingénieurs chinois ont commencé à explorer le potentiel de l'impression 3D à la fin des années 1990, peu de temps après que la technologie américaine fut introduite en Chine par Yan Yongnian (professeur de génie mécanique à l'Université de Tsinghua).

L'activité a commencé à Pékin (Beijing) et elle s'est étendue à la province de l'Anhui. Plus récemment, l'intérêt a gagné la province de Guangdong. Les organismes de recherche et les entreprises se concentrent sur la partie orientale du pays, qui est aussi la plus peuplée et la plus dynamique.

Actuellement, plusieurs universités et instituts de recherche travaillent sur la recherche et le développement de la bio-fabrication, de la céramique, de machines et de matériaux de frittage laser :

- l'Université Tsinghua ;
- l'Université Jiaotong de Xi'an ;
- l'Université Huazhong des Sciences et de la Technologie ;
- l'Université de l'aéronautique et de l'astronautique de Pékin.

Peigen Li, président de l'Université Huazhong des Sciences et de la Technologie a déclaré que la Chine était à égalité avec les pays occidentaux dans le développement et l'application de la technologie d'impression 3D.

### **Méthodologie de recherche**

Les entreprises ou organismes publics retenus pour cette étude développent ou fabriquent des produits qui pourraient potentiellement trouver des applications dans le domaine de la défense dont la fabrication d'armes. Les études, les imprimantes 3D, les matériaux ou les logiciels ciblés visent à fabriquer des objets métalliques (plus particulièrement en titane, acier maraging, terres rares ou chrome-cobalt) par impression directe ou indirecte via l'impression d'un moule. Une attention particulière a été donnée aux imprimantes 3D pouvant produire des objets métalliques de grande taille. Une attention a aussi été portée sur les organismes qui ont une coopération internationale sur le sujet des imprimantes 3D. En dehors des imprimantes 3D spécialisées dans les matériaux plastiques, les imprimantes utilisant par exemple du sable, des cires, du béton, peuvent être utilisées pour fabriquer des moules qui serviront à fabriquer des pièces métalliques. Ces imprimantes n'ont donc pas été écartées.

**Les entreprises et les organismes qui travaillent exclusivement sur des imprimantes 3D utilisant des matières plastiques ou des cellules (construction de tissu) n'ont pas été prises en compte lors de cette étude.**

La recherche de brevets a été réalisée avec la base de données de [worldwide.espacenet.com](http://worldwide.espacenet.com) et [fr.espacenet.com](http://fr.espacenet.com).

La recherche de publications s'est faite sur *Google Scholar* (mots clés utilisés *3D printing* et *additive manufacturing*), moteur de recherche spécialisé dans les publications scientifiques.

D'autres entreprises, qui n'ont pas déposé de brevet ou fait de publication, ont également pu être identifiées.

Cette méthodologie a été appliquée à chaque pays étudiés.

## Résultats

Vingt-neuf organismes publics ont été recensés comme travaillant sur les imprimantes 3D (selon les critères évoqués dans la méthodologie) :

- *Academy of Armored Forces Engineering (AAFE)* ;
- *Beihang University* également appelée *Beijing University of Aeronautics and Astronautics (BUAA)* ;
- *Beijing Institute Graphic Communication (BIGC)* ;
- *Beijing Jiaotong Univeristy (BJTU)* ;
- *China Academy of Launch Vehicle Technology (CALT)* ;
- *China Academy of Machinery Science Technology (CAMST)* ;
- *Chongqing Institute of Green and Intelligent Technology (CIGIT)* ;
- *Dalian University of Technology (DUT)* ;
- *Donghua University* ;
- *Hangzhou University of Electronic Science and Technology/Hangzhou Dianzi University (HDU)* ;
- *Harbin Institute of Technology (HIT)* ;
- *Heilongjiang Institute of Science and Technology (HIST)* ;
- *Hunan University (HNU)* ;
- *Institute of semiconductors, Chinese Academy of Sciences (IOS)* ;
- *Lanzhou Institute of Chemical Physics (LICP)* ;
- *Nanchang University (NCU)* ;
- *Nanjing University of Aeronautics and Astronautics (NUAA)* ;
- *Northwestern Polytechnical University (NPU)* ;
- *Shenyang National Laboratory for Materials Science (SYNL)* ;
- *South China University of Technology (SCUT)* ;
- *Taiyuan University of Science & Technology (TYUST)* ;
- *Tianjin Polytechnic University (TJPU)* ;
- *Tsinghua University (THU)* ;
- *University of Shanghai for Science and Technology (USST)* ;
- *Xi'an University of Technology (XAUT)* ;
- *Xinjiang University (XJU)* ;
- *University Zhejiang (ZJU)* ;
- *University of Hong Kong* ;
- *Xiamen University et Jilin University.*



Illustration 13 : géo-localisation des organismes publics qui travaillent sur les imprimantes 3D en Chine (selon les critères retenus dans l'étude).

L'activité académique se concentre principalement sur Pékin avec 9 organismes publics, suivit de Shanghai avec quatre organismes publics.

Selon les critères évoqués dans la méthodologie, les entreprises recensées sont au nombre de dix-huit :

- Farsoon Hi-Tech Company (1) ;
- Shaanxi Hengtong Intelligent Machine Co., Ltd. (2) ;
- Hunan Aerospace Industry General Corp (3) ;
- Suzhou Bainasi Optical Technology Co Ltd. (4) ;
- Shanghai Union Technology (5) ;
- Wuhan Binhu Mechanical & Electrical Co., Ltd. (6) ;
- Wuxi Andi Lijie Trade Co. Ltd. (7) ;
- Jin Ke Magnetics Co. Ltd. (8) ;
- Caishi Laser Technology (9) ;
- Capital Aerospace Machinery Company (10) ;
- Longyuan Automated Fabrication Systems Ltd. (11) ;
- HLH Prototypes (12) ;
- Trumpssystem Precision Machinery (TPM) (12) ;
- Magicfirm, nom chinois : Hangzhou Ming Chin Network Technology Co. Ltd. (13) ;
- Chengdu Shunkang Electronics Co. Ltd.; Chengdu Shunkang sansen electronics Co. Ltd. (14) ;
- Hangzhou Bishui Huawang Electronics Technology Co. Ltd. (15) ;
- AVIC Laser (17) ;
- ZWSOFT (18).

### Répartition géographique

La moitié des entreprises identifiées se concentre sur la région de Shanghai : entreprises 4, 5, 7, 8, 9, 13, 14 et 16 (voir illustration ci-dessous). On dénombre que deux entreprises dans la région de Pékin (10, 11), de Guangzhou (12 et 17) et de Changsha (1 et 3). Les villes de Xi'an (2), Wuhan (6) et Chengdu (15) n'ont qu'une seule entreprise.

Le plus grand fabricant chinois de systèmes d'impression 3D, *Beijing Tiertime Technology Co.*<sup>31</sup>, ne gère que quelques milliers d'euros de chiffre d'affaires dans ce domaine chaque année. Ses activités traditionnelles, cependant, donnent un chiffre d'affaires de plusieurs dizaines de millions de yuans.

Selon Guo Ge, directeur général de *Tiertime*, les problèmes de qualité des matériaux et la précision opérationnelle empêchent l'impression 3D d'atteindre son potentiel théorique en tant que moyen de production. En conséquence, dit-il, le secteur de l'impression 3D en Chine est encore au stade des start-up et a besoin de plus de temps pour mûrir.

« Nous sommes loin de commencer une autre révolution industrielle, mais si d'autres améliorations peuvent être faites dans les matériaux et les capacités opérationnelles, la révolution sera possible », déclare Guo. Ce dernier ajoute « que personne ne pouvait imaginer à quelle vitesse la science informatique allait croître lorsque elle a débuté ».



Illustration 14 : distribution géographique des entreprises chinoises du secteur de l'impression 3D sélectionnées pour cette étude.

### Brevets

D'après les critères définis dans l'étude, les bases de données utilisées n'ont pas permis de détecter des brevets avant 2007 (vois illustration ci-dessous). Selon les brevets identifiés lors

<sup>31</sup> Non référencée dans cette étude car cette entreprise ne fabrique que des imprimantes 3D utilisant des matériaux plastiques.

de l'étude, le dépôt de brevet par les organismes publics et les entreprises se concentre principalement en 2013 et un peu sur 2012. Les organismes publics et les entreprises présentent des courbes très similaires. Le nombre de brevets déposé par des entreprises est légèrement plus faible, mais l'étude n'a permis d'identifier que dix-sept entreprises contre vingt-neuf organismes publics.

Environ 3200 brevets sur la fabrication additive ont été déposés dans le monde depuis 1971 selon les dossiers détenus par Derwent Innovations Index. Ces brevets sont à 26 % américains, 21 % japonais, 10 % allemands, **8 % chinois**, 7 % européens, 5 % viennent de la Corée du Sud et 2 % de la Grande-Bretagne<sup>32</sup>.

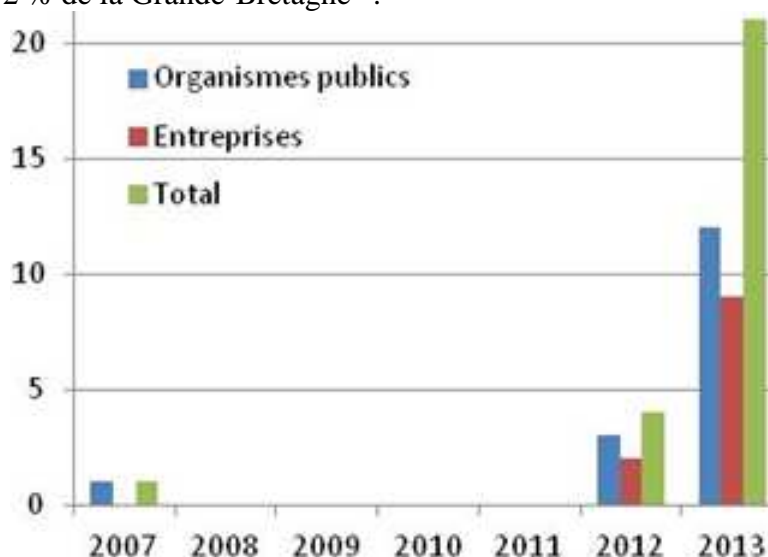


Illustration 15 : années de dépôt de brevet par les organismes publics et les entreprises chinoises.

### Date de création d'entreprises

Sur les dix-sept entreprises recensées, il n'a été possible d'identifier la date de création que pour dix d'entre-elles (voir illustration ci-dessous). Six ont été créées avant 1996. Il semble qu'il n'y a donc que très peu de créations d'entreprises spécialisées dans les imprimantes 3D en Chine ces dernières années.

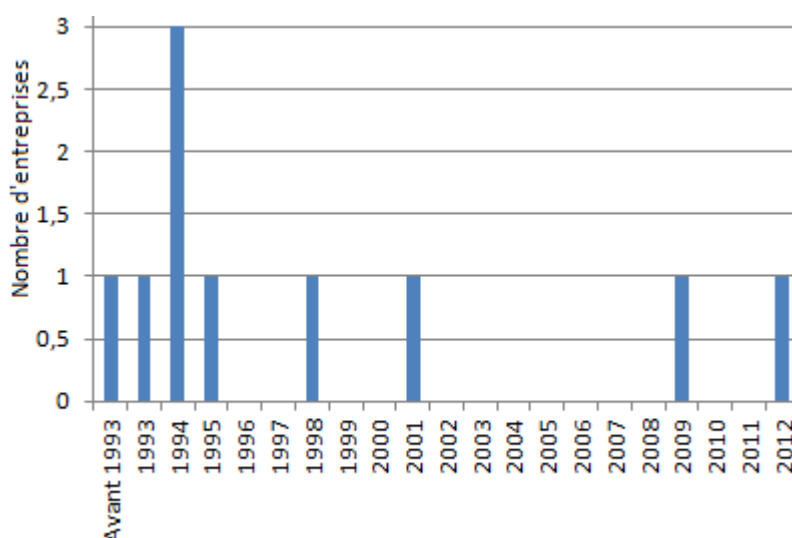


Illustration 16 : nombre d'entreprises chinoises créées par années.

\*\*\*

<sup>32</sup> *Additive Manufacturing*, Dstl Science & Technology Foresight Briefing Paper, Issue 1.1, December 2012.

### **Les imprimantes 3D pour des pièces métalliques**

Les technologies de *Power Bed Fusion* et *Directed Energy Deposition* sont les plus représentées en Chine, en particulier le DMLS, SLM, EBM, DMD et LENS (voir illustration ci-dessous).

A l'exception de la *Sheet Lamination*, les organismes publics sont présents sur toutes les technologies permettant de produire des pièces métalliques. Ils ont aussi largement investi les sujets connexes comme le logiciel, le scanneur, ou la matière première. Les sujets des publications portent souvent sur de la recherche appliquée.

Si l'on considère les technologies permettant de fabriquer des pièces métalliques, huit entreprises fabricantes se positionnent sur ce marché :

- *Wuhan Binhu Mechanical & Electrical*, qui est une spin-off. Elle vend des machines SLM compatibles avec des alliages Ti/Ni et des aciers inoxydables ;
- *Longyuan Automated Fabrication Systems Ltd.*, vend des machines DMLS ;
- *Hunan Aerospace Industry General Corp*, elle a été identifiée grâce à un brevet mais elle ne possède pas de site marchand ;
- *Wuxi Andi Lijie Trade Co. Ltd.* a été identifié grâce à un brevet mais elle ne possède pas de site marchand ;
- *Capital Aerospace Machinery Company*, détient un brevet sur la technique WAAM pour des pièces en titane. Elle ne possède pas de site internet, ce qui est surprenant car il s'agirait d'une grande entreprise soutenue par l'Etat ;
- *Jin Ke Magnetics Co. Ltd*, est un fabricant d'aimant au niobium ;
- *Trumpsystem Precision Machinery (TPM)*, vend des technique de soudage pour la réparation des moules ;
- *Caishi Laser Technology*, propose des services de réparation de pièces métalliques par laser.

Il a donc été possible de vérifier que **seules deux entreprises vendent des technologies d'impression 3D de pièce métallique (*Wuhan Binhu Mechanical & Electrical Co., Ltd.* et *Longyuan Automated Fabrication Systems Ltd.*)**. Ces deux entreprises affichent des applications dans le domaine aérospatial.

### **Matière première**

Parmi les trois entreprises qui se positionnent sur le marché de la matière première, aucune ne commercialise de matière première à base métallique :

- *Magicfirm* (nom chinois : *Hangzhou Ming Chin Network Technology Co. Ltd.*) vend aussi des matériaux de résine photosensible, de l'ABS et du nylon ;
- *Farsoon Hi-Tech Company* n'est que distributeur de matériaux polymères (nylon) pour de la SLS ;
- *Chengdu Shunkang Electronics Co. Ltd.* et *Chengdu Shunkang sansen electronics Co. Ltd.*, qui sont des entreprises qui fabriquent des composants électroniques et des résistances, détiennent un brevet qui vise à fabriquer des matériaux mixtes à partir de poudre de carbone sensible aux ultra-violets.

Parmi les quatre universités qui travaillent sur les matières premières, une seule s'intéresse aux matériaux métalliques :

-NUAA a co-publié en 2012 avec le *Fraunhofer Institute for Laser Technology* allemand sur les matériaux en poudre métallique utilisés dans les imprimantes 3D. L'étude vise à clarifier l'influence des caractéristiques des matériaux et de leur processus de fabrication sur les propriétés microstructurales et mécaniques du composant produit par impression 3D laser.



- USST a co-publié avec le HDU et Tongji University sur la technique de fabrication de poudre à base de gypse et d'alcool polyvinylique.
- DUT a déposé un brevet en 2013 sur la fabrication de matières premières (poudres de céramique) pour imprimante 3D laser.
- HDU a publié sur un oligomère de résine photosensible conçu pour les imprimantes 3D et sur la technique de fabrication de poudre à base de gypse et d'alcool polyvinylique (avec USST).



Classification	Material	Process description	Weapons	Armour and PPE	Defense logistic and support	Electronics (sensing)	Energy (storage)	Aerospace (airframe)	Companies	Organismes publics
<b>Power bed fusion</b>	Metal	DMLS SLM EBM SLS							6, 7, 11, 13	AAFE, HDU, HIST, XJU?, NAAA, BUAA?, SYNL, USST
	Polymer	SLS SHS SMS HSS							1, 6, 11, 12, 13, 14	USST, HDU
	Ceramic ou verre 4	SLS							1, 4, 6, 12.	USST, TYUST
<b>Directed Energy Deposition</b>	Metal (powder feed)	DMD LENS LC LD IFF LAAM							3, 7, 8, 9	BIGC, THU., DUT ?, XJU ?, Hunan Univ., NPU, BUAA ?
	Metal (wire feed)	EBDM WAAM SMD							10	HIT, XJU?, CAST, CAMST
<b>Material jetting</b>	Photopolymer	Polyjet, Ink-jetting								IOS, BIGC
	Ceramic	3DP, S-Print								
<b>Material extrusion</b>	Polymer and metal	FDM							2, 12, 14, 16	TJPU, ZJU
<b>vat photopolymerisation</b>	Photopolymer (céramic, résine)	SLA DLP SLA / DLP							2, 5, 6, 12, 14, 15	
<b>Sheet lamination</b>	Hybrids	UC							6	
	Métallique								6	
	Ceramic	LOM							6	
<b>Logiciel</b>	Hors catégorie							6, 12, 17	TJPU, BJTU, AAFE, XAUT, NCU	
<b>Scanneur 3D</b>	Hors catégorie							2, 12	HIT	
<b>Matière première</b>	Hors catégorie							1, 14, 15	USST, DUT, HDU, NAAA	
<b>Autres matériels</b>	Hors catégorie							2	SCUT, HDU	

S'applique       Ne s'applique pas

Illustration 17 : positionnement technologique des organismes publics et des entreprises chinoises.

### **II.3 Focus sur les organismes publics et entreprises chinoises travaillant sur des procédés d'impression 3D à base métallique**

Dix-huit organismes publics travaillent sur des procédés d'impression 3D à base de matériaux métalliques. Il s'agit de :

- *Academy of Armored Forces Engineering (AAFE) ;*
- *China Academy of Launch Vehicle Technology (CALT) ;*
- *China Academy of Machinery Science Technology (CAMST) ;*
- *Chongqing Institute of Green and Intelligent Technology (CIGIT) ;*
- *Beihang University également appelée Beijing University of Aeronautics and Astronautics (BUAA) ;*
- *Beijing Institute Graphic Communication (BIGC) ;*
- *Dalian University of Technology (DUT) ;*
- *Hangzhou University of Electronic Science and Technology/Hangzhou Dianzi University (HDU) ;*
- *Harbin Institute of Technology (HIT) ;*
- *Heilongjiang Institute of Science and Technology (HIST) ;*
- *Hunan University (HNU) ;*
- *Nanjing University of Aeronautics and Astronautics (NUAA) ;*
- *Northwestern Polytechnical University (NPU) ;*
- *Shenyang National Laboratory for Materials Science (SYNL) ;*
- *South China University of Technology (SCUT) ;*
- *Tsinghua University (THU) ;*
- *University of Shanghai for Science and Technology (USST) ;*
- *Xinjiang University (XJU).*

Les huit entreprises qui travaillent sur des procédés d'impression 3D à base métallique sont :

- *Hunan Aerospace Industry General Corp. (3) ;*
- *Wuhan Binhu Mechanical & Electrical Co., Ltd. (6) ;*
- *Wuxi Andi Lijie Trade Co. Ltd. (7) ;*
- *Jin Ke Magnetics Co. Ltd. (8) ;*
- *Capital Aerospace Machinery Company (10) ;*
- *Longyuan Automated Fabrication Systems Ltd. (11) ;*
- *Trumpsystem Precision Machinery (TPM) (12) ;*
- *AVIC Laser (17).*

La région la plus représentée dans l'impression 3D de pièces métalliques est Pékin avec six organismes publics et deux entreprises privées, suivie par Shanghai avec trois entreprises et un organisme public.

Les autres régions représentées par un organisme public et une entreprise sont les villes de Shenyang, Changsha et Wuhan.

La ville de Harbin héberge deux organismes publics.

Les villes de Urumqi, Dalian, Nanjing, Xi'an et Guangzhou sont représentées par un seul organisme public.



Illustration 18 : géo-localisation des organismes publics et des entreprises travaillant sur des procédés d'impression 3D à base métallique.

Les numéros correspondent aux numéros d'entreprises.

Dans la fabrication métallique, on remarque que les entreprises ont été créées en 1994 (*Longyuan Automated Fabrication Systems Ltd* et *Wuhan Binhu Mechanical & Electrical Co., Ltd.*), 1995 (*Jin Ke Magnetics Co. Ltd.*) et avant 1993 (*Capital Aerospace Machinery Company*). Les dates de création des quatre autres entreprises n'ont pas pu être établies.

\* \* \*

Pour les descriptions ci-dessous, voir le détail de ces organismes, entreprises, brevets et publications en annexe 2 : liste des organismes publics, des entreprises, des publications et des brevets chinois.

Les organismes publics qui ont particulièrement retenu notre attention lors de l'étude sont les suivants :

- **Academy of Armored Forces Engineering (AAFE)** : dépend du ministère de la Défense. Cet organisme a retenu notre attention avec sa publication sur le développement d'un modèle mathématique afin d'analyser la géométrie du bourrelet lors de la fabrication de pièces métalliques avec la technologie de soudage MAG robotique<sup>33</sup>.

<sup>33</sup> Yong Cao, Sheng Zhu, Xiubing Liang, Wanglong Wang, "Overlapping model of beads and curve fitting of bead section for rapid manufacturing by robotic MAG welding process"

- **Beihang University (BUAA)**, était la première université d'ingénierie aéronautique et astronautique en Chine à publier une étude sur la fabrication de titane à haute performance, sur des alliages à base de nickel, la formation des métaux réfractaires (résistants à la chaleur et à l'usure : niobium, molybdène, tantale, tungstène et rhénium) et d'alliages intermétalliques<sup>34</sup>. L'université a aussi publié un article (avec *l'Institute medical center, University of twente, Enschede, aux Pays-Bas*<sup>35</sup>) sur une technique de fabrication d'objets poreux en alliage de titane à partir d'un moule en cire réalisé par impression 3D.

**En 2009 ce laboratoire a produit un cadre de pare-brise de l'avion C919 par imprimante 3D en cinq jours. Il a également fabriqué en 2010 une partie d'aile centrale avec la technologie *Laser Engineer Net shaping (LENS)* pour l'avion de ligne Comac C919, en réduisant de 90 % le coût par rapport aux méthodes traditionnelles. L'aile fait cinq mètres de long et ses propriétés mécaniques répondent à la norme de pièces de forge.**

- **China Academy of Machinery Science Technology (CAMST)**, le laboratoire *Advanced Forming Technology & Equipment* a déposé un brevet sur un dispositif de chauffage qui permet de fondre une ou plusieurs matières métalliques pour obtenir des composantes à haute densité polymétalliques<sup>36</sup>.

- **China Academy of Launch Vehicle Technology (CALT)** subordonnée à la *China Aerospace Science and Technology Corporation*, est le **principal centre de recherche et de développement des missiles**. Il a largement contribué à la capacité de lancement chinoise. Elle est à l'origine de la famille de roquettes Long March. **La société a été sanctionnée par les États-Unis en août 1993, pour son aide au développement de missiles au Pakistan.** Elle a co-déposé un brevet sur la production d'objets à partir de fils en alliage de titane avec *Capital Aerospace Machinery Company*<sup>37</sup>.

- **Chongqing of Green and Intelligent Technology (CIGIT)**, spécialisée dans l'information électronique, a déposé trois brevets sur la fabrication d'objets par pulvérisation du matériau magnéto-rhéologique sur une table de travail munie d'un champ magnétique<sup>38</sup>.

- **Hangzhou University of Electronic Science and Technology (HDU)** - administré par le ministère de l'Industrie et de la technologie de l'information - a déposé des brevets sur la préparation de matériaux métalliques, semi-conducteurs, composites, polymères<sup>39</sup> et la fabrication de pièces métalliques<sup>40</sup>. Elle a aussi co-publié avec *Heilongjiang Institute* et l'entreprise *Sichuan Petroleum Perforating Materials Ltd* une étude traitant l'impact de la vitesse de balayage sur la densité finale d'un objet produit à partir de poudre de tungstène-cuivre avec la technique de fusion sélective au laser (SLM)<sup>41</sup>. L'université s'intéresse à

---

<sup>34</sup> Wang Huaming Zhang Lingyun Li An Cai Liangxu Tang Haibo, "Rapid solidification laser processing and forming of advanced aeronautical metallic materials", *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2004.

<sup>35</sup> J.P. Li, C. Wilson, J.R. Wijn, Clemens A. van Blitterswijk, K. de Groot, "Fabrication of Porous Ti6Al4V with Designed Structure by Rapid Prototyping Technology", *Key Engineering Materials*.

<sup>36</sup> *Polymetal liquid injected and deposited additive manufacturing device*, en 2012.

<sup>37</sup> *Manufacturing method of arc additive of titanium alloy structural part* déposé en 2012.

<sup>38</sup> *Magnetorheological-material-based 3D (Three-Dimensional) printing type rapid prototyping device and method*, en avril 2013. *Three-dimensional (3D) printing robot system based on magneto-rheological materials. Three-dimensional (3D) printing method based on magneto-rheological materials.*

<sup>39</sup> *Airglow-discharge low-temperature plasma coating technique* en janvier 2013.

<sup>40</sup> *Metal part additive manufacturing method based on contour features* en juin 2013.

<sup>41</sup> Ruidi Li, Yusheng Shi, Jinhui Liu, Zhan Xie, Zhigang Wang, "Selective laser melting W-10 wt.% Cu composite powders", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, May 2010.

l'utilisation de l'imprimante 3D SLS pour réaliser un moule qui servira à couler des pièces métalliques<sup>42</sup>. Elle a aussi publié sur une technique micro-jet de gouttelettes capables de résister à de hautes températures (polymères, résines et métaux à point de fusion élevé)<sup>43</sup>.

L'université possède **la plus grande machine de frittage sélectif par laser (SLS)** au monde, avec un volume de construction de 1,2 m par 1,2 m.

- **Harbin Institute of Technology (HIT)**, son *State Key Laboratory of Advanced Welding and Joining* a publié sur la fabrication de pièces métalliques par *Wire & Arc Deposition (WAAM)*<sup>44</sup>. Elle a aussi réalisé des économies de matières (moins de déchets) et d'énergie avec cette même technique d'impression grâce à une technologie de traitement d'images<sup>45</sup>.

- **Heilongjiang Institute of Science and Technology (HIST)** : est rattaché à *Harbin University of Science and Technology* a co-publié avec *Huazhong University* (ci-dessus) et l'entreprise *Sichuan Petroleum Perforating Materials* une étude consacrée à l'impact de la vitesse de balayage sur la densité finale de l'objet produit à partir de poudre de tungstène-cuivre avec la technique de fusion sélective au laser (SLM)

- **Nanjing University of Aeronautics and Astronautics (NUAA)**, se manifeste dans de nombreux domaines de recherche : mécanique, aéronautique et astronautique, fabrication mécanique et automatisation, moteur aérospatial, énergie électrique et électronique. Depuis la mise en œuvre de la politique de réforme et d'ouverture, elle a formé un nouveau modèle de développement en mettant l'accent sur la défense nationale. Elle a co-publié avec *Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT/Chair for Laser Technology LLT* (Aachen, Allemagne) une étude sur les matériaux en poudre métallique utilisés dans les imprimantes 3D<sup>46</sup>.

---

<sup>42</sup> Liu Hongjun, Fan Zitian, Huang Naiyu, Dong Xuanpu, "A note on rapid manufacturing process of metallic parts based on SLS plastic prototype", Elsevier *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 142, Issue 3, 10 December 2003.

<sup>43</sup> Dan Xie, HongHai Zhang, XiaYun Shu, JunFeng Xiao, Shu Cao, « Multi-materials drop-on-demand inkjet technology based on pneumatic diaphragm actuator », *Science China Technological Sciences*, June 2010.

<sup>44</sup> Jun Xiong, Guangjun Zhang, Jianwen Hu, Lin Wu, "Bead geometry prediction for robotic GMAW-based rapid manufacturing through a neural network and a second-order regression analysis", *Journal of Intelligent Manufacturing*, juillet 2014.

<sup>45</sup> Jun Xiong, Guangjun Zhang, Zhilong Qiu, Yongzhe Li, " Vision-sensing and bead width control of a single-bead multi-layer part: material and energy savings in GMAW-based rapid manufacturing", Elsevier *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume 27, Issue 3, June 2011, Pages 641–645.

<sup>46</sup> D D Gu, W Meiners, K Wissenbach, R Poprawe, "Laser additive manufacturing of metallic components: materials, processes and mechanisms", mai 2012.

- **Northwestern Polytechnical University (NPU)** : effectue des recherches en ingénieries aéronautique, astronautique et marine ainsi qu'en science et technologie pour l'armement.

Cette université est dirigée par le ministère de l'Industrie et Technologies de l'information. **Le State Key Laboratory of Solidification Processing**, a co-publié avec *School of Basic Medical Science/Department of Prosthodontics, School of Stomatology, The Fourth Military Medical University, Xi'an*, une étude sur la fabrication de dentiers en titane par imprimante 3D<sup>47</sup>. Elle a aussi étudié la préforme de la céramique poreuse à partir de poudre de TiC en tant que liant de la dextrine (*Titanium Silicon Carbide Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub>*)<sup>48</sup>.

Son activité est internationale puisqu'elle a co-publié avec le centre allemand *Centre for Advanced Materials and Processes, University of Erlangen-Nuremberg*, une étude sur une technique destinée à durcir les composites céramiques<sup>49</sup>.

L'université NPU a commencé sa recherche sur la fabrication additive par laser (LAM) en 1995. L'accent a été porté sur l'obtention d'excellentes propriétés mécaniques des pièces métalliques LAMED grâce à la maîtrise rigoureuse des matières microstructurées. Les matériaux des pièces LAMED comprennent des alliages de titane, des superalliages, et des aciers inoxydables. Le laboratoire a réalisé deux machines de fabrication additive par laser CO<sub>2</sub> et YAG de plusieurs kilowatts de puissance comme source de chaleur.



Illustration 19 : en 2010, le NPU a produit une aile centrale d'avion de ligne COMAC'S C919 de 3 mètres de long.

- **Tsinghua University (THU)** est tournée vers l'ingénierie, la biologie, les mathématiques et la physique. Elle étudie la technique de *Laser Direct Manufacturing (LDM)* à base de tungstène et d'alliage de nickel sur des pièces à géométrie complexe<sup>50</sup>. Elle a aussi publié sur la fabrication par *Direct Metal Deposition* de motif spécial Inco 718 en **alliage de nickel** pour des applications en aéronautique.

- **University of Shanghai for Science and Technology (USST)**. C'est une université pluridisciplinaire avec une spécialisation en ingénierie. Elle a publié une étude sur l'alliage de

<sup>47</sup> Bo Gao, Jiang Wu, Xianghui Zhao, Hua Tan, "Fabricating titanium denture base plate by laser rapid forming", *Rapid Prototyping Journal*, 2009.

<sup>48</sup> Beiya Nan, Xiaowei Yin, Litong Zhang, Laifei Cheng, "Three-Dimensional Printing of Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub>-Based Ceramics", 25 février 2011.

<sup>49</sup> Xiaowei Yin, Nahum Travitzky, Peter Greil, « Three-Dimensional Printing of Nanolaminated Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub> Toughened TiAl<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composites », *Journal of the American Ceramic Society*, 3 July 2007.

<sup>50</sup> Minlin Zhong, Wenjin Liu, Guoqing Ning, Lin Yang, Yanxia Chen, "Laser direct manufacturing of tungsten nickel collimation component", Elsevier, 10 April 2004.

titane (Ti6Al4V) à porosité contrôlée via le procédé de fusion par faisceau d'électrons (EMB)<sup>51</sup>.

Trois entreprises ont également particulièrement retenu notre attention lors de l'étude :

- **AVIC Laser Prototyping Manufacturing Co** : elle a été créée en 2011 par Wang Huaming (BUAA) et est soutenue par *AVIC Heavy Machinery* (province Guizhou), *AVIC Capital* et BUAA Holdings Co. Un des autres actionnaires est la start-up de l'université de Huazhong, *Wuhan Binhu Mécanique et électrique Co*.

Elle a dévoilé en mai 2013 le **plus grand composant d'avion en titane au monde** produit en utilisant la technologie *Laser Direct Manufacturing*. Il s'agit d'une partie en titane de l'avion de combats J-20 ou de l'avion de combat furtif J-31. Selon *AVIC laser*, cette technologie de *Laser Direct Manufacturing* a été utilisée dans la production de sept types d'avions, y compris le Y-20 de transport stratégique, le J-15 de combat, l'avion de ligne C919 et les chasseurs furtifs de la prochaine génération. Le chef designer du J-15 a confirmé en mars 2013 que « les composants sont utilisés dans les grandes pièces porteuses, y compris pour les J-15 ».

Financée par le gouvernement chinois, et en particulier par l'armée, l'équipe d'*AVIC laser* a résolu plusieurs problèmes techniques au cours de la recherche et du développement lors des sept premières années, tels qu'un système inerte de protection de gaz, le contrôle de défaut et de croissance de treillis métallique, etc. En janvier 2013, *AVIC Laser* a remporté le prix national de l'invention technologique à Pékin.



Illustration 20 : le plus grand composant 3D imprimé d'avion de chasse en titane par *Laser Direct Manufacturing*<sup>52</sup>.

- **Capital Aerospace Machinery Company** : c'est une des entreprises clés dans le cadre du soutien de l'Etat. Elle est située dans le top 100 des plus grandes entreprises chinoises. Elle s'est faite remarquer dans le domaine de l'aérospatiale. Elle a co-déposé un brevet sur la production d'objets à partir de fils en alliage de titane avec *China Academy of Launch Vehicle Technology* (CALT).

- **Hunan Aerospace Industry General Corp** a déposé un brevet sur un dispositif qui vise à permettre à l'imprimante 3D de fabriquer des objets métalliques (à partir d'alliage d'aluminium) par un système de laser et un système de dépôt de poudre.

<sup>51</sup> Xiang Li, Chengtao Wang, Wenguang Zhang, Yuanchao Li, " Fabrication and compressive properties of Ti6Al4V implant with honeycomb-like structure for biomedical applications", *Rapid Prototyping Journal*, 2010.

<sup>52</sup> "China shows off world largest 3D printed titanium fighter component", *3ders*, 29 mai 2013.

Sept autres organismes publics nous sont apparus d'importance moyenne :

- **Beijing Institute Graphic Communication (BIGC)**, pour son travail sur la technique de LENS (*Laser Engineer Net shaping*) avec de la poudre métallique<sup>53</sup>.
- **Dalian University of Technology (DUT)**, pour son brevet sur un procédé de frittage laser avec poudre<sup>54</sup>.
- **Hunan University (HNU)**, pour sa publication sur la fabrication directe de pièces métalliques à paroi mince<sup>55</sup>.
- **Shenyang National Laboratory for Materials Science (SYNL)**, pour sa co-publication avec *The University of Texas at El Paso* sur les structures cellulaires de cuivre fabriquées par imprimantes 3D utilisant la fusion par faisceau d'électrons<sup>56</sup>.
- **South China University of Technology (SCUT)**, pour son brevet sur des moules métalliques<sup>57</sup>.
- **Xinjiang University (XJU)**, qui a publié sur le sujet de l'impression 3D de pièces en métal<sup>58</sup>.

Enfin, cinq entreprises ont présenté un intérêt secondaire pour leur impact dans le domaine des imprimantes 3D utilisant sur des matériaux métalliques :

- **Jin Ke Magnetics Co. Ltd.**, qui est un fabricant d'aimants (non spécialisé dans l'imprimante 3D).
- **Longyuan Automated Fabrication Systems Ltd**, utilise la technologie de *Selective Linear Laser Sintering* (SLLS) et vend des matériaux en poudre (plastique thermique, cire et sable), et des moules (moulage en plâtre, fonderie de précision et moulage au sable<sup>59</sup>). Cette société est très axée sur l'industrie de la fonderie, et fournit des modèles en polystyrène, en cire et en sable.
- **Trumpsystem Precision Machinery (TPM)**, elle vend des systèmes de frittage laser RP (SLS) pour des objets en plastique et des systèmes de laser fort de soudage (*Laser sintering* et *laser welding equipment*). Le système de soudage par dépôt laser offre une excellente performance pour la réparation de moule et le soudage de la tôle. TPM souligne qu'elle « a étudié la technologie de prototypes avancés de l'Allemagne et des États-Unis. Elle compare les différents systèmes de prototypes et absorbe les avantages fournis par chacun d'eux. » La société coopère avec la technologie de CRP SRL Italie pour fournir à ses clients un prototypage de poudre de haute qualité (susceptibles de supporter des températures élevées). Le logiciel de contrôle utilisé par cette société est allemand (Viscam).

---

<sup>53</sup> HUANG Min, LIU Hao-xue, « Selecting of the Parameters of Cylindrical Lens Sheet Imaging in 3D Printing », *Journal of Beijing Institute of Graphic Communication*, janvier 2005.

<sup>54</sup> Vector sintering system and additive manufacturing method, en juin 2013.

<sup>55</sup> Jichang Liu, Lijun Li, "Direct Fabrication of Thin-Wall Parts by Laser Cladding", Elsevier *Journal of Manufacturing Processes*, 2006, Pages 1–7.

<sup>56</sup> D.A. Ramirez, L.E. Murr, E. Martinez, J.L. Martinez, B.I. Machado, S.M. Gaytan, F. Medina, R.B. Wicker, S.J. Li et Y.X. Tian, « Open-cellular copper structures fabricated by additive manufacturing using electron beam melting », *Materials Science and Engineering*, Volume 528, Issues 16–17, 25 June 2011.

<sup>57</sup> Metal-3D (Three-Dimensional)-printing-based novel composite casting method for dissimilar materials.

<sup>58</sup> Wurikaixi-AIYITI, "Rapid manufacturing of metal parts based on 3D printing", *Modern Manufacturing Engineering*, juillet 2009.

<sup>59</sup> Des pièces en aluminium, acier et titane peuvent être fabriquées avec des propriétés très similaires à pièces coulées en coquille.



- **Wuhan Binhu Mechanical & Electrical Co., Ltd.** (start-up de *Huazhong University*), elle vend des machines basées sur la technologie de *sheet lamination*, *vat photopolymerization* et *Powder Bed Fusion* (matériaux polymères, des céramiques et du sable de Corti). Fabrique aussi des moules en caoutchouc de silicium, en résine époxy ou des moules métalliques grâce à la technique de projection à froid.

Tous les logiciels utilisés sont auto-développés par la société.

En 2011, cette société a mise au point le plus grand équipement de frittage sélectif au laser (SLS) qui dispose d'un espace de fabrication de 1.2m \* 1.2m. Pour cette réalisation, elle a remporté le deuxième prix de l'invention technologique nationale de la Chine.

- **Wuxi Andi Lijie Trade Co. Ltd.** a déposé un brevet sur la fabrication de joints métalliques d'étanchéité par technique de laser à haute énergie (*Directed Energy Deposition*) ou à faisceaux électroniques (*Electron Beam Melting EBM*)<sup>60</sup>.

**Au vu des activités déclarées des différentes entreprises, on peut considérer que la Chine s'intéresse particulièrement à la production de moule par imprimante 3D mais aussi à la réparation de pièce par laser.**

## Les personnalités importantes

**Wang Huaming** est une personnalité centrale en Chine, en ce qui concerne les imprimantes 3D. Il est :

- Professeur de science des matériaux à l'école d'ingénieurs de l'Université d'aéronautique et d'astronautique de Pékin. En 2000, il a formé une nouvelle équipe de recherche. Avec le soutien financier issu de nombreuses sources (Département Général de l'Armement de l'Armée Populaire de Libération, la Commission pour la Science, la Technologie et l'Industrie de la Défense Nationale, la Fondation Nationale pour les Sciences Naturelles et les programmes 973 et 86), cette équipe a développé durant une dizaine d'années la technologie LMD. Il a publié en 2004 une étude sur la fabrication de titane à haute performance, des alliages à base de nickel, la formation des métaux réfractaires et alliages intermétalliques.

- En janvier 2013, il a reçu le premier prix du Prix d'Etat de l'invention technologique pour les dépôts de métaux au laser qui ont permis de produire ce qui est prétendu être le plus grand composant en titane créé par impression 3D au monde ;

- Président de *3D Printing Technology Alliance* lancée en juin 2013 ;

- Fondateur de l'entreprise *AVIC Laser Prototyping Manufacturing (17.)* créée en 2011.

La deuxième personnalité intéressante est **Cai Daosheng**. Ancien directeur général de *Wuhan Binhu mécanique & électrique Co*, il considère que « l'imprimante 3D est déjà adaptée à la production d'équipements militaires tels que les missiles ». Il faut également noter que *Wuhan Binhu* est la start-up de *Huazhong University*. De plus, elle est aussi un actionnaire d'*AVIC Laser Prototyping Manufacturing*. De forts liens d'interrelations personnelles et capitalistiques apparaissent entre les principales entités chinoises impliquées dans les imprimantes 3D.

---

<sup>60</sup> 3D (three dimensional) printing manufacturing method of seal en mars 2013.

## II.4 Coopérations nationales et internationales actives en Chine

Selon l'illustration ci-dessous, les coopérations internationales sont de deux types :

- Les coopérations interuniversitaires ;
- Les coopérations industrielles.

L'étude n'a pas permis de détecter des collaborations internationales ayant donné lieu à un co-brevet.

La coopération industrielle chinoise repose sur la recherche de distributeurs et l'installation de bureaux en Chine par des sociétés étrangères qui cherchent à atteindre ce marché. Cependant, on peut noter que l'entreprise britannique STAR a délocalisé une partie de sa production en Chine (numéro **14.** sur l'illustration 21).

Les coopérations industrielles se font avec le Royaume-Uni, Israël, les États-Unis et l'Irlande. A l'exception des États-Unis, les pays à l'origine des coopérations industrielles sont différents des pays à l'origine des co-publications académiques.

Les universités ayant co-publié avec des organismes publics étrangers sont :

- *Nanjing University of Aeronautics and Astronautics* (NUAA) avec l'Allemagne (numéro **3.** sur l'illustration 21).
- *The State Key Laboratory of Solidification Processing, Northwestern Polytechnical University* (NPU) avec l'Allemagne (**2.**).
- *Beihang University*, également appelée *Beijing University of Aeronautics and Astronautics* (BUAA), avec les Pays-Bas (**1.**).
- *Shenyang National Laboratory for Materials Science* (SYNL) avec les États-Unis (**5.**).
- *Lanzhou Institute of Chemical Physics* (LICP) avec le Canada (**6.**).
- *Xiamen University* et *Jilin University* avec les États-Unis (**4.**).

Les universités chinoises co-publient prioritairement avec l'Allemagne et les États-Unis, suivis des Pays-Bas et du Canada.

Sur les six co-publications internationales, seules trois d'entre-elles peuvent avoir un intérêt à double usage :

- L'étude sur la fabrication d'objet poreux en alliage de titane à partir d'un moule en cire réalisé par impression 3D entre *Beijing University of Aeronautics and Astronautics* (BUAA) et les Pays-Bas (*Institute medical center, University of twente, Enschede, the Neverlands*, **1.**) ;
- L'étude sur les matériaux en poudre métallique utilisés dans les imprimantes 3D entre le *Nanjing University of Aeronautics and Astronautics* (NUAA) et l'Allemagne (*Fraunhofer Institute for Laser Technology, RWTH Aachen*, **3.**) ;
- L'étude sur les structures cellulaires de cuivre fabriquées par imprimante 3D utilisant la fusion par faisceau d'électrons entre *Shenyang National Laboratory for Materials Science* (SYNL) et les États-Unis (*Department of Metallurgical and Materials Engineering/ W. M. Keck Center for 3D Innovation, The University of Texas at El Paso*, **5.**).

Sur les six publications internationales, quatre d'entre-elles ont pour premier auteur un chercheur chinois. La troisième étude d'intérêt à double usage annoncée ci-dessus entre la

Chine et les États-Unis est pilotée par les américains, les auteurs chinois n'apparaissent qu'en huitième et neuvième position. Dans l'étude sur le dépôt d'une couche métallique (6.) tous les auteurs sont issus de l'université canadienne de *Western Ontario* mais le premier dépend aussi de l'Institut de Lanzhou en Chine.

On remarque que les organismes qui ont une co-publication à l'internationale ne sont pas les mêmes que les organismes qui ont une co-publication nationale. Les co-publications nationales sont nombreuses.

La publication « Selective laser melting W-10 wt.% Cu composite powders » montre que des collaborations entre le monde universitaire et le monde industriel sont possibles en Chine. De plus, plusieurs universités ont déjà donné naissance à des start-up.

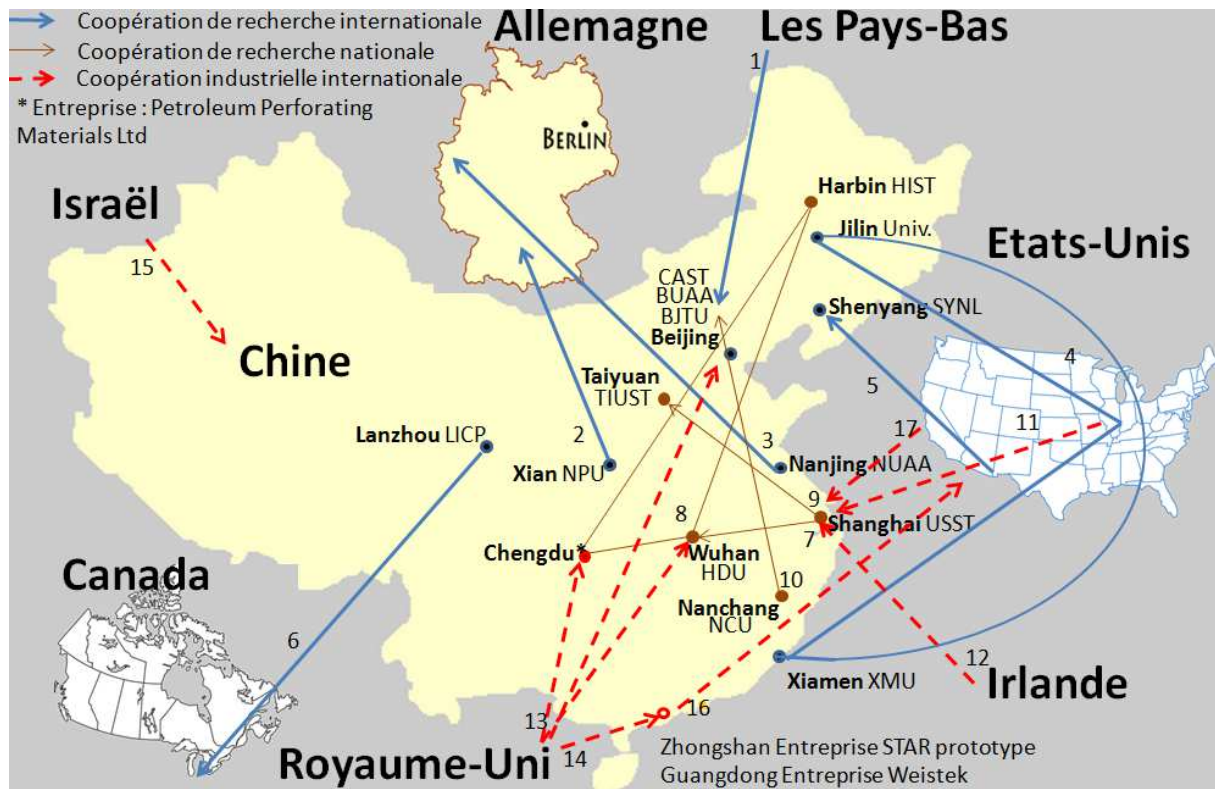


Illustration 21 : coopérations nationales et internationales des centres de recherche et des entreprises en Chine.

1. Fabrication d'objets poreux d'alliage de titane à partir d'un moule en cire réalisé par impression 3D entre l'école d'ingénierie mécanique de Pékin et l'institut médical des Pays-Bas<sup>61</sup>.
  2. Technique pour durcir les composites céramiques, développée par l'université chinoise *Northwestern Polytechnical* et l'Université allemande d'Erlangen<sup>62</sup>.
  3. Etude sur les matériaux en poudre métallique entre *Nanjing University of Aeronautics and Astronautics* et l'institut allemand *Fraunhofer Institute for Laser Technology*<sup>63</sup>.
  4. Une étude sur l'impact de la fabrication additive dans la chaîne d'approvisionnement des pièces de rechange d'avions<sup>64</sup>.
- Etude sociale entre le département d'ingénierie de mécanique de l'université chinoise de Xiamen, l'université de Jilin et l'Université américaine de Cincinnati<sup>65</sup>.
5. Structures cellulaires de cuivre fabriquées par imprimante 3D utilisant la fusion par faisceau d'électrons EBM. Etude portée par l'université du Texas et soutenue par l'institut de recherche sur le métal de Shenyang en Chine<sup>66</sup>.

<sup>61</sup> J.P. Li, C. Wilson, J.R. Wijn, Clemens A. van Blitterswijk, K. de Groot, "Fabrication of Porous Ti6Al4V with Designed Structure by Rapid Prototyping Technology", *Key Engineering Materials*, février 2007.

<sup>62</sup> Xiaowei Yin, Nahum Travitzky, Peter Greil, « Three-Dimensional Printing of Nanolaminated Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub> Toughened TiAl<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composites », *Journal of the American Ceramic Society*, 3 July 2007.

<sup>63</sup> D D Gu, W Meiners, K Wissenbach, R Poprawe, "Laser additive manufacturing of metallic components: materials, processes and mechanisms", mai 2012.

<sup>64</sup> Peng Liu, Samuel H. Huang, Abhiram Mokusdar, Heng Zhou & Liang Hou, "The impact of additive manufacturing in the aircraft spare parts supply chain: supply chain operation reference (scor) model based analysis", *Production Planning & Control: The Management of Operations*, 4 mai 2013.

<sup>65</sup> Samuel H. Huang, Peng Liu, Abhiram Mokusdar et Liang Hou, "Additive manufacturing and its societal impact: a literature review", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, July 2013.

<sup>66</sup> D.A. Ramirez, L.E. Murr, E. Martinez, J.L. Martinez, B.I. Machado, S.M. Gaytan, F. Medina, R.B. Wicker, S.J. Li et Y.X. Tian, « Open-cellular copper structures fabricated by additive manufacturing using electron beam melting », *Materials Science and Engineering*, Volume 528, Issues 16–17, 25 June 2011.

6. Dépôt d'une couche métallique sur des objets fabriqués par imprimante 3D. Etude dont tous les auteurs sont issus de l'université canadienne de Western Ontario et dont le premier auteur dépend également de l'institut de Lanzhou en Chine<sup>67</sup>.
7. Technique de fabrication de poudre dont les caractéristiques influencent la densité et la dureté du produit final. Co-publication nationale entre *Huazhong University of Science and Technology* et *Tongji University*, Shanghai<sup>68</sup>.
8. Fusion sélective au laser SLM en utilisant de la poudre de tungstène-cuivre. Co-publication nationale entre l'institut Heilongjiang à Harbin, l'université de Huazhong et l'entreprise *Sichuan Petroleum Perforating Materials Ltd*, à Longchang<sup>69</sup>.
9. Frittage laser sélectif (SLS) avec du sable siliceux. Co-publication nationale entre l'université de Taiyuan et l'université de Shanghai<sup>70</sup>.
10. Technique d'imagerie 3D. Co-publication nationale entre l'université de JiangXi et l'université de Pékin<sup>71</sup>.
11. La société américaine *ExOne* a ouvert un bureau d'affaires à Shanghai afin de développer son marché en Chine<sup>72</sup>.
12. La société irlandaise *Mcor Technologies* réalise un partenariat de distribution avec la société chinoise de *Shanghai Saitu Graphic Equipment*<sup>73</sup>.
13. La société anglaise *Renishaw* qui fabrique des imprimantes 3D de technologie de laser, ouvre son 11<sup>ème</sup> bureau en Chine (premier bureau à Pékin, dernier à Chengdu et Chongqing)<sup>74</sup>.
14. La société britannique *STAR* va délocaliser sa production en Chine via l'entreprise chinoise *Star Prototype China Limited*<sup>75</sup>.
15. La société israélienne *Stratasys* (chiffre d'affaires global de 359 millions de dollars en 2012) passe un accord de distribution avec *Aurora Group China* pour vendre ses imprimantes 3D professionnelles en Chine (dont Shanghai et Hong Kong). *Stratasys* envisage aussi la mise en place d'un centre de R&D sur le continent<sup>76</sup>.
16. L'entreprise chinoise *Weistek*, fabricant d'imprimantes de bureau, exposera lors du salon internationale CES à Los Angeles<sup>77</sup>.
17. La société américaine *NextEngine* (fondée en 2000) qui produit des scanners en trois dimensions a ouvert des bureaux et un SAV à Hangzhou pour atteindre le marché chinois.

---

<sup>67</sup> Xiaolong Wang, Qiuquan Guo, Xiaobing Cai, Shaolin Zhou, Brad Kobe, and Jun Yang, "Initiator-Integrated 3D Printing Enables the Formation of Complex Metallic Architectures", *ACS Appl. Mater. Interfaces*, Article ASAP11, décembre 2013.

<sup>68</sup> LI Xiao-Yan, ZHANG Shu, YU Deng-guang, « Application of uniform design method in research of three dimensional printing's powder », *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, 2007-02.

<sup>69</sup> Ruidi Li, Yusheng Shi, Jinhui Liu, Zhan Xie, Zhigang Wang, "Selective laser melting W-10 wt.% Cu composite powders", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, May 2010.

<sup>70</sup> J.L. Song, Y.T. Li, Q.L. Deng, D.J. Hu, "Rapid prototyping manufacturing of silica sand patterns based on selective laser sintering", *Elsevier Journal of Materials Processing Technology*, Volumes 187-188, 12 June 2007.

<sup>71</sup> WU Sheng-nan, WU Chun-hong, « The Integral Imaging and Its Application », *Bulletin of Science and Technology*, 2005-06.

<sup>72</sup> Rose Brooke, « ExOne targets Brazil and China for growth », *Tctmagazine*, 15 mai 2013.

<sup>73</sup> « Mcor Appoints Saitu Graphics as Chinese Reseller », *Tctmagazine*, 25 octobre 2012.

<sup>74</sup> Rose Brooke, « Renishaw opens 11th China office », *Tctmagazine*, 2 avril 2013.

<sup>75</sup> Les équipements de contrôle envoyés sur place sont : un bras FARO Laser Scanning pour vérifier des formes 3D, un projecteur optique 600 mm CNC avec une sonde de marque Renishaw pour l'inspection de lot, une machine d'essai d'allumage Oxford Instruments OES et un pistolet XRF pour des essais métallurgiques et RoHS. Kay Roberts, « Star Prototype China Announce One of the First Orders of the NPE Show », *Tctmagazine*, 14 juin 2012.

<sup>76</sup> « Stratasys to Enter China's 3D Printing Market », *The China Post*, septembre 2013.

<sup>77</sup> *Weistek exhibits 3D printers and filaments at CES*.

## **II.4 Conclusion pour la Chine**

La Chine a largement investi dans le domaine des imprimantes 3D, notamment pour des applications dans le secteur médical et pour l'aérospatial. **L'industrie de défense y joue un rôle important dans le développement des applications dans l'aéronautique et le spatial.**

Les médias chinois se font l'écho d'éléments réalisées à l'aide d'imprimantes 3D qui seraient utilisés dans les avions de combat J - 15, J - 16, J - 20 et J - 31, l'avion de transport Y - 20, et l'avion de ligne commercial C919.

Les avancées technologiques de la Chine dans ce secteur attirent l'attention des responsables de haut niveau. Ainsi, en janvier 2013, l'équipe de chercheurs dirigée par Wang Huaming a reçu le premier prix du Prix d'Etat d'invention technologique pour avoir utilisé les dépôts de métaux au laser pour produire la plus grande pièce réalisée par impression 3D au monde. Il s'agit d'une structure portante primaire en titane de quatre mètres de long qui sera utilisée dans le C919.

Loin de cette démonstration, **certains experts chinois, tel que Cai Daosheng, n'hésitent pas à déclarer que la « 3D est déjà adapté à la production d'équipements militaires tels que les missiles».**

Cependant, l'étude n'a permis d'identifier **seulement que deux entreprises chinoises qui produisent et vendent des technologies d'impression 3D pour réaliser des pièces métalliques.** Il s'agit de *Wuhan Binhu Mechanical & Electrical* (qui vend des machines SLM compatibles avec des alliages TiNi et des aciers inoxydables) et de *Longyuan Automated Fabrication Systems Ltd.* (qui vend des machines DMLS). **Ces deux entreprises affichent des applications dans le domaine aérospatial.**

**Le tissu industriel chinois d'impression 3D connaît encore certaines limites.** Ainsi, comme le souligne Liu Xinsheng, directeur de *Xi'an Focuslight Technologies Co. Ltd* ([www.focuslight.com.ca](http://www.focuslight.com.ca)), l'industrie de traitement laser en Chine dispose de bons équipements de fabrication. Cependant, certains éléments fondamentaux lui font encore défaut, tels que les droits relatifs aux composants de base et aux matériaux de base. Pour faire évoluer cette situation, les entreprises chinoises ont besoin de créer leurs propres sources de poudre. Les composants clés des systèmes laser de qualité dépendent encore des pays étrangers. La recherche sur le traitement au laser est en retard, et il existe toujours un écart en Chine entre la phase de recherche et de développement et la phase d'industrialisation de la technologie pour le traitement de précision par laser.

**Cette dépendance chinoise en ce qui concerne l'accès à la matière première (poudres) et aux lasers constitue certainement un goulet d'étranglement sur lequel pourraient peser efficacement les procédures de contrôle aux exportations.**

### III. Etat de l'art de l'Inde

	<b>Données de base chinoises</b>
Population (2013)	1,2 milliard
Superficie	3,3 millions de km <sup>2</sup>
Densité de population moyenne	368 habitants/km <sup>2</sup>
PIB (2012)	1 825 milliards de \$
PIB/habitant	1 530 \$
IDH (2012)	0,55

L'impression 3D est à un stade naissant en Inde. Beaucoup d'experts n'ont aucune information à son sujet, et ceux qui la connaissent la perçoivent comme coûteuse et compliquée. Cependant, quelques entreprises comme *Imaginarium*<sup>78</sup>, *Marcopolo Products Ltd*<sup>79</sup> et *3DPD/Total Prototyping*<sup>80</sup> pour n'en nommer que quelques-unes, jouent un rôle de précurseurs en intégrant dans leurs processus de fabrication de prototype des imprimantes 3D de conceptions étrangères.

**Les entreprises indiennes ne trouvent pas de fournisseurs au niveau national et doivent donc se fournir directement à l'étranger.** Ainsi, pour la construction de ses outils de production, la société *Salcomp* s'appuie sur la technologie de fabrication additive fournie par l'entreprise allemande EOS. Leader sur le marché indien, *Salcomp*, basée à Chennai, produit des bouchons et des unités d'alimentation pour les téléphones cellulaires.

**Le secteur dans lequel l'impression 3D trouve une place de choix en Inde est celui de l'automobile.** Comme il s'agit d'un secteur bien développé dans ce pays (*Ford*, *Nissan* y sont fortement implantées et l'on trouve également le siège de *Tata Motors*), c'est par lui que l'impression 3D indienne devrait faire ses premiers pas. On peut citer l'exemple de l'équipe de Formule Un, *Sahara Force India*, qui a signé un accord de partenariat technique avec le géant mondial de l'impression 3D, *3D Systems*, afin de développer l'utilisation d'impression 3D pour la fabrication de voitures. Ce partenariat permet à *Sahara Force India* de réduire le temps de fabrication des composants.

A Chennai, l'impression 3D est utilisée non pas dans la fabrication, mais comme un outil de gestion de projet. La société *Ikis*, qui propose des services de modélisation architecturale, utilise ainsi l'impression 3D depuis 2010 pour fournir à la demande des modèles 3D de bâtiments à toutes les étapes de leur construction en utilisant la technologie mise au point par la société américaine *Z Corporation*.

Un autre exemple est la société *Wipro Technologies* ([wiproinfra.com](http://wiproinfra.com)), une SSII indienne créée en 1980 dont le siège se situe à Bangalore. Cette entreprise propose ses compétences en mécanique de précision et en fabrication de composants hydraulique au secteur de la défense. Elle a signé un accord de transfert de technologie (FdF) avec CESA, une filiale d'Airbus Group (EADS). Cette entreprise a parfaitement compris le potentiel de l'impression 3D pour les industries pétrolières et gazières, notamment pour la réalisation de pièces en titane. *Wipro technologies* aide ainsi ses clients à réfléchir à l'intégration de l'impression 3D dans la chaîne d'approvisionnement.

<sup>78</sup> Société de prototypage pour le secteur des bijoux, de l'ingénierie, de l'automobile ou de l'architecture. Elle utilise les imprimantes 3D de l'entreprise américaine *3D Systems* : SLA, SLS (nylon) et 3DP.

<sup>79</sup> Elle propose des services de fabrication de composants métalliques et plastics. Elle utilise des machines de l'entreprise Allemande EOS : DMLS (métal), SLA, SLS et FDM.

<sup>80</sup> 3DPD utilise des machines de l'entreprise Israélienne *Stratasys* : SLA, SLS, FDM, 3DP et CNC.

Petite sœur de 3DPD, Total Prototyping utilise une technique, *Rapid Vacuum Investment castings*, qui allie l'impression 3D (SLA) à un moulage de précision sous vide afin de fabriquer des pièces métalliques (aluminium et alliage de zinc). Marché : l'automobile et les fabricants de composants aérospatiaux. Créée en 2008, son directeur, Mr Mukesh Agarwal, est un ancien élève de l'IIT Madras et de l'Université du Texas.

Par ailleurs, l'une des raisons de l'introduction très progressive de l'impression 3D sur le marché indien provient de la surreprésentation des PME et micro-entreprises dans l'économie du pays. En Inde, 84 % de la main-d'œuvre du secteur manufacturier travaille pour des micros et des petites entreprises. Ce chiffre est seulement de 27,5 % en Malaisie et 24,8 % en Chine.

L'adoption de grands systèmes, coûteux est donc lente en Inde. Ce pays ne détient que 3% des machines existantes en Asie (voir illustration 11). Cependant, il s'agit essentiellement de systèmes qui fabriquent des pièces plastiques (non considérées dans cette étude), moins chères. Comme les systèmes deviennent plus rapides et plus faciles à utiliser et que le rapport prix sur la performance s'améliore, les ventes devraient devenir fortes en Inde dans les années à venir.

### **III.1 Absence du gouvernement indien**

L'impression 3D est une technologie qui se développe lentement en l'Inde sur une petite échelle. Alors que l'Inde investit pour devenir un centre mondial des technologies clés, l'intégration de l'impression 3D demeure aujourd'hui hors de portée de nombreuses entreprises.

Le gouvernement ne semble pas avoir décidé de soutenir spécifiquement le développement de l'impression 3D. Aucune déclaration publique ni initiative gouvernementale n'a été identifiée. On note cependant qu'il existe des travaux lancés par des organismes de recherches. Ainsi, des instituts indiens de design de premier choix tels que l'Institut National de la Conception, l'Institut National de Technologie de la Mode ainsi que l'Institut Indien de Technologie ont introduit dans leurs programmes d'enseignement la conception par imprimante 3D.

### **III.2 Des acteurs indiens dispersés et un positionnement peu technologique**

Contrairement à la Chine, les principales actions en faveur de l'impression 3D proviennent du secteur privé. Ainsi, l'association de l'industrie *Additive Manufacturing Society of India* (AMSI), favorise l'émergence des technologies les plus récentes et organise des conférences pour sensibiliser les industriels.

On constate qu'il y a un lien fort entre la recherche publique et les besoins industriels. Ainsi, de nombreuses recherches sont en cours dans divers Instituts Indiens de Technologies (IIT) parce que la demande en faveur de l'impression 3D augmente. Actuellement, cette demande émerge principalement dans les secteurs de la santé, de la joaillerie et de l'automobile. La fabrication additive y est utilisée comme un outil pour valider la conception et perfectionner le produit. Par ailleurs, les logiciels de CAO qui sont largement utilisés en Inde y sont aussi développés.

Actuellement, plusieurs universités et instituts de recherche poursuivent des travaux de R&D sur la FDM, les logiciels et la DMLS. Il s'agit :

- Des *Indian Institute of Technology*
- Des *National Institute of Technology*
- Du *SRM Kattankulathur Dental College*



## Résultats

Vingt-trois organismes publics indiens ont été recensés comme travaillant sur les imprimantes 3D (selon les critères évoqués dans la méthodologie). Il s'agit de :

- *Beant College of Engineering and Technology* (BECETGSP) ;
- *Central Glass and Ceramic Research Institute* (CGCRI) ;
- *Indian Institute of Science* (IISc) ;
- *Indian Institute of Technology Delhi* (IITD) ;
- *Gas Turbine Research Establishment* (GTRE) ;
- *Government of Polytechnic College* (GPC) ;
- *Guru Nanak Dev Engineering College* (GNDEC) ;
- *Indian Institute of Technology Bombay* (IITB) ;
- *Indian Institute of Technology Indore* (IITI) ;
- *Indian Institute of Technology Kanpur* (IITK) ;
- *Indian Institute of Technology Kharagpur* (IITKGP) ;
- *Indian Institute of Technology Madras* (IITM) ;
- *Nagesh Karajagi Orchid College of Engineering and Technology Solapur* (NKOCET) ;
- *National Informatics Center* (NIC) ;
- *National Institute of Foundry and Forge Technology* (NIFFT) ;
- *National Institute of Technology Hamirpur* (NITH) ;
- *National Institute of Technology Kurukshetra* (NITKKR) ;
- *National Institute of Technology Rourkela* (NITRKL) ;
- *Osmania University* (OU) ;
- *Prof Ram Meghe Institute of Technology & Research* (MITRA) ;
- *Raja Ramanna Centre for Advanced Technology* (RRCAT) ;
- *Samrat Ashok Technological Institute* (SATI) ;
- *SRM Kattankulathur Dental College* (SRM).

Selon les critères choisis pour cette étude, seules trois entreprises ont été identifiées :

- *3Geometry Manufacturing Systems Ltd* (frittage laser sur la base de sable pour produire des moules) (numéro **1.** sur l'illustration 22 ci-dessous) ;
- *Integrated spacial analytics consultants (ISAC)* (cabinet de conseil) (numéro **2.** sur l'illustration 22 ci-dessous) ;
- *OpenRP* (Software) (numéro **3.** sur l'illustration 22 ci-dessous).

L'activité de recherche est répartie sur une grande partie du pays (voir illustration 22). La région de Pujab avec les villes de Ludhiana et Amritsar concentre trois organismes publics. D'autres villes telles que Kharagpur, Chennai, Bangalore, Indore sont importantes puisqu'elles recueillent deux organismes publics. Delhi en accueille deux également, mais on y trouve aussi une entreprise. La ville d'Hyderabad héberge une entreprise et un organisme public.

Les villes de Hamirpur, Kanpur, Vidisha, Ranchi, Solapur, Mumbai, Amraviti et Vidisha n'accueillent qu'un seul organisme de recherche public.

Une entreprise est située dans la ville de Panjim.

Le Rajasthan, le Gujarat, le sud de l'Inde (Tamil Nadu et le Kerala), le Bihar, ainsi que toute la partie Est du pays n'ont pas d'activités identifiées dans les imprimantes 3D.

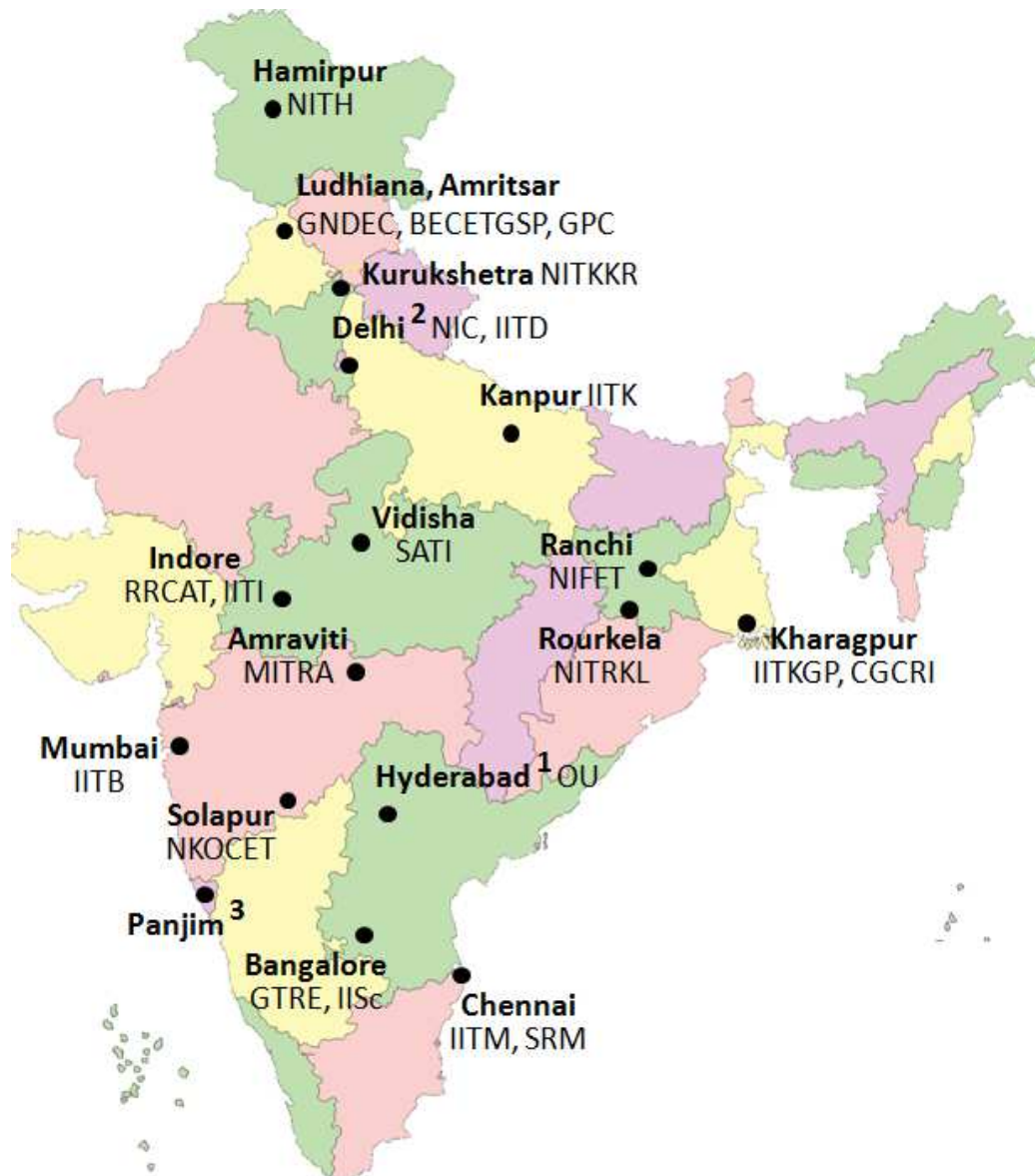


Illustration 22 : géo-localisation des organismes publics et des entreprises qui travaillent sur les imprimantes 3D en Inde.

### Brevets

Les bases de données utilisées n'ont pas permis de détecter des dépôts de brevets par des acteurs indiens (laboratoires ou entreprises).

### Les imprimantes 3D pour des pièces métalliques

La technique de *Fused Deposition Modeling* FDM est la plus représentée en Inde. C'est la technique la plus simple pour réaliser des pièces métalliques, mais sa précision ne permet pas de travailler dans les domaines pointus de l'aéronautique ou de l'aérospatial. Les Indiens sont cependant très présents dans le développement de logiciel permettant de :

- modéliser et représenter des objets ;
- calculer l'épaisseur de tranche ;
- créer des objets en 3D à partir d'images médicales (IRM) ;
- etc.

L'Inde s'intéresse aussi à la technique d'impression 3D par *Directed Energy Deposition*, plus particulièrement à travers le LENS, le WAAM et l'EBDM (voir illustration 23).

Quelques organismes travaillent sur la technique 3DP.

Beaucoup d'études sur l'état de l'art et des applications des imprimantes 3D ont été réalisées dans ce pays. Enfin, il faut noter que les Indiens utilisent souvent des machines importées pour mener leurs expériences.

### **Matière première**

Les Indiens ne se positionnent pas sur les poudres utilisées dans les imprimantes 3D, qu'il s'agisse des poudres métalliques ou d'autres types de poudres.

### **Positionnement technologique indien sur les imprimantes 3D**

On constate que les instituts de recherche indiens sont moins positionnés que leurs homologues chinois sur deux technologies d'impression additive ayant des applications possibles pour la fabrication d'armes (*Power Bed Fusion* à base de matériaux métalliques et *Sheet Lamination* à base également de matériaux métalliques). Seuls le *SRM Kattankulathur Dental College* (prothèses) et l'IIT de Madras ont réalisé des travaux sur ces deux technologies. Aucune entreprise indienne ne s'est positionnée sur ces deux techniques.

En matière d'applications aérospatiales, les techniques de *Directed Energy Deposition* à base de matériaux métalliques sous forme de poudres ou de fils font l'objet de travaux par plusieurs organismes de recherche indiens. Là aussi, aucune entreprise n'a été identifiée sur ce créneau technologique.

Des acteurs indiens travaillent beaucoup plus sur les logiciels liés à l'utilisation des imprimantes 3D et sont absents de la recherche sur les matières premières utilisables par celles-ci.

Le positionnement technologique indien se caractérise donc par une **absence de maîtrise sur certaines techniques d'impression additives ayant des applications potentielles stratégiques (armement), tout en ayant une implication limitée sur d'autres techniques (application aérospatiale).**

Classification	Material	Process description	Weapons Armour And PPE	Defence logistic and support	Electronics (sensing)	Energy (storage)	Aerospace (airframe)	Companies chinoises	Organismes publics chinois	Companies indiennes	Organismes publics indiens
Power bed fusion	Metal	DMLS, SLM, EBM, SLS						6, 7, 11, 13	AAFE, HDU, HIST, XJU?, NAAA, BUAA?, SYNL, USST		SRM (DMLS)
	Polymer	SLS, SHS, SMS, HSS						1, 6, 11, 12, 13, 14	USST, HDU		
	Ceramic	SLS						1, 4, 6, 12.	USST, TYUST	1	IITKGP (sable Z Corportion)
Directed Energy Deposition	Metal (powder feed)	DMD, LENS, LC, LD, IFF, LAAM						3, 7, 8, 9	BIGC, THU, DUT ?, XJU ?, Hunan Univ., NPU, BUAA ?		CGCRI, IITK, IITM (LENS)
	Metal (wire feed)	EBDM, WAAM, SMD						10	HIT, XJU?, CAST, CAMST		IITB (WAAM et EBDM), RRCAT (EBDM)
Material Jetting	Photopolymer	Polyjet, Ink-jetting							IOS, BIGC		
	Ceramic	3DP, S-Print									BECETGSP et GPC (avec machine étrangère), GNDEC
Material extrusion	Polymer and metal	FDM						2, 12, 14, 16	Métal :TJPU, ZJU		Métal : NIFFT, NITRKL, GTRE, IITB, IITI, RRCAT, GTRE
vat photopolymérisation	Photopolymer	SLA, DLP, SLA/DLP						2, 5, 6, 12, 14, 15			
Sheet lamination	Hybrids	UC						6			
	Métallique							6			IITM
	Ceramic	LOM						6			
Logiciel	Hors catégorie							6, 12, 17	TJPU, BJTU, AAFE, XAUT, NCU	3	IISc, NKOCET, NITKKR, OU, MITRA, SATI, IITB, IITKGP, NIC
Scanneur 3D								2, 12	HIT		
Matière première								1, 14, 15	USST, DUT, HDU, NAAA		IITK (métal)
Autres (matériels, état de l'art)								2	SCUT, HDU	2	IITD, NITH, GTRE, IITB ?, IITM

Illustration 23 : positionnement technologique des

organismes publics et des entreprises chinoises et indiennes.



**CHLORODIA**

### III.3 Focus sur les organismes publics et entreprises indiennes travaillant sur des procédés d'impression 3D à base métallique

Parmi les organismes recensés précédemment, douze d'entre-eux travaillent sur des procédés d'impression 3D à base de matériaux métallique (voir illustration 24). Il s'agit de :

- *Central Glass and Ceramic Research Institute (CGCRI)*
- *Gas Turbine Research Establishment (GTRE)*
- *Government of Polytechnic College (GPC)*
- *Indian Institute of Technology Bombay (IITB)*
- *Indian Institute of Technology Indore (IITI)*
- *Indian Institute of Technology Kanpur (IITK)*
- *Indian Institute of Technology Kharagpur (IITKGP)*
- *Indian Institute of Technology Madras (IITM)*
- *National Institute of Foundry and Forge Technology (NIFFT)*
- *National Institute of Technology Rourkela (NITRKL)*
- *Raja Ramanna Centre for Advanced Technology (RRCAT)*
- *SRM Kattankulathur Dental College (SRM)*

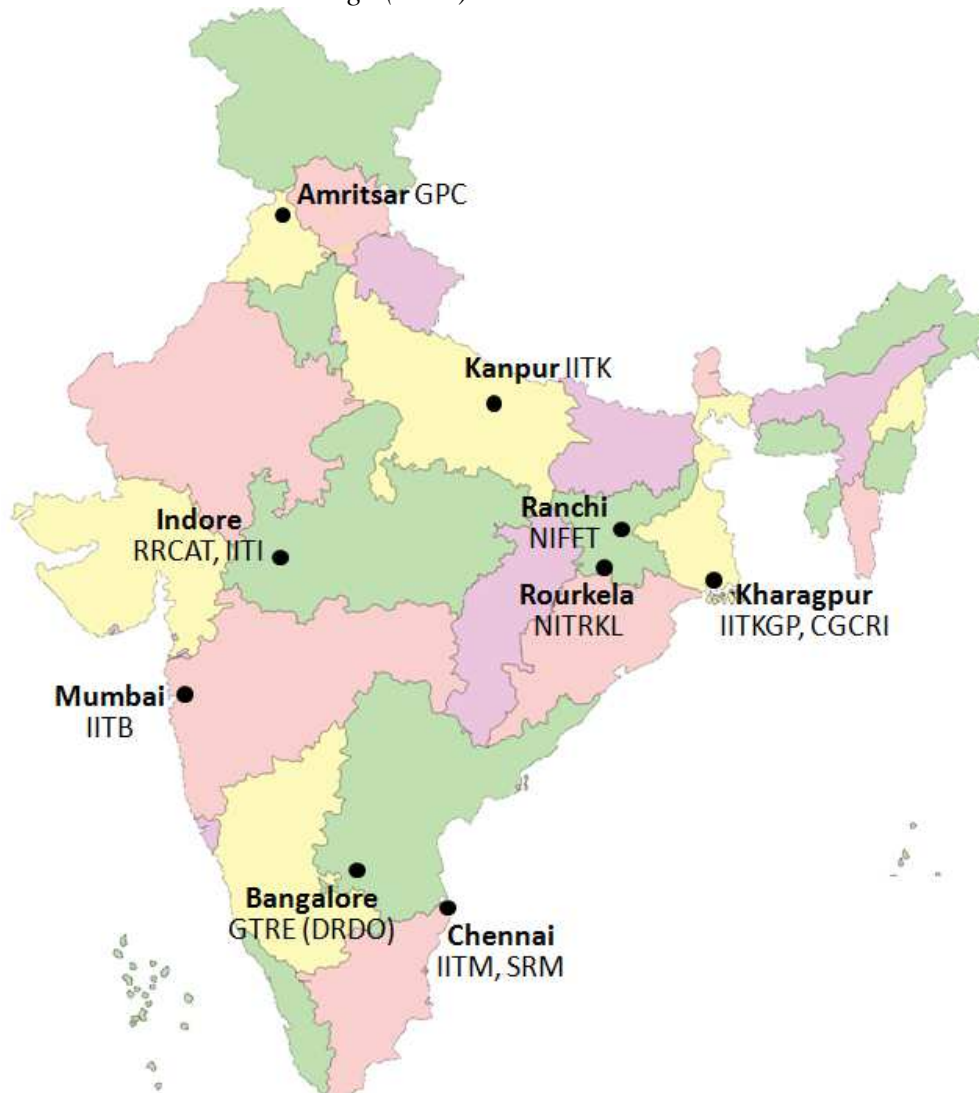


Illustration 24 : géo-localisation des organismes publics travaillant sur des procédés d'impression 3D à base métallique en Inde.

<b>Organismes</b>	<b>Nbr. de publications</b>	<b>Nbr. de publications liées aux pièces métalliques<sup>81</sup></b>
BECETGSP	1	0
<b>CGCRI</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
IISc	1	0
IITD	1	0
<b>GTRE (DRDO)</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>GPC</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
GNDEC	11	0
<b>IITB</b>	<b>9</b>	<b>7</b>
<b>IITI</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>IITK</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>IITKGP</b>	<b>4</b>	<b>1</b>
<b>IITM</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
NKOCET	1	0
NIC	1	0
<b>NIFFT</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
NITH	1	0
NICKKR	1	0
<b>NITRKL</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>OU</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
MITRA	1	0
<b>RRCAT</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
SATI	1	0
<b>SRM</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Illustration 25 : nombre de publications par organismes indiens.

On peut regrouper les différents organismes indiens publiant des articles scientifiques en trois groupes :

Le premier comprend le GNDEC et l'IITB. Ce sont eux qui ont émis le plus d'articles en Inde sur les imprimantes 3D (respectivement 11 et 9 articles). L'IITB est celui qui est le plus spécialisé dans la recherche sur la fabrication de pièces métalliques. Le GNDEC n'a par contre publié aucun article sur cet axe de recherche.

Le second groupe contient l'IITM, l'IITKGP et le RRCAT. Ils ont beaucoup moins publié que les organismes du premier groupe (seulement entre 3 et 4 articles). Ils sont spécialisés, à l'exception de l'IITKGP, sur la réalisation de pièces métalliques par impression 3D.

Le dernier groupe comprend tous les autres organismes de recherche qui ont peu publié (1 ou 2 articles). Le CGCRI et l'IITK sont les plus spécialisés du groupe dans la recherche sur l'utilisation de la fabrication additive pour la réalisation de pièces métallique.

<sup>81</sup> Hors état de l'art



Il faut noter que le GTRE, dépendant du DRDO, n'a publié que deux articles, dont un seul sur la réalisation de pièces métalliques. Encore sagit-il d'un article sur l'état de l'art des diverses méthodes employées pour fabriquer ce genre de pièces à l'aide de l'impression 3D.

\* \* \*

Pour les descriptions ci-dessous, voir le détail de ces organismes, entreprises et publications en annexe 3 : liste des organismes publics, des entreprises, des publications indiennes.

Les entreprises ne produisent pas d'imprimantes 3D qui fabriquent des pièces métalliques. Aucune n'a retenu notre attention.

Les organismes publics qui ont particulièrement retenu notre attention lors de l'étude sont les suivants :

- **Central Glass and Ceramic Research Institute (CGCRI)** a co-publié avec les États-Unis en 2012 une étude sur les implants en titane en utilisant la technique de LENS. Il a aussi participé en 2013 à l'étude sur les implants en titane avec l'IITK et l'IITM. Créé en 1950, cet organisme travaille sur l'identification des ressources minérales dans le pays et leurs aptitudes pour le développement d'un produit spécifique et le développement de différents types de verres optiques. Le verre optique est un matériau stratégique utilisé dans les lentilles et les prismes pour réaliser des périscopes, des jumelles, des télémètres, des armes à feu, etc. L'usine pilote de l'institut est entrée en production en 1961 et elle a une capacité annuelle de 10 tonnes.

- **Gas Turbine Research Establishment (GTRE)** est un laboratoire de *Defence Research and Development Organisation* (DRDO). Sa fonction principale est la recherche et le développement de turbines à gaz aéronautiques pour les avions militaires. Il a réalisé deux études non stratégiques, dont un état de l'art et une étude sur le dépôt de fils (FDM).

- **Indian Institute of Technology Bombay (IITB)** a beaucoup publié, notamment sur la technique de WAAM et EBDM (*Directed Energy Deposition*) qui trouve des applications dans les secteurs de la défense et de l'aérospatial. La matière utilisée lors de l'étude sur la technique EBDM de 2010 (co-publiée avec le RRCAT) est un alliage d'inconel qui est aussi un métal très solide. Créé en 1958, il a été décrété comme institut d'importance nationale en 1961.

- **Indian Institute of Technology Kanpur (IITK)** a co-publié en 2013 sur la fabrication d'implants en titane avec la technique de LENS (*Directed Energy Deposition*) avec l'IITM ci-dessus. Cet institut a été créé en 1959.

- **Indian Institute of Technology Madras (IITM)** a publié avec les États-Unis en 2010 sur la technique de UC (*Sheet lamination*) qui trouve des applications dans les secteurs d'armement et de l'aérospatial. Cependant, IITM est en second auteur, l'imprimante 3D qui a servi pour cette étude est donc peut-être sur le sol américain. Il a aussi co-publié en 2013 sur la fabrication d'implants en titane produits avec la technique de LENS (*Directed Energy Deposition*) avec l'IITK. La technique de LENS peut trouver des applications dans les secteurs de la défense et de l'aérospatial. De plus, le titane a une excellente solidité, il est donc utilisé dans des secteurs d'excellence comme l'aérospatial. L'IIT Madras est l'un des plus grands instituts d'importance nationale.

- **Raja Ramanna Centre for Advanced Technology (RRCAT)** a co-publié sur la technique de l'EBDM (*Directed Energy Deposition*) avec l'IITB. C'est une unité du département de l'Energie Atomique, engagée dans la R&D sur les lasers et les technologies d'accélérateurs de particules. Il a été créé en 1986.



- **SRM Kattankulathur Dental College** a publié sur la technique de DMLS (*Power Bed Fusion*) qui peut trouver des applications dans les secteurs de l'armement, de la défense et de l'aérospatial. Cependant, cet organisme, créé en 1996, est spécialisé dans le domaine dentaire.

### **III.4 Nombreuses coopérations nationales et internationales en Inde**

Selon l'illustration ci-dessous, les coopérations internationales ne sont que académiques. Selon le nombre de publications, c'est avec les États-Unis que l'Inde collabore le plus, suivie de la France et de la Nouvelle-Zélande.

Sur les quatorze publications internationales, sept d'entre-elles ont pour premier auteur un chercheur indien.

Sur ses quatre publications avec la France, trois d'entre-elles ont pour premier auteur un chercheur indien. Trois d'entre-elles sont des états de l'art et l'une porte sur la technique de FDM (premier auteur indien). Ces états de l'art peuvent suggérer une future collaboration plus technique.

Sur ses quatre publications avec les États-Unis, l'une d'entre-elles a pour premier auteur un chercheur indien.

L'Inde est premier auteur avec le Royaume-Uni, Singapour et Pays-Bas.

Il se positionne en auteur secondaire avec la Nouvelle-Zélande et l'Allemagne.

Les universités ayant co-publié avec des organismes publics étrangers sont :

- IITKGP avec le Royaume-Uni (numéro **4.** sur l'illustration 26), la Nouvelle-Zélande (**7.** et **12.**), l'Australie (**12.**) et l'Allemagne (**11.**) ;
- IITM avec les USA (**1.** et **9.**) ;
- IITK avec les USA (**10.**) ;
- Central Glass and Ceramic Research Institute (CGCRI) avec les USA (**8.**) ;
- IITB avec la France (**2.** et **3.**) ;
- Gas Turbine Research Establishment (GTRE) et l'IITB avec la France (**5.** Et **6.**) ;
- National Informatics Center (NIC) avec Singapour (**14.**).

L'IITKGP est l'organisme le plus actif en co-publication internationale car il co-publie avec beaucoup de pays.

Kharagpur, Kampur, Chennai et Mumbai apparaissent comme des centres essentiels des coopérations nationales et internationales indiennes sur l'impression 3D (voir illustration 26).



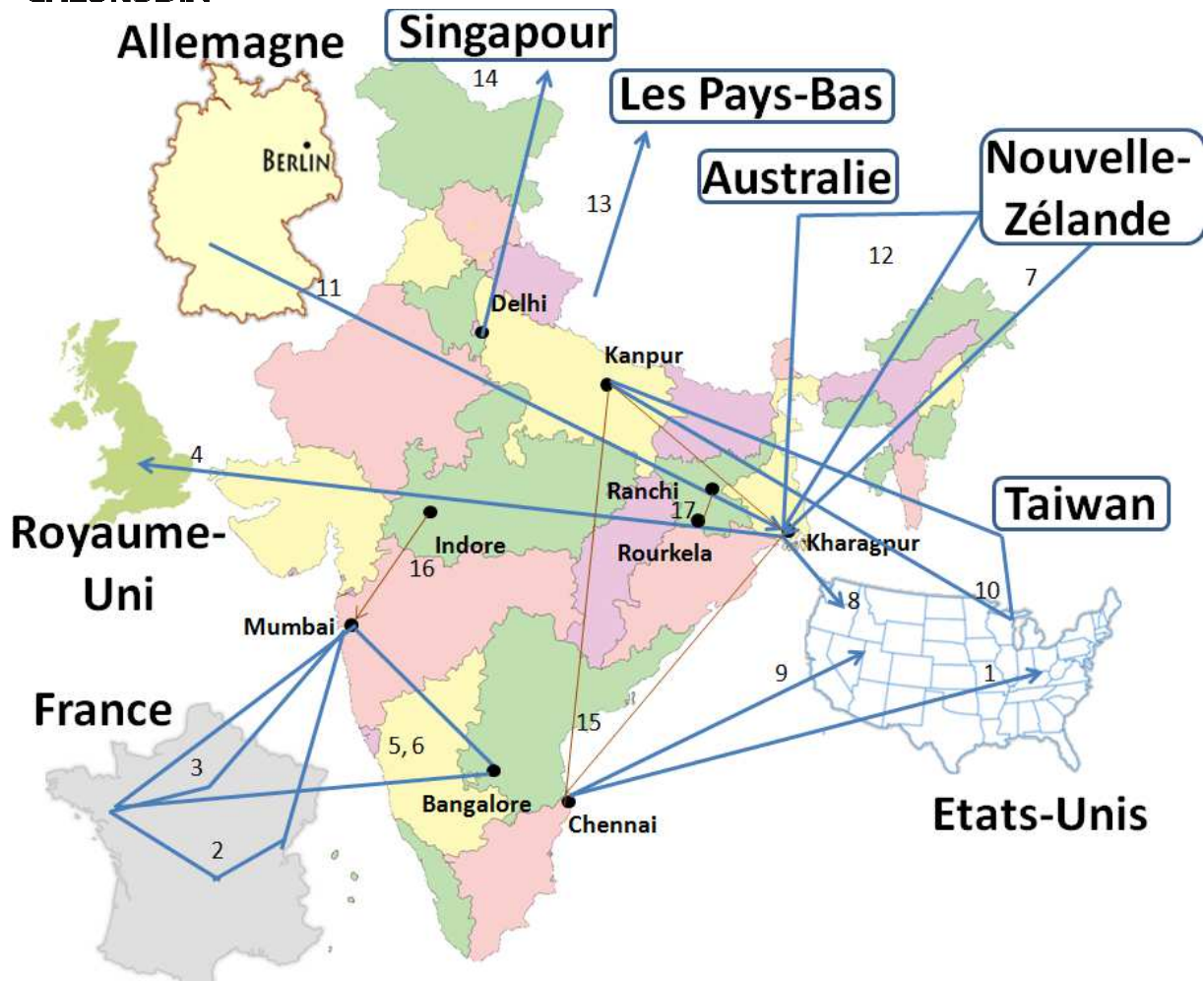


Illustration 26 : coopérations nationales et internationales des centres de recherche en Inde.

1. Imprimante 3D de pièces métalliques par friction. Coopération entre l'IITM et l'Université de Louisville aux USA<sup>82</sup>.
2. Etude sur les diverses applications des imprimantes 3D dans la fabrication de pièces métalliques (état de l'art). Co-publication de l'IIT de Bombay et de trois laboratoires français (Ecole Centrale de Nantes, LERMPS-UTBM, Belfort, et l'association française de prototypage rapide de Clermont-Ferrand)<sup>83</sup>.
3. Développement de l'imprimante 3D (état de l'art). Co-publication française (Meudon et Nantes) avec l'IIT de Bombay<sup>84</sup>.
4. Livre sur le design pour la fabrication additive écrit par l'IITKGP en collaboration avec *Loughborough University*, UK<sup>85</sup>.
5. Etude sur les fils métalliques. Co-publication entre l'Inde (IIT de Bombay et Gas Turbine Research Establishment, Bangalore) et la France (Ecole Centrale de Nantes)<sup>86</sup>.

<sup>82</sup> J.J.S. Dilip, G.D. Janaki Ram, B.E. Stucker, « Additive manufacturing with friction welding and friction deposition processes », Inderscience Publishers, 26 avril 2012.

<sup>83</sup> K.P. Karunakaran, Alain Bernard, S. Suryakumar, Lucas Dembinski, Georges Taillandier, « Rapid manufacturing of metallic objects », *Rapid Prototyping Journal*, 1995.

<sup>84</sup> A. Bernard, G. Taillandier, K.P. Karunakaran, « Evolutions of rapid product development with rapid manufacturing: concepts and applications », *International Journal of Rapid Manufacturing*, 2009.

<sup>85</sup> Manoj Tiwari, Jenny A. Harding, Candice Majewski, « Applications of Evolutionary Computing to Additive Manufacturing », *John Wiley & Sons*, 22 août 2011. 57



6. Etude pour montrer les diverses applications des imprimantes 3D pour la fabrication de pièce métalliques (état de l'art), co-publication entre la France et l'Inde (GTRE et IITB)<sup>87</sup>.
7. L'étude vise à évaluer l'efficacité du processus de moulage rapide pour les métaux légers avec la technologie d'impression 3D, SLA, SLS (EDM) (pièces de haute résistance et complexe) qui résulte d'une coopération entre l'IITKGP et la Nouvelle-Zélande<sup>88</sup>.
8. Etude sur les implants en titane personnalisés en utilisant *Net Engineering Laser Shaping* (LENS) entre l'Inde (*Central Glass and Ceramic Research Institute*) et les USA (*Washington State University*)<sup>89</sup>.
9. Fabrication additive par consolidation ultrasons (UC) pour dépôt de métal. Etude américaine (*Utah State University*) en collaboration avec IITM<sup>90</sup>.
10. Etude sur la matière première : un alliage à mémoire de forme (SMA) pour Direct Dépôt de Métal (DMD). Etude américaine (*Northwestern University*) avec le soutien de l'*University of Illinois*, l'IITK et *Yuan Christian University* de Taiwan<sup>91</sup>.
11. Logiciel pour créer des objets en 3D à partir d'images médicales CT ou IRM. Etude allemande en collaboration avec l'IITKGP<sup>92</sup>.
12. L'utilisation des technologies de SLS (fournit par Z Corporation) pour la production de moules en sable à usage unique pour l'industrie de la fonderie. Etude néo zélandaise, en collaboration avec l'IITKGP et *Queensland University of Technology* d'Australie<sup>93</sup>.
13. Etude des Pays-Bas sur un logiciel, co-publiée avec *Integrated Special Analytics Consultants*, India<sup>94</sup>.
14. L'objectif de cet article est de développer un nouvel algorithme pour générer automatiquement des modèles de représentation 3D. Etude entre le *National Informatics Center* indien et Singapour<sup>95</sup>.
15. Implants en titane par *Net Engineering Laser Shaping* (LENS). Collaboration nationale entre le *Central Glass & Ceramic Research Institute*, l'IITM et l'IITK<sup>96</sup>.
16. Etude sur la fabrication de pièces en alliage d'inconel avec la technique d'imprimante 3D EBDM. Coopération nationale entre *Centre for Advanced Technology* d'Indore et l'IITB<sup>97</sup>.

---

<sup>86</sup> S. Suryakumar, K.P. Karunakaran, Alain Bernard, U. Chandrasekhar, N. Raghavender, Deepak Sharma, K.P. Karunakaran « Weld bead modeling and process optimization in Hybrid Layered Manufacturing », Elsevier, Computer-Aided Design, avril 2011.

<sup>87</sup> P. Karunakaran, S. Suryakumar, U. Chandrasekhar, A. Bernard, « Hybrid rapid manufacturing of metallic objects », *International Journal of Rapid Manufacturing*, 20 octobre 2010.

<sup>88</sup> Sarat Singamneni, Nicholas McKenna, Olaf Diegel, Darius Singh, A Roy Choudhury, « Rapid Manufacture in Light Metals Processing », *Materials Science Forum* (Volumes 618 - 619), avril 2009.

<sup>89</sup> P. DeVasConCellos, V. K. Balla, S. Bose, R. Fugazzi, W. S. Dernell, A. Bandyopadhyay, « Patient specific implants for amputation prostheses: Design, manufacture and analysis », *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* (VCOT), 2012.

<sup>90</sup> Yanzhe Yang, G.D. Janaki Ram, Brent E. Stucker, « An analytical energy model for metal foil deposition in ultrasonic consolidation », *Rapid Prototyping Journal*, 2010.

<sup>91</sup> Kostyantyn Malukhin, Kornel Ehmann, «Development of A Monolithic Shape Memory Alloy Manipulator », *SpringLink*, 2008.

<sup>92</sup> F. Rengier, A. Mehndiratta, H. von Tengg-Kobligk, C. M. Zechmann, R. Unterhinninghofen, H.-U. Kauczor, F. L. Giesel, « 3D printing based on imaging data: review of medical applications », *SpringLink*, *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, juillet 2010.

<sup>93</sup> Singamneni Sarat, McKenna Nicholas, Diegel Olaf, Singh Darius, Neitzert Thomas, St George John D, Choudhur Asimava Roy, Yarlagadda Prasad, « Rapid Casting: A Critical Analysis of Mould and Casting Characteristics », *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 2009.

<sup>94</sup> T. Ghawana, S. Zlatanova, « 3D printing for urban planning : a physical enhancement of spacial perspective », *Urban and regional data management*, Taylor and Francis, 2013.

<sup>95</sup> Reginald C. Jegathese, Eustace Painkras, Edmond C. Prakash, « Discrete Voxel Manufacturing Without Slicing », *IFIP PROLAMAT 98 - September 9-10-11 & 12, 1998, Italy*.

<sup>96</sup> Mitun Das, Vamsi Krishna Balla, T. S. Sampath Kumar, Indranil Manna « Fabrication of Biomedical Implants using Laser Engineered Net Shaping (LENS) », *Transactions of the Indian Ceramic Society*, 2013.

<sup>97</sup> P Ganesh, R. Kaul, C.P. Paul, Pragya Tiwari, S.K. Rai, RC Prasad, L.M. Kukreja, « Fracture Toughness and Fatigue Crack Growth Characterization of Laser Rapid Manufactured In-625 », Elsevier, *Materials Science and Engineering*, Volume 527, Issues 29–30, Pages 7490–7498, 15 novembre 2010.

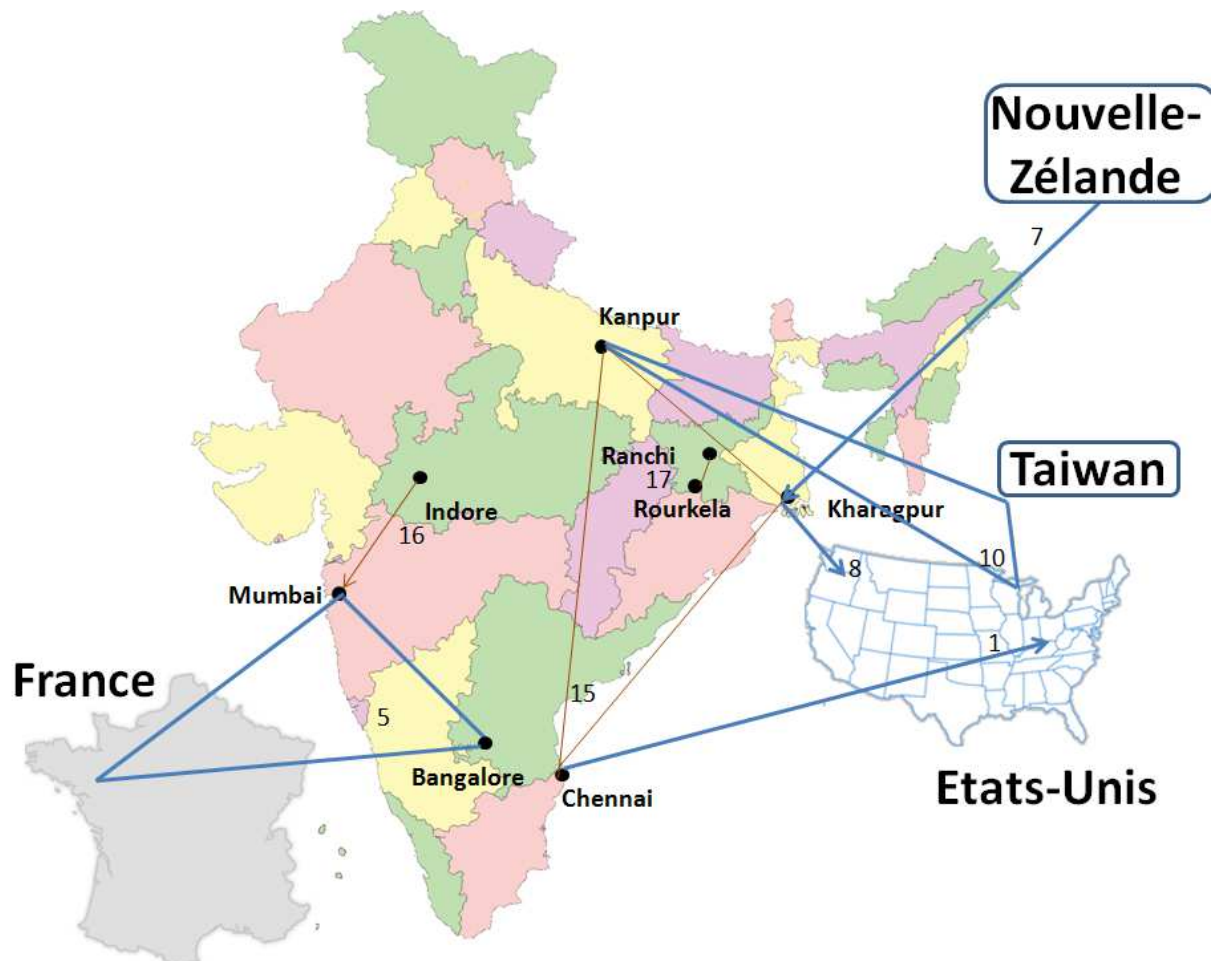


Illustration 27 : coopérations nationales et internationales des centres de recherche en Inde sur l'impression 3D de pièces métalliques.

Les coopérations nationales et internationales identifiées sont en nombre relativement limitées mais concernent toutes des recherches relatives à l'emploi de matériaux métalliques pour l'impression 3D. Les coopérations internationales sur cette thématique n'existent qu'avec très peu de partenaires dont certains acteurs français.

Le GTRE du DRDO a réalisé une co-publication au niveau international avec la France.

<sup>98</sup> Anoop Kumar Sood, R.K. Ohdar, S.S. Mahapatra, « Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts », Elsevier, janvier 2010.



### III.5 Conclusion pour l'Inde

Contrairement à son grand concurrent stratégique chinois, **le développement de la fabrication additive demeure encore limité en Inde**. Cela repose en partie sur une perception de nombreux experts indiens sur le coût et la complexité de cette technologie.

**Le gouvernement indien n'a pas initié de programme national en la matière**. Si de nombreux organismes publics travaillent sur des applications des imprimantes 3D, il ne semble pas qu'il y ait une coordination entre eux, ni un financement ou des objectifs scientifiques communs. Tout apparaît sous l'apparence d'une multitude de projets individuels sans une stratégie d'ensemble. **Le ministère de la Défense indien ne joue pas non plus un rôle de leader**. A ce titre, les travaux entrepris par le DRDO semblent bien limités à la seule connaissance de l'état de l'art. Mais cela peut être également analysé comme une première étape sur la faisabilité de l'emploi de l'impression 3D pour des applications de défense.

**Dans leur ensemble, la qualité des travaux scientifiques et technologiques indiens sont inférieurs à ceux de leurs homologues chinois**. Il y a donc une marge de progression possible à condition qu'un projet d'ensemble, même à faible coût, soit mis en place et que des coopérations constructives avec des acteurs étrangers en pointe dans cette technologie soient établies.

Si le gouvernement n'est pas l'organisateur du développement de l'impression additive en Inde, les acteurs privés y jouent par contre un rôle important. Ils sont à l'origine de la principale association ayant pour vocation l'extension de l'usage des imprimantes 3D dans le pays. Un point essentiel qui détache l'Inde de son concurrent chinois est également que **ce sont principalement les entreprises du secteur automobile et non celles de l'aérospatial qui utilisent des imprimantes 3D**.

En ce qui concerne les coopérations scientifiques dans le domaine de l'impression 3D, les chercheurs indiens collaborent avec des experts de nombreux pays occidentaux (États-Unis, Pays-Bas, France, Taiwan...), mais demeurent très limitées lorsque l'on regarde les travaux relatifs aux imprimantes 3D utilisant des matériaux métalliques.

Le positionnement technologique indien se caractérise donc **par une absence de maîtrise sur certaines techniques d'impression additive ayant des applications potentielles stratégiques (armement), tout en ayant une implication limitée sur d'autres techniques (application aérospatiale)**.

L'étude n'a pas permis d'identifier d'entreprises indiennes qui soient fournisseurs d'imprimantes industrielles utilisant des matériaux métalliques. L'ensemble du parc national (qui représente 3% des machines détenues en Asie) ne semble contenir que des machines importées. **En ce sens, l'Inde est beaucoup plus dépendante des fournisseurs occidentaux que n'est la Chine. Un renforcement des mesures de contrôle des exportations sur ces machines et les technologies associées auraient certainement un impact plus significatif que pour la Chine**.



## IV. Etat de l'art de la Russie

	Données de base russes
Population (2014)	143 millions
Superficie	17 millions de km <sup>2</sup>
Densité de population moyenne	8,3 habitants/km <sup>2</sup>
PIB (2012)	2 486 milliards de \$
PIB/habitant	15 9000 \$
IDH (2012)	0,78

Contrairement à la Chine, il est difficile de déterminer la période à laquelle des acteurs russes ont commencé à s'intéresser aux procédés de fabrication additive. Cependant, on peut noter qu'entre 1988 et 2009, la Russie a acquis 1,3% de l'ensemble des imprimantes 3D industrielles vendues dans le monde (source *Wohlers Associates*). Il y a donc un intérêt manifeste de la part de quelques laboratoires et entreprises pour utiliser ces nouveaux moyens de production.

### IV.1 Absence d'une stratégie du gouvernement fédéral russe mais quelques initiatives pour le développement des imprimantes 3D

Il semble que les autorités gouvernementales russes n'aient pas envisagé le caractère potentiellement stratégique de la fabrication additive. A l'inverse des biotechnologies, des nanotechnologies ou des NTIC, les autorités russes n'ont initié aucune stratégie nationale pour les imprimantes 3D, ni identifié celles-ci comme un défis technologique. Aucune déclaration officielle n'a été prononcée et aucun document gouvernemental cadre n'a été rendu public. Ceci est très surprenant étant donné le caractère très volontaire du gouvernement russe pour soutenir le développement technologique du pays, surtout pour des techniques où des applications stratégiques sont susceptibles d'émerger (exemple : armement, énergie, aérospatial, etc.).

Cependant, deux initiatives significatives ont été lancées, l'une par le ministère de l'Enseignement et de la science et l'autre, par le fond d'investissement stratégique ROSTEC.

Dans le premier cas, le ministère de l'Enseignement et de la science a décidé de soutenir la mise en place d'un centre technologique spécialisé sur la fabrication additive. Ce centre est situé au sein de l'Université Fédérale de l'Oural (UrFU) à Ekaterinbourg. L'apport financier du ministère de l'Enseignement est modeste, à hauteur de 1,5 millions d'euros, pour une première étape d'un projet estimée à 24 millions d'euros. La majeure partie des fonds proviennent des entreprises industrielles de la région de l'Oural<sup>99</sup>.

Il semble que les autorités russes souhaitent établir des centres similaires dans d'autres universités, principalement à Moscou (dans cinq universités technologiques dont MIPT, MISiS et MPhI), Kazan, Irkousk, Saint Petersburg et Vladimir<sup>100</sup>.

<sup>99</sup> <http://www.marchmontnews.com/Technology-Innovation/Urals/20192-Urals-Yekaterinburg-develop-laser-and-additive-manufacturing-tech-center.html/PrintVersion>

<sup>100</sup> Idem.



L'autre initiative fédérale provient du fond ROSTEC, via sa holding Shvabe<sup>101</sup>. Il s'agit de mettre en place une usine utilisant des imprimantes 3D pour fabriquer des composants d'enregistreurs d'appareils photographiques digitaux, des lentilles pour caméras et des instruments optiques médicaux. Cette usine est située à Krasnogorsk<sup>102</sup>.

Si le gouvernement fédéral finance quelques projets de centres de référence, on doit noter qu'il existe également un projet soutenu par la région de Voronej. Il s'agit d'installer au sein du parc technologique Maslovsky un centre de production par fabrication additive<sup>103</sup>. Cette initiative est soutenue par le gouverneur de la région de Voronej, Alexey Gordeev, et par le président de l'entreprise Voronezhselmash<sup>104</sup>, Grigory Chuiko. L'objectif affiché est d'accélérer le développement de l'utilisation de la fabrication additive dans le secteur industriel russe et d'accroître la compétitivité des produits réalisés au niveau national.

Un autre projet similaire semble se dessiner dans la région d'Ekaterinbourg. Il est porté par la région d'Oural et vise à la réalisation d'un centre régional d'ingénierie sur les lasers et la fabrication additive. Celle-ci devrait être développée dans une seconde phase du projet. Le partenaire privé qui est associé à cette initiative est la société *IPG Photonics*<sup>105</sup>. L'objectif du centre est d'obtenir, d'ici 2017, une centaine de brevets, de former environ 600 étudiants diplômés, de lancer cinquante projets d'ingénierie et d'obtenir 4,6 millions d'euros de chiffre d'affaires pour des services associés<sup>106</sup>.

Contrairement à la Chine, les autorités russes n'ont donc pas initié une stratégie nationale pour la fabrication additive. Elles ont cependant lancé quelques projets de centres technologiques qui pourront appuyer le développement de ces technologies dans les années à venir. Des initiatives locales complètent ce dispositif. Voulues par certaines régions qui accueillent des industries lourdes, l'objectif est de favoriser l'utilisation de nouvelles technologies de production par des acteurs industriels traditionnels russes.

---

<sup>101</sup> Shvabe regroupe les dix neuf entreprises clefs russes spécialisées dans les matériaux et les systèmes d'électro-optique pour des applications dans les domaines de la défense, de la santé et des économies d'énergie.

<sup>102</sup> Usine S.A Zverev. Cf. <http://rostec.ru/en/media/pressrelease/4229>.

<sup>103</sup> *Russia to Develop Additive Manufacturing Technology*, <http://rostechnologiesblog.wordpress.com/>.

<sup>104</sup> Cette entreprise produit principalement des équipements agricoles. Il s'agit probablement d'une tentative de diversification d'une industrie lourde.

<sup>105</sup> IPG Photonics est une société spécialisée dans la fibre laser. A l'origine fondée en Russie en 1990, elle s'est développée par la suite en Allemagne, au Royaume-Uni et aux États-Unis.

<sup>106</sup> Let There Be Light, Serguey Yermak, *Ural Expert*, <http://www.photonics-expo.ru/>, 14 avril 2014.



## IV.2 Des acteurs russes regroupés et un positionnement fortement technologique

Le tissu des organismes russes travaillant sur les imprimantes 3D est relativement concentré entre deux zones géographiques. Tout d'abord, la région de Moscou accueille la majorité des institutions scientifiques russes travaillant sur la fabrication additive (voir illustration ci-dessous). On y trouve des universités technologiques très connues (Université de Moscou Lomonosov, Université Nationale de la Science et de la Technologie, Université Nationale de la Recherche Nucléaire). Ensuite, les régions d'Oural et de Sibérie regroupent des organismes de recherche dont certains sont plus spécialisés dans les questions de l'aéronautique. Ces deux régions vont également accueillir dans le futur plusieurs centres technologiques qui seront mis en place à la fois avec le soutien financier des régions et du ministère de l'Enseignement et de la Science.

On doit noter que plusieurs des organismes identifiés sont également très bien positionnés dans le domaine du développement des lasers. Il s'agit d'un secteur dans lequel la Russie est un leader mondial avec l'Allemagne. Il suffit pour s'en convaincre de se souvenir que le principal fournisseur de fibre laser, la société *IPG Photonics*, est d'origine russe. Le lien existant entre certains types d'imprimantes 3D et les lasers laisse augurer un positionnement stratégique des acteurs russes dans cette filière technologique<sup>107</sup>. Cependant, cette étude n'a pas permis de trouver des sociétés russes qui fournissent d'imprimantes 3D.

### Résultats

Onze organismes publics russes ont été recensés comme travaillant sur les imprimantes 3D (selon les critères évoqués dans la méthodologie). Il s'agit de :

- *Baikov Institute of Metallurgy and Materials Technology (IMET)*
- *Institute of Structural Macromechanics and Materials Science (ISMAN)*
- *Lebedev Physics Institute (LPI)*
- *Lomonosov Moscow State University (MSU)*
- *Moscow State Technological University Stankin (MSTU)*
- *National Research University of Electronic Technology (MIET)*
- *National University of Science and Technology (MISI)*
- *Samara State University (SSU)*
- *Siberian State Aerospace University (SibSAU)*
- *The Institute on Laser and Information Technologies of the Russian Academy of Sciences (ILIT)*
- *The National Research Nuclear University (MEPhI) (Moscow Engineering Physics Institute)*

Aucune entreprise russe spécialisée dans la fabrication d'imprimantes 3D n'a été identifiée.

---

<sup>107</sup> Cf. Serguey Yermak, op.cit.



Illustration 28 : géo-localisation des organismes publics qui travaillent sur les imprimantes 3D en Russie.

### Brevets

Les bases de données utilisées n'ont pas permis de détecter des dépôts de brevets par des acteurs russes, qu'il s'agisse de laboratoires publics, d'entreprises ou de personnes privées.

### Les imprimantes 3D pour des pièces métalliques

Presque toutes les études sur les imprimantes 3D pour des pièces métalliques relèvent de co-publications internationales et plus particulièrement avec la France, suivi des États-Unis et de l'Australie.

Le LPI et la France ont co- publié sur des pièces 3D en nitinol (nickel titane, métal très élastique) par DSLM pour des applications médicales<sup>108</sup>.

En collaboration avec la France<sup>109</sup>, le MSTU russe développe une technique de projection à froid et dépôt multimatériaux (nanocristalline, titane, cuivre) et étudie les effets des paramètres du laser d'une SLM,

Pour les applications en aérospatiale, c'est *Siberian State Aerospace University* qui représente la Russie par ses co-publication avec les américains (Illustration 33 : numéro 6.) et les australiens (Illustration 33 : numéro 5.).

### Matière première

Beaucoup de recherches récentes (2012 à 2013) ont été réalisées (par l'ILIT, l'IMET) pour analyser la composition des poudres de gypse et de sable vendues par les fournisseurs (notamment *Z Corporation*). Le MISiS a même cherché à développer un substitut de poudre de sable de la machine *Z Corporation*<sup>110</sup>. Des recherches analysent aussi l'influence du laser et la qualité de la poudre sur la pièce. Cela vise peut-être à acquérir une autonomie de production.

<sup>108</sup> Shishkovsky (1)(2), I. Yadroitsev (2), I. Smurov (2), « Direct Selective Laser Melting of Nitinol Powder », Elsevier, Physics Procedia, Laser Assisted Net shape Engineering, 2012.

<sup>109</sup> National Engineering School of Saint-Etienne, DIPI Laboratory, University of Lyon, Saint-Etienne, France.

<sup>110</sup>





Le Lomonosov Moscow State University (MSU) a publié des travaux sur l'utilisation de matériaux à base de métaux alcalins pour des imprimantes 3D.

**Avec l'aide de la France<sup>111</sup>, la Russie a étudié de rapport Fe-Al d'une poudre allemande et américaine** pour des applications dans l'aérospatial et l'industrie nucléaire (technique d'impression 3D par DMD).

### **Positionnement technologique russe sur les imprimantes 3D**

Si le nombre d'organismes reste faible, ils se positionnent sur des techniques de pointe comme le Power bed fusion, avec ses applications dans les pièces métalliques (DMLS et SLM). Les Russes cherchent des applications pointues aux imprimantes 3D, tels que la fabrication :

- de piles à combustible et stockage d'hydrogène par SLS avec des nanoparticules métalliques (étude de l'ISMAN et le SSU) ;
- d'une matrice bio-microfluidique poreuse à base de titane et de nickel pour des applications en délivrance de médicament, dont les applications sont duales (par le LPI avec la technique LENS) ;
- d'implants en polymère avec des protéines incorporées par SLS (par l'ILIT).

Les russes prospectent aussi dans des domaines tels que l'impression d'organe (état de l'art) en co-publication avec le Brésil et la Lettonie<sup>112</sup>.

Le positionnement technologique russe s'oriente donc sur le domaine médical.

---

<sup>111</sup> Igor Shishkovsky (1)(2), Floran Missemmer (1), Nina Kakovkina (2), Igor Smurov (1), « Intermetallics Synthesis in the Fe–Al System via Layer by Layer 3D Laser Cladding », Crystals 2013.

(1) Diagnostics and Imaging of Industrial Processes (DIPI) Laboratory, Ecole Nationale d'Ingenieurs de Saint Etienne (ENISE), Université de Lyon, Saint-Étienne 42023, France.

(2) Lebedev Physical Institute of RAS, Samara branch, Samara 443011, Russia.

<sup>112</sup> R. A. Rezende (1), S. V. Selishchev (2), V. A. Kasyanov (3), J. V. L. da Silva (1), V. A. Mironov (1)(2), « An Organ Biofabrication Line: Enabling Technology for Organ Printing. Part I: from Biocad to Biofabricators of Spheroids », Springlink, Biomedical Engineering, septembre 2013.

Classification	Material	Process description	Weapons	Armour and DDE	Defence logistic and support	Electronics (sensing)	Energy (storage)	Aerospace (airframe)	Organismes publics russes
Power bed fusion	Metal	DMLS, SLM, EBM, SLS							LPI (DMLS), MSTU (SLM)
	Polymer	SLS, SHS, SMS, HSS							ISMAN et SSU et LPI (SLS avec métal-polymère)
	Ceramic	SLS							MISiS (SLS avec machine Z Corporation), SibSAU, ILIT (SLS)
Directed Energy Deposition	Metal (powder feed)	DMD, LENS, LC, LD, IFF, LAAM							LPI (DMD, LENS)
	Metal (wire feed)	EBDM, WAAM, SMD							
Material jetting	Photopolymer	Polyjet, Ink-jetting							
	Ceramic	3DP, S-Print							IMET, MSTU (cold gas CS matériaux métalliques) ?
Material extrusion	Polymer and metal	FDM							
vat photopolymérisation	Photopolymer	SLA, DLP, SLA/DLP							
Sheet lamination	Hybrids	UC							
	Métallique								
	Ceramic	LOM							
Logiciel	Hors catégorie								
Scanneur 3D	Hors catégorie								
Matière première	Hors catégorie								IMET (gypse), MSU (métal), MISiS (sable), ILIT (gypse)
Autres (matériels, état de l'art)	Hors catégorie								Etat de l'art : MIET, MEPhI

Illustration 29 : positionnement technologique des

organismes publics et des entreprises russes.



**CHLORODIA**

### IV.3 Focus sur les organismes publics russes travaillant sur des procédés d'impression 3D à base métallique

Parmi les onze organismes recensés précédemment, six d'entre-eux travaillent sur des procédés d'impression 3D à base de matériaux métallique (voir illustration ci-dessous). Il s'agit de :

- *Institute of Structural Macrokinetics and Materials Science (ISMAN)*
- *Lebedev Physics Institute (LPI)*
- *Moscow State Technological University Stankin (MSTU)*
- *Lomonosov Moscow State University (MSU)*
- *Siberian State Aerospace University (SibSAU)*
- *Samara State University (SSU)*



Illustration 30 : géo-localisation des organismes publics travaillant sur des procédés d'impression 3D à base métallique en Russie.

- **Institute of Structural Macrokinetics and Materials Science (ISMAN)** : cet institut, fondé en 1987, est spécialisé sur la cinétique des réactions chimiques macroscopiques. Il a travaillé avec l'Institut de physique de Samara et le LPI situé à Samara sur la fabrication de piles à combustible et le stockage d'hydrogène par procédé SLS. Cette étude porte sur l'influence des paramètres laser, la composition en poudre métal-polymère et la taille de fraction des inclusions de nanoparticules métalliques.

- **Lebedev Physics Institute (LPI)** : basé à Moscou et relevant de l'Académie des Sciences Russe, la branche de cet institut située à Samara a publié une étude sur la fabrication de pièces en nitinol (nickel titane, métal très élastique) par DSLM pour des applications médicales. Il a également travaillé sur la modification du rapport de concentration Fe-Al dans le mélange de poudre **pour des applications dans l'aérospatial et l'industrie nucléaire** (avec la technologie d'impression 3D basée sur la DMD). Les poudres utilisées proviennent de *TLS Technik GmbH & Co.*, Bitterfeld, Allemagne et de *Products Inc.*, Bettendorf, États-Unis. Le même laboratoire a travaillé sur la fabrication par LENS d'une matrice bio-microfluidique poreuse à base d'alliage de titane et de nickel pour des applications de délivrance de médicament.



- **Moscow State Technological University Stankin (MSTU)** : université fondée en 1930, elle s'organise autour de trois facultés : faculté de technologie du génie et de l'équipement (MTO), faculté de technologie de l'information et des systèmes de gestion (ITS) et faculté des sciences économiques et de gestion (FEM). Elle a publié des travaux sur la projection à froid et le dépôt multimatériaux (nanocristallins, titane et cuivre) comme technique d'impression 3D. Elle a également travaillé sur les effets des paramètres du laser d'une SLM, tels que la distance de la trappe, l'épaisseur de la couche, la puissance du laser, la vitesse de balayage et la texture de surface. Enfin, elle a réalisé une recherche sur la possibilité de prédire la stabilité thermomécanique des matériaux, tels que les alliages métalliques, à un traitement au laser.
- **Lomonosov Moscow State University (MSU)** : créée en 1755, cette université a publié des travaux sur l'utilisation de matériaux à base de phosphates de calcium et de métaux alcalins pour des impressions 3D dans le secteur biomédical.
- **Siberian State Aerospace University (SibSAU)** : fondée en 1960, cette université est spécialisée dans les hautes technologies pour les fusées et l'espace ainsi que les sciences informatiques et les nanotechnologies. Elle a travaillé sur le cadre du réseau composite d'un panneau solaire d'un satellite (fabrication de connecteur métallique possible par impression 3D) ainsi que sur l'utilisation de la technique LENS avec plusieurs matériaux pour des applications dans l'aérospatiale, le biomédical ou l'électronique.
- **Samara State University (SSU)** : fondée en 1918, cette université a co-publié avec l'ISMAN et le LPI de Samara une étude sur la fabrication de piles à combustible et le stockage d'hydrogène par procédé SLS.

Organismes	Nbr. de publications	Nbr. de publications liées aux pièces métalliques <sup>113</sup>
IMET	2	0
ISMAN	1	1
LPI	4	4
MSU	1	1
MSTU	3	3
MIET	1	0
MISiS	2	0
SSU	1	1
SibSAU	2	2
ILIT	4	0
MEPhI	1	0

Illustration 31 : nombre de publications par organismes russes.

Selon l'illustration ci-dessus, sur les onze organismes russes recensés, six ont travaillé sur la fabrication additive de pièces métalliques. Sur ces six organismes, trois ont publié un article en commun (ISMAN, LPI et SSU). Le LPI, la MTSU et la SibSAU sont les centres de recherche les plus à la pointe de la R&D russe sur l'utilisation des imprimantes 3D pour la fabrication de pièces métalliques.

<sup>113</sup> Hors état de l'art



**CHLORODIA**

#### IV.4 Coopérations internationales russes particulièrement orientées vers la France

Sur les onze organismes recensés, cinq ne publient pas avec des étrangers : l'IMET, l'ISMAN, le MSU, le MISiS et le SSU.

Selon l'illustration 32 ci-dessous, les coopérations internationales russes sont nombreuses et orientées vers divers pays : France, Royaume-Uni, Brésil, Lettonie, Australie et États-Unis.

La coopération avec le Brésil et la Lettonie (12.) est peu technologique puisqu'il s'agit d'un état de l'art.

Les coopérations avec le Royaume-Uni (2., 3. et 4.) sont nombreuses mais peu duales (état de l'art et technique SLS avec matériau bio-polymère).

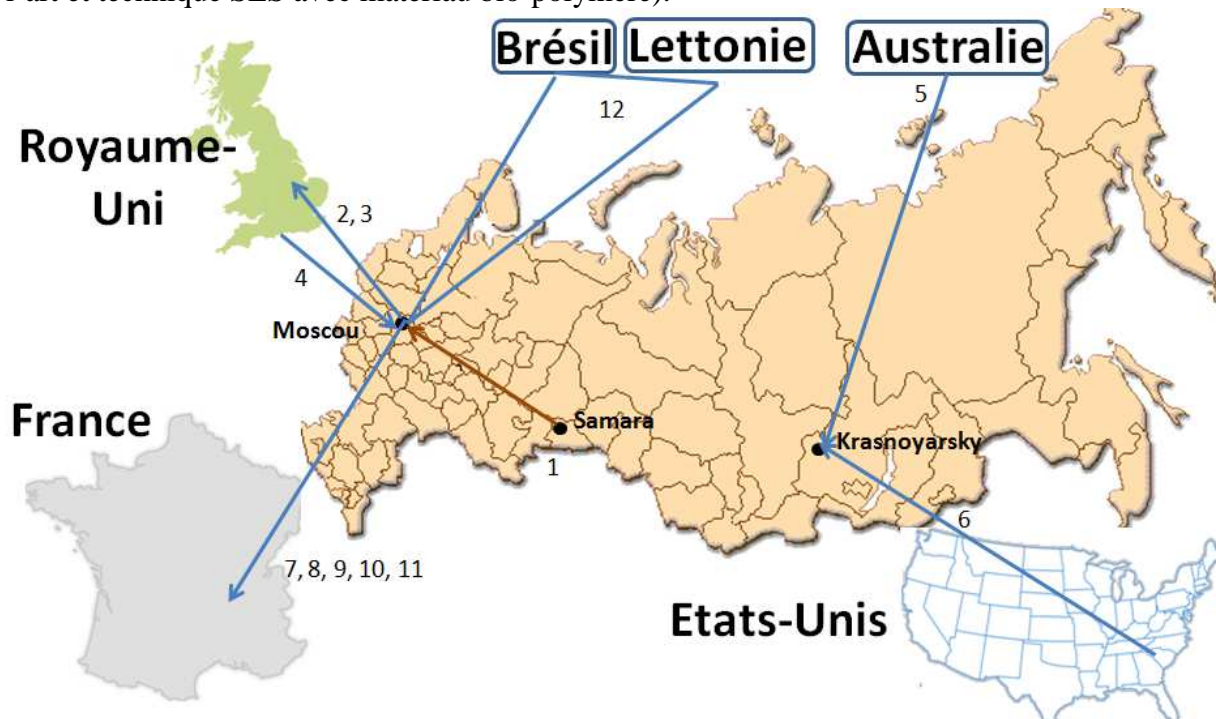


Illustration 32 : coopérations nationales et internationales des centres de recherche en Russie.

1. Fabrication de piles à combustible et stockage d'hydrogène par SLS avec de la poudre de nanoparticules métal-polymère. Co-publication nationale entre le LPI, le SSU et l'ISMAN<sup>114</sup>.
2. Fabrication d'implants en polymère avec des protéines incorporées par SLS. Etude de l'ILIT sur laquelle apparaît aussi l'école de chimie (University of Nottingham) du Royaume-Uni<sup>115</sup>.
3. SLS avec poudre de polymère bio-intégrés. Etude de l'ILIT sur laquelle apparaît aussi l'école de chimie (University of Nottingham) du Royaume-Uni<sup>116</sup>.
4. Etat de l'art réalisée par le *National Centre for Computer Animation* du Royaume-Uni et le MEPhi russe<sup>117</sup>.

<sup>114</sup> Igor Vladimirovich Shishkovsky, Angela Vladimirovna Bulanova, Yuri Georgievich Morozov, « Porous Polycarbonate Membranes with Ni and Cu Nano Catalytic Additives Fabricated by Selective Laser Sintering », *Journal of Materials Science and Engineering B* 2, 25 décembre 2012.

<sup>115</sup> E. N. Antonov, V. N. Bagratashvili, S. M. Howdle, A. N. Konovalov, V. K. Popov, V. Ya. Panchenko, « Fabrication of polymer scaffolds for tissue engineering using surface selective laser sintering », *Laser Physics*, mai 2006.

<sup>116</sup> E. N. Antonov, V. N. Bagratashvili, M. J. Whitaker, J. J. A. Barry, K. M. Shakesheff, A. N. Konovalov, V. K. Popov, S. M. Howdle, « Three-Dimensional Bioactive and Biodegradable Scaffolds Fabricated by Surface-Selective Laser Sintering », *Advanced Materials*, 20 décembre 2004.



5. Cadre du réseau composite d'un panneau solaire d'un satellite (fabrication de connecteur métallique possible par impression 3D). Cette étude a comme première auteur un australien de la *Defence Force Academy* suivi par un russe du *Siberian State Aerospace University*<sup>118</sup>.
6. Utilisation de la technique LENS avec plusieurs matériaux pour des applications dans l'aérospatiale, le biomédical ou l'électronique. Etude américaines à laquelle un russe du *Siberian State Aerospace University* a participé<sup>119</sup>.
7. Pièces 3D en nitinol (nickel titane, métal très élastique) par DSLM pour des applications médicales. Le premier auteur de cette étude (Shishkovsky) est rattaché au LPI russe mais aussi au l'ENISE de Saint-Etienne<sup>120</sup>, les autres auteurs sont russes.
8. Modifier le rapport de concentration Fe-Al dans le mélange de poudre pour des applications dans l'aérospatial et l'industrie nucléaire. Les poudres utilisées sont allemandes et américaines. Etude copubliée entre le LIP russe et l'ENISE de Saint-Etienne<sup>121</sup>.
9. Projection à froid et dépôt multimatériaux (nanocrystalline, titane, cuivre) comme technique d'impression 3D. Etude franco-russe (MSTU de Moscow et ENISE de Saint-Etienne)<sup>122</sup>.
10. Dans cette étude, les effets des paramètres du laser d'une SLM sur la morphologie de surface et la texturation de surface sont analysés. Etude franco-russe (MSTU de Moscow et ENISE de Saint-Etienne)<sup>123</sup>.
11. Prédire la stabilité thermomécanique des matériaux d'alliages métalliques à un traitement au laser. Etude franco-russe (MSTU de Moscow et ENISE de Saint-Etienne)<sup>124</sup>.
12. L'impression d'organe (état de l'art). Etude brésilienne, avec la participation du MIET russe et de la Lettonie. **V. A. Mironov** étant coaffilié au Brésil et à la Russie<sup>125</sup>.

\*\*\*

Sur les douze coopérations nationales et internationales, huit s'orientent sur l'impression 3D de pièces métalliques. Sur les six organismes russes travaillant sur cette thématique, seulement trois co-publient avec l'étranger (LPI, MSTU et le SibSAU). **Le MSU, le SSU et l'ISMAN, qui sont des organismes travaillant sur l'impression 3D de pièces métalliques, ne publient donc pas avec l'étranger.**

Selon l'illustration 33 ci-dessous, les co-publications avec la France représentent la majorité des partenariats à l'étranger sur les impressions de pièces métalliques. Elles se font entre le LPI russe (7. et 8.), MSTU (9. à 11.) de Moscou et l'ENISE de Saint-Etienne. Les sujets sont

---

<sup>117</sup> Alexander Pasko, Valery Adzhiev, Evgeniya Malikova, Victor Pilyugin, « Advancing Creative Visual Thinking with Constructive Function-based Modelling », *Journal of Information Technology Education: Volume 12*, 2013.

<sup>118</sup> E.V. Morozov, A.V. Lopatin, « Design and analysis of the composite lattice frame of a spacecraft solar array », Elsevier, *Composite Structures*, juin 2011.

<sup>119</sup> Vladimir Gantovnik, Santosh Tiwari, Georges Fadel, Alexander Lopatin, « Multi-Objective Optimization of Heterogeneous Non-Uniform Flywheel », *Structural Dynamics, and material conference* 23-26 avril 2007.

<sup>120</sup> Shishkovsky, I. Yadroitsev, I. Smurov, « Direct Selective Laser Melting of Nitinol Powder », Elsevier, *Physics Procedia, Laser Assisted Net shape Engineering*, 2012.

<sup>121</sup> Igor Shishkovsky, Florian Missemer, Nina Kakovkina, Igor Smurov, « Intermetallics Synthesis in the Fe-Al System via Layer by Layer 3D Laser Cladding », *Crystals* 2013.

<sup>122</sup> Sova, S. Grigoriev, A. Okunkova, I. Smurov, « Potential of cold gas dynamic spray as additive manufacturing technology », *Springlink, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, décembre 2013.

<sup>123</sup> Yadroitsev (1), Ph. Bertrand (1), G. Antonenkova (2), S. Grigoriev (2), I. Smurov (1), « Use of track/layer morphology to develop functional parts by selective laser melting », *AIP Journal of laser applications*, juin 2014.

<sup>124</sup> A.V. Gusarov (1), I.S. Malakhova-Ziablova (1), M.D. Pavlov (2), « Thermoelastic Residual Stresses and Deformations at Laser Treatment », Elsevier, *Physics Procedia, Lasers in Manufacturing*, 2013.

<sup>125</sup> R. A. Rezende (1), S. V. Selishchev (2), V. A. Kasyanov (3), J. V. L. da Silva (1), V. A. Mironov (1)(2), « An Organ Biofabrication Line: Enabling Technology for Organ Printing. Part I: from Biocad to Biofabricators of Spheroids », *Springlink, Biomedical Engineering*, septembre 2013.



variés (études des poudres, des lasers, des techniques DSLM et SLM). Igor Smurov est co-auteur secondaire de presque toutes les publications avec la France (7. à 10.) Sur les pièces métalliques avec des applications en aérospatiale, le *Siberian State Aerospace University* russe a participé à une étude américaine (6.) et australienne (5.). La coopération nationale entre le LPI, le SSU et l'ISMAN (1.) est de haut niveau puisqu'il s'agit de fabriquer des piles à combustible et stockage d'hydrogène par SLS avec de la poudre de nanoparticules métal-polymère.

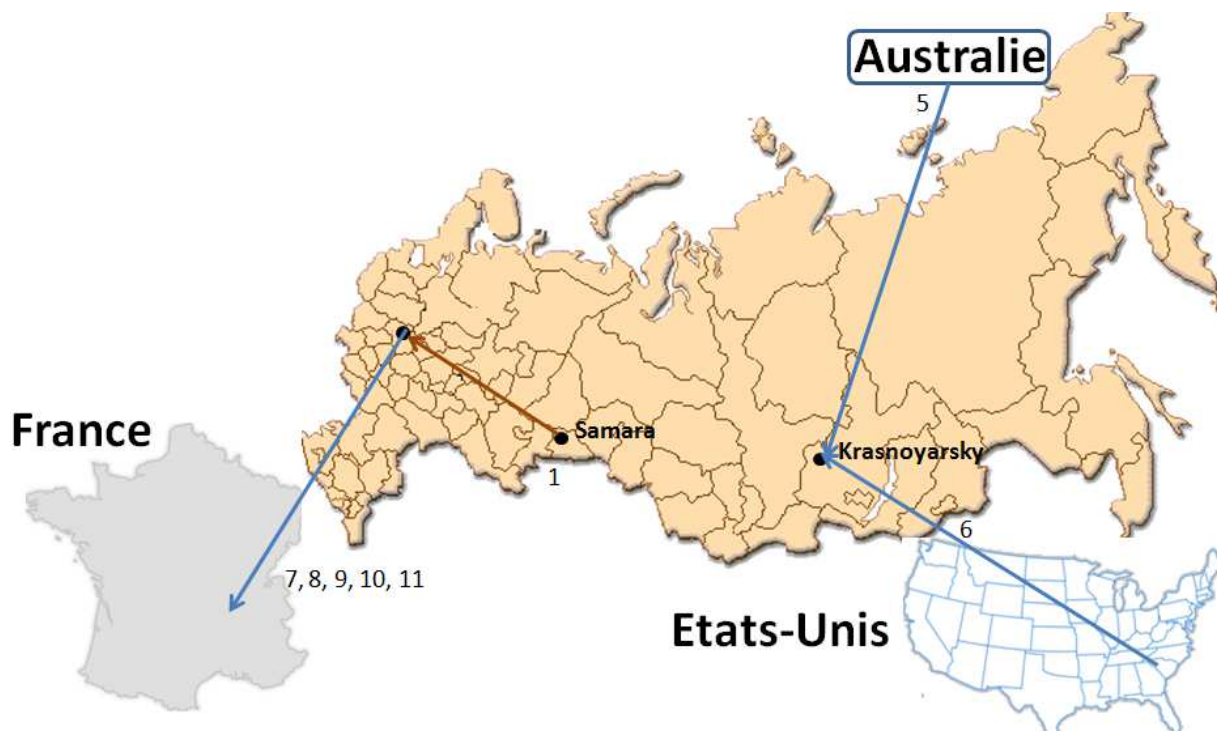


Illustration 33 : coopérations nationales et internationales des centres de recherche en Russie sur l'impression 3D de pièces métalliques.

## IV.5 Conclusion pour la Russie

Alors que la Russie de Vladimir Poutine se positionne pour devenir un champion des technologies de pointes du XXI<sup>ème</sup> siècle, **il est frappant de constater le quasi silence des autorités russes sur les enjeux liés au développement de la fabrication additive.** L'absence de stratégie nationale et de déclaration publique ne peut qu'interroger l'observateur extérieur sur la nature des choix stratégiques russes.

Mais ce silence ne doit pas faire perdre de vue les initiatives portées par des entités gouvernementales ou des acteurs régionaux. **Il apparait clairement aux yeux de certains spécialistes russes que les imprimantes 3D seront les technologies d'une réindustrialisation du pays dans les années à venir**<sup>126</sup>.

D'excellentes universités se sont lancées dans des recherches sur ces technologies. **On remarquera un certain focus sur les applications aérospatiales, nucléaires, biomédicales.**

<sup>126</sup> Cf. Serguey Yermak, op.cit.



Par ailleurs il est frappant de voir converger des imprimantes 3D avec les nanotechnologies, secteur où les instituts russes souhaitent devenir des leaders mondiaux.

Il est également notable de constater qu'il n'existe aucune société russe productrice d'imprimantes 3D. **Ceci démontre un retard relatif de la Russie dans la compétition internationale sur la fabrication additive et une certaine dépendance aux fournisseurs extérieurs.** Cependant, cette dépendance pourrait être relativisée dans les années à venir en raison de deux phénomènes. Tout d'abord, la Russie est un des leaders mondiaux de la technologie des lasers qui est indispensable pour le développement des imprimantes 3D, surtout pour fabriquer des pièces métalliques. Il existe d'ailleurs une importante coopération avec l'Allemagne à ce sujet, le ministère allemand de la Recherche finançant l'installation de centres technologiques conjoints à travers la Russie<sup>127</sup>, dont un est situé à Ekaterinbourg non loin du futur centre universitaire sur les imprimantes 3D.

Ensuite, certains industriels occidentaux souhaitent installer en Russie des centres de productions de machines spécialisées. Tel est le cas d'un projet de la société *DMG Mori Seiki* qui envisage de construire à Oulyanovsk une usine de fabrication d'imprimantes 3D<sup>128</sup>.

Enfin, on peut noter l'absence de publication par des instituts de la défense russe, même si de nombreuses recherches ont un caractère éminemment dual (exemple : l'aérospatial et le nucléaire). Cependant, la main du ministère de la Défense russe ne peut être écartée en ce qui concerne les investissements réalisés par le fond stratégique ROSTEC.

En conclusion, si la Russie n'est pas engagée dans une stratégie de développement de la fabrication additive similaire à celle de la Chine ou des États-Unis, elle dispose d'éléments qui lui permettent d'entrer dans la course dans les années à venir. Pendant ce temps, elle demeurera relativement dépendante de ses fournisseurs étrangers. Enfin, le secteur de la défense ne semble pas a priori le porteur de projets même si de nombreuses recherches sont duales. Ceci explique peut-être le manque de communication des institutions gouvernementales russes sur la fabrication additive alors que le gouvernement a toujours annoncé son soutien au développement des technologies d'intérêt pour la défense (exemple: nanotechnologies, biotechnologies, NTIC...).

---

<sup>127</sup> Network of Russian-German laser centers expands *in site* Internet Industrial Solution (<http://www.industrial-lasers.com/>)

<sup>128</sup> DMG Mori Seiki Expands Global Footprint *in site* Additive manufacturing insight (<http://www.additivemanufacturinginsight.com/>)





## V. Etat de l'art de Singapour

### Données de base pour Singapour

Population (2013)	5,4 millions
Superficie	699 km <sup>2</sup>
Densité de population moyenne	7 540 habitants/km <sup>2</sup>
PIB (2013)	2 96 milliards de \$
PIB/habitant (2013)	54 819 \$
IDH (2013)	0,895

L'intérêt des chercheurs singapouriens pour les technologies de la fabrication additive remonte au début des années 1990. Le professeur Chua Chee Kai de l'Ecole d'ingénierie mécanique et aéronautique de l'Université Technologique de Nanyang est en effet un des pionniers asiatiques de la technologie des imprimantes 3D. Sous son influence et avec l'appui des autorités singapouriennes, la fabrication additive connaît un fort développement et elle est devenue un défi technologique majeur pour l'avenir du pays.

### V.1 La fabrication additive constitue un enjeu stratégique pour le gouvernement singapourien

En 2013, le ministère du Commerce et de l'Industrie a annoncé la mise en œuvre d'un programme national pour le développement des capacités nationales de production (*Future of Manufacturing-FoM-program*). Dans le cadre de cet exercice, la fabrication additive a été identifiée comme un des secteurs clefs du développement technologique du pays<sup>129</sup>.

Lors des discussions budgétaires qui ont suivi, le gouvernement singapourien a également annoncé qu'il allait investir la somme de 500 millions de dollars US sur cinq ans pour le financement d'initiatives visant au développement des technologies additives. Ces fonds seront versés au Conseil de Développement Economique (*Economic Development Board*) avec pour finalité de permettre aux industries nationales de saisir les opportunités liées aux imprimantes 3D ; en particulier par la mise en place de nouveau modèle économique basés sur la personnalisation de masse de produits<sup>130</sup>.

Afin de rapprocher le domaine de la recherche technologique des besoins industriels, l'agence nationale pour la recherche et l'innovation technologique, A\*STAR, a lancé le 22 novembre 2013, un programme spécifique de soutien pour fabrication additive à Singapour. L'objectif est de développer des technologies identifiées comme critiques et concurrentielles au niveau international au bénéfice des acteurs industriels du pays. L'effort vise en particulier les secteurs de l'aérospatial, de l'automobile, de la construction navale, du gaz et du pétrole ainsi que de l'ingénierie de précision. Il apparaît ainsi que les secteurs sélectionnés par l'agence ont un caractère extrêmement stratégique et portent sur des activités dans lesquelles Singapour est actuellement un acteur asiatique important.

<sup>129</sup> Le caractère stratégique de l'impression 3D a été rappelé par le Premier Ministre Lee Hsien Loong lors de son discours pour la fête nationale le 28 août 2013.

<http://www.pmo.gov.sg/content/pmosite/mediacentre/speechesinterviews/primeminister/2013/August/prime-minister-lee-hsien-loong-s-national-day-rally-2013--speech.html>.

<sup>130</sup> [http://www.printworldasia.com/news/item/853-singapore-to-invest-\\$500-million-in-3d-printing](http://www.printworldasia.com/news/item/853-singapore-to-invest-$500-million-in-3d-printing).



Dans son annonce sur ce nouveau programme, A\*STAR précise que **l'absence de matériaux et de savoir faire liés à l'ingénierie de conception et de procédé dans l'impression 3D** ouvre la voie à la recherche.

A\*STAR est une agence de moyens pour le développement de la science, de la recherche et de l'innovation à Singapour. Le programme sur la fabrication additive est piloté par le SIMTech, qui est un institut de l'agence. Celui-ci travaillera d'ailleurs en coopération étroite avec l'Université Technologique de Nanyang. Deux autres instituts de l'agence, l'IMRE (*Institute of Materials Research and Engineering*) et l'IHPC (*Institute of High Performance Computing*) contribueront également à ce projet. Les fonds de financement du programme proviennent du Conseil de Développement Economique.

Il faut noter que le programme de l'agence A\*STAR identifie six procédés clefs pour lesquels des projets de recherche sont éligibles au financement. Il s'agit des technologies LAAM, SLM, EBM, Polyjet, SLS et SLA. Ces projets doivent être impérativement réalisés en collaboration avec la recherche industrielle.

Enfin, il faut noter que l'Université Technologique de Nanyang a annoncé, le 10 septembre 2013, avoir reçu 30 millions de dollars US de la part du Conseil de Développement Economique pour réaliser un centre de 300 m carré hébergeant des imprimantes 3D dernier cri<sup>131</sup>. L'objectif est à la fois de fournir des équipements performants pour la formation de nouveaux ingénieurs et de nouveaux chercheurs dans ce domaine ainsi que de réaliser des découvertes dans les matériaux, les procédés et les logiciels. Pour l'Université, il s'agit également de constituer une plateforme à la pointe de la technologie afin d'appuyer les projets collaboratifs de l'université. Celle-ci souhaite ainsi devenir l'acteur incontournable de la R&D à Singapour.

Toutes ces initiatives soulignent le caractère stratégique de la fabrication additive pour les autorités singapouriennes. Pour elles, il s'agit de créer rapidement un écosystème performant dans lequel l'impression 3D puisse jouer un rôle majeur tout en assurant l'indépendance technologique du pays sur des segments d'activités à haute valeur ajoutée.

## **V.2 Des acteurs singapouriens en nombre limité mais sur un positionnement fortement technologique**

Le tissu des organismes travaillant sur les imprimantes 3D se répartissent sur la zone du centre et du sud-ouest du pays.

---

<sup>131</sup> *New US \$ 30 million AM Centre in Singapore*, 10 septembre 2013, in [metalpowder.net](http://metalpowder.net).

Six organismes publics ont été recensés comme travaillant sur les imprimantes 3D (selon les critères évoqués dans la méthodologie). Il s'agit de :

- *Institute of Materials Research and Engineering (IMRE)*
- *Nanyang Polytechnic (NYP)*
- *Nanyang Technological University (NTU)*
- *National University of Singapore (NUS)*
- *Ngee Ann Polytechnic (NP)*
- *Singapore Institute of Manufacturing Technology (SIMTech)*

Une seule entreprise a été identifiée :

- *TEC Electronics Singapore Pte. Ltd*

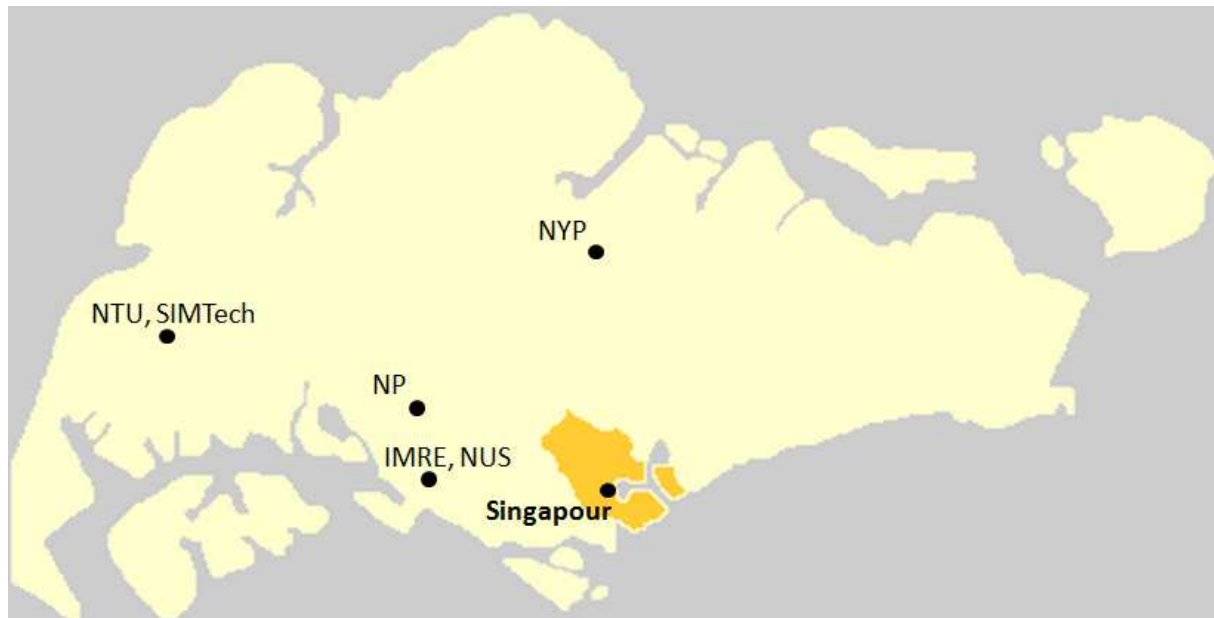


Illustration 34 : géo-localisation des organismes publics qui travaillent sur les imprimantes 3D à Singapour.

### **Brevets**

Les bases de données utilisées a permis d'identifier un brevet en 2013 par l'organisme public A\*STAR sur un procédé de distribution de poudre pour la technique l'impression 3D par LAAM.

### **Les imprimantes 3D pour des pièces métalliques**

Comme cela a déjà été souligné, Singapour privilégie des applications pour des besoins médicaux mais également dans les secteurs de l'aéronautique ou l'automobile. L'agence nationale A\*STAR, en particulier le SIMTech, finance actuellement la mise au point de nouvelle technique de production de pièces métalliques. Il est encore tôt pour estimer l'impact du nouveau programme sur l'impression 3D dans ce domaine.

**Le SIMTech a développé une nouvelle technique d'impression 3D pour des pièces métalliques, le LAAM (classée dans la catégorie des *Directed Energy Deposition*).**

Les organismes publics (le NUS et le NTU) s'intéressent aussi aux autres techniques d'impression 3D pour les pièces métalliques. Pour les technologies relevant du *Power Bed Fusion*, on observe que les Singapouriens<sup>75</sup>utilisent des imprimantes 3D développées à



l'étranger.

### **Matière première**

Les organismes publics de Singapour s'intéressent aux poudres en étudiant les propriétés des objets obtenus avec des poudres disponibles dans le commerce, notamment des poudres de titane. Seule une étude sur des poudres d'amidon vise à développer un nouveau matériau. Singapour est donc dépendante des pays fournisseurs de poudre métalliques pour produire des pièces par imprimante 3D.

### **Positionnement technologique de Singapour sur les imprimantes 3D**

Singapour réalise beaucoup d'état de l'art sur divers secteurs des imprimantes 3D (technologies, applications dont militaires, logiciels, etc.).

Les applications recherchées par les organismes publics singapouriens dans leurs publications sont souvent pour le secteur médical et plus précisément pour les prothèses ou les matériaux poreux pour la délivrance de médicaments (fabriqués par SLS)<sup>132</sup>.

Le NUS, le NTU et SIMTech, orientent aussi leurs recherches sur le secteur des logiciels.

---

<sup>132</sup> K.H. Low, K.F. Leong, C.K. Chua, Z.H. Du, C.M. Cheah, « Characterization of SLS parts for drug delivery devices » Rapid Prototyping Journal, Vol. 7, 2001.  
School of Mechanical and Production Engineering, NTU, Singapore.

Classification	Material	Process description								Companies singapouriennes	Organismes publics singapouriens
			Weapons	Armour and DDE	Defense logistic and support	Electronics (sensing)	Energy (storage)	Aerospace (airframe)			
<b>Power bed fusion</b>	Metal	DMLS, SLM, EBM, SLS									NUS (DMLS, machine de la société EOS, SLS cuivre), NTU (SLM avec laser allemand, EBM et SLS)
	Polymer	SLS, SHS, SMS, HSS									NTU (SLS)?
	Ceramic	SLS									NUS (sable), NTU
<b>Directed Energy Deposition</b>	Metal (powder feed)	DMD, LENS, LC, LD, IFF, LAAM									NUS (LENS) ?, SIMTech (LAAM)
	Metal (wire feed)	EBDM, WAAM, SMD									NUS ?
<b>Material jetting</b>	Photopolymer	Polyjet, Ink-jetting									NTU, SIMTech
	Ceramic	3DP, S-Print									NTU
<b>Material extrusion</b>	Polymer and metal	FDM									IMRE (polymer), NUS (polymer),
<b>vat photopoly</b>	Photopolymer	SLA, DLP, SLA/DLP									
<b>Sheet lamination</b>	Hybrids	UC									
	Métallique										
	Ceramic	LOM									
<b>Logiciel</b>	Hors catégorie									NUS, NTU, SIMTech	
<b>Scanneur 3D</b>	Hors catégorie										
<b>Matière première</b>	Hors catégorie									IMRE (poudre amidon)	
<b>Autres (matériels, état de l'art)</b>	Hors catégorie									Matériel : SIMTech Etat de l'art : NYP, NP, NUS (dont militaire, logiciel), NTU	

Illustration 35 : positionnement technologique des organismes publics et des entreprises russes et singapouriennes.

### V.3 Focus sur les organismes publics à Singapour travaillant sur des procédés d'impression 3D à base métallique

Parmi les six organismes recensés précédemment, trois d'entre-eux travaillent sur des procédés d'impression 3D à base de matériaux métallique (voir illustration ci-dessous). Il s'agit de :

- *Nanyang Technological University (NTU)*
- *National University of Singapore (NUS)*
- *Singapore Institute of Manufacturing Technology (SIMTech)*



Illustration 36 : géo-localisation des organismes publics travaillant sur des procédés d'impression 3D à base métallique à Singapour.

Organismes	Nbr. de publications	Nbr. de publications liées aux pièces métalliques <sup>133</sup>
IMRE	2	0
NYP	1	0
<b>NTU</b>	<b>21</b>	<b>7</b>
<b>NUS</b>	<b>20</b>	<b>3</b>
NP	1	0
<b>SIMTech</b>	<b>14</b>	<b>11</b>

Illustration 37 : nombre de publications par organismes singapouriens.

Sur les six organismes singapouriens publiant sur les imprimantes 3D, seuls trois ont diffusé des études sur des recherches liées à la réalisation de pièces métalliques. Ces trois organismes (NTU, NUS et SIMTech) sont également les trois qui publient le plus sur la fabrication additive à Singapour, tous domaines confondus.

**Nanyang Technological University (NTU) :** est aujourd'hui l'une des deux plus grandes universités publiques à Singapour. Elle s'intéresse à divers aspects de l'impression 3D : la fabrication de structure en titane par impression Inkjet 3D (avec SIMTech et *School of Aerospace* d'Australie) et SLS, la délivrance de médicament par matériau imprimé avec une

<sup>133</sup> Hors état de l'art

machine SLS, les nanobiomatériaux pour l'ingénierie tissulaire, la fabrication de matériaux nano-structurés, les formules mathématique, etc. Le nombre important de publications sur des états de l'art laisse à penser que cette organisme est encore dans une phase de prospection sur cette thématique.

Elle publie sur la technique SLM tout en restant dépendant des machines allemandes. Elle a co-publié avec les États-Unis sur Technique d'impression 3D par SLM et EBM. Concernant les techniques de pointes pour les pièces métalliques, elle reste donc dépendant de l'étranger. Cet organisme a publié avec *Babol Noshirvani University of Technology* d'Iran sur l'impression 3D en de la poudre de plâtre avec une machine *Z Corporation*.

**National University of Singapore (NUS)** : a publié sur des sujets variés comme les implants en titane. Elle a travaillé sur la problématique des poudres. Il développe aussi des logiciels de design 3D. Elle s'intéresse aussi à la fabrication de pièces métallique par intermédiaire de moule en sable fabriqué par un procédé de frittage.

**Singapore Institute of Manufacturing Technology (SIMTech)** : c'est un institut de recherche de l'Agence pour la Science, la Technologie et la Recherche (A \* STAR). Il a un programme sur les implants en titane fabriqués par imprimante 3D. Il détient un brevet sur un dispositif de distribution de poudre pour procédé d'impression 3D par LAAM. De nombreuses publications nationales et internationales portent sur cette technique, notamment afin d'utiliser des matériaux tels que le nickel et l'Inconel. Il publie beaucoup sur les implants en titane. Une étude avec le Royaume-Uni vise à développer un titane poreux par frittage laser. Le sujet des poudres revient à travers une étude qui vise à réduire la consommation de celle-ci.

#### V.4 Coopérations internationales de Singapour

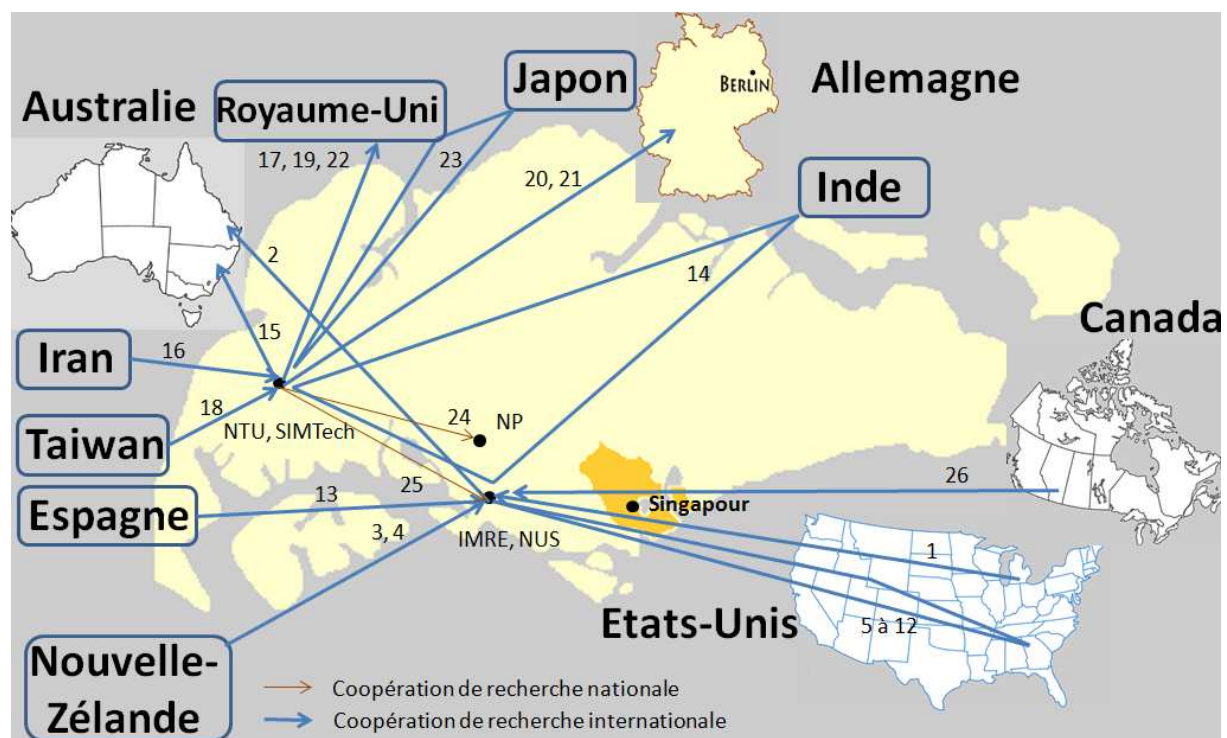


Illustration 38 : coopérations internationales et nationales des centres de recherche singapouriens.

1. Nano-impression sur un substrat non plat (non métal). Etude américaine co-publié avec l'IMRE de Singapour<sup>134</sup>.
2. Fabrication de structures non métalliques pour l'ingénierie des tissus osseux. Publication singapourienne (IMRE et NUS) en partenariat avec l'Australie<sup>135</sup>.
3. Impression FDM pour des circuits électroniques en plastique. Publication néo-zélandaise (Auckland University of Technology) avec le NUS de Singapour<sup>136</sup>.
4. Impression par FDM de composants en plastiques intégrant des circuits électroniques en polymères conducteurs. Publication néo-zélandaise (AUT) avec le NUS de Singapour<sup>137</sup>.
5. Etat de l'art des applications diverses dont militaires. Co-publication entre Singapour et les États-Unis<sup>138</sup>.
6. Etat de l'art co-publié entre Singapour et les États-Unis<sup>139</sup>.
7. Etat de l'art co-publié entre Singapour et les États-Unis<sup>140</sup>.
8. Etat de l'art co-publié entre Singapour et les États-Unis<sup>141</sup>.
9. Etat de l'art co-publié entre Singapour et les États-Unis<sup>142</sup>.
10. Etat de l'art co-publié entre Singapour et les États-Unis<sup>143</sup>.
11. Etat de l'art co-publié entre Singapour et les États-Unis<sup>144</sup>.
12. Etat de l'art sur les logiciels co-publié entre Singapour et les États-Unis<sup>145</sup>.
13. Technique d'impression 3D par FDM avec matériaux polymère. Publication espagnole et le NUS de Singapour<sup>146</sup>.
14. L'objectif de cet article est de développer un nouvel algorithme pour générer automatiquement des modèles de représentation 3D. Etude entre le *National Informatics Center* indien et Singapour<sup>147</sup>.
15. Fabrication de structure en titane par impression Inkjet 3D. Cette étude de Singapour (SIMTech et NTU) est co-publiée avec *School of Aerospace* de Sydney<sup>148</sup>.

<sup>134</sup> L.-R. Bao, X. Cheng (1), X. D. Huang, L. J. Guo (1), S. W. Pang, A. F. Yee, « Nanoimprinting over topography and multilayer three-dimensional printing », *J. Vac. Sciences Technology B* 20, 2002.

<sup>135</sup> M. Tarik Arafat, Christopher X. F. Lam, Andrew K. Ekaputra, Siew Yee Wong, Chaobin He, Dietmar W. Hutmacher, Xu Li, Ian Gibson, « High performance additive manufactured scaffolds for bone tissue engineering application », *Soft Matter*, Issue 18, 2011.

<sup>136</sup> Olaf Diegel, Sarat Singamneni, Ben Huang, Ian Gibson, « Curved Layer Fused Deposition Modeling in Conductive Polymer Additive Manufacturing », *Advanced Materials Research*, 1984.

<sup>137</sup> Olaf Diegel, Sarat Singamneni, Ben Huang, Ian Gibson, « Getting Rid of the Wires: Curved Layer Fused Deposition Modeling in Conductive Polymer Additive Manufacturing », *Key Engineering Materials*, Volumes 467, 2011.

<sup>138</sup> Ian Gibson, David W. Rosen, Brent Stucker, « Design for Additive Manufacturing », *Additive Manufacturing Technologies*, Springer Link, 2010.

<sup>139</sup> Ian Gibson, David W. Rosen, Brent Stucker, « Additive Manufacturing Technologies », *Springer Link Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*, 2010.

<sup>140</sup> Ian Gibson, David W. Rosen, Brent Stucker, « Development of Additive Manufacturing Technology », *Springer link Additive Manufacturing Technologies*, 2010.

<sup>141</sup> Ian Gibson, David W. Rosen, Brent Stucker, « The Use of Multiple Materials in Additive Manufacturing », *Springer Link, Additive Manufacturing Technologies*, 2010.

<sup>142</sup> Ian Gibson, David W. Rosen, Brent Stucker, « Business Opportunities and Future Directions », *Springer link, Additive Manufacturing Technologies*, 2010.

<sup>143</sup> Ian Gibson, David W. Rosen, Brent Stucker, « Generalized Additive Manufacturing Process Chain », *Springer Link, Additive Manufacturing Technologies*, 2010.

<sup>144</sup> Ian Gibson, David W. Rosen, Brent Stucker, « Introduction and Basic Principles », *Springer Link, Additive Manufacturing Technologies*, 2010.

<sup>145</sup> Ian Gibson, David W. Rosen, Brent Stucker, « Software Issues for Additive Manufacturing », *Springer Link, Additive Manufacturing Technologies*, 2010.

<sup>146</sup> Mario D. Monzón, Ian Gibson, Antonio N. Benítez, Luis Lorenzo, Pedro M. Hernández, María D. Marrero, « Process and material behavior modeling for a new design of micro-additive fused deposition », *Springer Link, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Volume 67, 2013.

<sup>147</sup> Reginald C. Jegathese, Eustace Painkras, Edmond C. Prakash, « Discrete Voxel Manufacturing Without Slicing », *IFIP PROLAMAT 98 - September 9-10-11 & 12, 1998, Italy*.



16. Effets de l'épaisseur de la couche (poudre ZP102, plâtre) sur la résistance mécanique, dans le processus d'impression 3D. Utilisation d'une machine *Z Corporation*. Etude iranienne co-publié avec le NTU de Singapour<sup>149</sup>.
17. Etat de l'art. Etude du NTU co-publiée avec l'institut de technologie du sport du Royaume-Uni<sup>150</sup>.
18. Impression 3D de thermoplastique pour le domaine médicale. Etude co-publiée entre le NTU de Singapour et Taiwan<sup>151</sup>.
19. SLM pour fabriquer des matériaux en titane micro-structurés utilisables dans l'aérospatiale et les bio-implants. Co-publication entre le NTU et l'Université d'Oxford<sup>152</sup>.
20. Réparation des turbines en nickel par technique de LAAM. Etude du SIMTech de Singapour avec l'institut allemand de la technologie laser Fraunhofer<sup>153</sup>.
21. Etude du procédé LAAM. Etude du SIMTech de Singapour avec l'institut allemand de la technologie laser Fraunhofer<sup>154</sup>.
22. Fabrication de titane poreux par frittage laser. Etude anglaise (University of Sheffield et Queen's University Belfast) avec la participation du SIMTech de Singapour<sup>155</sup>.
23. Pièce polyamide par frittage laser. Etude co-publiée par le Royaume-Uni, le Japon et Singapour (par affiliation de Jiaming Bai à l'Université de Nottingham et au SIMTech)<sup>156</sup>.
24. Etat-de l'art sur le moulage par coulé pour des pièces métalliques. Coopération nationale entre le NTU et l'NP<sup>157</sup>.
25. Implant en titane fabriqués par imprimante 3D. Coopération nationale entre le SIMTech et le NUS<sup>158</sup>.
26. Etat de l'art co-publié par le Canada et le NUS de Singapour<sup>159</sup>.

Du point de vue des co-publications, Singapour a développé un réseau de collaboration principalement avec des pays de la zone Pacifique (Australie, Canada, États-Unis, Japon, Nouvelle Zélande, Taiwan) et quelques européens (Allemagne, Espagne, Royaume-Uni).

---

<sup>148</sup> Saeed Maleksaeedi, Jun Kit Wang, Aouni El-Hajje, Layale Harb, Vipra Guneta, Zeming He, Florencia Edith Wiria, Cleo Choong, Andrew J. Ruys, « Toward 3D Printed Bioactive Titanium Scaffolds with Bimodal Pore Size Distribution for Bone Ingrowth », Elsevier, Procedia CIRP, Volume 5, 2013.

<sup>149</sup> Mohammad Vaezi, Chee Kai Chua, « Effects of layer thickness and binder saturation level parameters on 3D printing process », Springlink The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 53, 2011.

<sup>150</sup> Vivek Manoharan, Siaw Meng Chou, Steph Forrester, Gin Boay Chai, Pui Wah Kong (1), « Application of additive manufacturing techniques in sports footwear », Virtual and Physical Prototyping, Volume 8, 2013.

<sup>151</sup> Chih-Hao Chen, Jolene Mei-Jun Liu, Chee-Kai Chua, Siaw-Meng Chou, Victor Bong-Hang Shyu, Jyh-Ping Chen, « Cartilage Tissue Engineering with Silk Fibroin Scaffolds Fabricated by Indirect Additive Manufacturing Technology », Materials, 2014.

<sup>152</sup> P. Li, N. Petrinic, C.R. Siviour, « X-RAY microtomographic observations of deformation and failure process in selectively laser melted microlattice structures », ICEM.

<sup>153</sup> Guijun Bi, Andres Gasser, « Restoration of Nickel-Base Turbine Blade Knife-Edges with Controlled Laser Aided Additive Manufacturing », Elsevier Physics Procedia, Volume 12, 2011.

<sup>154</sup> G. Bi, C.N. Sun, A. Gasser, « Study on influential factors for process monitoring and control in laser aided additive manufacturing », Elsevier Journal of Materials Processing Technology, Volume 213, 2012.

<sup>155</sup> Graham Gagg, Elaheh Ghassemieh, Florencia Edith Wiria, « Effects of sintering temperature on morphology and mechanical characteristics of 3D printed porous titanium used as dental implant », Elsevier Materials Science and Engineering: C, Volume 33, 2013.

<sup>156</sup> Jiaming Bai, Ruth D. Goodridge, Richard J.M. Hague, Mo Song, Hideyuki Murakami, « Nanostructural characterization of carbon nanotubes in laser-sintered polyamide 12 by 3D-TEM », Journal of Materials Research, Volume 29, 2014.

<sup>157</sup> C.M. Cheah (1), C.K. Chua (1), C.W. Lee (1), C. Feng (1), K. Totong (2), « Rapid prototyping and tooling techniques: a review of applications for rapid investment casting », Springer Link The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2005.

<sup>158</sup> Florencia Edith Wiria (1), John Yong Ming Shyan (1), Poon Nian Lim (1), Francis Goh Chung Wen (1), Jin Fei Yeo (2), Tong Cao (2), « Printing of Titanium implant prototype », Elsevier Materials & Design, Volume 31, 2010.

<sup>159</sup> P. Gu, M. Hashemian, A.Y.C. Nee, « Adaptable Design », Elsevier, 2007.

Tous les milieux scientifiques de ces pays sont historiquement très liés aux États-Unis et au Royaume-Uni. Une exception particulière doit être signalée ; celle d'une coopération avec l'Iran.

Deux pôles technologiques se dessinent. L'un autour du SIMTech, l'autre autour de l'Université Nationale de Singapour (NUS). Le SIMTech est l'organisme singapourien qui co-publie le plus au niveau national. C'est un acteur clef des co-publications à l'international de Singapour et au centre de l'écosystème de R&D sur la fabrication additive dans ce pays. Cependant, il apparaît que c'est la NUS qui co-publie le plus à l'international, principalement avec des organismes situés aux États-Unis.

Un fait majeur qui apparaît dans cette étude est l'absence de co-publication avec des équipes scientifiques françaises.

Ian Gibson (Department of Mechanical & Production Engineering, NUS, Singapore) est l'auteur le plus cité lors de co-publication avec l'étranger. Ses publications portent essentiellement sur des états de l'art avec des américains (2010), FDM polymère avec des Espagnols (2013), l'ingénierie des tissus osseux avec des Australiens.

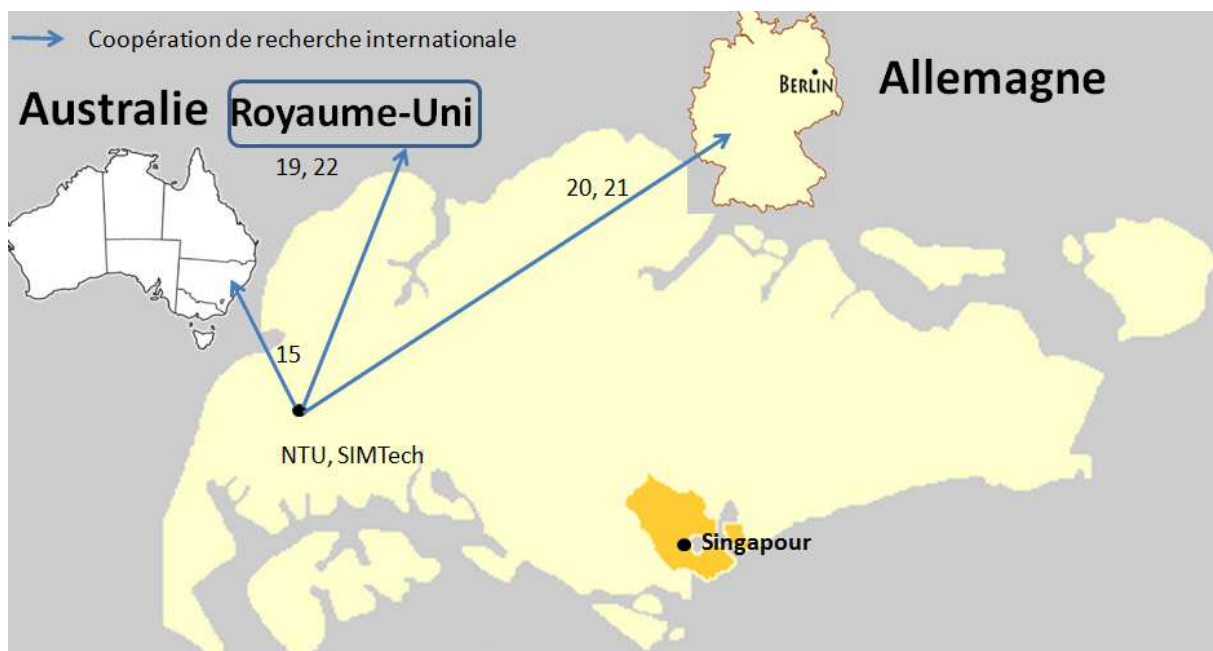


Illustration 39 : coopérations nationales et internationales des centres de recherche de Singapour sur l'impression 3D de pièces métalliques.

Singapour est toujours « auteur principale » lors des coopérations internationales sur le domaine de l'impression 3D de pièces métalliques. Ces dernières passent exclusivement par SIMTech ou la NTU. Cinq co-publications ont été identifiées avec trois pays, deux européens (Allemagne et Pays Bas) et l'Australie.

## **V.5 Conclusion pour Singapour**

Le gouvernement singapourien poursuit depuis 2013 une stratégie nationale pour le développement de la fabrication additive. Pour lui, il s'agit de créer rapidement un écosystème performant dans lequel l'impression 3D puisse jouer un rôle majeur tout en assurant l'indépendance technologique du pays sur des segments d'activités à haute valeur ajoutée.

Il s'est doté des instruments pour appuyer son ambition (investissement de 500 millions de dollars US sur cinq ans, création du programme piloté par l'agence nationale A\*STAR, mise en place d'une plateforme technologique auprès de l'Université Technologique de Nanyang).

Il faut relever que tous les domaines techniques d'intérêt pour de nombreuses applications stratégiques ont fait l'objet d'investigation par les équipes scientifiques singapouriennes.

Le gouvernement de Singapour peut s'appuyer sur un petit réseau d'organismes scientifiques performant qui a su créer des coopérations avec plusieurs pays. **A ce sujet, il est frappant de constater l'absence de la France parmi ce club de partenaires.**

**Enfin, il faut noter l'existence d'un lien entre Singapour et l'Iran qui pourrait être annonciateur de coopérations potentiellement plus sensibles dans les années à venir.**

## Conclusion

L'impression en trois dimensions (ou impression 3D) représente un saut technologique et industriel. Elle se développe autour de techniques innovantes comme le frittage laser ou la stéréolithographie. Elle trouve également des applications multiples dans la médecine, l'aéronautique, l'industrie automobile et des applications concrètes dans le domaine de la défense.

Ainsi, l'*US Air Force* mène des recherches sur les méthodes de production par imprimantes 3D pour des pièces métalliques destinées à des avions, à des éléments de réacteurs ou des résines plastiques pour les aéronefs téléguidés (drones). L'*US Navy* effectue des recherches sur la façon de qualifier rapidement les pièces produites à l'aide de nouvelles techniques comme la fabrication additive pour réduire le temps d'acquisition de 8 à 28 mois à un délai de 2 et 7 semaines. L'*US Army* a utilisé un procédé développé dans les années 1990 par le *Sandia National Laboratory*, le *laser engineered net shaping* (LENS) pour réparer les turbines du char Abrams M1<sup>160</sup>. Plus récemment, EADS a utilisé l'imprimante 3D laser pour imprimer un support d'aile de l'Airbus A380 avec une forme plus complexe.

Si la fabrication additive est encore chère et peu adaptée pour la fabrication de masse, les commandes dans l'industrie de la défense exigent moins de pièces. L'imprimante 3D répond particulièrement aux exigences de secteur de l'aviation militaire. De plus, **certain de ces matériaux peuvent être plus résistants lorsque la pièce est fabriquée par une imprimante 3D plutôt que par la technique traditionnelle de moulage.**

Beaucoup de pays sensibles ne disposent pas de machines outils capables de contribuer à la fabrication d'armes de hautes technologies. Ce type d'équipement est généralement contrôlé par différents régimes de prévention de la prolifération. Ces armes pourraient être aujourd'hui en partie réalisées à l'aide d'imprimantes 3D. Ces dernières ont l'avantage de ne pas être encore contrôlées. **L'utilisation d'imprimantes 3D par des pays à risque leur permettrait d'acquérir une compétence jusque là inaccessible et de devenir indépendants.** Il est donc essentiel d'évaluer la nécessité de contrôler ces technologies par les différents régimes de contrôle des exportations (NSG, MTCR et Arrangement de Wassenaar). **Cependant, cette évaluation doit aller au-delà de la seule imprimante 3D. Pour fonctionner, celle-ci a aussi besoin de fichiers 3D, de matières premières, d'un scanneur et d'un laser performant. Dans le cadre d'un contrôle aux exportations, il faut donc considérer tous ces éléments.**

### Les imprimantes 3D

Si cette étude s'est concentrée sur les imprimantes 3D capables de produire des pièces métalliques, il ne faut pas oublier que l'imprimante 3D est aussi largement utilisée pour produire des moules en sable ou en cire qui servent à couler des pièces métalliques. Son utilisation permet de s'exempter du matériel, des machines et des compétences pointues que requièrent le métier de machiniste-mouliste pour concevoir des moules 3D. Cependant, l'utilisateur devra maîtriser la technique de coulée du moule. De plus, ces moules restent à usage unique. **Le contrôle aux exportations devraient prendre en considération les imprimantes 3D compatibles avec des matériaux utilisables pour créer des moules pour des pièces métalliques (SLS, SLA, etc.)**

---

<sup>160</sup> Fink, C.W, "An Overview of Additive Manufacturing, Part I." *AMMTIAC Quarterly*, no. 4 (2), 2009, p7-11.

### **Les imprimantes 3D de pièces métalliques**

L'étude a ciblé quelques technologies d'impression 3D de pièce métallique. Cependant, cette liste n'est pas exhaustive. Une étude approfondie sur les différentes techniques existantes et en développement apporterait plus de précision sur les potentialités de l'utilisation des imprimantes 3D dans le secteur de la défense, dont la fabrication d'armes.

### **Les poudres métalliques**

Plusieurs métaux sont actuellement disponibles pour l'impression 3D : l'acier maraging, le titane, le chrome-cobalt, l'inconel, l'aluminium, les résines époxy thermodurcissables, l'acier inoxydable, l'or, le platine, l'hastelloy, le bronze, le nickel, le fer, l'argent et les terres rares.

**Les techniques permettant de fabriquer ces poudres sont complexes et spécifiques.** La plupart des fabricants sont donc indépendants des fabricants d'imprimantes 3D. Tous ces fabricants vendent uniquement la poudre à l'exception de la société suédoise *Arcam* qui vend également une machine pour la fabrication de poudre à base d'alliage de titane.

L'étude a permis de détecter onze fabricants de poudres métalliques : 3 Américains, 2 Suédois, 2 Français, 1 Hollandais, 1 Allemand, 1 Israélien.

**Aucune de ces sociétés ne se trouve en Asie. Elles sont toutes situées dans des pays où existent de forts contrôles aux exportations** et qui sont membres des régimes multilatéraux (à l'exception d'Israël). Ces poudres et leurs techniques de fabrication ne sont pas inscrites sur les listes de biens et technologies à contrôler (à l'exception de certaines terres rares et de l'acier maraging). **Même en détenant la technologie d'imprimante 3D, il n'est pas possible de fabriquer des pièces sans ces poudres. Le contrôle de celles-ci est donc un élément primordial.**

On observe depuis peu plusieurs rachats de société fabricantes de poudre par des sociétés fabricantes de machines. Ainsi, **les sociétés françaises du secteur, telle que *Phenix systems*, se font déjà racheter par des sociétés étrangères.**

### **Les scanners**

Si un utilisateur d'imprimante 3D possède la pièce à fabriquer mais ne dispose pas du fichier STL associé à celle-ci, alors le scanner devient un outil essentiel pour la réalisation, par rétroconception, de l'objet envisagé. Pour une utilisation dans le secteur de l'aéronautique la résolution du scanner est un enjeu important car elle doit atteindre seulement quelques microns. Les applications de ces technologies ne sont pas limitées aux imprimantes 3D. Ces scanners peuvent aussi servir à vérifier la conformité des moules ou faire passer les tests de conformité, entre autres dans le secteur automobile. Il n'existe que très peu de fabricants de ce type d'équipement : trois sont situés en Allemagne, deux au Canada, un au Japon, un au Royaume-Uni et un aux États-Unis. Deux entreprises françaises se positionnent aussi sur ce secteur (*Kreon* et *Tomo Adour*). **Ce matériel est ainsi un élément clé de l'imprimante 3D dont le contrôle peut être envisagé.**

### **Les fichiers 3D**

L'obtention d'un fichier 3D d'une pièce suffit à la réalisation d'un objet. Il n'est donc pas utile de posséder la pièce pour la reproduire. Le contrôle aux exportations pourrait s'appliquer aussi à ces fichiers en fonction de la nature de la pièce à réaliser (contrôle sur la technologie).

### **Les lasers et les lentilles**

La qualité des lasers et des lentilles, qui permettent de focaliser ces derniers, est importante lors de la réalisation des pièces métalliques. Cependant, chaque poudre nécessite un laser spécifique. Il existe donc plus de vingt lasers différents pour les imprimantes 3D qui



produisent des pièces métalliques (d'une puissance de 400 à 6 000 watts). Ces mêmes lasers sont déjà utilisés dans d'autres secteurs. La fabrication de laser est une technologie à part entière. Les fabricants d'imprimantes 3D pour des pièces métalliques ne fabriquent pas les lasers qui seront installés sur les machines, mais les achètent. L'Allemagne et la Russie ont acquis une avance sur ces technologies. En effet, l'Allemagne a investi dès les années 1980 sur ces technologies en soutenant les industriels et la recherche universitaire. La Russie s'est intéressée dès les années 1960 au laser. De plus, elle dispose de bonnes compétences en physique. Les fabricants de lasers se situent en Europe (Allemagne, France et Italie), en Russie et aux États-Unis. Dans la région chinoise du Whuan, il est possible de trouver beaucoup de fabricants de laser. **Cependant, la qualité des lasers chinois reste inférieure. Le savoir-faire sur les lentilles se concentre au Japon, en Israël et aux États-Unis. Une étude plus détaillée sur ce sujet serait nécessaire.**

## Chlorodia : conseil scientifique

**CHLORODIA** est un cabinet de conseil au service de votre innovation.

Chlorodia conseille les entreprises sur la stratégie de croissance et sur l'utilisation des technologies émergentes telles que les matériaux avancés, l'informatique, les nanotechnologies et les sciences de la vie.

Nos services comprennent :

- état de l'art des technologies émergentes ;
- veille scientifique et technologique adaptée à vos besoins ;
- conseil en technologies stratégiques ;
- évaluation de la concurrence ;
- identification des points critiques du projet.

Chlorodia vous accompagne sur la vague de l'innovation et vous aide à saisir de nouvelles opportunités d'affaires. Nos méthodes de travail reposent sur :

- nos compétences techniques et scientifiques internes ;
- notre réseau d'experts dans les laboratoires de recherche, les centres techniques ou les cabinets de conseil ;
- la couverture de congrès et la recherche documentaire sur des sources ouvertes et restreintes ;
- la création de bases de données et l'analyse statistique des tendances.

L'alliance de notre savoir-faire en matière de traitement de l'information et l'expertise de nos spécialistes nous permet d'aborder un grand nombre de sujets industriels.

• Réalisation et coordination des études

<p><b>Ariane Castel</b> Chlorodia Bac +5 Biotechnologie Expert scientifique Création d'entreprises innovantes  contact@chlorodia.fr</p> 	<ul style="list-style-type: none"><li>• 5 ans d'expérience dans la création d'entreprises innovantes</li><li>• A conduit diverses études et consultances pour le ministère de la Défense sur les technologies émergentes dont les nanotechnologies et les sciences de la vie :<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Technologies duales : état de l'art des imprimantes 3D en Chine, en Inde, en Russie et à Singapour</i>, DAS, 2014.</li><li>• <i>Perspectives de partenariats stratégiques entre la France et le Brésil en matière de nanotechnologies</i>, DAS, 2013.</li><li>• <i>Prolifération biologique</i>, DAS, 2013.</li><li>• <i>Analyse des risques et des intérêts potentiels associés aux nanotechnologies dans le domaine de la défense et de la sécurité</i>, E.P.S. DGA/DAS, 2012.</li><li>• <i>Les nanotechnologies : nouvelles opportunités pour la Russie d'assurer sa suprématie militaire</i>, DAS, octobre 2010.</li><li>• <i>Guide pratique à la création d'entreprises innovantes</i>, Chlorodia, 2013. Disponible sur youboox</li></ul></li></ul>	 <p><b>CHLORODIA</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Je souhaite remercier M. Bertrand Busson de la société Shapelize pour ses conseils précieux sur les imprimantes 3D.

## Bibliographie

### Rapport

*Additive Manufacturing in China : Threats, Opportunities, and Developments (Part 1)*, Eric ANDERSON, IGCC University of California Institut of global conflict and cooperation, SITC (Study of Innovation and Technology in China) Bulletin Analysis, mai 2013.

*Additive Manufacturing in China : Aviation and Aerospace Applications (Part 2)*, Eric ANDERSON, IGCC University of California Institut of global conflict and cooperation, SITC (Study of Innovation and Technology in China) Bulletin Analysis, mai 2013.

*Additive Manufacturing: Status and Opportunities*, Justin Scott, IDA Science and technology policy institute, mars 2012.

*Shaping our National Competency in Additive Manufacturing*, Robert Quarshie, Materials KTN, septembre 2012.

*Additive Manufacturing*, Dstl Science & Technology Foresight Briefing Paper, Dstl/PUB64249 Issue 1.1, décembre 2012.

### Article

John Newman, « China Looks to Additive Manufacturing for Aerospace », *ZDNet*, 18 février 2013.

Alan Gardner, « China's Huge 3D Printers, Soon Able to Print Automobile Sized Metal Objects », *3D printer.com*, 6 février 2014.

Paul Davidson and Nina Trentmann, « China chasing U.S. lead in 3-D printing », *USA Today*, 1 décembre 2013.

Kyle Maxey, « China's First 3D Bio Printer », *engineering.com*, 8 août 2013.

Rose Brooke, « China flexes muscles in 3D printing race to the top », *tctmagazine*, 27 Juin 2013.

Kyle Maxey, « Chinese Astronauts take Flight with 3D Printed Seats », *engineering.com*, 18 juin 2013.

Kyle Maxey, « Chinese Dr. Creates 3D Printed Skull Implant », *engineering.com*, 9 septembre 2013.

« China's 3rd of 3DP Market », *dimensionnet*, juin 2013.

Shane Taylor, « Stratasys To Expand Operations In China », *dimensionext*, 22 juillet 2013.

« Additive Manufacturing Industry Growth », *Wholers associates*, août 2013.

« China: Rise of 3D Printing, David Bourell, Professor at the University of Texas at Austin », *dimensionext*, 15 décembre 2012.

Steven Millward, « This Chinese Startup Wants to Bring You a 3D-Printed, Smartphone-Controlled Drone », *techinasia*, 2 janvier 2013.

Graham Tromans, « View from the East », *tctmagazine*, 21 février 2013.

« Cumulative Industrial AM Machines », *tctmagazine*, 7 septembre 2013.

Gilbert Kallenborn, « Une imprimante 3D pour seulement 70 euros, sur Kickstarter », *01net*, 23 septembre 2013.

Marine Goy, « Une imprimante 3D de pièces en métal pour 1500 dollars », *Les numeriques*, 9 décembre 2013.

« Impression 3D : une nouvelle arme à feu, en métal cette fois », *Journaldugeek*, 08 novembre 2013.

Rose Brooke, « ExOne targets Brazil and China for growth », *Tctmagazine*, 15 mai 2013.

« Mcor Appoints Saitu Graphics as Chinese Reseller », *Tctmagazine*, 25 octobre 2012.

Rose Brooke, « Renishaw opens 11th China office », *Tctmagazine*, 2 avril 2013.



Kay Roberts, Kay Roberts, « Star Prototype China Announce One of the First Orders of the NPE Show », *Tctmagazine*, 14 juin 2012.

« Stratasys to Enter China's 3D Printing Market », *The China Post*, septembre 2013.

« Weistek exhibits 3D printers and filaments at CES », *Tctmagazine*, 2 janvier 2014.

« Use Your Smartphone as a 3-D Scanner », *Df robot*, 25 février 2013.

Shane Taylor, « AM in China », *dimensionex*, 22 février 2013.

Audrey Chabal, Poudre de titane pour impression 3D, *MATÉRIAUX & CHIMIE*, 11 décembre 2013.

« China shows off world largest 3D printed titanium fighter component », *3ders*, 29 mai 2013.

Rose Brooke, « 3D printing in the emerging markets: India », *tctmagazine*, 12 mars 2013.

« PM-13 India: Special Session focuses on Additive Manufacturing », *powder metallurgy review*, 27 mars 2013.

« India's take on 3D Printing », *AMSI*, janvier 2013.

### **Site internet**

[www.materialsktn.net](http://www.materialsktn.net)

[www.dimensionext.co.uk](http://www.dimensionext.co.uk)

[www.techinasia.com](http://www.techinasia.com)

[www.tctmagazine.com](http://www.tctmagazine.com)

[www.wohlersassociates.com](http://www.wohlersassociates.com)

[www.thingiverse.com](http://www.thingiverse.com) (partage de fichier imprimante 3D ainsi qu'une partie du drone HeX Air Robot)

[www.worldwide.espacenet.com](http://www.worldwide.espacenet.com)

[www.engineering.com](http://www.engineering.com)

[www.cnki.net](http://www.cnki.net)

[www.amsi.org.in](http://www.amsi.org.in) (Inde)

### **Article scientifique**

- XUE Yan-xue, ZHANG Er-hu, WU Xue-yi, « The Defects Detection System of Printed Products Base on Computer Vision », 2004.

- HUANG Min, LIU Hao-xue, « Selecting of the Parameters of Cylindrical Lens Sheet Imaging in 3D Printing », *Journal of Beijing Institute of Graphic Communication*, janvier 2005.

- WU Sheng-nan, WU Chun-hong, « The Integral Imaging and Its Application », *Bulletin of Science and Technology*, 2005-06.

- Ian Gibson (1), Ling Wai Ming (2), « Colour RP », *Rapid Prototyping Journal*, 2001,

- YANG Xiao-ling, ZHOU Tian-rui, « Three dimensional printing prototyping rapidly technology and its application », *Journal of Zhejiang University of Science and Technology*, 2009-03.

- Haiou Zhang, Jipeng Xu, Guilan Wang, « Fundamental study on plasma deposition manufacturing », *Surface and Coatings Technology*, July 2002.

- Xiaowei Yin, Nahum Travitzky, Peter Greil, « Three-Dimensional Printing of Nanolaminated Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub> Toughened TiAl<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composites », *Journal of the American Ceramic Society*, 3 July 2007.

- LI Xiao-yan, ZHANG Shu, YU Deng-guang, « Application of uniform design method in research of three dimensional printing's powder », *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, 2007-02.

- Dan Xie, HongHai Zhang, XiaYun Shu, JunFeng Xiao, Shu Cao, « Multi-materials drop-on-demand inkjet technology based on pneumatic diaphragm actuator », Science China Technological Sciences, June 2010.
- Weiming Wang, Tuanfeng Y. Wang, Zhouwang Yang, Ligang Liu, Xin Tong, Weihua Tong, Jiansong Deng, Falai Chen, Xiuping Liu, “Cost-effective printing of 3D objects with skin-frame structures”, ACM Transactions on Graphics, 6 novembre 2013.
- Chen Xinwei, Liu Jingtai, Shi Tao, Qian Haili, “Depth estimation from a single image and method of manufacturing 3D photo”, Control Conference Hefei, 25-27 July 2012.
- J.P. Li, C. Wilson, J.R. Wijn, Clemens A. van Blitterswijk, K. de Groot, “Fabrication of Porous Ti6Al4V with Designed Structure by Rapid Prototyping Technology”, Key Engineering Materials, février 2007.
- Xiaolong Wang, Qiuquan Guo, Xiaobing Cai, Shaolin Zhou, Brad Kobe, and Jun Yang, “Initiator-Integrated 3D Printing Enables the Formation of Complex Metallic Architectures”, ACS Appl. Mater. Interfaces, Article ASAP11 décembre 2013.
- Wurikaixi·AIYITI, “Rapid manufacturing of metal parts based on 3D printing”, Modern Manufacturing Engineering, juillet 2009.
- Ruidi Li, Yusheng Shi, Jinhui Liu, Zhan Xie, Zhigang Wang, “Selective laser melting W–10 wt.% Cu composite powders”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, May 2010.
- LIU Hai-tao, MO Jian-hua, HUANG Bing, “Synthesis of Photosensitive Oligomer and Its Use for Three Dimensional Printing”, Polymer Materials Science & Engineering, décembre 2008.
- D D Gu, W Meiners, K Wissenbach, R Poprawe, “Laser additive manufacturing of metallic components: materials, processes and mechanisms”, Mai 2012.
- D.A. Ramirez, L.E. Murr, E. Martinez, J.L. Martinez, B.I. Machado, S.M. Gaytan, F. Medina, R.B. Wicker, S.J. Li et Y.X. Tian, « Open-cellular copper structures fabricated by additive manufacturing using electron beam melting », Materials Science and Engineering, Volume 528, Issues 16–17, 25 June 2011.
- J.L. Song, Y.T. Li, Q.L. Deng, D.J. Hu, “Rapid prototyping manufacturing of silica sand patterns based on selective laser sintering”, Elsevier Journal of Materials Processing Technology, Volumes 187–188, 12 June 2007.
- Liu Hongjun, Fan Zitian, Huang Naiyu, Dong Xuanpu, “A note on rapid manufacturing process of metallic parts based on SLS plastic prototype”, Elsevier Journal of Materials Processing Technology, Volume 142, Issue 3, 10 December 2003.
- Wang Huaming Zhang Lingyun Li An Cai Liangxu Tang Haibo, “Rapid solidification laser processing and forming of advanced aeronautical metallic materials”, Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2004-10.
- Samuel H. Huang, Peng Liu, Abhiram Mokasdar et Liang Hou, “Additive manufacturing and its societal impact: a literature review”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, July 2013.
- Dongdong Gu, Yifu Shen, “Balling phenomena during direct laser sintering of multi-component Cu-based metal powder”, Elsevier Journal of Alloys and Compounds, Volume 432, Issues 1–2, 25 April 2007, Pages 163–166.
- Minlin Zhong, Wenjin Liu, Guoqing Ning, Lin Yang, Yanxia Chen, “Laser direct manufacturing of tungsten nickel collimation component”, Elsevier, 10 April 2004,
- Jun Xiong, Guangjun Zhang, Jianwen Hu, Lin Wu, “Bead geometry prediction for robotic GMAW-based rapid manufacturing through a neural network and a second-order regression analysis”, Journal of Intelligent Manufacturing juillet 2014.
- Bo Gao, Jiang Wu, Xianghui Zhao, Hua Tan, “Fabricating titanium denture base plate by laser rapid forming”, Rapid Prototyping Journal, 2009.

- Minlin Zhong, Lin Yang, Wenjin Liu, Ting Huang, Jingjiang He, “ Laser rapid manufacturing of special pattern Inco 718 nickel-based alloy component”, Proc. SPIE 5629, Lasers in Material Processing and Manufacturing II, 59 (January 18,2005).
- Beiya Nan, Xiaowei Yin, Litong Zhang, Laifei Cheng, “Three-Dimensional Printing of Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub>-Based Ceramics”, 25 February 2011.
- Yongnian Yan, Shengjie Li, Renji Zhang, Feng Lin, Rendong Wu, Qingping Lu, Zhuo Xiong, Xiaohong Wang, “Rapid Prototyping and Manufacturing Technology: Principle, Representative Technics, Applications, and Development Trends”, Elsevier Tsinghua Science & Technology, June 2009 et Elsevier Journal of Cleaner Production, Volume 41, February 2013, Pages 82–88.
- Jun Xiong, Guangjun Zhang, Zhilong Qiu, Yongzhe Li, “ Vision-sensing and bead width control of a single-bead multi-layer part: material and energy savings in GMAW-based rapid manufacturing”, Elsevier Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 27, Issue 3, June 2011, Pages 641–645.
- Yong Cao, Sheng Zhu, Xiubing Liang, Wanglong Wang, “Overlapping model of beads and curve fitting of bead section for rapid manufacturing by robotic MAG welding process”,
- Xiang Li, Chengtao Wang, Wenguang Zhang, Yuanchao Li, “ Fabrication and compressive properties of Ti6Al4V implant with honeycomb-like structure for biomedical applications”, Rapid Prototyping Journal, 2010.
- Jichang Liu, Lijun Li, “Direct Fabrication of Thin-Wall Parts by Laser Cladding”, Elsevier Journal of Manufacturing Processes, 2006, Pages 1–7.

# Annexe 1

## Direct Production of Titanium Powder from Titanium Ore by Preform Reduction Process

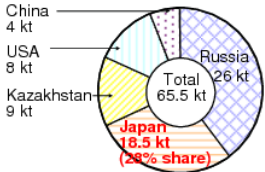
Haiyan Zheng <sup>1\*</sup> and Toru H. Okabe <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Industrial Science, University of Tokyo, \* Graduate Student

### Introduction

#### Current status of industrial production of Ti

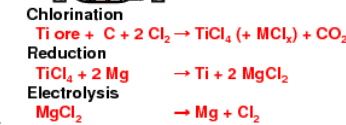
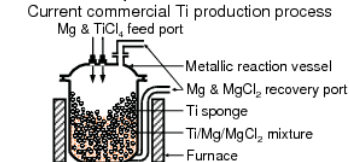
World production of Ti sponge (2003)



Comparison with common metals

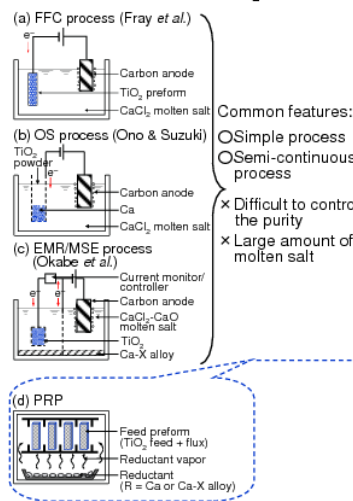
Metal	Iron	Aluminum	Titanium
Symbol	Fe	Al	Ti
Melting point (K)	1809	933	1939
Density (g/cm <sup>3</sup> at 298 K)	7.9	2.7	4.5
Specific strength ((kgf/mm <sup>2</sup> )/(g/cm <sup>3</sup> ))	4~7	3~6	8~10
Clarke no.	4	3	9
Price (¥/kg)	50	600	3000
Production volume (t/world in 2003)	~6 × 10 <sup>8</sup>	~2.2 × 10 <sup>10</sup>	~6.6 × 10 <sup>6</sup>

#### The Kroll process

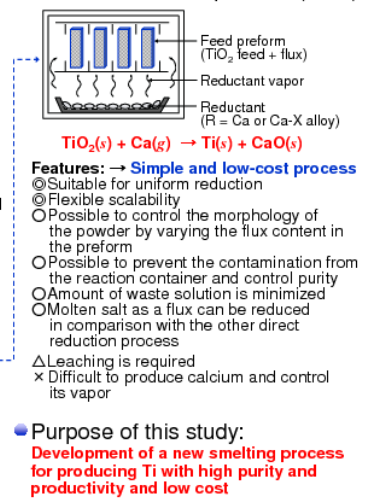


- Features of the Kroll process:**
- High-purity Ti can be obtained.
  - Metal/salt separation is simple.
  - Chlorine circulation is established.
  - Efficient Mg electrolysis can be utilized.
  - Reduction and electrolysis can be carried out independently.
  - Process is complicated.
  - Reduction process is batch type.
  - Production speed is low.
  - Chloride wastes are produced.
- Production cost of Ti is high and its application is limited.

#### Direct reduction of TiO<sub>2</sub>

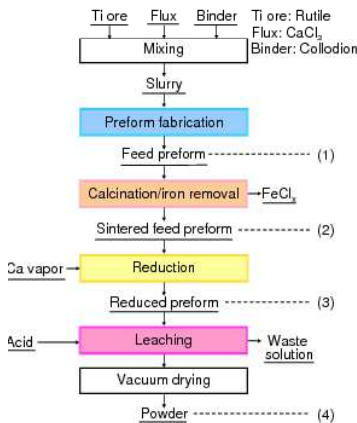


#### Preform reduction process (PRP)

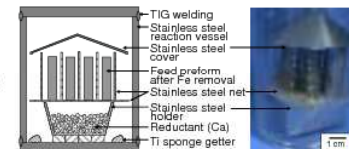


### Research work

#### Flowchart of the PRP



#### Typical experimental apparatus for the reduction process

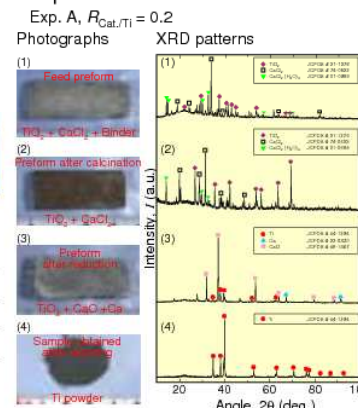


#### Experimental conditions

Exp. No. <sup>a</sup>	Cationic molar ratio $R_{Ca/Ti}$ <sup>b</sup>	Calcination		Reduction	
		Temp./K	Time/h	Temp./K	Time/h
A	0.2	1273	1	1273	6
B	0.3	1273	1	1273	6
C	0.2	1273	2	1273	9
D <sup>c</sup>	0.3	1273	2	1273	9

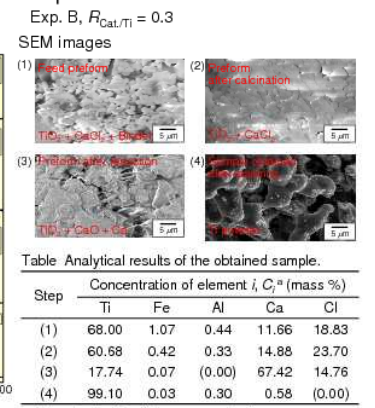
a: Natural rutile ore produced in South Africa after pulverization.  
 b: Cationic molar ratio,  $R_{Ca/Ti} = N_{Ca}/N_{Ti}$ , where  $N_{Ca}$  and  $N_{Ti}$  are the mole amounts of the cations in the flux and Ti, respectively.  
 c: C powder was added to the preform during the fabrication step in experiments C and D.

#### Experimental results 1



Metallic Ti was successfully obtained after the experiment.

#### Experimental results 2

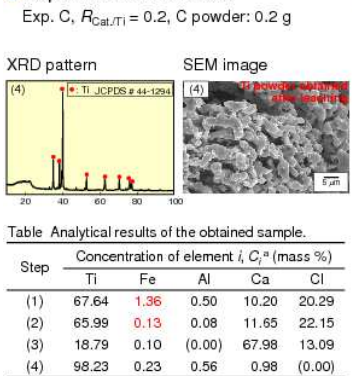


a: Determined by X-ray fluorescence analysis, and the value excludes carbon and gaseous elements.

Metallic Ti exhibiting a coral-like structure was obtained.

Purity of Ti was greater than 99 mass %.

#### Experimental results 3



a: Determined by X-ray fluorescence analysis, and the value excludes carbon and gaseous elements.

Iron removal efficiency was improved when C powder was added to the preform.

#### Experimental results 4

Table Composition of the samples obtained after leaching and yield of Ti powder

Exp. No.	Cationic molar ratio $R_{Ca/Ti}$	Concentration of Ti and Fe in the obtained Ti powder			Iron removal ratio <sup>c</sup> (%)	Yield (%)
		Ti	Fe	others		
A	0.2	98.16	0.88	1.76	59	-
B	0.3	99.10	0.03	0.87	56	-
C	0.2	98.23	0.23	1.54	90	79
D	0.3	98.44	0.14	1.42	65	88

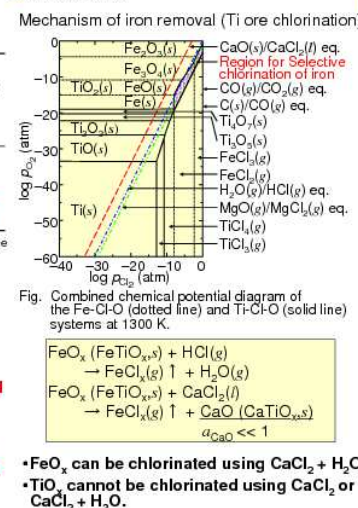
a: Cationic molar ratio,  $R_{Ca/Ti} = N_{Ca}/N_{Ti}$ , where  $N_{Ca}$  and  $N_{Ti}$  are the mole amounts of the cations in the flux and Ti, respectively.  
 b: Determined by X-ray fluorescence analysis, and the value excludes carbon and gaseous elements.  
 c: Iron removal ratio:  $(C_{Fe}/C_{Ti}(Before) - C_{Fe}/C_{Ti}(After)) / C_{Fe}/C_{Ti}(Before)$

High-purity metallic Ti powder was obtained directly from natural Ti ore.

Iron removal ratio was enhanced when C powder was added to the preform.

Ti powder with a yield of 88% was obtained.

#### Discussion



### Conclusion

The feasibility of the preform reduction process (PRP), based on the calicheotropic reduction of natural Ti ore, was demonstrated.

- 90% of iron was successfully removed by selective chlorination during the calcination step.
- When C powder was added to the preform, iron was removed more efficiently, and Ti powder with a purity of 98% and yield of 88% was obtained.
- It was experimentally demonstrated that high-purity metallic Ti powder (greater than 99 mass %) was obtained directly from natural Ti ore (rutile ore) by the PRP.

Currently, the development of a more effective method for the direct removal of iron from Ti ore, analysis of the detailed mechanism of selective chlorination, and development of an efficient recycling system of CaCl<sub>2</sub> flux and the residual Ca reductant are under investigation.

## **Annexe 2 : liste des organismes publics, des entreprises, des publications et des brevets chinois**

### **Liste des organismes publics chinois ayant une activité en imprimante 3D**

#### **Academy of Armored Forces Engineering (AAFE)**

**Activité :** ministère de la Défense.

**Adresse :** Beijing.

**Publication :**

- Yong Cao, Sheng Zhu, Xiubing Liang, Wanglong Wang, “Overlapping model of beads and curve fitting of bead section for rapid manufacturing by robotic MAG welding process”,

National Key Laboratory for Remanufacturing, The Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China.

Au cours du processus de formage de pièces métalliques avec la technologie de soudage MAG robotique, la géométrie du bourrelet et le chevauchement des billes adjacentes ont des effets importants sur la précision des dimensions et de la qualité des pièces métalliques. Un modèle mathématique de la section de talon a été développé pour analyser la géométrie du bourrelet.

#### **China Academy of Launch Vehicle Technology (CAST)**

**Activité :** subordonnée à la China Aerospace Science and Technology Corporation. Elle appartient à l'Etat mais elle n'est pas activement gérée par l'Etat. En 1987, l'installation comprenait au moins 100 hectares, avec six grands complexes d'usine dans le composé. C'est le **principal centre de recherche et développement missile** qui a eu une contribution majeure dans la capacité de lancement chinoise. Elle est à l'origine de la famille de roquette Long March. **La société a été sanctionnée par les États-Unis en Août 1993, pour son aide au développement de missiles au Pakistan.**

**Adresse :** Nanyuan, Beijing.

**Effectif :** 27 000 employés et au moins 13 installations de recherche. Créée en 1957.

**Brevet :**

- Manufacturing method of arc additive of titanium alloy structural part en 2012.

Le produit, obtenu par fil en **alliage de titane**, a une taille de grain fin et uniforme et de bonnes propriétés mécaniques. Ce brevet a été co-déposé avec 10. Capital Aerospace Machinery Company.

### **China Academy of Machinery Science Technology (CAMST)**

**Activité :** Laboratoire Advanced Forming Technology & Equipment CAMST.

**Adresse :** NO.2 Shouti South Road, Haidian District, Beijing, 100044, China.

**Brevet :**

- Polymetal liquid injected and deposited additive manufacturing device en 2012.

Dispositif de chauffage permet de chauffer et de fondre une ou plusieurs matières métalliques, les buses d'injection déposent de la manière en allant et venant sur le banc de travail (axe X et Y) pour obtenir des composantes à haute densité polymétalliques.

### **Chongqing of green and intelligent technology chinese academy of sciences (CIGIT)**

**Activité :** favoriser le progrès et l'innovation dans les domaines de l'information électronique.

**Effectif :** il dispose de 288 personnes, dont 205 employés de la recherche scientifique, 25 techniciens, 39 administrateurs.

**Adresse :** No.266 Fangzheng Avenue, Shuitu Hi-tech Industrial Park, Shuitu Town, Beibei District, Chongqing.

**Brevet :**

- Magnetorheological-material-based 3D (Three-Dimensional) printing type rapid prototyping device and method en avril 2013.

Le brevet explique qu'un modèle solide 3D peut être réalisé par pulvérisation du matériau magnéto-rhéologique sur une table de travail avec un champ magnétique. Le matériau magnéto-rhéologique est solidifiée et un prototype en utilisant le champ magnétique généré par un électroaimant.

- Three-dimensional (3D) printing robot system based on magneto-rheological materials.
- Three-dimensional (3D) printing method based on magneto-rheological materials.

Le matériau magnéto-rhéologique peut servir comme matériaux de fertilité.

### **Beijing Institute Graphic Communication (BIGC)**

**Activité :** rattaché au ministère de l'Imprimerie, il s'axe sur les médias avec de l'ingénierie, des sciences humaines, de la gestion et les arts.

**Effectif :** 435 enseignants à temps plein.

**Adresse :** 1 Xinghua Avenue (Band Two), Daxing, Beijing 102600.

**Brevet :**

- Flexographic plate CTP (computer to plate) direct printing method and equipment based on 3D rapid forming printing principle en février 2013.

**Publication :**

- HUANG Min, LIU Hao-xue, « Selecting of the Parameters of Cylindrical Lens Sheet Imaging in 3D Printing », *Journal of Beijing Institute of Graphic Communication*, janvier 2005.

La technique de LENS (*Laser Engineer Net shaping*) est réalisée avec de la poudre de métal.

### **Beijing Jiaotong Univeristy (BJTU)**

**Activité :** sous l'administration du ministère de l'Éducation et parrainé par le ministère des Chemins de fer et la municipalité de Beijing. Au nord de l'Université, Zhongguancun, est connu comme la « Silicon Valley » de la Chine. Elle propose divers discipline dont

l'ingénierie de la communication et traitement de l'information, le traitement du signal, l'économie industrielle, ingénierie routière et ferroviaire, l'ingénierie de transport, des ponts et la construction de tunnels.

**Effectif** : 2850 employés. Créée en 1921.

**Adresse** : No.3 Shang Yuan Cun, Hai Dian District Beijing, China 100044.

**Brevet** :

- 3D dimensional printing method of engineering structure en juillet 2013.

Le brevet décrit une technique de pulvérisation de béton couche par couche (impression en 3D).

**Publications** :

- - WU Sheng-nan (1), WU Chun-hong (2), «The Integral Imaging and Its Application », *Bulletin of Science and Technology*, 2005-06.  
(1) Nanchang Branch of JiangXi University of Science & Technology, NanChang 3300 13, China.  
(2) University of Science and Technology Beijing, Beijing, 100083, China.  
Technique d'imagerie 3D. Co-publier avec JiangXi University of Science & Technology.

**Article** :

- *Chinese Dr. Creates 3D Printed Skull Implant*, Kyle Maxey, engineering.com, 9 septembre 2013.

## **Dalian University of Technology (DUT)**

**Activité** : ministère de l'Education. Science de la gestion et de l'ingénierie.

**Adresse** : Adresse: 2 Ganjingzi Dalian, Liaoning, Chine Ling Gong Road 116024.

Créée en 1980.

**Brevet** :

- Vector sintering system and additive manufacturing method en juin 2013.  
Nouveau procédé de frittage laser avec poudre (métallique ?).
- Selective-failure-based 3D (three-dimensional) printing method for preparing mold en juillet 2013.  
Préparation de moule.
- Laser 3D (three-dimensional) printing method of ceramic functional gradient component le 28 juin 2013.

Fabrication de matière première pour imprimante 3D laser à l'aide de différentes poudres de céramique en tant que matières premières et d'un système.

**Publication** :

- Weiming Wang, Tuanfeng Y. Wang, Zhouwang Yang, Ligang Liu, Xin Tong, Weihua Tong, Jiansong Deng, Falai Chen, Xiuping Liu, "Cost-effective printing of 3D objects with skin-frame structures", *ACM Transactions on Graphics*, 6 novembre 2013.

Dalian University of Technology, China.

Réduire le coût de la matière première dans l'impression d'un objet 3D.

## **Donghua University**

**Activité** : l'ingénierie, l'économie, la gestion, la littérature, le droit, la science.

**Adresse** : Shanghai.

**Effectif** : possède 18 collèges. L'Université s'élève à 20000. Les 3300 membres du corps professoral sont 1300 enseignants.

**Brevet :**

- Polypeptide protein class-medicament under-tongue instant nanometer emulsion and 3D printing preparing method thereof en 2007.

**Hangzhou University of Electronic Science and Technology/ Hangzhou Dianzi University (HDU)**

**Activité :** administré directement par le ministère de l'Industrie et de la technologie de l'information et le gouvernement provincial. Il met l'accent sur les disciplines de l'ingénierie, de l'économie, les sciences et les arts. Il a plus de 40 institutions de recherche.

Crée en 1956.

**Adresse :** Wuhan 430074, PR China

**Brevet :**

- Airglow-discharge low-temperature plasma coating technique en janvier 2013. Préparation de matériaux métalliques, des matériaux semi-conducteurs, les matériaux composites, les polymères.
- Metal part additive manufacturing method based on contour features en juin 2013. Fabrication de pièces métalliques.

**Publications :**

- Haiou Zhang, Jipeng Xu, Guilan Wang, « Fundamental study on plasma deposition manufacturing », *Surface and Coatings Technology*, July 2002.

State Key Lab of Plastic Forming Simulation and Die and Mold Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, PR China.

Plasma deposition manufacturing (PDM) comme une technique de MAM émergents dérivé de plasma poudre revêtement, a la capacité et la prédominance de la production de métal complètement dense ou haute performance spécialisés de pièces en matériaux de formes complexes.

- Ruidi Li (1), Yusheng Shi (1), Jinhui Liu (2), Zhan Xie(3), Zhigang Wang (1), “Selective laser melting W-10 wt.% Cu composite powders”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, May 2010.

(1) State Key Laboratory of Material Processing and Die & Mould Technology, Huazhong University of Science and Technology, 1037 Luoyu Street, Wuhan, 430074, People's Republic of China.

(2) Modern Manufacture Engineering Center, Heilongjiang Institute of Science and Technology, 1 Tangchang street, Harbin, 150027, People's Republic of China.

(3) Sichuan Petroleum Perforating Materials Ltd, Longchang, 642177, People's Republic of China.

Fusion sélective au laser (Technique de *Selective laser melting* SLM).

En utilisant de la poudre de tungstène-cuivre, la densité finale augmente avec la diminution de la vitesse de balayage. Coécrit avec Heilongjiang Institute of Science and Technology, 1 Tangchang street, Harbin et l'entreprise Sichuan Petroleum Perforating Materials Ltd, Longchang.

- LIU Hai-tao, MO Jian-hua, HUANG Bing, “Synthesis of Photosensitive Oligomer and Its Use for Three Dimensional Printing”, *Polymer Materials Science & Engineering*, décembre 2008.



State Key Laboratory of Material Processing and Die & Mould Technology, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China.

Un oligomère de résine photosensible de polypropylène glycol diglycidyléther diacrylate a été conçu pour les imprimantes 3D.

Liu Hongjun, Fan Zitian, Huang Naiyu, Dong Xuanpu, “A note on rapid manufacturing process of metallic parts based on SLS plastic prototype”, Elsevier *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 142, Issue 3, 10 December 2003.

State Key Laboratory of Plastic Forming Simulation and Die & Mold Technology, School of Materials Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, PR China.

Fabrication d’une première pièce en plastic par SLS qui servira à faire un moule. Ce moule après être coulé avec du métal : combinaison de prototypes rapides et précis de la technologie de coulée.

- LI Xiao-yan (1), ZHANG Shu (2), YU Deng-guang (3), « Application of uniform design method in research of three dimensional printing's powder », *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, 2007-02.

(1) College of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China.

(2) College of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China.

(3) College of Life Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China.

Technique de fabrication de poudre pour imprimante 3D qui influence sur la densité et la dureté du produit (base de gypse et alcool polyvinylique). Co-publié avec University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China et College of Mechanical Engineering, Tongji University.

- Dan Xie, HongHai Zhang, XiaYun Shu, JunFeng Xiao, Shu Cao, « Multi-materials drop-on-demand inkjet technology based on pneumatic diaphragm actuator », *Science China Technological Sciences*, June 2010.

Institute of micro-systems, School of Mechanical and Electrical Engineering Huazhong University of Science and Technology, Wuhan China.

Wuhan National Laboratory of Optoelectronic, China.

Micro-jet de gouttelette capables de résister à haute température ainsi que l'applicabilité à une grande variété de matériaux, y compris les polymères, résine à bas point de fusion et le point de fusion élevé métal.

L’université c’est spécialisé dans les Bio-printer pour créer des organes. L’Université possède aussi la plus grande machine de frittage sélectif par laser au monde, avec un volume de construction de 1,2 m par 1,2 m.

L’entreprise Wuhan Binhu Mechanical & Electrical Co., Ltd. est une start-up de Rapid Prototyping and Manufacturing Center of Huazhong University of Science and Technology.

## **Harbin Institute of Technology (HIT)**

**Adresse :** Harbin.

### **Publications :**

- Jun Xiong, Guangjun Zhang, Jianwen Hu, Lin Wu, “Bead geometry prediction for robotic GMAW-based rapid manufacturing through a neural network and a second-order regression analysis”, *Journal of Intelligent Manufacturing* juillet 2014.

State Key Laboratory of Advanced Welding and Joining, Harbin Institute of Technology, West Straight Street 92, Harbin, 150001, People's Republic of China.

Pièce métallique par *wire & arc deposition* WAAM.

- Jun Xiong, Guangjun Zhang, Zhilong Qiu, Yongzhe Li, “ Vision-sensing and bead width control of a single-bead multi-layer part: material and energy savings in GMAW-based rapid manufacturing”, Elsevier Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 27, Issue 3, June 2011, Pages 641–645.

State Key Laboratory of Advanced Welding and Joining, Harbin Institute of Technology, West Straight Street 92, Harbin 150001, PR China.

Déchets de matière et les économies d'énergie ont pu être réalisés pour la technique de *wire & arc deposition* WAAM grâce à une technologie de traitement d'image.

### **Heilongjiang Institute of Science and Technology (HIST)**

**Activité :** rattaché à Harbin University of Science and Technology. L'école dispose de cinq spécialités de premier cycle qui sont de conception de machines, la fabrication et l'automatisation, mécatronique, l'énergie thermique et le génie électrique, génie automobile et le design industriel.

**Adresse :** 1 Tangchang street, Harbin, 150027, People's Republic of China.

**Effectif :** 150 enseignants.

**Publication :**

- Ruidi Li (1), Yusheng Shi (1), Jinhui Liu (2), Zhan Xie(3), Zhigang Wang (1), “Selective laser melting W–10 wt.% Cu composite powders”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, May 2010.

(1) State Key Laboratory of Material Processing and Die & Mould Technology, Huazhong University of Science and Technology, 1037 Luoyu Street, Wuhan, 430074, People's Republic of China.

(2) Modern Manufacture Engineering Center, Heilongjiang Institute of Science and Technology, 1 Tangchang street, Harbin, 150027, People's Republic of China.

(3) Sichuan Petroleum Perforating Materials Ltd, Longchang, 642177, People's Republic of China.

Fusion sélective au laser (Technique de Selective laser melting SLM).

En utilisant de la poudre de tungstène-cuivre, la densité finale augmente avec la diminution de la vitesse de balayage. Coécrit avec State Key Laboratory of Material Processing and Die & Mould Technology, Huazhong University of Science and Technology et l'entreprise Sichuan Petroleum Perforating Materials Ltd, Longchang.

### **Hunan University (HNU)**

**Adresse :** Changsha, Hunan, China.

**Publication :**

- Jichang Liu, Lijun Li, “Direct Fabrication of Thin-Wall Parts by Laser Cladding”, Elsevier Journal of Manufacturing Processes, 2006, Pages 1–7.

Laser Institute, Hunan University, Changsha, Hunan, China.

Fabrication directe de pièces métalliques à paroi mince (épaisseur jusqu'à 0,4 mm) par faible puissance de laser au CO<sub>2</sub> avec de la poudre.

### **Institute semiconductors Chinese Academy of Sciences (IOS)**

**Activité :** institution globale de recherche au niveau national, il a des programmes dans des domaines tels que la physique des semi-conducteurs, des matériaux et des appareils, et l'intégration de systèmes.

**Effectif :** 700 employés, dont 480 chercheurs. Créé en 1960.

**Adresse :** No.A35, QingHua East Road, Haidian District, Beijing P R China.

**Brevet :**

- Method for manufacturing digital PCR (polymerase chain reaction) chip based on 3D (three-dimensional) printing platform en 2012.

Technique d'impression à jet quantitative de chute d'huile (quantitative jet printing in oil).

### **Nanchang University (NCU)**

**Activité :** elle possède 26 laboratoires nationaux et provinciaux et des centres de recherche ainsi que 56 centres de formation de base et les laboratoires professionnels. L'NCU possède une grande école de médecine.

**Adresse :** Nanchang, Jiangxi, China.

**Effectif :** 2300 personnes. Créé en 1940.

**Publication :**

- YANG Xiao-ling, ZHOU Tian-rui, « Three dimensional printing prototyping rapidly technology and its application », *Journal of Zhejiang University of Science and Technology*, 2009-03.  
School of Mechanical and Electrical Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China.  
Etude prospective.
- WU Sheng-nan (1), WU Chun-hong (2), « The Integral Imaging and Its Application », *Bulletin of Science and Technology*, 2005-06.  
(1) Nanchang Branch of JiangXi University of Science & Technology, NanChang 3300 13, China.  
(2) University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China.  
Technique d'imagerie 3D. Co-publié avec University of Science and Technology Beijing.

### **South China University of Technology (SCUT)**

**Activité :** sous l'autorité directe du ministère de l'Education, c'est une université pluridisciplinaire axée sur l'ingénierie, la science, l'économie, les sciences humaines et le droit.

**Effectif :** 4499 employés. Créée en 1952 et classée comme université d'excellence en 1999.

**Adresse :** Guangzhou Higher Education Mega Centre, Panyu District, Guangzhou, P.R.China, 510006.

**Brevet :**

- Metal-3D (Three-Dimensional)-printing-based novel composite casting method for dissimilar materials en avril 2013.

Ce nouveau procédé vise à créer des moules métalliques. En utilisant l'impression 3D - métal, la formation d'une contrainte résiduelle peut être réduite et les performances mécaniques des pièces sont améliorées.

## **Taiyuan University of Science & Technology (TYUST)**

**Adresse :** Shanghai.

### **Publication :**

- J.L. Song (1) et (2), Y.T. Li (1), Q.L. Deng (1), D.J. Hu (1), “ Rapid prototyping manufacturing of silica sand patterns based on selective laser sintering”, Elsevier *Journal of Materials Processing Technology*, Volumes 187–188, 12 June 2007.

(1) School of Mechanical and Power Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China.

(2) School of Materials Science and Engineering, Taiyuan University of Science & Technology, Taiyuan 030024, China.

Frittage laser sélectif (SLS) de sables siliceux. Co-publié avec Taiyuan University of Science & Technology.

## **Tianjin Polytechnic University (TJPU)**

**Activité :** rattaché au ministère de l'Éducation, il mène des recherches scientifiques sur les matériaux composites textiles, membrane en fibre creuse, matériaux en fibre fonctionnelle, textile huiler l'agent, l'éclairage à semi-conducteur et la production des équipements électromécaniques.

**Effectif :** 1600 enseignants plein temps. Créé en 1912.

**Adresse :** Level 13, Building A3 No.9 Chegongzhuang Avenue Beijing, P.R.C.

### **Brevet :**

- Three-dimensional (3D) printing method based on three-dimensional braiding en août 2013.

La technique est basée sur un procédé de tressage tridimensionnel (TDBP), pour que la résistance à la contrainte d'un produit imprimé en 3D soit améliorée.

### **Publication :**

- Chen Xinwei, Liu Jingtai, Shi Tao, Qian Haili, “Depth estimation from a single image and method of manufacturing 3D photo”, *Control Conference Hefei*, 25-27 July 2012.

Institute of Robot and Inf. Autom. Syst., Nankai University, Tianjin, China.

Cette publication porte sur l'estimation de la profondeur d'une photo pour réaliser une maquette utilisable par impression 3D.

Brevet : sièges 3D imprimé pour les missions spatiales chinoises.

## **Tsinghua University (THU)**

**Activité :** tournée vers l'ingénierie avec une dominante numériquement ainsi que la biologie, les mathématiques, la physique, le commerce, le droit ou le journalisme.

**Effectif :** 7800 enseignants. Créé en 1911.

**Adresse :** Beijing.

### **Publications :**

- Minlin Zhong, Wenjin Liu, Guoqing Ning, Lin Yang, Yanxia Chen, “Laser direct manufacturing of tungsten nickel collimation component”, Elsevier, 10 April 2004.

Mechanical Engineering Department, Laser Processing and Rapid Prototyping Centre, Tsinghua University, Beijing 100084, China.

Laser direct manufacturing (LDM) en tungstène en alliage de nickel. Les résultats ont prouvé que la fabrication laser directe pourrait être utilisée pour la fabrication de

pièces dont la géométrie spécifique rend leurs réalisations très difficiles, voire impossibles par des méthodes classiques de fabrication.

- Minlin Zhong, Lin Yang, Wenjin Liu, Ting Huang, Jingjiang He, “ Laser rapid manufacturing of special pattern Inco 718 nickel-based alloy component”, *Proc. SPIE 5629, Lasers in Material Processing and Manufacturing II*, 59 (January 18,2005).

Tsinghua University, China.

Fabrication par Direct Metal Deposition de motif spécial Inco 718 en **alliage de nickel** avec un motif spécial des pour applications en aéronautique.

- Yongnian Yan, Shengjie Li, Renji Zhang, Feng Lin, Rendong Wu, Qingping Lu, Zhuo Xiong, Xiaohong Wang, “Rapid Prototyping and Manufacturing Technology: Principle, Representative Technics, Applications, and Development Trends”, Elsevier Tsinghua Science & Technology, June 2009 et Elsevier Journal of Cleaner Production, Volume 41, February 2013, Pages 82–88.

Key Laboratory for Advanced Materials Processing Technology of Ministry of Education, Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China.

Etude prospective.

## University of Shanghai for Science and Technology (USST)

**Activité :** université pluridisciplinaire avec une spécialisation en ingénierie (sa principale activité, gestion, commerce, arts, science et médecine. Possède 27 instituts de recherche.

**Adresse :** 516 Military Road, Shanghai 200093.

**Effectif :** 1500 employés.

Crée en 1906.

**Brevet :**

- Regeneration bone scaffold forming system and method based on comprehensive 3D printing formation en juillet 2013.

Régénération osseuse.

**Publications :**

- LI Xiao-yan (1), ZHANG Shu (2), YU Deng-guang (3), « Application of uniform design method in research of three dimensional printing's powder », *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, 2007-02.

(1) College of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China.

(2) College of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China.

(3) College of Life Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China.

Technique de fabrication de poudre pour imprimante 3D qui influence sur la densité et la dureté du produit (base de gypse et alcool polyvinylique). Co-publié avec Huazhong University of Science and Technology et Tongji University, Shanghai.

- J.L. Song (1) et (2), Y.T. Li (1), Q.L. Deng (1), D.J. Hu (1), “ Rapid prototyping manufacturing of silica sand patterns based on selective laser sintering”, Elsevier *Journal of Materials Processing Technology*, Volumes 187–188, 12 June 2007.

(1) School of Mechanical and Power Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China.

(2) School of Materials Science and Engineering, Taiyuan University of Science & Technology, Taiyuan 030024, China.

Frittage laser sélectif (SLS) de sables siliceux. Copublier avec Taiyuan University of Science & Technology.

- Xiang Li, Chengtao Wang, Wenguang Zhang, Yuanchao Li, “ Fabrication and compressive properties of Ti6Al4V implant with honeycomb-like structure for biomedical applications”, *Rapid Prototyping Journal*, 2010.

The Institute of Life Quality and Mechanical Engineering, School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China.

Etude sur l’alliage de titane (Ti6Al4V) à porosité contrôlée via le procédé de fusion par faisceau d’électrons (EMB).

### **Xi'an University of Technology (XAUT)**

**Adresse :** NO.5 South Jinhua Road, Xi’an, Shaanxi, China

Crée en 1949.

**Publication :**

- XUE Yan-xue, ZHANG Er-hu, WU Xue-yi, « The Defects Detection System of Printed Products Base on Computer Vision », 2004.

Xi'an University of Technology.

Un système de vision par ordinateur pour détecter des défauts de produits imprimés.

### **Xinjiang University (XJU)**

**Activité :** les branches d’études allant de la science, de l’ingénierie, le droit et l’économie de la gestion, les arts et l’histoire.

**Adresse :** Urumqi, China. Créée en 1924.

**Publication :**

- Wurikaixi·AIYITI, “Rapid manufacturing of metal parts based on 3D printing”, *Modern Manufacturing Engineering*, juillet 2009.

School of Mechanical Engineering, Xinjiang University, Wulumuqi 830008, China.

Impression 3D de pièce de métal.

### **Zhejiang University (ZJU)**

**Adresse :** 866 Yuhangtang Road, Hangzhou, Zhejiang Province, 310058 P. R. China.

**Brevet :**

- Multistage-temperature-control-based fused deposition modeling (FDM) type 3D printing sprayer and temperature control method en mai 2013.

### **University of Hong Kong**

**Adresse :** Tat Chee Avenue, Kowloon, Hong Kong.

**Publication :**

- Ian Gibson (1), Ling Wai Ming (2), « Colour RP », *Rapid Prototyping Journal*, 2001,



(1) Department of Mechanical Engineering, The University of Hong Kong, Hong Kong, China.

(2) Department of Mechanical Engineering, The University of Hong Kong, Hong Kong, China.

Étude de marché (Stat up the ZCorp Z406)

## Liste des organismes publics chinois ayant une coopération internationale sur le sujet des imprimantes 3D

### **Beihang University également appelée University of Aeronautics and Astronautics, Beijing (BUAA)**

**Activité :** était la première université de l'ingénierie aéronautique et astronautique en Chine. Aujourd'hui l'université c'est développé sur les secteurs de l'aéronautique, l'astronautique et de l'informatique.

**Adresse :** XueYuan Road No.37, HaiDian District, Beijing, China.

Créée en 1952.

#### **Publications :**

- Wang Huaming Zhang Lingyun Li An Cai Liangxu Tang Haibo, "Rapid solidification laser processing and forming of advanced aeronautical metallic materials", *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, octobre 2004.  
School of Materials Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China.

L'étude porte sur la fabrication de titane à haute performance, des alliages à base de nickel, formage des métaux réfractaires et alliages intermétalliques.

- J.P. Li (1) et (2), C. Wilson (2), J.R. Wijn (2), Clemens A. van Blitterswijk (2), K. de Groot (2), "Fabrication of Porous Ti6Al4V with Designed Structure by Rapid Prototyping Technology", *Key Engineering Materials*, février 2007.

(1) Institute medical center, University of twente, Enschede, the Neverlands.

(2) School of mechanical engineering and automation, Beihang University Beijing China.

Fabrication d'objet poreux d'alliage de titane à partir d'un moule en cire réalisé par impression 3D.

**Le laboratoire a fabriqué en 2010 une partie d'aile centrale avec la technologie Formation Nette Machinée Par Laser (Laser Engineer Net shaping, LENS) pour l'avion de ligne Comac C919 avec 90 % d'économies par rapport aux méthodes traditionnelles de fabrication. Son lancement commercial est prévu pour 2016. L'aile fit 5 mètres de long et ses propriétés mécaniques répondent à la norme de pièces de forge.**

### **Nanjing University of Aeronautics and Astronautics (NUAA)**

**Activité :** 15 domaines de recherche tels que la mécanique, l'aéronautique et d'astronautique, la fabrication mécanique et automatisation, aérospatiale moteur, l'énergie électrique et électronique. Possède plus de 83 instituts de recherche, tel que aircraft vehicle research institute and helicopter technology research institute et 51 laboratoires dont 1 laboratoire national clé. Depuis la mise en œuvre de la politique de réforme et d'ouverture, elle a formé un nouveau modèle de développement avec un accent particulier sur la défense nationale.

**Effectif :** 3 000 personnes dont 1 600 enseignants. Créée en 1952.

**Adresse :** 29 Yudao St., Nanjing 210016, China.



**Publications :**

- Dongdong Gu, Yifu Shen, “Balling phenomena during direct laser sintering of multi-component Cu-based metal powder”, Elsevier *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 432, Issues 1–2, 25 April 2007, Pages 163–166.  
College of Materials Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 29 Yudao Street, 210016 Nanjing, PR China.  
Le frittage laser directe d'une poudre métallique à base de Cuivre.
- D D Gu (1), W Meiners (2), K Wissenbach (2), R Poprawe (2), “Laser additive manufacturing of metallic components: materials, processes and mechanisms”, Mai 2012.  
(1) College of Materials Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Yudao Street 29, 210016 Nanjing, China.  
(2) Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT/Chair for Laser Technology LLT, RWTH Aachen, Steinbachstraße 15, Aachen D-52074, Germany.  
Etude sur les matériaux en poudre métallique utilisés dans les imprimantes 3D.

**The State Key Laboratory of Solidification Processing, Northwestern Polytechnical University (NPU)**

**Activité :** recherche en génie aéronautique, astronautique et marine ainsi que « Armament Science and Technology ». Elle est dirigée par le ministère de l'Industrie et technologies de l'information.

**Adresse :** Xian, 710072, P.R. China.

**Effectif :** 80 personnes dont 30 enseignants. Créée en 1989.

**Publications :**

- Bo Gao (1), Jiang Wu (1), Xianghui Zhao (2), Hua Tan (3), “Fabricating titanium denture base plate by laser rapid forming”, *Rapid Prototyping Journal*, 2009.  
(1) Department of Prosthodontics, School of Stomatology, The Fourth Military Medical University, Xi'an, China.  
(2) School of Basic Medical Science, The Fourth Military Medical University, Xi'an, China.  
(3) State Key Laboratory of Solidification Processing, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, China.  
Dentier en titane par imprimante 3D pour remplacer la technique traditionnelle de moule à la cire perdue. Copublier avec School of Basic Medical Science/Department of Prosthodontics, School of Stomatology, The Fourth Military Medical University, Xi'an, China.
- Beiya Nan, Xiaowei Yin, Litong Zhang, Laifei Cheng, “Three-Dimensional Printing of Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub>-Based Ceramics”, 25 February 2011.  
National Key Laboratory of Thermostructure Composite Materials, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, Shaanxi 710072, China.  
La préforme céramique poreuse a été fabriquée par l'impression 3D avec la poudre de TiC en tant que liant de la dextrine. Titanium Silicon Carbide (Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub>).
- Xiaowei Yin (1 et 2), Nahum Travitzky (2 et 3), Peter Greil (2 et 3), « Three-Dimensional Printing of Nanolaminated Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub> Toughened TiAl<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composites », *Journal of the American Ceramic Society*, 3 July 2007.  
(1) National Key Laboratory of Thermostructure Composite Materials, Northwestern Polytechnical University, Shaanxi 710072, China.  
(2) Department of Materials Science (Glass and Ceramics), University of Erlangen-Nuremberg, Erlangen, Germany.

(3) Centre for Advanced Materials and Processes, University of Erlangen-Nuremberg, Fuerth, Germany.  
Offrent un grand potentiel pour durcir les composites céramiques.

L'université a commencé sa recherche sur la fabrication additive par laser (LAM) en 1995. L'accent a été porté sur l'obtention d'excellentes propriétés mécaniques des pièces métalliques LAMED par une maîtrise rigoureuse des microstructures matérielles. Le matériau des pièces LAMED comprennent des alliages de titane, superalliages, et en acier inoxydable. En 2010, le NPU a produit une aile centrale d'avion de ligne COMAC'S C919 de 3 mètre de long. Le laboratoire a fait deux machines de fabrication additive par laser CO<sub>2</sub> et YAG laser de plusieurs kilowatts de puissance du faisceau comme source de chaleur.

### **Shenyang National Laboratory for Materials Science (SYNL)**

**Activité :** laboratoire de recherche fondamentale et appliquée des matériaux ; il est géré par l'Institut de recherche des métaux, l'Académie chinoise des sciences, et soutenu par le ministère de la Science et de la Technologie. Il est actuellement composé de onze divisions de recherche : Division Matériaux métalliques, Division Performance Céramique, Division carbones avancée, Division matériaux magnétiques, Division de l'environnement Matériaux fonctionnels, Division imagerie atomique solide, Division de fracture et fatigue des matériaux, alliages d'ingénierie Division, Division des matériaux processus de modélisation, Division Interfaces un service technique, Division catalyse et Films et fonctionnelles.

**Adresse :** Tie Xi Qu, Shenyang, Liaoning, Chine.

**Effectif :** 174 salariés. Créée en 2000.

**Publication :**

- D.A. Ramirez (1) et (2), L.E. Murr (1) et (2), E. Martinez (1) et (2), J.L. Martinez (1) et (2), B.I. Machado (1), S.M. Gaytan (1) et (2), F. Medina (2), R.B. Wicker (2), S.J. Li (3) et Y.X. Tian (3), « Open-cellular copper structures fabricated by additive manufacturing using electron beam melting », *Materials Science and Engineering*, Volume 528, Issues 16–17, 25 June 2011.

(1) Department of Metallurgical and Materials Engineering, The University of Texas at El Paso, El Paso, TX 79968, USA.

(2) W. M. Keck Center for 3D Innovation, The University of Texas at El Paso, El Paso, TX 79968, USA.

(3) Shenyang National Laboratory for Materials Science, Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, 72 Wenhua Road, Shenyang 11016, China.

Structures de cuivre cellulaires fabriqués par imprimante 3D utilisant la fusion par faisceau d'électron.

### **Xiamen University et Jilin University**

#### **Xiamen University (XMU)**

**Effectif :** 2330 enseignants. Créée en 1921.

**Adresse :** 422 South Siming Road, Xiamen, Fujian Province, China Postcode: 361005.

#### **Jilin University**

**Adresse :** 2699, rue de Qianjin, Changchun, Jilin China.

**Effectif :** 6500 enseignants. Créée en 1946.

**Publication :**

- Peng Liu (1 et 2), Samuel H. Huang (2 et 3), Abhiram Mokasdar (2), Heng Zhou (2) & Liang Hou (3), "The impact of additive manufacturing in the aircraft spare parts

supply chain: supply chain operation reference (scor) model based analysis”,  
Production Planning & Control: The Management of Operations, 4 mai 2013.

(1) Department of Industrial Engineering, Jilin University, Jilin, P.R. China.

(2) School of Dynamic Systems, University of Cincinnati, Cincinnati, OH,  
45221, USA.

(3) Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University,  
Xiamen China.

Impact de la fabrication additive dans la chaîne d'approvisionnement des pièces de  
rechanges d'avions. Trois scénarios de la chaîne d'approvisionnement sont étudiés : la  
chaîne classique, la chaîne d'approvisionnement centralisé avec la fabrication additive  
et la fabrication additive qui distribue la chaîne d'approvisionnement.

- Samuel H. Huang (1) et (2), Peng Liu (2) et (3), Abhiram Mokasdar (2) et Liang Hou  
(1), “Additive manufacturing and its societal impact: a literature review”, *The  
International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, July 2013.

(1) Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University,  
Xiamen, Fujian Province, People’s Republic of China.

(2) School of Dynamic Systems, University of Cincinnati, Cincinnati, OH, 45221,  
USA.

(3) Department of Industrial Engineering, Jilin University, Changchun, Jilin Province,  
People’s Republic of China.

Etude sociale.

## Liste des entreprises chinoises développant et/ou fabricant des imprimantes 3D ou du matériel

### 1. Farsoon Hi-Tech Company

**Activité :** troisième fabricant d'équipements d'imprimante 3D par frittage laser sélectif (Laser sintering systems, SLS) dans le monde et vendeur de poudre de nylon

Distributeur agréé exclusif de la société Advanced Materials laser Llc. de matériaux polymères pour la technologie SLS en Chine.

**Adresse :** 186 Gu Yuan Road, Hunan University Science Park, Changsha National Hi-Tech Industrial Zone Changsha, Hunan, China.

Créé en 2009.

**Marché :** fabrication automobile, l'industrie militaire, l'aérospatiale (fabrication directe de produits, tels que les ailes, tête de trépied, réservoir de carburant, couvertures, drone, etc.), la fabrication de machines, de matériel médical, de la construction, de l'immobilier, des jouets de dessin animé

**Export :** en l'été 2012, le haut de gamme SLS est vendu aux USA. En outre, les matériaux en poudre de nylon ont été vendus sur le marché intérieur, et exporté aux USA, la Suède, l'Italie et d'autres pays étrangers.

### 2. Shaanxi Hengtong Intelligent Machine Co., Ltd.

**Activité :** fabricant d'imprimante 3D par stéréolithographie (stereolithography systems, SLA) utilisant comme matériaux de la résine photosensible. Commercialise aussi des machines bon marché basée sur la technologie FDM avec des matériaux tels que l'ABS ou PLA.

Commercialise aussi de machine de coulage sous vide et à température ambiante (vacuum Casting Machine) pour couler dans des moules en caoutchouc de silicium de faible volume ou des moules d'uréthane et petit lot réplique pièces en plastique.

Vend des scanners tridimensionnels utilisables dans le domaine dentaire.

**Marché :** automobile, les appareils ménagers, les outils électriques, le médical, l'usinage, le moulage de précision, l'aérospatiale, l'artisanat

**Adresse :** Shaanxi, China.

**Brevets :**

- Settling-type 3D (3-dimensional) printing and forming machine juillet 2013.  
Ce brevet porte sur une imprimante 3D par décantation qui avec une structure simple, pratique à utiliser et dont le champ d'application est large.
- Desktop 3D-printing forming device juillet 2013.  
Ce brevet est co-déposé avec la société Ningo Hechuang rapid technology Co. Ltd. Il permet d'avoir une précision de moulage élevée, une vitesse de traitement rapide avec une technologie simple pour un coût faible.

Cette entreprise tente d'améliorer ses produits bon marché en innovant.

### 3. Hunan Aerospace Industry General Corp

**Adresse :** no.217, Fenglin No.3 Rd., Yuelu Dist. Changsha, Hunan, 410205 China.

**Brevet :**

- 3D printing manufacturing device and method of metal parts en juillet 2013.  
Le dispositif vise à permettre à l'imprimante 3D de fabriquer des objets métalliques (dont alliage d'aluminium) par un système de laser et un système de dépôt de poudre.

#### **4. Suzhou Bainasi Optical Technology Co LTD**

**Brevet :**

- 3D laser printing device taking low-melting-point glass powder as raw material en février 2013.

Impression par frittage laser utilisant de la poudre de verre de phosphate à bas point de fusion (> 450°C) afin d'améliorer le rendement énergétique de la fabrication. La tête d'impression se compose d'un laser au dioxyde de carbone ou d'un laser solide. Le verre a une température de fusion élevée comme le métal au environ de 100°C.

#### **5. Shanghai Union Technology**

**Activité :** Stereolithography systems SLA (résine photosensible).

**Marché :** automobile, de l'aérospatiale, design industrie, médecine, industrie militaire.

**Adresse :** No. 351-3 Chengjian Rd., Hongcao Economic Zone, Shanghai, China.

Crée en 1994.

#### **6. Wuhan Binhu Mechanical & Electrical Co., Ltd.**

**Activité :** utilise la technologie développée en 1991 par Rapid Prototyping and Manufacturing Center of Huazhong University of Science and Technology.

Vend des machines basée sur la technologie de sheet lamination, vat photopolymerization et powder bed fusion. Pour la technologie de Fusion sur lit de poudre (powder bed fusion), le Frittage sélectif au laser (Selective Laser sintering, SLS) est faite avec des matériaux polymères, des céramiques et du sable de Corti.

Elle vend aussi de la technologie SLA (Stereo Lithography Apparatus) utilisant un laser ultra-violet avec de la résine photosensible.

Fabrique aussi des moules en caoutchouc de silicium, en résine époxy ou moule métallique grâce à la technique de projection à froid.

L'ensemble logiciel est auto- développé par notre société.

Technologie SLS combinés avec la technologie de fonderie peuvent faire des pièces en métal.

Technologie SLM (Selective Laser Melting) : utilise matériaux en poudre alliage métallique (titane, un alliage de nickel et d'autres métaux) et de moule.

En 2011, la société a développé le plus grand équipement de frittage sélectif au laser (SLS) qui a un espace de formation de 1.2 m \* 1.2 m. Pour cette réalisation, elle a remporté le deuxième prix de l'invention technologique nationale de la Chine.

« 3D est déjà adapté à la production d'équipements militaires tels que les missiles, a déclaré Cai Daosheng, un ancien directeur général de Wuhan Binhu mécanique et électrique Co. »

**Adresse :** West Fifth Road, Huazhong University of Science and Technology, Luo Yu Road 1037, Wuhan, Hubei, P.R.China.

Crée en 1994.

#### **7. Wuxi Andi Lijie Trade Co. Ltd.**

**Adresse :** AND1, Wuxi, Jiangsu, Chine.

**Brevet :**

- 3D (three dimensional) printing manufacturing method of seal en mars 2013.  
Fabrication de joint métallique d'étanchéité par technique par laser à haute énergie (Directed Energy Deposition) ou faisceaux électroniques (Electron beam melting EBM)

#### **8. Jin Ke Magnetism Co. Ltd.**

**Activité :** fabricant d'aimants (non spécialisé dans l'imprimante 3D).



**Adresse :** Dong Qiao Town, Ningbo, China.

**Marché :** automobile, médical (IRM), energie eolien, electronique.

Créer en 1995.

**Brevet :**

- Manufacturing method of neodymium iron boron based on three-dimensional (3D) printing technology en mars 2013.

Le néodyme est une terre rare qui accroît considérablement les capacités électromagnétiques des aimants. Les alternateurs des éoliennes à forte puissance contiennent jusqu'à 600 kg de néodyme.

L'invention concerne un procédé pour améliorer l'impression en 3D de pièce en métal (poudre d'alliage) en utilisant un double faisceau laser synchrone de sorte que les défauts des trous d'air et les fissures thermiques soient réduits.

## 9. Caishi Laser Technology

**Activité :** propose service de réparation de pièce métallique par laser (matière première poudre d'alliage, LENS).

**Adresse :** Shanghai

Crée en 2012.

**Marché :** Industrie automobile, aérospatiale et pétrolière.

**Brevet :**

- Net shape repairing system en 2012.

## 10. Capital Aerospace Machinery Company

**Activité :** une des entreprises clés dans le cadre du soutien de l'Etat et dans le top 100 des plus grandes entreprises. C'est fait remarquée dans le domaine de l'aérospatiale.

**Adresse :** No.2, Jingbei East Road, Nanyuan, Fengtai Dist. BeiJing China.

Crée en 1910. [www.calt.com/](http://www.calt.com/) attention website verolé

**Marché :** aérospatiale, l'aviation, la métallurgie, l'industrie chimique, le pétrole, l'énergie, la puissance, la construction, la circulation, et sur le terrain de transport.

**Brevet :**

- Manufacturing method of arc additive of titanium alloy structural part en 2012.  
Le produit obtenu par fil en **alliage de titane** par la technique de Wire & arc deposition WAAM. Il permet d'obtenir une taille de grain fin et uniforme et de bonnes propriétés mécaniques. Ce brevet a été co-déposé avec China Academy of Launch Vehicle Technology (voir ci-dessus).

## 11. Longyuan Automated Fabrication Systems Ltd

**Activité :** LongYuan a développé son premier système SLS dès en 1994. En décembre 2004, l'entreprise a présenté sa quatrième génération, AFS 500 système. Son modèle économique se base sur la vente de machine, de matériaux en poudre (plastique thermique, cire, et sable), de moule (moulage en plâtre, fonderie de précision et le moulage au sable<sup>161</sup>) et le prototypage. Le nombre total d'imprimante 3D professionnelles vendues s'élève à 170 systèmes (dont 60 dans le pays) dans 103 entreprises différentes.

Utilise la technologie de Selective Linear Laser Sintering (SLLS). Lorsque laser est focalisé à une ligne très courte, ou un point, SLLS devient SLS.

La société est très axée sur l'industrie de la fonderie, en fournissant des modèles de polystyrène, de la cire et de sable. Son installation utilise actuellement huit de ses propres

---

<sup>161</sup> Des pièces en aluminium, acier et titane peuvent être fabriquées avec des propriétés très similaires à pièces coulées en coquille.

machines : Quatre AFS500s, avec une zone de construction de 500 mm x 500 mm x 500 mm; trois AFSLaserCores 5300 d'une zone de construction de 700 mm x 700 mm x 500 mm, et un LaserCore 5500 avec un construire zone de 1400 mm x 700 mm x 500 mm. Ils fabriquent également un système de métal de frittage Direct metal laser sintering DMLS, avec deux gammes de produits : la Diemetal 120, qui a une superficie de construction de 120 mm<sup>3</sup> et la Diemetal 250, avec une zone de construction de 250 mm<sup>3</sup>

**Adresse** : Haldian district de Beijing.

Crée en 1994.

**Marché** : aérospatiale, l'automobile, les industriels de la moto.

## **12. HLH Prototypes**

**Activité** : usinage de métaux par CNC (fraisage, érosion, tournage), non spécialisée dans les imprimantes 3D. Elle vend aussi des outils de moulage par extrusion. Pionnier dans les imprimantes 3D en Chine, elle propose dès en 2005 des machines sous technologie SLA. Propose actuellement le prototypage par SLS et SLA. Vend des imprimantes FDM avec plastic ABS. Propose service de scanneur et de créer fichier CAD.

**Adresse** : Hua Fa Industrial Park, Fu Yuan 1st Road, Fuyong, Baoan, Shenzhen, China.

Crée en 2001 ouverture d'un second centre en 2010.

**Marché** : médecine, automobile, biens de consommation, secteur militaire.

Compétence : bon modele économique sans vente.

## **13. Trumpssystem Precision Machinery (TPM)**

**Activité** : la société vend des systèmes de frittage laser RP (SLS) pour des objets en plastic et des systèmes de laser fort de soudage (Laser sintering and laser welding equipment). Le système de soudage par dépôt laser offre une excellente performance pour la réparation de moule et le soudage de la tôle.

**« TPM a étudié la technologie de prototype avancé de l'Allemagne et États-Unis. Nous comparons les différents systèmes de prototype et absorbons chaque avantage d'eux. »**

La société coopère avec la technologie de CRP SRL Italie pour fournir à ses clients un prototypage de poudre de haute qualité (qui supporter des températures élevées).

Control software : German Viscam

**Adresse** : Shanghai.

## **14. Magicfirm (nom chinois : Hangzhou Ming Chin Network Technology Co. Ltd)**

**Activité** : elle vend des imprimantes 3D de technologie SLA avec des matériaux composites de hautes performances ainsi que des imprimantes personnelles Mbot depuis 2011. Elle utilise de la technologie SLS et FDM pour du prototypage. Elle vend aussi des matériaux de résine photosensible, de l'ABS, du nylon.

**Adresse** : Shangai.

Fondé en 2009

[www.mbot3d.cn](http://www.mbot3d.cn)

<http://www.3d-print.cn/>

**Marché** : médecine, etc.

Magicfirm est également Zcorp série, série BFB, NextEngine fournisseur de service scanneur de proxy en Chine

## **15. Chengdu Shunkang Electronics Co. Ltd.; Chengdu Shunkang sansen electronics Co. Ltd.**

**Chengdu Shunkang Electronics Co. Ltd.** A été créée en 1993, elle commercialise des composants électroniques.

**Chengdu Shunkang sansen Electronics Co. Ltd.** fabrique des résistances.

**Adresse :** Pixian County, Chengdu, Sichuan Province.

Créée en oct. 2012

**Brevet :**

- Method for repairing facette hâter from ultraviolet crosslinking macromolecular positive temperature coefficient (PTC) material through adopting three-dimensional (3D) printing mode en mai 2013.

Ce brevet vise à fabriquer matériaux mixte à partir de poudre de carbone sensible aux ultra-violets.

Brevet co-déposé.

## **16. Hangzhou Bishui Huawang Electronics Technology Co. Ltd.**

**Brevet :**

- 3D printing method and 3D printer en avril 2013.

Le brevet porte sur de l'impression 3D avec une résine polimeresiente.

## **17. AVIC Laser Prototyping Manufacturing Co**

**Activité :** filiale d'AVIC Heavy Machinery (province Guizhou).

Elle a dévoilé en mai 2013 le plus grand composant l'avion en titane au monde produit en utilisant la technologie Laser Direct Manufacturing. Il s'agit d'une partie en titane de J - 20 ou J - 31 de l'avion de combat furtif. Selon AVIC laser, leur technologie de Laser Direct Manufacturing a été utilisée dans la production de 7 types d'avions, y compris Y - 20 de transport stratégique, J - 15 porte - charge de combattant, l'avion de ligne C919 et de chasseurs furtifs de la prochaine génération. Le chef designer du J - 15 a confirmé en Mars que « les composants sont utilisés dans les grandes pièces porteuses, y compris les J -15 ».

Financée par le gouvernement chinois, en particulier l'armée, l'équipe a résolu plusieurs problèmes techniques au cours de la recherche et du développement lors des sept premières années, tels que " système inerte de protection de gaz ", " contrôle de défaut ", " contrôle de la croissance de treillis métallique " etc. . En janvier 2013 AVIC laser a remporté le prix national de la technologie invention à Beijing.

La technologie de fabrication Direct Laser 3D pourrait réduire le coût des pièces de titane à seulement 5% de l'original. Le coût est d'environ 3 millions d'euros pour traiter une tonne de pièces complexes en alliage de titane en utilisant la méthode traditionnelle, mais avec la fabrication directe au laser 3D, il ne coûte que 154 000 euros.

Actuellement la technologie peut être utilisée pour faire de grandes pièces en utilisant l'alliage de titane, de l'acier à haute résistance, haute température et de l'acier à haute résistance. Par rapport aux procédés classiques, cette technologie pourrait sauver jusqu'à 90 % des matériaux et des coûts.

**Adresse :** Shenyang, China.

Créé en 2011 par Wang Huaming BUAA Holdings.



## **Liste d'entreprise du logiciel software pour imprimante 3D**

### **18. ZWSOFT**

**Activité :** industrie du logiciel de CAO / FAO qui réalise du logiciel pour imprimante 3D (ZW3D) pour grand public et professionnel.

**Adresse :** 4F, No. 886, Tianhe North Rd., Guangzhou, 510635, P. R. China.  
Elle détient bureau au États-Unis. Créé en 1998.

## Liste des entreprises à l'international qui fabriquent des poudres métalliques

### **3D Systems Z Corporation**

**Activité :** Z Corporation a été racheté par 3D Systems en 2012 ; fabricant de scanner et d'imprimantes 3D. En 1995, Z Corp. obtient une licence exclusive pour l'utilisation d'une nouvelle technologie d'impression 3D développée au Massachusetts Institute of Technology. Z Corporation propose ses propres matériaux composites, compatibles uniquement avec les imprimantes ZPrinter (technologie 3DP).

**Adresse :** Burlington (Massachusetts), États-Unis. Fondée en 1995.

### **Arcam**

**Activité :** machines EBM, l'équipement auxiliaire, des logiciels, des poudres métalliques.

**Vend aussi la machine pour la fabrication de poudre d'alliage de titane.**

**Adresse :** Krokslätts Fabriker in Mölndal, close to Gothenburg, Sweden.

Site web : [www.arcam.com](http://www.arcam.com). Créée en 1997.

A racheté AP&C de Raymor Industries (Canada, créée en 2006) qui est un fabricant international de poudres métalliques de haute qualité dont poudres de titane.

**Marché :** médical et aérospatial.

**Poudre :**

- Alliage titane
- Alliage Cobalt-Chrome non aimanté, très solide et résistant à la corrosion et à l'usure.

**Brevet :**

- Distribution de poudre dans la fabrication d'additif.
- Procédé de protection de sécurité et appareil pour dispositif de fabrication d'additif.

**Export :** États-Unis, l'Italie, la Chine et le Royaume-Uni.

### **Creatix 3D**

**Activité :** partenaire de la société 3D Systems, (leader mondial des imprimantes 3D, USA), Creatix3D offre une large gamme de machines de finition, des matériaux, pour les imprimantes 3D. Matériaux en poudre métallique sous le nom de VisiJet. Produit également distribués par 3D systems.

**Adresse :** 2 rue Colonel Chambonnet, 69500 Bron, France.

**Effectif :** 140 collaborateurs en France et en Belgique. A atteint un chiffre d'affaires de 15 millions d'euros en 2012.

**Poudre :**

- Métallique

### **Dentorum**

**Activité :** fabrication de poudre & liquide pour la fabrication de céramique dentaire imitant l'aspect des dents naturelles.

**Adresse :** 10, Rue De Bel Air, 49124 Le Plessis Grammoire France.

**Poudre :**

- Alliages en titane
- Alliage de cobalt-chrome
- Aciers inoxydables



- Or 18 carats

## **EOS GmbH Electro Optical Systems**

**Activité :** machine de frittage.

**Adresse :** Allemagne.

Crée en 1989.

### **Poudre :**

- Aciers inoxydables
- Aluminium
- Alliage Cobalt-Chrome et molybdène (excellentes propriétés mécaniques dont solidité, dureté), ainsi que par une bonne résistance à la corrosion et à la chaleur (jusqu'à 600 °C).
- Acier Maraging
- Alliage de Nickel
- Titane

## **ExOne**

**Activité :** systèmes de poudre de métal et de sable sur la base de la technologie 3D d'impression à jet d'encre du MIT. Elle a des filiales en Allemagne, Angleterre, Japon, Inde et Russie.

**Adresse :** 127 Industry Boulevard, N. Huntingdon, PA 15642 USA.

### **Poudre :**

- Acier inoxydable avec du Bronze
- Acier inoxydable avec du Bronze
- Bronze
- Fer avec du Bronze
- Tungstène

## **Metalysis**

**Adresse :** Unit 2, Farfield Park, Manvers Way, Wath upon Dearne, Rotherham, South Yorkshire, S63 5DB, United Kingdom.

Crée en 2004.

### **Poudre :**

- Tantalum (Tantale)
- Titane
- Alliage Co-Mg-Si
- Alliage Ni-Ti-Nb
- Alliage Nb-Sn-Al
- Alliage Ti-Al-V
- Alliage Ta-Ti-Sn

Procédé METALYSE est adapté pour la production du métal de l'oxyde pour la plupart des terres rares.

## **Objet Ltd.**

**Activité :** produit imprimante 3D, consommables de résine et services. A été racheté par la grande société israélienne Stratasys Inc.

**Adresse :** Israël.

### **Poudre :**



- Cartouches prêtes à l'emploi pour ses machines de technologie PolyJet.

### **Sandvikvend Materials**

**Activité :** c'est un producteur et développeur d'aciers inoxydables avancés, d'alliages spéciaux, de titane et d'autres matériaux à haute performance sous forme de tube, bande, produits primaires, fil et poudre.

**Adresse :** Technology SE-811 81 Sandviken Sweden.

**Site web :** [www.smt.sandvik.com](http://www.smt.sandvik.com)

Crée en 1863.

#### **Poudre :**

- Aciers inoxydables austénitiques et aciers duplex
- Alliages de cobalt
- Aciers faiblement alliés
- Alliages de nickel
- Aciers à outils (y compris les aciers maraging)

### **Stryker Orthopaedics**

**Activité :** l'un des leaders mondiaux du marché de l'orthopédie et l'une des plus importantes sociétés de dispositifs médicaux. Stryker a une large gamme de produits : prothèses articulaires, implants de traumatologie ou implants pour rachis, micro-implants, produits d'orthobiologie, etc.

**Adresse :** Kalamazoo, Michigan, USA.

Crée en 1941.

#### **Poudre :**

- Aciers inoxydables
- Cobalt-chrome
- Cobalt
- Superalliages à base de nickel
- Aciers maraging
- Alliage de titane
- Aluminium

### **VDM Alloys**

**Activité :** spécialisée dans le négoce et la transformation de d'alliage ferrique, noble, de métaux. Elle produit et distribue des poudres métalliques atomisées exclusivement pour les imprimantes 3D.

**Adresse :** Haringvliet 349, 3011 ZP Rotterdam, The Netherlands.

Créer en 1991, vend des poudres depuis 2008.

#### **Poudre d'alliage :**

- Aluminium
- Acier inoxydable
- Titane
- Cobalt
- Cuivre
- Laiton-Bronze

## Liste détaillée des brevets chinois

La recherche des a été réalisée sur le site worldwide.espacenet.com.

**Signet** CN103212695 (A) - Metal-3D (Three-Dimensional)-printing-based novel composite casting method for dissimilar materials

---

**Inventeur(s)** YANG YONGQIANG; SONG CHANGHUI; YE ZIHENG; WANG DI

---

**Demandeur(s)** UNIV SOUTH CHINA TECH

---

**Numéro de demande** CN20131132690 20130416 **Classification: internationale** *B22D19/16; B29C39/00*

---

The invention discloses a metal-3D (Three-Dimensional)-printing-based novel composite casting method for dissimilar materials. The method comprises the following steps of (1) forming thin-walled parts of complicated shapes through a metal-3D printing technology; (2) filling casting materials in the thin-walled parts through a casting method, wherein the melting point of the casting materials is lower than that of the thin-walled parts; and (3) forming complicated solid parts after cooling. According to the method, the operability is strong, and the production efficiency is high; on one hand, the thin-walled parts of any complicated geometrical shape are formed through metal-3D printing, and on the other hand, large-area regions are quickly filled through casting; relatively-complicated internal regions are filled through liquid flowing, respective advantages of the metal-3D printing and the casting are combined sufficiently, and then, the quick manufacture of complicated parts is realized; and through forming the thin-walled parts by using the metal-3D printing, the forming residual stress can be reduced, the mechanical performance of the parts is improved, and the scope of application is broad.

**Signet** CN103300472 (A) - Novel cigarette production method applying 3D (3-dimensional) printing technology

---

**Inventeur(s)** LUO GUANGFENG; SUN DEPING; MAO YAO; TANG XIANGBIN  $\pm$

---

**Demandeur(s)** CHINA TOBACCO HUBEI IND CO LTD; WUHAN DANYAXIANG TECHNOLOGY DEV CO LTD

---

**Numéro de demande** CN20131269937 20130628 **Classification: internationale** *A24D1/04*

---

The invention relates to the field of cigarette production, in particular to a novel cigarette production method applying a 3D (3-dimensional) printing technology. A novel cigarette comprises a cigarette stick and a filter tip stick, wherein the cigarette stick is formed by bonding tobacco powder ground by tobacco leaves through an adhesive. The production method of the novel cigarette provided by the invention comprises the following steps: producing the cigarette by utilizing the 3D printing technology, increasing the tobacco powder layer by layer in hierarchical processing and superposition solidification forming ways to generate a 3D entity cigarette, spraying the adhesive through a 3D printer according to the shape of each cross section designed in software, carrying out progression layer by layer and finally obtaining the cigarette stick which is formed by overlapping all the cross sections, so that the production precision is effectively ensured. Meanwhile, the treatment process of the tobacco leaves is simplified, the application scope of tobacco raw materials is broadened, the utilization rate of the tobacco raw materials is improved, and the wood gas of cigarette smoke is removed. The 3D printer used in the novel cigarette production method is smaller in size and is more economic, the relevant procedure of computer graphic data can be directly utilized to generate the cigarette, and the cost is saved while the production is convenient.

**Signet** CN103060740 (A) - Airglow-discharge low-temperature plasma coating technique

---

**Inventeur(s)** XIANG YONG; YAN ZONGKAI; ZHU YANLIN; CHANG XIAOHUAN  $\pm$

---

**Demandeur(s)** UNIV ELECTRONIC SCIENCE & TECH  $\pm$

---

**Numéro de demande** CN2013133588 20130129 **Classification: internationale** *C23C4/12*

---

The invention provides an airglow-discharge low-temperature plasma coating technique, belonging to the field of plasma coating. The technique can effectively solve the problems of the overhigh coating temperature can damage the substrate and the preparation technique is complex in the field of coating. The technique comprises the following steps: a. low-temperature plasma breakdown by electrifying a discharge tube: gas introduced from a gas source reaches breakdown voltage under the action of a power source with an excitation source, and discharge is initiated to excite and generate low-temperature plasma; b. introduction of a powder material: the fed powder material is locally heated to be molten under the action of the low-temperature plasma and is accelerated; and c. injection and coating of low-temperature plasma: the powder material and the low-temperature plasma are injected together and deposited on the substrate surface to implement coating. The invention can be widely used for preparing metal materials, semiconductor materials, compound materials, polymers and other materials in the fields of printing electronics, 3D printing and the like.

**Signet** CN203109235 (U) - Polymetal liquid injected and deposited additive manufacturing device

---

**Inventeur(s)** SHAN ZHONGDE; LIU FENG; LI LIU **Demandeur(s)** ADVANCED MFT TECH CT CN CAMST

---

**Numéro de demande** CN20122727278U 20121226 **Classification: internationale B22F3/115**

---

The utility model provides a polymetal liquid injected and deposited additive manufacturing device. The polymetal liquid injected and deposited additive manufacturing device according to the utility model comprises a deposition chamber, a heating device arranged above the deposition chamber, an injection nozzle connected with the heating device, a base located inside the deposition chamber, a work bench slidably connected with the base, and an exclusive integrated control system connected with and controlling the injection nozzle and the work bench. The heating device of the additive manufacturing device can be one or more than one; the heating device can heat and melt one or more metal materials; the work bench can reciprocate along X axis and Y axis directions; the exclusive integrated control system can control one or more injection nozzles to inject and deposit so as to obtain high density polymetal components. Therefore, the injection and deposition efficiencies are high, the precise and quick manufacturing of the polymetal components are achieved, and the shaped components not only have high integral rigidity and toughness, but also can obtain comparatively better partial usage performance as required.

**Signet** CN103357875 (A) - Vector sintering system and additive manufacturing method

---

**Inventeur(s)** YAO SHAN; MAO QINGKAI; YANG TONG; ZHAO SHUMING **Demandeur(s)** UNIV DALIAN TECH

---

**Numéro de demande** CN20131273234 20130628 **Classification: internationale B22F3/105**

---

The invention provides an additive manufacturing method based on a vector sintering technology, and the method is realized through a vector sintering system. The system comprises a powder paving module, a vector heating module, a laser processing module and a temperature control module. When a part is processed, a coated powder body is preheated to a specific temperature not exceeding a sintering temperature through the temperature control module; a working cavity is descended by the thickness of a layer; while the powder paving module is used for finishing a powder paving operation in a moving process, the vector heating module at the rear end of the powder paving module is used for performing region selection sintering on powder in the part to obtain a plane sintering region covering a cross section slightly larger than a single-layer part; the laser processing module is used for scanning the powder body at the contour line part and invalidating the adhesion to obtain an accurate part boundary contour of the layer; after the operations of layer-by-layer descending, powder paving, vector sintering and contour invalidation scanning are performed, the stacking operation is performed to obtain a sintered part slightly larger than a part CAD (computer-aided design) model, the overall body is baked and reinforced, and few peripheral wastes are removed along a separation surface obtained by contour invalidation to obtain a final part.

**Signet** CN103350321 (A) - Metal part additive manufacturing method based on contour features

---

**Inventeur(s)** ZHANG HAIYOU; XIE YANG; PENG YANZHAO; WANG GUILAN ±

---

**Demandeur(s)** UNIV HUAZHONG SCIENCE TECH

---

**Numéro de demande** CN20131219476 20130604 **Classification: internationale B23P15/00**

---

The invention discloses a metal part additive manufacturing method based on contour features, which comprises the following steps: 1, establishing a metal part CAD (Computer Aided Design) geometric model, and extracting an STL(Standard Template Library) model; 2, determining the manufacturing direction of the metal part according to the contour features and the complexity of the metal part, and carrying out the route planning on the part additive manufacturing; 3, rotationally slicing the STL model by using a layered slicing software, and generating a control command by a computer according to the contour information; 4, sending panel veneer with set width and thickness by a panel veneer feeding mechanism under the control of the control command, and shearing; and 5, finishing the welding of layers under the actions of heat generated by resistance welding or friction stirring welding as well as rolling, and meanwhile removing contour burrs through compounding the same-station milling, repeating the step 4 and the step 5, till finishing the forming of the whole part, and if not meeting the part precision requirement, adding the part finish machining step at last. Compared with the prior art, the manufacturing method has the advantages of less process, high forming quality, short manufacturing period, low cost and the like.

**Signet** CN102962547 (A) - Manufacturing method of arc additive of titanium alloy structural part

---

**Inventeur(s)** WANG GUOQING; WANG FUDE; CHEN JILUN; ZENG XIAOYAN; HE JINGWEN; DONG PENG; LIANG XIAOKANG

---

**Demandeur(s)** CAPITAL AEROSPACE MACHINERY COMPANY; CN ACADEMY LAUNCH VEHICLE TECH

---

**Numéro de demande** CN20121483539 20121123 **Classification: internationale** B23K9/04

---

The invention provides a manufacturing method of an arc additive of a titanium alloy structural part. An arc wire feed additive manufacturing method is used to carry out welding of each layer of ring members, i.e., a wire feeder feeds welding wires, the welding wires are melted by a welding gun to weld, and ring welding beads from the inside to the outside are sequentially lapped to form a layer of ring members; and then one thickness of layer of the welding gun is increased, and the welding method is repeated to form another layer of ring members, and so forth; and finally, a plurality of layers of ring members are overlapped to form a titanium alloy structural part. The welding forming part provided by the invention has a fine and uniform grain size and good mechanical properties, and can meet or exceed the level of congruent castings, and the product has a short development cycle and high processing efficiency.

**Signet** CN102883543 (A) - Method for manufacturing conducting circuit by additive process

---

**Inventeur(s)** CHANG YU; YANG ZHENGUO **Demandeur(s)** UNIV FUDAN

---

**Numéro de demande** CN20121375899 20121008 **Classification: internationale** H05K3/10

---

The invention belongs to the field of manufacture of printed circuit boards, and particularly discloses a method for manufacturing a conducting circuit by an additive process. The method particularly includes steps of adding fillers, solvents and auxiliaries in epoxy resin and polyester resin which are used as film-forming phase matrix resin to prepare a film-forming phase; printing a graph of a circuit in screen printing, intaglio printing and inkjet printing modes; heating and curing in a heat curing mode; then soaking the circuit in solution containing palladium, platinum, gold, silver, copper, cobalt, nickel and iron nanoparticles or ions; washing the circuit by deionized water to remove excess nanoparticles or metal ions; and placing the circuit in chemical plating solution to perform chemical plating for the circuit so as to achieve the purpose of metallizing the circuit. Compared with the traditional method for manufacturing a printed circuit board, the method has the advantages that the steps are simple, materials are saved, and cost is lowered. Besides, compared with a conducting circuit printed by nano-silver printing ink or silver conductive adhesive, the conducting circuit manufactured by the method has the characteristics that cost is lowered, the electric performance is excellent, and adhesive force to a substrate is high.

**Signet** CN103353830 (A) - Three-dimensional (3D) printing method based on three-dimensional braiding

---

**Inventeur(s)** SONG LIMEI; CHANG YULAN; TANG HUAN; LI DAPENG; TAN MINGCUI ±

---

**Demandeur(s)** UNIV TIANJIN POLYTECHNIC ± (TIANJIN POLYTECHNIC UNIVERSITY)

---

**Numéro de demande** CN20131337148 20130801 **Classification: internationale** G06F3/12

---

The invention belongs to the field of 3D printing and relates to a three-dimensional (3D) printing method based on three-dimensional braiding. The method is a TDBP three-dimensional braiding printing method capable of effectively fusing a three-dimensional braiding method and a three-dimensional printing method in the textile industry. According to the TDBP three-dimensional braiding printing method, the stress strength of a 3D printed product can be improved. According to the 3D printing method, the problem that a molded product is insufficient in stress strength in the three-dimensional printing industry can be solved, the application defects of the 3D printed product in a main bearing structural member and high functional parts are overcome, and the application field of the 3D printed product is widened.

**Signet** CN203228406 (U) - Three-dimensional (3D) printing machine with raw material recovery system

---

**Inventeur(s)** ZHOU HAIBO ±

---

**Demandeur(s)** ZHOU HAIBO ±

---

**Numéro de demande** CN20132162111U 20130322 **Classification: internationale B29C67/00**

---

The utility model discloses a three-dimensional (3D) printing machine with a raw material recovery system. The 3D printing machine structurally comprises a machine frame, a printing device and a working platform, wherein the printing device is arranged on the top of the machine frame; the working platform is arranged at the bottom of the machine frame; a polishing device is arranged on one side of the machine frame; a raw material tank is arranged on the top of the printing device; a suction nozzle is arranged on the opposite side of the polishing device and is connected to a sliding block with a servo motor through a telescopic pipe; the sliding block is mounted on a horizontal guide rail; the horizontal guide rail is mounted on the machine frame through the same sliding block with the servo motor; and the suction nozzle is connected with the raw material tank through a hose. According to the 3D printing machine, the defects in the prior art are overcome, automatic recovery can be realized by arranging the suction nozzle capable of freely moving and connecting the suction nozzle with the raw material tank, and the 3D printing machine is convenient and practical.

**Signet** CN103341978 (A) - Fused deposition forming high-speed three-dimensional (3D) printing machine adopting closed loop control and control method thereof

---

**Inventeur(s)** YUAN ZHENGUO; LIU HAICHUAN; JI MING; SONG JIANYONG; LIN JINFA

---

**Demandeur(s)** PANOWIN TECHNOLOGIES CO LTD ±

---

**Numéro de demande** CN20131330304 20130731 **Classification: internationale B29C67/00**

---

The invention relates to a fused deposition forming high-speed three-dimensional (3D) printing machine adopting closed loop control and a control method thereof and belongs to the technical field of 3D printing. The 3D printing machine is provided with a grating module, wherein the grating module is fixed on a machine frame; a grating reader can move along with an extrusion sprayer, so that precise mechanical displacement information of the extrusion sprayer can be obtained. In a crossed printing and traveling mechanisms, by the compensation of the closed loop control, the precision motion compensation for the traveling mechanism is realized, and the precision of a position of the extrusion sprayer is improved, so that the 3D printing precision is greatly improved, and the technical requirement on high-precision printing can be met; moreover, the fused deposition forming high-speed 3D printing machine adopting the closed loop control is relatively simple in structure and low in cost. The control method provided by the invention is simple in implementation mode and has an extremely wide application range.

**Signet** CN103341976 (A) - 3D (Three-dimensional) desktop printing method and system

---

**Inventeur(s)** CHEN GONGJU; CAI DAOSHENG **Demandeur(s)** CHEN GONGJU

---

**Numéro de demande** CN20131307360 20130722 **Classification: internationale B29C67/00**

---

The invention relates to a 3D (Three-dimensional) desktop printing method and system. Compared with the traditional method, the difference is characterized in that an adhesive is only sprayed in the current layer of contour area in the printing process, and the cutting is carried out on a layer after the adhering is carried out on the layer. The method and the system provided by the invention have the beneficial effects of greatly saving processing auxiliary materials and reducing the manufacturing cost of processing equipment.



**Signet** CN103341591 (A) - Selective-failure-based 3D (three-dimensional) printing method for preparing mold

---

**Inventeur(s)** YAO SHAN; WANG TINGLI; YAO PINGKUN **Demandeur(s)** UNIV DALIAN TECH

---

**Numéro de demande** CN20131303093 20130718 **Classification: internationale B22C9/00**

---

The invention relates to a selective-failure-based 3D (three-dimensional) printing method for preparing a mold, and belongs to the technical field of 3D printing. The method comprises the following steps of: drawing three-dimensional CAD solid models of a casting and the mold; carrying out hierarchical slicing along the Z direction to form a boundary contour line of the casting-mold of each layer of slice; carrying out full region failure on powder of the contour line and the inner side of the contour line, or carrying out the full region failure on the corresponding part of the casting or forming a series of fragments which are intersected with one another and easily stripped by using a different-angle crosshatch selective failure method; after completion of hierarchical processing, carrying out the post-treatment enhancement on the powder, and the overall consolidation on the corresponding part of the mold; carrying out the full region failure on the corresponding part of the casting or forming easily stripped fragments, and removing by exerting the appropriate external force and other methods to form the mold. The method provided by the invention has the effects and benefits that the molding speed and efficiency are greatly improved when the mold is prepared, a failure region is conveniently removed, the details of the mold are effectively protected, and the molds with high dimensional accuracy requirements and complex shapes can be prepared.

**Signet** CN103341625 (A) - 3D printing manufacturing device and method of metal parts

---

**Inventeur(s)** ZHOU CHAOHUI; ZHANG GANG **Demandeur(s)** HUNAN AEROSPACE INDUSTRY GENERAL CORP

---

**Numéro de demande** CN20131288137 20130710 **Classification: internationale B22F3/105**

---

The invention discloses a 3D printing manufacturing device and method of metal parts. The 3D printing manufacturing device and method aim to efficiently manufacture the metal parts. The 3D printing manufacturing device of the metal parts comprises a laser system, a powder laying system, an atmosphere protecting system, a heating system and a computer control system. The 3D printing manufacturing device further comprises a closed work cavity, a forming cylinder is arranged inside the work cavity, and the laser system is arranged above the forming cylinder; the powder laying system is arranged on the upper side of the work cavity; one side of the work cavity is provided with the atmosphere protecting system, and the bottom of the forming cylinder is provided with the heating system; the lower side of the forming cylinder is provided with a driving device; one side of the work cavity is provided with a vacuum pump; the computer control system comprises a computer which is connected with a control card of the driving device and a control card of the laser system through data wires. According to the 3D printing manufacturing device and method, the metal parts of any structures can be directly manufactured, digital manufacturing from 3D digital models to part entities is achieved, and processing and manufacturing efficiency and the material using ratio of aluminium alloy parts of complex structures can be greatly improved.

**Signet** CN103341989 (A) - Regeneration bone scaffold forming system and method based on comprehensive 3D printing formation

---

**Inventeur(s)** LIU YUANYUAN; ZHANG FUHUA; CHEN WEIHUA; YAN FEIFEI; ZHENG LULU; YU YONGZE; HU QINGXI **Demandeur(s)** UNIV SHANGHAI

---

**Numéro de demande** CN20131283620 20130708 **Classification: internationale B29C70/36; B29C70/38; B29C70/54**

---

The invention relates to a regeneration bone scaffold forming system and method based on comprehensive 3D printing formation. A comprehensive 3D printing formation technology method of a regeneration bone scaffold can be built by combining an electrospinning technology and a freeze drying technology, a digital system integration method which can realize the 3D printing formation processes of the electrospinning formation and a modeling structure can be given on the basis, and finally the specific system realization method and operation steps can be given. The data processing method of the built comprehensive 3D printing formation system comprises the steps of: completing filling and lapping on each layer of the scaffold by adopting a parallel and repeated path scanning method, judging adjacent fibers through adopting a transition line method and conducting curve fitting to realize the formation of complicated contour boundaries and realize the automatic integration management of the 3D

printing formation processes of the electrospinning formation and the modeling structure through specific post-processing. The regeneration bone scaffold forming system and method based on the comprehensive 3D printing formation are key technologies for realizing the multiscale formation of the regeneration bone scaffold, and have obvious characteristics.

**Signet** CN103341975 (A) - 3D (3-dimensional) printing pen

---

**Inventeur(s)** JIANG FEIZUO; WEI XINLONG; JIANG XIAOCHEN **Demandeur(s)** JINAN JILUO ELECTRONICS CO LTD

---

**Numéro de demande** CN20131266463 20130628 **Classification: internationale** B22F3/00; B29C67/00

---

The invention discloses a 3D (3-dimensional) printing pen, and belongs to the technical field of 3D printing. The 3D printing pen structurally comprises a machine shell, a spray head, a heating cavity, a motor device, a conveying pipe, a control plate and a key plate, wherein the spray head, the heating cavity, the motor device, the conveying pipe, the control plate and the key plate are all arranged in the machine shell; the spray head is positioned at the top end of the machine shell; the heating cavity is arranged at the lower end of the spray head; the heating cavity comprises a hollow aluminum block, a heating piece and a thermal insulation layer; the motor device comprises a motor, a drive wheel and a driven wheel; the conveying pipe penetrates through the machine shell; the control plate comprises a control module, a power module, a heating module, a key plate interface module and a motor module; the power module is connected with the control module; a motor positive rotation key, a motor negative rotation key and a key interface are arranged on the key plate. Compared with the prior art, the 3D printing pen has the characteristics of reasonable design, small size, convenience in use, capability of quickly drawing a 3D pattern, and the like.

**Signet** CN103341629 (A) - 3D printing method for machining workpiece with inner hollow structure

---

**Inventeur(s)** LI QIU **Demandeur(s)** LI QIU

---

**Numéro de demande** CN20131254406 20130624 **Classification: internationale** B22F5/10; B29C67/00

---

A 3D printing method for machining a workpiece with an inner hollow structure comprises the following steps that A. two different 3D printing consumable materials are selected, namely a material a and a material b in powder form, wherein the melting point of the material a is higher than that of the material b; B. the two different materials are used for printing the workpiece, wherein the material a is used for forming the solid part of the workpiece in an overlapping mode, the material b is used for forming the inner hollow part of the workpiece in an overlapping mode, during the printing process, an opening is reserved in the surface of the solid part of the workpiece, the opening penetrates to the surface of the outer contour of the workpiece from the inner hollow part; C. temperature of the printed workpiece is raised, so that the temperature is between the melting point of the material a and the melting point of the material b, the inner hollow part, which is formed by the material b in the overlapping mode, of the workpiece is melted to be liquid to flow out from the opening, and the workpiece is formed. The method is used for machining the workpiece with the inner hollow structure so that the 3D printing technology can be suitable for machining more complex workpieces.

**Signet** CN103341974 (A) - 3D printing sprayer

---

**Inventeur(s)** WANG FENGJIN **Demandeur(s)** WANG FENGJIN

---

**Numéro de demande** CN20131242128 20130618 **Classification: internationale** B29C67/00

---

The invention belongs to the field of 3D printers and provides a 3D printing sprayer. The 3D printing sprayer comprises a melt tank, an electrically operated valve, a gear pump, a first motor, a second motor and a nozzle. The first motor is fixedly arranged at a side of the electrically operated valve and controls opening and closing of the electrically operated valve. The second motor is fixedly arranged at a side of the gear pump and controls rotation of the gear pump. The electrically operated valve comprises a feeding inlet and a discharge outlet. The gear pump comprises a feeding inlet and a discharge outlet. The discharge outlet of the electrically operated valve is communicated with the feeding inlet of the gear pump. The feeding inlet of the electrically operated valve is communicated with the melt tank. The discharge outlet of the gear pump is communicated with the nozzle. The 3D printing sprayer is suitable for a liquid material.

**Signet** CN103331913 (A) - Settling-type 3D (3-dimensional) printing and forming machine

---

**Inventeur(s)** XIU YONGMING; CHENG YONGLI; WANG YONGXIN ±

---

**Demandeur(s)** SHAANXI HENG TONG INTELLIGENT MACHINE CO LTD ±

---

**Numéro de demande** CN20131317414 20130725 **Classification: internationale** *B29C67/00*

---

The invention relates to a settling-type 3D (3-dimensional) printing and forming machine, which comprises a main body support, a worktable, a main machine head assembly, a computer and the like. A Y-direction driving and reversing shaft lever which is controlled by T-axis driving and reversing servo motor is installed at the top of the main body support. An X-direction telescopic shaft lever which is controlled by an X-axis driving and reversing servo motor is installed at one end of the Y-direction driving and reversing shaft lever. The worktable comprises a working platform which can be lifted up and lowered down under the drive of a Z-axis servo motor. The main machine head assembly consists of a raw material storage box which is arranged at the upper part of the main body support, a feed pump, a feed pipe, and a printing head with a feed inlet and a pulse receiving controller. Signals output by the computer are assessed to a signal source inlet which is arranged on the base of the main body support and a computer access port which is arranged on the worktable, and are respectively used for controlling the X-axis servo motor, the Y-axis servo motor, the Z-axis servo motor and the pulse receiving controller of the printing head to work. The settling-type 3D printing and forming machine has the advantages that the structure is simple, the machine is convenient to operate, the application scope is wide and the transformation from a design concept to real products can be rapidly realized.

**Signet** CN103332352 (A) - Manufacturing method of environment-friendly container with 3D color printing picture and environment-friendly container

---

**Inventeur(s)** YANG RONGSHI **Demandeur(s)** DONGGUAN MORNING LIGHT PRINTING COMPANY LTD

---

**Numéro de demande** CN20131295772 20130713 **Classification: internationale** *B65D25/34; B65D3/02; B65D3/30*

---

The invention relates to a manufacturing method of an environment-friendly container with a 3D color printing picture and the environment-friendly container. The method comprises the steps of printing, spraying, forming, reinforcing and demolding. According to the printing step, the picture is printed on one side of a transparent film with thermosensitive color-changing printing ink by means of twice overlapping printing at room temperature, wherein the transparent film is made of PP materials, PET materials, PVC materials and PS materials. According to the spraying step, coating liquid formed by heat-melting of materials which are used for manufacturing the transparent film is atomized and evenly sprayed onto the side, with the picture, of the transparent film by means of over 1.2 atmospheric pressure to form a protective layer from a position 20-30 cm away the transparent film. According to the forming step, the transparent film is coiled to form a cylindrical shape on a mold, an upper base is attached to the coiled transparent film, and then the container is fixed and formed. According to the reinforcing step, an opening injection molding ring is formed at the opening end of the container in an injection molding mode, and reinforcing ribs extending from the opening end to the bottom are formed on the inner wall of the container in an injection molding mode.

**Signet** CN103331912 (A) - Desktop 3D-printing forming device

---

**Inventeur(s)** CHENG YONGLI; ZHANG KUAN; TONG ZHIQIANG; LI NA; DING MINGYONG ±

---

**Demandeur(s)** NINGBO HECHUANG RAPID TECHNOLOGY CO LTD; SHAANXI HENG TONG INTELLIGENT MACHINE CO LTD

---

**Numéro de demande** CN20131282377 20130704 **Classification: internationale** *B29C67/00*

---

The invention relates to a desktop 3D-printing forming device comprising a base plate, a machine frame and connection blocks. The machine frame is a bottomless rectangular frame and is fixed on the base plate; vertex angles of the machine frame are provided with the connection blocks, adjacent connection blocks are connected with Y-direction guide rails, and transmission systems are arranged above the connection blocks and between adjacent connection blocks; the end of one transmission system at one side is connected to one end of a step motor output shaft, and the other end of the step motor output shaft is connected to the end of the other transmission system at the other side; the Y-direction guide rails which are on two opposite sides are provided with slide blocks, and the top end of the Y-direction guide rails which are on two opposite sides are connected

with the transmission systems; X-direction guide rails are arranged between the slide blocks which are two opposite sides, and printing systems are arranged between the X-direction guide rails; the printing systems are connected with wire feeders; the base plate is vertically provided with a linear motor, and output shaft is a Z-direction guide rail; the Z-direction guide rail is connected with one end of an installing beam; and a heating work plate is arranged on the top of another end of the installing beam, and is under the printing systems. Moulding precision is high, processing speed is fast, technology is simple, cost is low, and the desktop 3D-printing forming device can be widely applied in household and the field of teaching.

**Signet** CN103331817 (A) - 3D (Three-dimensional) printing method of engineering structure

---

**Inventeur(s)** ZHU ERYU; SHI MINGYUAN; ZHU LI **Demandeur(s)** UNIV BEIJING JIAOTONG

---

**Numéro de demande** CN20131270476 20130701 **Classification: internationale** *B28B23/04*

---

The invention relates to a 3D (Three-dimensional) printing method of an engineering structure, and belongs to the technical field of engineering. The method comprises the following steps of: manufacturing a framework such as reinforcing steel bars, girders and steel cylinders of the engineering structure firstly according to a three-dimensional model of the engineering structure; and then, spraying concrete on the surface of the framework or inside the framework by a 3D printer layer by layer, wherein the whole printing process is precisely controlled by a computer system, so that the three-dimensional engineering structure is quickly manufactured. The method provided by the invention has the beneficial effects that the method overcomes the defect that conventional engineering structure manufacturing method requires a lot of templates, manpower and working hours, and the manufacturing precision and quality often difficultly satisfy the demand. The method is a major innovation and has important meaning for application of 3D printing in the engineering field.

**Signet** CN103315371 (A) - Soft food 3D (three-dimension) printing system

---

**Inventeur(s)** XU DAN; WANG DONGHAI; WU HANGZONG; XU JINHONG ±

---

**Demandeur(s)** KUNSHAN XIANGHUAJING BIOTECHNOLOGY CO LTD ±

---

**Numéro de demande** CN20131282564 20130708 **Classification: internationale** A23P1/10

---

The invention discloses a soft food 3D (three-dimension) printing system. The printing system is characterized by comprising a user operation interface (1), system software (2), an integrated controller (3), a jet molding module (4), a horizontal positioning module (5), a normal direction positioning module (6), a support framework (7), a temperature control module (8), an intelligent cleaning module (9) and a raw material supply module (10). Taking high-strength composite gel as a printing material and combining the temperature control module, the printing system is capable of rapidly shaping soft food. Meanwhile, a touch screen, which is adopted by the user interface in design, can be used for improving user experience and enhancing the enjoyment of a user in design, and the printing system has good market prospect.

**Signet** CN103327741 (A) - 3D (Three Dimensional)-printing-based package substrate and manufacturing method thereof

---

**Inventeur(s)** JIANG JUNFENG; WU BAIJIANG; ZHOU LI **Demandeur(s)** JIANG JUNFENG; WU BAIJIANG; ZHOU LI

---

**Numéro de demande** CN20131279938 20130704 **Classification: internationale** *H01L23/498; H05K1/18; H05K3/34; H05K3/46*

---

The application discloses a 3D (Three Dimensional)-printing-based package substrate and a manufacturing method thereof, which are based on re-examination on an existing package substrate (with multilayer circuit boards) and manufacturing methods of wiring layers of the package substrate. According to the application, an insulation layer and a package layer with complicated stereo structures are considered as a main body of the package substrate (with the multilayer circuit boards); passive/active electronic devices and electronic connection devices are embedded in the package layer; a lead, a guide pillar, a bonding pad and composite members with different structures are taken as the electronic connection devices, equally treated with the passive/active

electronic devices and standardized. According to the technical scheme, almost all processes of the manufacturing of the wiring layer in the prior art are cancelled, and the production manner and the manufacturing technology of the package substrate (with the multiple circuit boards) are changed.

**Signet** CN103317590 (A) - Laser 3D (three-dimensional) printing method of ceramic functional gradient component

---

**Inventeur(s)** WU DONGJIANG; NIU FANGYONG; MA GUANGYI; GUO DONGMING ±

---

**Demandeur(s)** UNIV DALIAN TECH ±

---

**Numéro de demande** CN20131258054 20130626 **Classification: internationale** *B28B1/24*

---

The invention discloses a laser 3D (three-dimensional) printing method of a ceramic functional gradient component. The functional gradient component is formed by using different ceramic powders as raw materials and a laser 3D printing system. The method specifically includes: drying more than two kinds of ceramic powders to feed in different power cylinders of a powder feeder, using inert gases as delivering and protecting gases, using high-energy laser beams to form molten pools on a substrate or a former deposition layer and melt the ceramic powders filled into the molten pools, moving a laser head to obtain the designed single-layer contour, and obtaining the final ceramic structure by means of layer upon layer deposition. The method for directly manufacturing high-performance ceramic functional gradient component has the advantages that gradient change of material components and functions at each position of the ceramic component is achieved by controlling powder feed amount of different powders so as to change proportions in real time, and the two procedures of blanking and sintering in traditional methods are combined.

**Signet** CN103317725 (A) - Air 3D printing material extruding and holding apparatus

---

**Inventeur(s)** WEI BOQING **Demandeur(s)** WEI BOQING

---

**Numéro de demande** CN20131194456 20130523 **Classification: internationale** *B29C67/00*

---

An air 3D printing material extruding and holding apparatus comprises a material extruding device and a material holding device, the material extruding device is composed of a conical tube, a tapered material extruding screw, a feeding hopper, a square tube and a connecting shaft, and the material holding device is composed of a material holding plate, a powder scraping rotating wheel, a material receiving hopper and a material receiving straight tube; the tapered larger opening end of the tapered tube is upward and is connected with the feeding hopper, the tapered material extruding screw is arranged in the tapered tube, the connecting shaft and a motor are arranged at the upper end of the tapered material extruding screw, the small opening end of the tapered tube is downward and is connected with the square tube, an oblique square opening is arranged at one end of the square tube far away from the tapered tube, and the material holding plate is arranged in a position having a preset distance to the oblique square opening and just below the oblique square opening; and the material receiving hopper is arranged below the material holding plate, the lower end port of the material receiving hopper is connected with the material receiving straight tube, the lower end of the material receiving straight tube is connected with a flexible tube, the body of the material receiving hopper is connected with a support arm, and the support arm is connected with the tapered tube and supports the tapered tube and the feeding hopper.

**Signet** CN103287191 (A) - Manufacturing method of 3D (Three Dimensional) printing decorated household appliance panel

---

**Inventeur(s)** PAN XIAOYONG; YAO GUOHONG; JIANG PING; LIU YONG; WAN HU; GUO JIAN ±

---

**Demandeur(s)** SICHUAN CHANGHONG ELECTRIC CO ±

---

**Numéro de demande** CN20131205789 20130529 **Classification: internationale** *B44C5/04*

---

The invention relates to a 3D (Three Dimensional) printing technology. In order to solve the problem that an existing 3D printing technology cannot be applied to a household appliance product, the invention provides a manufacturing method of a 3D printing decorated household appliance panel. According to the technical scheme, the manufacturing method comprises the following steps of: firstly, designing a picture original manuscript as a plane picture; then, manufacturing an optical grating picture according to the plane picture; and then converting the optical grating picture into a printing plate; printing the optical grating picture on the back side of an optical grating sheet material; then carrying out post-press finishing on the printed optical grating

sheet material to form a 3D picture; selecting a transparent hardened plastic sheet material, wherein the size of the transparent hardened plastic sheet material is adapted to the 3D picture; then fixedly connecting the front side of the 3D picture with the back side of the hardened plastic sheet material, wherein the hardened plastic sheet material can completely cover the 3D picture to form a synthesized 3D picture; and finally, fixedly connecting the back side of the synthesized 3D picture with a panel of the household appliance panel. The manufacturing method disclosed by the invention has the beneficial effects that the 3D printing technology is applied to a household appliance product and is applicable to the household appliance panel.

**Signet** CN103284815 (A) - 3D-printing fast forming method of nano composite degradable bone repair material

**Inventeur(s)** ZHANG CHAO; LI XIAOQIONG; LI HAO; LIU YIFU; WU HUADE; JIANG QING ±

**Demandeur(s)** UNIV SUN YAT SEN ±

**Numéro de demande** CN20131183865 20130517 **Classification: internationale** A61F2/28; A61L27/12; A61L27/18

The invention relates to the field of bone repair material production, in particular to a 3D-printing fast forming method of nano composite degradable bone repair material. The method includes: designing a personal bone repair material 3D-structure model by computer-assisted design software; importing the designed 3D-structure model to a 3D printer; placing the synthesized nano composite degradable bone repair material on the 3D printer; and starting the 3D printer to print the bone repair material layer by layer. The method has the advantages that the personal bone repair material is printed with the 3D printer, the problem that the traditional production method fails in forming special shapes with high precision is solved, the bone repair material has better effect of repairing bones at special parts, the precision is higher, and the method is more applicable to clinical applications.

**Signet** CN103240883 (A) - Multistage-temperature-control-based fused deposition modeling (FDM) type 3D printing sprayer and temperature control method

**Inventeur(s)** PENG YONGGANG; WEI WEI **Demandeur(s)** UNIV ZHEJIANG

**Numéro de demande** CN20131184729 20130516 **Classification: internationale** B29C67/00

The invention relates to a 3D printing technology, and aims at providing a multistage-temperature-control-based fused deposition modeling (FDM) type 3D printing sprayer and a temperature control method. The multistage-temperature-control-based FDM 3D printing sprayer comprises a printing sprayer body and a heating device arranged at the outer part of the printing sprayer body, and is characterized in that a forming chamber inside the printing sprayer body is divided into four parts of a fuse feeding section, a transition section, a fusion section and a printing and extruding section; the heating device is divided into three sections which are correspondingly arranged at the outer sides of the transition section, the fusion section and the printing and extruding section of the forming chamber, and each section of the heating device comprises an electric heater and a temperature sensor which are independent and is respectively connected with a multistage temperature control module of an FDM type printing sprayer through a signal wire. The multistage-temperature-control-based FDM type 3D printing sprayer is capable of realizing the corresponding gradient control of temperatures of all sections of the printing sprayer and ensuring that an FDM printing material is always kept in a printable state, and can not cause the problems of layer collapse, damage and blockage due to overhigh or overlow temperature due to the adoption of single temperature control; and meanwhile, the blockage and the fracture of a wire of a conventional printing head are avoided, and the quality of formed products is improved.

**Signet** CN203109234 (U) - Multi-nozzle laser 3D printing device

**Inventeur(s)** ZHANG CHONGHAO; LIU ANMIN; SHAO GUOFENG; YANG JIAN; LU YIN ±

**Demandeur(s)** ZHANG CHONGHAO ±

**Numéro de demande** CN20132154364U 20130330 **Classification: internationale** B22F3/105

The utility model discloses a multi-nozzle laser 3D printing device which comprises a laser generator, a laser nozzle, a mechanical arm and a workbench, wherein the laser nozzle comprises a laser head and a powder nozzle assembly, the powder nozzle assembly comprises a connecting base, a turntable and at least two powder nozzles, the turntable is rotationally sleeved on the periphery of the connecting base, the connecting base is provided with a laser through hole, the laser through hole is coaxially communicated with a laser jet hole of the laser head, the powder nozzles are detachably installed on the turntable and are circumferentially and evenly distributed relative to the rotating center of the turntable, any one powder nozzle is coaxially communicated with the laser jet hole when rotating to the working station, and a positioning device is installed between the turntable and the connecting base. The laser nozzle of the multi-nozzle laser 3D printing device comprises multiple powder nozzles which can be used in turn, the multi-nozzle laser 3D printing device conducts printing through various kinds of metal powder on the condition that the laser nozzle is not replaced, and 3D printing requirements of metal parts made of stepped performance materials are met.

**Signet** CN103231055 (A) - Differential laser three-dimensional (3D) metal piece printing method

---

**Inventeur(s)** LIU ANMIN; ZHANG CHONGHAO; YANG JIAN; SHAO GUOFENG; HUANG HEFANG; HUANG JIAXIN **Demandeur(s)** LIU ANMIN

---

**Numéro de demande** CN20131173202 20130513 **Classification: internationale** *B22F3/105*

---

The invention discloses a differential laser three-dimensional (3D) metal piece printing method. By means of the method, each printing layer is divided into an outer part, a middle part and an inner part, and low-speed fine trimming is conducted on the outer part of each printing layer through laser and alloy powder; intermediate-speed deposition is conducted on the middle part of each printing layer; high-speed accumulation is performed on the inner part of each printing layer, and finally later-stage processing is conducted on the printed metal piece to ensure the boundary dimension to meet the design requirements. By means of the differential laser 3D metal piece printing method, the mechanical requirements of the metal piece can be met, and forming efficiency of the metal piece is greatly improved.

**Signet** CN103173760 (A) - Method for improving compactness of 3D (three dimensional) printing metal part by adopting second laser beam

---

**Inventeur(s)** ZHANG CHONGHAO; LIU ANMIN; YANG JIAN; SHAO GUOFENG ±

---

**Demandeur(s)** ZHANG CHONGHAO ±

---

**Numéro de demande** CN2013185273 20130318 **Classification: internationale** *B22F3/105; B22F7/04; C23C24/10*

---

The invention discloses a method for improving the compactness of a 3D (three dimensional) printing metal part by adopting a second laser beam. The method comprises the following steps of: (a) pretreating a printing base and a printing baseplate; (b) carrying out 3D printing on the printing baseplate by using a first laser beam and alloy powder according to a preset moving trajectory by the way of lap joint step by step and superimposing layer by layer, protecting the surface of a workpiece and the flow field of the alloy powder by an inert gas in the process of printing, and melting the alloy powder by using the first laser beam to form a printing layer; (c) remelting the printing layer which is obtained by carrying out 3D printing by using the following second laser beam, wherein the second laser beam advances spirally or zigzag or telescopes back and forth according to the moving trajectory of the first laser beam; and (d) post-processing the metal part. Because the printing layer is remolten synchronously by adopting the second laser beam, the defects of holes, air pockets, thermal cracks and interface cracks generated in the process of carrying out 3D printing can be reduced, and the compactness of a metal tool can be improved.

**Signet** CN103232608 (A) - Method for preparing faceted heater from ultraviolet crosslinking macromolecular positive temperature coefficient (PTC) material through adopting three-dimensional (3D) printing mode

---

**Inventeur(s)** YANG JINGYI; YE FENG ±

---

**Demandeur(s)** CHENGDU SHUNKANG ELECTRONICS CO LTD; CHENGDU SHUN KANG SANSEN ELECTRONICS CO LTD ±

---

**Numéro de demande** CN20131170948 20130510 **Classification: internationale** *C08J3/24; C08J3/28; C08K3/04; C08K7/06; C08L23/08; C08L23/16*

---

The invention relates to a method for preparing a faceted heater from an ultraviolet crosslinking macromolecular positive temperature coefficient (PTC) material through adopting a three-dimensional (3D) printing mode. The method comprises the following steps: a, stirring and mixing 100 parts of polyolefin and/or ethylene-propylene-diene-terpolymer rubber, 15-30 parts of carbon powder, 1-1.5 parts of an ultraviolet initiator and 1-1.5 parts of a crosslinking agent to form a mixed material; b, pouring the mixed material and 100 parts of tetrahydrofuran into an internal mixer to internally mix, and pulping the mixture in a three-roll mill after cooling so as to form a PTC size; c, preparing a PTC faceted heating body from the PTC size through 3D printing; d, irradiating the formed PTC faceted heating body through an ultraviolet light source to form a crosslinking PTC faceted heating body; and e, laminating the crosslinking PTC faceted heating body through laminating equipment to form the faceted heater. By utilizing the method, various 3D printing materials can be provided, and macromolecular PTC materials and devices thereof are simple in technology, energy-saving and environmental-friendly.

**Signet** CN103237285 (A) - Composite diaphragm piezoelectric loudspeaker formed by 3D (three-dimensional) printing technology

---

**Inventeur(s)** WANG PING; LI HONGYUAN; WU YIFEI **Demandeur** HANDELI CHANGZHOU ELECTRONICS CO LTD

---

**Numéro de demande** CN20131129546 20130415 **Classification: internationale** H04R17/00

---

The invention belongs to the field of piezoelectric loudspeakers and particularly relates to a composite diaphragm piezoelectric loudspeaker formed by 3D (three-dimensional) printing technology. The composite diaphragm piezoelectric loudspeaker formed by 3D printing technology comprises an upper cover and a lower cover. The upper cover is connected with the lower cover. The lower cover is provided with a bottom cavity. The composite diaphragm piezoelectric loudspeaker is characterized in that the lower cover is provided with a FPCB (flexible printed circuit board) to be connected with an external circuit. The composite diaphragm piezoelectric loudspeaker further comprises a rigid vibrating board. A piezoelectric plate is disposed on the upper surface of the vibrating board. A vibrating member connected with the lower cover is disposed below the vibrating board. The vibrating board is located above the cavity of the lower cover. The FPCB is connected with the piezoelectric plate through a wire. The composite diaphragm piezoelectric loudspeaker is low in vibrating frequency and small in distortion, and tonal quality of the composite diaphragm piezoelectric loudspeaker is increased effectively

**Signet** CN103231513 (A) - 3D printing method and 3D printer

---

**Inventeur(s)** LI QILIN **Demandeur(s)** HANGZHOU BISHUI HUAWANG ELECTRONIC TECHNOLOGY CO LTD

---

**Numéro de demande** CN20131110637 20130401 **Classification: internationale** B29C67/00

---

The invention discloses a 3D (three dimensional) printing method and a 3D printer. The method includes the steps of: making use of 3D modeling software in a computer to conduct modeling for an object needing printing; controlling the rise of a lifting platform by the computer; controlling a constant upper surface height of the liquid UV light cured resin in a liquid storage tank by the computer; carrying out printing from a first layer to the shell of a last layer in order, and in the shell printing process, letting the computer control descending of the lifting platform by one layer height in order through a Z-axis motor, making the liquid UV light cured resin in the liquid storage tank flow into the shell, and filling the shell; at the end of shell printing, controlling a wire extrusion device and making it stop extruding pasty UV light cure The invention discloses a 3D (three dimensional) printing method and a 3D printer. The method includes the steps of: making use of 3D modeling software in a computer to conduct modeling for an object needing printing; controlling the rise of a lifting platform by the computer; controlling a constant upper surface height of the liquid UV light cured resin in a liquid storage tank by the computer; carrying out printing from a first layer to the shell of a last layer in order, and in the shell printing process, letting the computer control descending of the lifting platform by one layer height in order through a Z-axis motor, making the liquid UV light cured resin in the liquid storage tank flow into the shell, and filling the shell; at the end of shell printing, controlling a wire extrusion device and making it stop extruding pasty UV light cured resin by the computer, and controlling an ultraviolet lamp in terms of irradiating the shell for a period of time by the computer so as to make the liquid UV light cured resin in the shell cured. With high printing efficiency, the 3D printing method and the 3D printer provided in the invention can ensure that the printed object has high density and is easy to damage while guaranteeing the printing efficiency.

d resin by the computer, and controlling an ultraviolet lamp in terms of irradiating the shell for a period of time by the computer so as to make the liquid UV light cured resin in the shell cured. With high printing efficiency, the 3D printing method and the 3D printer provided in the invention can ensure that the printed object has high density and is easy to damage while guaranteeing the printing efficiency.

**Signet** CN203077822 (U) - Rotary table continuous type vacuum three-dimensional (3D) heat transfer printing machine

---

**Inventeur(s)** ZHONG MENGSONG ZHONG MENGSONG **Demandeur(s)**

---

**Numéro de demande** CN2013228853U 20130115 **Classification: internationale** B41F16/00

---

The utility model relates to the technical field of surface specialty printing equipment, in particular to a rotary table continuous type vacuum three-dimensional (3D) heat transfer printing machine. The rotary table continuous type vacuum 3D heat transfer printing machine comprises a main rack, a rotary workbench, two vacuum heat suction cups and a stroke power system and a rotary power system providing power for each component are arranged in the main rack, and four working discs are arranged on the rotary workbench. The rotary table continuous type vacuum 3D heat transfer printing machine adopts the rotary table type structures of the four working discs, can carry out the processes of piece feeding, heat rolling printing, vacuum transfer printing and piece discharging simultaneously, and saves the waiting time of process transformation. Due to the fact that all the processes are operated synchronously, the time of four traditional processes is shortened to be a synchronization time, and producing efficiency is greatly improved. At the same time, translation, ascending and descending and rotation of each main component are controlled by a servo motor matched with a precise screw rod, control precision is high, and noise is low. The two vacuum suction cups are adopted, and the time of vacuum transfer printing is shortened. The rotary table continuous type vacuum 3D heat transfer printing machine is high in automation degree, stable in performance, high in promotional value, and strong in practicality.



**Signet** CN103213281 (A) - Magnetorheological-material-based 3D (Three-Dimensional) printing type rapid prototyping device and method

**Inventeur(s)** HE GUOTIAN; GU MINGXIN; WANG ZHONGXUN; CHEN XI; ZHU XIAOQIANG; LIN YUANCHANG; XU ZEYU; ZHAO JIAN; LIU YONGFU ±

**Demandeur(s)** CHONGQING INST OF GREEN AND INTELLIGENT TECHNOLOGY ±

**Numéro de demande** CN20131120868 20130409 **Classification: internationale** B29C67/00

The invention relates to a magnetorheological-material-based 3D (Three-Dimensional) printing type rapid prototyping method and device. According to the principle of magnetorheological effect, a magnetorheological material is used as a 3D printing raw material; and a 3D solid model is constructed by spraying the magnetorheological material on a workbench with a magnetic field, rapidly solidifying and prototyping the sprayed magnetorheological material, and then depositing the treated material layer by layer. A computer is provided with three control circuits; one circuit is used for controlling the flow of a driving pump, namely the flow at a spray head; another circuit is used for controlling the 3D motion of the spray head through a servo mechanism; and the rest circuit is used for controlling colour mixing and allocating of a colourized ink box. The magnetorheological material is solidified and prototyped by utilizing the magnetic field generated by an electromagnet. According to the magnetorheological effect of the magnetorheological material, a temperature control module in the traditional melting, spraying and rapid prototyping type 3D printing method is replaced by the magnetic field; in addition, the device disclosed by the invention is also different from a high-pressure electric field required by an electrorheological fluid effect, has the advantages of being simple in structure, low in energy consumption and cost, capable of realizing the microminiaturization and the like, and can be applicable to the fields of process design, art and entertainment, prosthesis model and the like.

**Signet** CN103170628 (A) - Manufacturing method of neodymium iron boron based on three-dimensional (3D) printing technology

**Inventeur(s)** ZHOU GAOFENG **Demandeur(s)** JIN KE MAGNETICS CO LTD

**Numéro de demande** CN2013178387 20130313 **Classification: internationale** B22F3/115; B22F7/02

The invention discloses a manufacturing method of neodymium iron boron based on a three-dimensional (3D) printing technology. Three-dimensional model modeling is conducted on a product through a computer, three-dimensional model modeling data are transmitted to a 3D printer, a plurality of continuous layered planar graphs are generated by utilizing the computer aided engineering (CAE) technology, a nozzle of the 3D printer is controlled to fill powder according to the planar graphs, and the powder is accumulated layer by layer and is magnetized until the product is formed. A large amount of mold development cost is saved, production phase is shortened, and production efficiency is improved greatly. The size of the manufactured product can be changed arbitrarily, the method is suitable for heterotypic products which are large in machining difficulty, the thickness of the product can be smaller than 1mm, the product can be assembled and used conveniently by a client, and the requirements that a micro motor develops towards the directions of being small in size, ultrathin, high in speed, high in precision and low in noise are satisfied.

**Signet** CN103160825 (A) - Method for improving metal 3D (three-dimensional) printing compactness by utilizing synchronous double-beam laser

**Inventeur(s)** ZHANG CHONGHAO; LIU ANMIN; YANG JIAN; SHAO GUOFENG **Demandeur** ZHANG CHONGHAO

**Numéro de demande** CN2013185628 20130318 **Classification: internationale** B22F3/105; B22F7/04; C23C24/10

The invention discloses a method for improving metal 3D (three-dimensional) printing compactness by utilizing synchronous double-beam laser. The method comprises the steps of a, pretreating a printing base and a printing base plate; b, running on the printing base plate according to a preset track by virtue of first laser and alloy powder, carrying out 3D printing through a multiple lap-joint and overlapped mode, and carrying out inert gas shielding on a workpiece surface and a powder flow field in a printing process, so that the first laser enables the alloy powder to be melted to form printing layers; c, remelting the printing layers obtained by 3D printing by virtue of following second laser, wherein the running track of the second laser is the same as that of the first laser, and the printing layers are overlapped and cooled to form a metal piece; d, carrying out post-processing on the metal piece. According to the method, the printing layers are synchronously remelted by virtue of the second laser, so that the defects of caves, air holes, thermal cracks and interface crazes in a 3D printing process can be reduced, and the compactness of a metal tool can be improved.

**Signet** CN103143706 (A) - 3D (three dimensional) printing manufacturing method of seal

**Inventeur(s)** WU XINHUA; MEI JUNFA; WANG ANQI; SUN MEI; YANG ZHIYI; YOU LINHUA ±

**Demandeur(s)** WUXI ANDI LIJIE TRADE CO LTD ±

---

**Numéro de demande** CN2013172770 20130307 **Classification: internationale** *B22F3/105;B29C67/00;C04B35/622*

---

The invention provides a 3D (three dimensional) printing manufacturing method of a seal, which can solve problems of single structural forms of traditional seals and complicated manufacture and high costs of metal seals. The 3D printing manufacturing method adopts an additive manufacturing technology for manufacturing the seal and includes that firstly, computer 3D modeling is performed on a whole structure of the seal; then, a computer 3D model is divided into a series of two dimensional graphics in the direction of a Z axis according an equal layer thickness, and a corresponding laser scanning path is generated according to the two dimensional graphics; material powder laid on the surface of a processing platform of an additive manufacturing device in advance is scanned by high-energy laser or electronic beams according to the laser scanning path and consolidated on the surface of the processing platform after the material powder is scanned to be melted; after a layer of pattern is melted on the surface of the processing form, a layer of material powder is laid on the surface of the processing platform, and the material powder is scanned by laser till the seal is integrally formed; and then, the seal melted on the processing platform and the processing platform are moved out from the additive manufacturing device, and the seal is separated from the surface of the processing platform.

**Signet** CN103121323 (A) - Flexographic plate CTP (computer to plate) direct printing method and equipment based on 3D rapid forming printing principle

---

**Inventeur(s)** LI ZHONGXIAO; AN LI; QI YINGQUN; PU JIALING **Demandeur** BEIJING INST GRAPHIC COMM

---

**Numéro de demande** CN2013157481 20130223 **Classification: internationale** *B41C1/00; B41N1/22*

---

The invention discloses a flexographic plate CTP (computer to plate) direct printing method and equipment based on a 3D rapid forming printing principle and belongs to the technical field of printing flexographic plate manufacture. The equipment comprises a computer, a 3D rapid forming printer and one of photocuring equipment and heat drying equipment. The 3D rapid forming printer is utilized to spray a solidifiable forming material on the base surface of a flexographic plate so as to form a relieve image, the relieve image is subjected to light curing or thermocuring on-line drying so that the printing information is stabilized on the base surface of the flexographic plate, and then the printer can be used for printing; and the base of the flexographic plate is an organic polymer plate or an organic polymer-organic polymer compound plate. The method omits the middle process such as exposure and development, the plate manufacturing speed is greatly accelerated, the printing quality is improved, the printing cost is reduced, the flow is greatly shortened, the flexography environment friendliness is realized, and the application area is further expanded.

**Signet** CN103073174 (A) - 3D laser printing device taking low-melting-point glass powder as raw material

---

**Inventeur(s)** ZHANG QIAN ± **Demandeur(s)** SUZHOU BAINASI OPTICAL TECHNOLOGY CO LTD

---

**Numéro de demande** CN2013152930 20130219 **Classification: internationale** *C03B19/06*

---

The invention relates to a 3D laser printing device which is a 3D laser printing head taking low-melting-point glass powder as a raw material. A common 3D laser printing device has a larger volume and is inconvenient to mount and debug, because the melting temperature of glass or metal generally exceeds 1000 DEG C and a high-power carbon dioxide laser or solid laser is fixed in the position of a printing head. The invention provides the 3D laser printing device taking the low-melting-point phosphate glass as the raw material. The transformation temperature Tg of the selected phosphate glass is below 450 DEG C and the laser sintering temperature is within 800 DEG C, so that sufficient power density can be generated by using multiple sets of commercial fiber lasers for irradiating a sintering point, so as to realize the melting cast molding of glass. The 3D laser printing device has the advantages of high energy conversion efficiency, compact structure and high reliability.

**Signet** CN103013813 (A) - Method for manufacturing digital PCR (polymerase chain reaction) chip based on 3D (three-dimensional) printing platform

---

**Inventeur(s)** SUN YINGNAN; WEI QINGQUAN; YU YUDE; ZHOU XIAOGUANG; HAN WEIJING ±

---

**Demandeur(s)** INST SEMICONDUCTORS CAS ±

---

**Numéro de demande** CN20121551846 20121218 **Classification: internationale** *C12M1/00*

---

The invention discloses a method for manufacturing a digital PCR (polymerase chain reaction) chip based on a 3D (three-dimensional) printing platform. The method comprises the steps as follows: step one, a substrate with a micropore array structure is adopted; step two, the substrate is subjected to surface treatment; step three, the substrate is placed on the 3D

printing platform; step four, by means of a plurality of nozzles on the 3D printing platform, the substrate is subjected to quantitative jet printing in oil drop and liquid drop manners alternately, so that a liquid drop in oil array structure is formed in a micropore on the surface of the substrate; step five, the micropore array structure on the substrate is filled with excess oil; step six, a transparent cover sheet is adopted; step seven, the transparent cover sheet is fixed on the substrate for covering, so as to finish the preparation. According to the method for manufacturing the PCR chip based on the 3D printing platform, a 3D printing technology is adopted to build a picoliter magnitude reaction system and achieve an amplified reaction in the system, therefore, the efficiency is high, the cost is low, and the maximum possibility is provided for the digital PCR productization.

**Signet** CN101199497 (A) - Polypeptide protein class-medicament under-tongue instant nanometer emulsion and 3D printing preparing method thereof

**Inventeur(s)** LIMIN ZHU [CN]; DENG GUANG YU [CN]; XIAXIA SHEN [CN]; JIE HAN [CN] ±

**Demandeur(s)** UNIV DONGHUA [CN] ± (DONGHUA UNIVERSITY)

**Numéro de demande** CN2007147275 20071019 **Classification: internationale** *A61J3/00; A61K38/16; A61K9/70* **Également publié en tant que:** CN100579575 (C)

The invention relates to a sublingual instant nanometer medical membrane of a polypeptide protein drug and the related three-dimensional printing preparation method. The medical membrane is formed by multiple layers of powder through bounding. The top and bottom layers of the membrane are made from binding liquid which contains permeation enhancer through bonding. The central zones of the middle layers are made from binding agents of a micro-emulsion containing medical polypeptide protein and soybean phospholipid; the peripheral zones are made from binding liquid which is the same with that of the top and bottom layers through bonding. The preparation of the invention comprises the following steps: prepare the medical polypeptide protein micro-emulsion through nano-technique; print and position the micro-emulsion at the center of the membrane through three-dimensional printing technique and smear binding agents containing transmembrane permeation enhancer at the peripheral zones with another printing head to bond medical membrane. The medical membrane can be quickly dissolved at the sublingual to give off the micro-emulsion granules which contain medicines, and under the effects of the transmembrane permeation enhancer, the membrane can permeate the sublingual mucous membrane and enter the circulation system. The whole technique is simple in process, high in automation and good in reproducibility.

**Page bookmark** CN102922139 (A) - Net shape repairing system

**Inventor(s):** QI HUAN; YANG YAN; CUI XINYU **Applicant(s):** SHANGHAI CAISHI LASER TECHNOLOGY CO LTD

**Application number**

CN20121488567 20121126 **Classification: internationale** *B23K26/34; B23K26/42*

The invention provides a net shape repairing system, which is used for repairing a high-performance material metal part. The net shape repairing system comprises a mechanical arm, a laser device, a laser head, a nozzle, a control device, a powder feeding device and an optical measuring instrument; the net shape repairing system utilizes the optical measuring instrument to measure a shape position of the metal part and transmits position information to the control device; and the control device calculates again to obtain a repairing path so as to control laser machining parameters and the mechanical arm in real time to automatically drive the laser head and the nozzle to carry out the repairing work on the metal part along the path; and the optical measuring instrument and the control device in the system are used so that the repairing efficiency and the repairing quality of the metal part of the system are greatly improved.

## Liste des publications chinoises

La recherche a été effectuée sur Google Scholar avec pour mots clefs « additive manufacturing China » et « 3D printing China ».

XUE Yan-xue, ZHANG Er-hu, WU Xue-yi, « The Defects Detection System of Printed Products Base on Computer Vision », 2004.

Xi'an University of Technology.

A computer vision system for detecting defects of printed products was introduced. The basic method was discussed for detecting and recognizing of defects by use of image difference and mapping relation between image point.

HUANG Min, LIU Hao-xue, « Selecting of the Parameters of Cylindrical Lens Sheet Imaging in 3D Printing », Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, janvier 2005.

Beijing Institute of Graphic Communication.

Imaging concept of 3D printing is introduced, the optical function of Cylindrical lens sheet optical path is analyzed, the effect of parameters concerning grating scalar line, index of refraction, visual angle range and transimission vity mathing 3D printing grating stripe on 3D image display result is dicussed, only if all of the parameters are selected correctly, the better 3D printing result can be achieved.

WU Sheng-nan (1), WU Chun-hong (2), « The Integral Imaging and Its Application », Bulletin of Science and Technology, 2005-06.

(1) Nanchang Branch of JiangXi University of Science & Technology, NanChang 3300 13, China.

(2) University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China.

Integral imaging is a technique capable of recording and displaying 3D images with comtinuous parallax in full natural colour through micro-lens array. Neither the coherent light source is required for the recording nor a pair of special glasses is required for the observers. Among many different 3D image tec hniques, it is one of the most prospective techniques. This paper describes the integral imaging and its application in the area of 3D TV, 3D printing and depth measuremen.

Ian Gibson (1), Ling Wai Ming (2), « Colour RP », Rapid Prototyping Journal, 2001,

(1) Department of Mechanical Engineering, The University of Hong Kong, Hong Kong, China.

(2) Department of Mechanical Engineering, The University of Hong Kong, Hong Kong, China.

Since the last Rapid Prototyping Journal Internet Conference of 1998/1999, colour RP has come to commercial fruition in the form of the ZCorp Z406, 3D Printing machine. In the light of this development, this paper discusses how the future of colour RP is likely to progress in terms of the significant potential market as well as hardware and software issues.

YANG Xiao-ling, ZHOU Tian-ruì, « Three dimensional printing prototyping rapidly technology and its application », Journal of Zhejiang University of Science and Technology, 2009-03.

School of Mechanical and Electrical Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China.

We present the basic concept of prototyping rapidly technology and three dimensional printing 3DP technology, introduce emphatically the basic concept, the basic principle, characteristics and applications, and analyze its development trend. Compared with other prototyping rapidly technologies, three dimensional printing 3DP has many advantages and is regarded as one of the most active prototyping rapidly technology in this field.

Haiou Zhang, Jipeng Xu, Guilan Wang, « Fundamental study on plasma deposition manufacturing », Surface and Coatings Technology, July 2002.

State Key Lab of Plastic Forming Simulation and Die and Mold Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, PR China.

Direct fabrication of metal or end-use-material components has become one of the most interesting fields in the R&D of materials additive manufacturing (MAM) at present. Plasma deposition manufacturing (PDM), as an emerging MAM technique derived from plasma powder surfacing, has the capacity and predominance of producing fully dense metal or high performance specialty material parts with complex shapes. This process starts with a CAD model and automatically assembles materials to a designed configuration without the need of molding or tooling. The present paper reports initial pilot study of PDM process, and some existing problems and further study are also discussed in detail.

Xiaowei Yin (1 et 2), Nahum Travitzky (2 et 3), Peter Greil (2 et 3), « Three-Dimensional Printing of Nanolaminated Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub> Toughened TiAl<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composites », Journal of the American Ceramic Society, 3 July 2007.

(1) National Key Laboratory of Thermostructure Composite Materials, Northwestern Polytechnical University, Shaanxi 710072, China.

(2) Department of Materials Science (Glass and Ceramics), University of Erlangen-Nuremberg, Erlangen, Germany.

(3) Centre for Advanced Materials and Processes, University of Erlangen-Nuremberg, Fuerth, Germany.

Nanolaminates with a layered MN+1AXN crystal structure (with M: transition metal, A: group element, X: carbon or nitrogen, and N=1, 2, 3) offer great potential to toughen ceramic composites. A ternary Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub> carbide containing ceramic composite was fabricated by three-dimensional printing of a TiC+TiO<sub>2</sub> powder mixture and dextrin as a binder. Subsequent pressureless infiltration of the porous ceramic preform with an Al melt at 800°–1400°C in an inert atmosphere, followed by reaction of Al with TiC and TiO<sub>2</sub> finally resulted in the formation of a dense multiphase composite of Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub>-TiAl<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. A controlled flaw/strength technique was utilized to determine fracture resistance as a function of crack extension. Rising R-curve behavior with increasing crack extension was observed, confirming the operation of wake-toughening effects on the crack growth resistance. Observations of crack/microstructure interactions revealed that extensive crack deflection along the (0001) lamellar sheets of Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub> was the mechanism responsible for the rising R-curve behavior.

LI Xiao-yan (1), ZHANG Shu (2), YU Deng-guang (3), « Application of uniform design method in research of three dimensional printing's powder », Journal of University of Shanghai for Science and Technology, 2007-02.

(1) College of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China.

(2) College of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China.

(3) College of Life Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China.

Method of uniform design with restricted mixtures was used to design the experiments of powder mixtures for three dimensional printing. According to the experiments data, multi-variables nonlinear regressions were put to use, and the influential behavior of three dimensional printing's product to the different gypsum based powder's mixtures was validated. The experimental results indicate that gypsum is the key influential factor on the density of the products; polyvinyl alcohol can improve the product's surface quality and reduce its deformation; meanwhile, the interaction between white carbon black and polyvinyl alcohol has some influence on the density and deformation of the product.

Dan Xie, HongHai Zhang, XiaYun Shu, JunFeng Xiao, Shu Cao, « Multi-materials drop-on-demand inkjet technology based on pneumatic diaphragm actuator », Science China Technological Sciences, June 2010.

Institute of micro-systems, School of Mechanical and Electrical Engineering Huazhong University of Science and Technology, Wuhan China.

Wuhan National Laboratory of Optoelectronic, China.

Micro-droplet jetting belongs to the field of precision fluid dispensing techniques. Unlike traditional subtraction manufacture process, micro-droplet jetting as an additive fabrication technique with features of non-contact and

data-driven represents a new development trend of modern manufacturing process. In this paper, the design, fabrication and performance of a multi-materials drop-on-demand (DOD) inkjet system based on pneumatic diaphragm actuator were described. For capturing the droplet ejection process and measuring the droplet dimension, a self-made in situ imaging system based on time delayed external trigger was set up. The performance of the generator was studied by adjusting the structure and control parameters. Furthermore, the influence of fluid properties on the droplet ejection process was experimentally investigated. Micro-solderballs of 160.5  $\mu\text{m}$  in diameter and UV curing adhesive micro-bumps of 346.94  $\mu\text{m}$  in contact diameter with the substrate were produced. The results demonstrated that the DOD inkjet generator possesses characteristics of robust, easy to operate and maintain, and able to withstand high temperature as well as applicability to a wide variety of materials including polymers, low melting point resin and high melting point metal. The system has a great potential of being used in the fields of IC and MEMS packaging, 3D printing, organic semiconductor fabrication, and biological and chemical analysis.

Weiming Wang, Tuanfeng Y. Wang, Zhouwang Yang, Ligang Liu, Xin Tong, Weihua Tong, Jiansong Deng, Falai Chen, Xiuping Liu, “Cost-effective printing of 3D objects with skin-frame structures”, *ACM Transactions on Graphics*, 6 novembre 2013.

University of Science and Technology of China.

Dalian University of Technology, China.

3D printers have become popular in recent years and enable fabrication of custom objects for home users. However, the cost of the material used in printing remains high. In this paper, we present an automatic solution to design a skin-frame structure for the purpose of reducing the material cost in printing a given 3D object. The frame structure is designed by an optimization scheme which significantly reduces material volume and is guaranteed to be physically stable, geometrically approximate, and printable. Furthermore, the number of struts is minimized by solving an l0 sparsity optimization. We formulate it as a multi-objective programming problem and an iterative extension of the preemptive algorithm is developed to find a compromise solution. We demonstrate the applicability and practicability of our solution by printing various objects using both powder-type and extrusion-type 3D printers. Our method is shown to be more cost-effective than previous works.

Chen Xinwei, Liu Jingtai, Shi Tao, Qian Haili, “Depth estimation from a single image and method of manufacturing 3D photo”, *Control Conference Hefei*, 25-27 July 2012.

Institute of Robot and Inf. Autom. Syst., Nankai University, Tianjin, China.

In this paper, a method of basal depth estimation from a single image using MRF-MAP is presented. Based on the limit of manufacturing 3D photo, the basal depth is optimized. Then the depth of details is obtained by using the texture and shadow of the image. The basal optimized depth and the details' depth are superposition to achieve the image's relief model. At last, a 3D printing robot is described, which can carve and paint using the relief model and image data, to realize true-color 3D photo's manufacture.

J.P. Li (1) et (2), C. Wilson (2), J.R. Wijn (2), Clemens A. van Blitterswijk (2), K. de Groot (2), “Fabrication of Porous Ti6Al4V with Designed Structure by Rapid Prototyping Technology”, *Key Engineering Materials*, février 2007.

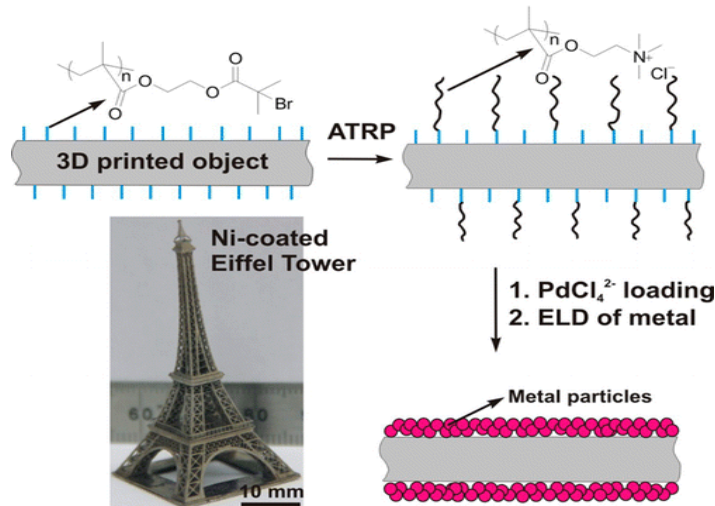
(1) Institute medical center, University of twente, Enschede, the Neverlands.

(2) School of mechanical engineering and automation, Beihang University Beijing China.

Rapid Prototyping (RP) technique was used to prepare porous Ti6Al4V with designed structures. Firstly, a 3-D interconnected porous wax mold with uniform pore size and porosity was designed by computer aided design (CAD), and fabricated by 3-D printing machine, then an aqueous Ti6Al4V slurry prepared from Ti6Al4V powder and binders was cast in these molds. The green bodies were subjected to drying, debinding and finally sintering at a high temperature and a high vacuum to obtain porous Ti6Al4V. Optical microscopical observation, scanning electronic microscopical observation, mechanical test were performed on the obtained porous Ti6Al4V with regard to the porous structures and mechanical properties. The porous Ti6Al4V made by RP technique posses designed structure with uniform pore size, porosity and interconnection. With the computer aided design, it is easy to improve the mold structure with predicted or controlled macrostructure and microstructure according to the custom requirement.

Xiaolong Wang (1) et (2), Qiuquan Guo(2), Xiaobing Cai (2), Shaolin Zhou (2), Brad Kobe (3), and Jun Yang (2), “Initiator-Integrated 3D Printing Enables the Formation of Complex Metallic Architectures”, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, Article ASAP11 décembre 2013.

- (1) State Key Laboratory of Solid Lubrication, Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China.
- (2) Department of Mechanical and Materials Engineering, The University of Western Ontario, London, Ontario N6A 5B9, Canada.
- (3) Surface Science Western, The University of Western Ontario, London, Ontario N6G 0J3, Canada.



Three-dimensional printing was used to fabricate various metallic structures by directly integrating a Br-containing vinyl-terminated initiator into the 3D resin followed by surface-initiated atomic-transfer radical polymerization (ATRP) and subsequent electroless plating. Cu- and Ni-coated complex structures, such as microlattices, hollow balls, and even Eiffel towers, were prepared. Moreover, the method is also capable of fabricating ultralight cellular metals with desired structures by simply etching the polymer template away. By combining the merits of 3D printing in structure design with those of ATRP in surface modification and polymer-assisted ELP of metals, this universal, robust, and cost-effective approach has largely extended the capability of 3D printing and will make 3D printing technology more practical in areas of electronics, acoustic absorption, thermal insulation, catalyst supports, and others.

Wurikaixi·AIYITI, “Rapid manufacturing of metal parts based on 3D printing”, Modern Manufacturing Engineering, juillet 2009.

School of Mechanical Engineering, Xinjiang University, Wulumuqi 830008, China.

The characteristics of 3D printing were presented. Some metal parts rapid manufacturing processes based on 3D printing were analyzed and compared.

Ruidi Li (1), Yusheng Shi (1), Jinhui Liu (2), Zhan Xie(3), Zhigang Wang (1), “Selective laser melting W–10 wt.% Cu composite powders”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, May 2010.

(1) State Key Laboratory of Material Processing and Die & Mould Technology, Huazhong University of Science and Technology, 1037 Luoyu street, Wuhan, 430074, People’s Republic of China

(2) Modern Manufacture Engineering Center, Heilongjiang Institute of Science and Technology, 1 Tangchang street, Harbin, 150027, People’s Republic of China

(3) Sichuan Petroleum Perforating Materials Ltd, Longchang, 642177, People’s Republic of China

Tungsten–Copper (W–Cu) alloys are promising materials for electrical and thermal applications. However, its forming method still remains limited in conventional powder metallurgy technique which is not suitable for manufacturing parts with intricate shapes. In this work, selective laser melting technology was introduced for fabricating W–10 wt.% Cu alloys parts. The morphological feature of a single molten track was analyzed. The results show that liquid phase sintering with complete melting of the binder (Cu), but nonmelting of the structural metal (W), acts as the main mechanism in this process. The melting conditions of single layers in different processing parameters were investigated. The results show that a moderate melting zone can be acquired from an established process map. Moreover, investigations on multilayers forming show that the final

density increases with the decrease of scan speed until it reaches a plateau due to the insufficient rearrangement in liquid phase sintering and the balling effect.

LIU Hai-tao, MO Jian-hua, HUANG Bing, “Synthesis of Photosensitive Oligomer and Its Use for Three Dimensional Printing”, Polymer Materials Science & Engineering, décembre 2008.

State Key Laboratory of Material Processing and Die & Mould Technology, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China.

A photosensitive oligomer of polypropylene glycol diglycidylether diacrylate was prepared by polypropylene glycol diglycidylether and acrylic acid as two main materials. The preferable synthesizing conditions are the temperature: 100 °C~110 °C, the catalyst mass fraction of N,N-dimethyl benzylamine: 0.80% and the inhibitor mass fraction of p-hydroxyanisole: 0.20%~0.40%. We used this oligomer to prepare photosensitive resin, and the result of experiment shows the resin can be applied to rapid prototyping system of three dimensional printing.

D D Gu (1), W Meiners (2), K Wissenbach (2), R Poprawe (2), “Laser additive manufacturing of metallic components: materials, processes and mechanisms”, Mai 2012.

(1) College of Materials Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Yudao Street 29, 210016 Nanjing, China.

(2) Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT/Chair for Laser Technology LLT, RWTH Aachen, Steinbachstraße 15, Aachen D-52074, Germany.

Unlike conventional materials removal methods, additive manufacturing (AM) is based on a novel materials incremental manufacturing philosophy. Additive manufacturing implies layer by layer shaping and consolidation of powder feedstock to arbitrary configurations, normally using a computer controlled laser. The current development focus of AM is to produce complex shaped functional metallic components, including metals, alloys and metal matrix composites (MMCs), to meet demanding requirements from aerospace, defence, automotive and biomedical industries. Laser sintering (LS), laser melting (LM) and laser metal deposition (LMD) are presently regarded as the three most versatile AM processes. Laser based AM processes generally have a complex non-equilibrium physical and chemical metallurgical nature, which is material and process dependent. The influence of material characteristics and processing conditions on metallurgical mechanisms and resultant microstructural and mechanical properties of AM processed components needs to be clarified. The present review initially defines LS/LM/LMD processes and operative consolidation mechanisms for metallic components. Powder materials used for AM, in the categories of pure metal powder, prealloyed powder and multicomponent metals/alloys/MMCs powder, and associated densification mechanisms during AM are addressed. An in depth review is then presented of material and process aspects of AM, including physical aspects of materials for AM and microstructural and mechanical properties of AM processed components. The overall objective is to establish a relationship between material, process, and metallurgical mechanism for laser based AM of metallic components.

D.A. Ramirez (1) et (2), L.E. Murr (1) et (2), E. Martinez (1) et (2), J.L. Martinez (1) et (2), B.I. Machado (1), S.M. Gaytan (1) et (2), F. Medina (2), R.B. Wicker (2), S.J. Li (3) et Y.X. Tian (3), « Open-cellular copper structures fabricated by additive manufacturing using electron beam melting », Materials Science and Engineering, Volume 528, Issues 16–17, 25 June 2011.

(1) Department of Metallurgical and Materials Engineering, The University of Texas at El Paso, El Paso, TX 79968, USA

(2) W. M. Keck Center for 3D Innovation, The University of Texas at El Paso, El Paso, TX 79968, USA

(3) Shenyang National Laboratory for Materials Science, Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, 72 Wenhua Road, Shenyang 11016, China

Cu reticulated mesh and stochastic open cellular foams were fabricated by additive manufacturing using electron beam melting. Fabricated densities ranged from 0.73 g/cm<sup>3</sup> to 6.67 g/cm<sup>3</sup>. The precursor Cu powder contained Cu<sub>2</sub>O precipitates and the fabricated components contained arrays of Cu<sub>2</sub>O precipitates and interconnected dislocation microstructures having average spacings of ~2 μm, which provide hardness values ~75% above commercial Cu products. Plots of stiffness (Young's modulus) versus density and relative stiffness versus relative density were in very close agreement with the Gibson–Ashby model for open cellular foams. These open



cellular structure components exhibit considerable potential for novel, complex, multi-functional electrical and thermal management systems, especially complex, monolithic heat exchange devices.

J.L. Song (1) et (2), Y.T. Li (1), Q.L. Deng (1), D.J. Hu (1), “ Rapid prototyping manufacturing of silica sand patterns based on selective laser sintering”, Elsevier Journal of Materials Processing Technology, Volumes 187–188, 12 June 2007.

(1) School of Mechanical and Power Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China.

(2) School of Materials Science and Engineering, Taiyuan University of Science & Technology, Taiyuan 030024, China.

In recent years, rapid prototyping manufacturing technology (RPM) has gradually becoming matured, and has been widely used in the fabrication of functional and practical metal and ceramic components. However, researches on the selective laser sintering (SLS) of silica sands were very limited. Experiments on rapid prototyping manufacturing of silica sands were carried out based on SLS. Micro morphologies of the sintered patterns under different working conditions were observed with three-dimensional optical microscopy (OM). Influences of process parameters such as laser power, scanning speed, overlapping rate, laser beam diameter and powder mixture ratio on the dimension accuracy and sintered qualities were investigated systematically. It indicated that “stepping effect” and deformation of the sintered samples reduced through the decreasing of slicing thickness and the optimization of process parameters. Finally, qualified selective laser sintering silica sand patterns were obtained.

Liu Hongjun, Fan Zitian, Huang Naiyu, Dong Xuanpu, “A note on rapid manufacturing process of metallic parts based on SLS plastic prototype”, Elsevier Journal of Materials Processing Technology, Volume 142, Issue 3, 10 December 2003.

State Key Laboratory of Plastic Forming Simulation and Die & Mold Technology, School of Materials Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, PR China.

The polystyrene prototypes were produced by selective laser sintering (SLS) rapid prototyping process. According to properties of thermal depolymerisation of prototype material, the rapid manufacturing process for metallic parts was worked out through the combination of rapid prototypes and precise casting technology. After prototypes burned out in precision shell moulds, a series of complicate thin walled Al-alloy parts have been successfully made by vacuum differential pressure casting (VDPC) process. Accuracy of parts and influencing factors were investigated and discussed. The process combines the advantages of producing high-qualified metallic parts with shortening the period of production cycle.

Wang Huaming Zhang Lingyun Li An Cai Liangxu Tang Haibo, “Rapid solidification laser processing and forming of advanced aeronautical metallic materials”, Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2004-10.

School of Materials Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China.

Research progress on rapid solidification laser surface modifications of advanced metallic materials, rapid solidification laser cladding for high-temperature wear and corrosion resistant multifunctional intermetallic coatings, and rapid solidification laser additive manufacturing for high performance metallic components was reported. The main contents include laser surface alloying and laser cladding surface modification of titanium alloys, liquid/solid interface structure and growth mechanisms of typical faceted phase under non-equilibrium rapid solidification conditions, laser rapid forming/manufacturing of high performance titanium and nickel-base alloys, laser constrained melting/forming of refractory metals and intermetallic alloys, and directionally solidified columnar grained titanium alloys.

Samuel H. Huang (1) et (2), Peng Liu (2) et (3), Abhiram Mokasdar (2) et Liang Hou (1), “Additive manufacturing and its societal impact: a literature review”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, July 2013.

(1) Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen, Fujian Province, People’s Republic of China.

(2) School of Dynamic Systems, University of Cincinnati, Cincinnati, OH, 45221, USA.

(3) Department of Industrial Engineering, Jilin University, Changchun, Jilin Province, People's Republic of China.

Thirty years into its development, additive manufacturing has become a mainstream manufacturing process. Additive manufacturing build up parts by adding materials one layer at a time based on a computerized 3D solid model. It does not require the use of fixtures, cutting tools, coolants, and other auxiliary resources. It allows design optimization and the producing of customized parts on-demand. Its advantages over conventional manufacturing have captivated the imagination of the public, reflected in recent mainstream publications that call additive manufacturing “the third industrial revolution.” This paper reviews the societal impact of additive manufacturing from a technical perspective. Abundance of evidences were found to support the promises of additive manufacturing in the following areas: (1) customized healthcare products to improve population health and quality of life, (2) reduced environmental impact for manufacturing sustainability, and (3) simplified supply chain to increase efficiency and responsiveness in demand fulfillment. In the mean time, the review also identified the need for further research in the areas of life-cycle energy consumption evaluation and potential occupation hazard assessment for additive manufacturing.

Peng Liu (1 et 2), Samuel H. Huang (2 et 3), Abhiram Mokasdar (2), Heng Zhou (2) & Liang Hou (3), “The impact of additive manufacturing in the aircraft spare parts supply chain: supply chain operation reference (scor) model based analysis”, *Production Planning & Control: The Management of Operations*, 4 mai 2013.

(1) Department of Industrial Engineering, Jilin University, Jilin, P.R. China.

(2) School of Dynamic Systems, University of Cincinnati, Cincinnati, OH, 45221, USA.

(3) Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen China.

Additive manufacturing (AM) technology has the potential to significantly improve supply chain dynamics, reduce shipping costs and shorten delivery lead times. Using AM technology, manufacturers can produce parts on demand and thus reduce the need of maintaining safety inventory. This is especially useful in the aircraft spare parts industry where currently there is a need to maintain a high level of safety inventory for high-cost long-lead time metallic parts. Therefore, more and more companies in the aerospace industry are interested in using AM technology. There are different approaches to configure the aircraft spare parts supply chain using AM technology. This paper evaluates the impact of AM in the aircraft spare parts supply chain based on the well-known supply chain operation reference model. Three supply chain scenarios are investigated; namely, conventional (as-is) supply chain, centralized AM supply chain and distributed AM supply chain. A case study is conducted based on data obtained in the literature. The result shows that the use of AM will bring various opportunities for reducing the required safety inventory of aircraft spare parts in the supply chain. A sensitivity analysis is performed and some key factors affecting the choice of AM scenarios are studied.

Dongdong Gu, Yifu Shen, “Balling phenomena during direct laser sintering of multi-component Cu-based metal powder”, *Elsevier Journal of Alloys and Compounds*, Volume 432, Issues 1–2, 25 April 2007, Pages 163–166.

College of Materials Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 29 Yudao Street, 210016 Nanjing, PR China.

The balling processes during direct laser sintering of a multi-component Cu-based metal powder, which consisted of a mixture of Cu, Cu–10Sn and Cu–8.4P, were investigated. Three kinds of balling mechanisms under different laser processing conditions were proposed. It shows that scanning the initial tracks onto a cold powder bed gives rise to the first line scan balling, due to the high thermal gradients imposed on the melt. Using a higher scan speed leads to the ‘shrinkage-induced balling’, because of a significant capillary instability effect. The ‘self-balling’ prevails at a high laser power combined with a low scan speed, which is ascribed to an excessive liquid formation and a too long liquid lifetime.

Minlin Zhong, Wenjin Liu, Guoqing Ning, Lin Yang, Yanxia Chen, “Laser direct manufacturing of tungsten nickel collimation component”, *Elsevier*, 10 April 2004, Mechanical Engineering Department, Laser Processing and Rapid Prototyping Centre, Tsinghua University, Beijing 100084, China.

Laser direct manufacturing (LDM) has been intensively developed in recent years to directly and flexibly manufacture metallic components with full metal density, functions and properties, especially for some specific materials or geometry. This paper presents a project work on laser direct manufacturing a novel designed collimation component for an out-space hard X-ray modulation telescope. The research work contained the characteristics of overlap multi-pass laser cladding of tungsten or tungsten nickel alloys, microstructure analyses, technique stability of laser direct manufacturing, and the final direct manufacturing of tungsten nickel collimation component. The results proved that laser direct manufacturing could be well used to manufacture specific material and geometry component of good quality, which are very difficult or even impossible by conventional manufacturing methods.

Jun Xiong, Guangjun Zhang, Jianwen Hu, Lin Wu, “Bead geometry prediction for robotic GMAW-based rapid manufacturing through a neural network and a second-order regression analysis”, *Journal of Intelligent Manufacturing* juillet 2014.

State Key Laboratory of Advanced Welding and Joining, Harbin Institute of Technology, West Straight Street 92, Harbin, 150001, People’s Republic of China.

The single weld bead geometry has critical effects on the layer thickness, surface quality, and dimensional accuracy of metallic parts in layered deposition process. The present study highlights application of a neural network and a second-order regression analysis for predicting bead geometry in robotic gas metal arc welding for rapid manufacturing. A series of experiments were carried out by applying a central composite rotatable design. The results demonstrate that not only the proposed models can predict the bead width and height with reasonable accuracy, but also the neural network model has a better performance than the second-order regression model due to its great capacity of approximating any nonlinear processes. The neural network model can efficiently be used to predict the desired bead geometry with high precision for the adaptive slicing principle in layer additive manufacturing.

Bo Gao (1), Jiang Wu (1), Xianghui Zhao (2), Hua Tan (3), “Fabricating titanium denture base plate by laser rapid forming”, *Rapid Prototyping Journal*, 2009.

(1) Department of Prosthodontics, School of Stomatology, The Fourth Military Medical University, Xi'an, China.

(2) School of Basic Medical Science, The Fourth Military Medical University, Xi'an, China.

(3) State Key Laboratory of Solidification Processing, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, China.

**Purpose** – This paper aims to improve the efficiency and the quality of metal dental prostheses, reporting on the first patient-fitted titanium (Ti) complete denture base plate fabricated by integrating the technologies of computer-aided design and computer-aided manufacture (CAD/CAM) and laser rapid forming (LRF).

**Design/methodology/approach** – To make a complete Ti denture base plate, the traditional lost-wax-casting technique is commonly used in dentistry. In order to simplify this labor-intensive process, a new method combined with LRF was invented. Initially, a maxillary edentulous plaster cast was converted to point cloud data by laser scanning system. Subsequently, point cloud data were reconstructed into a 3D solid digital cast, which is stored in standard triangulation language format. Thereafter the 3D denture base was sliced electronically into a sequence of layers defining the regions of the component and, based on it, the complete Ti denture base plate was built layer-by-layer using a laser additive manufacturing technology.

**Findings** – After CAD/CAM/LRF process, the Ti denture base plate was designed and successfully fabricated layer-by-layer. After the traditional dental finishing techniques, the complete Ti denture base plate was made and assessed by clinician and patient. The clinical evaluation on quality of fit was judged to be acceptable.

**Originality/value** – The CAD/CAM/LRF system is a potential candidate to replace the traditional lost-wax-casting technique and provides a new platform for the design and manufacturing of custom-made Ti denture plates and other restorations especially for implant substructure and framework of partial removal of denture.

Minlin Zhong, Lin Yang, Wenjin Liu, Ting Huang, Jingjiang He, “Laser rapid manufacturing of special pattern Inco 718 nickel-based alloy component”, *Proc. SPIE 5629, Lasers in Material Processing and Manufacturing II*, 59 (January 18,2005).

Tsinghua University, China.

Laser rapid manufacturing based on laser cladding is a novel layer additive manufacturing technology, which can be well used for producing specific material, geometry and properties components normally unavailable or very costly by conventional methods. This paper presents a project research work on laser rapid manufacturing

of special pattern Inco 718 nickel based alloy component with special pattern for aeronautical application. The required pattern Inco 718 nickel based alloy component was manufactured directly by laser deposition with optimized parameters: laser power: 800W, laser beam diameter: 0.8 mm, scanning speed: 0.5 m/min, powder feeding rate: 3g/min; The basic microstructure of laser deposited sample is directionally solidified columnar structure, with metallurgical bound to the substrate. Laser deposited component has good metallurgical and compositional and hardness homogeneity. The average hardness is about Hv0.2 440. The tensile strength of the laser deposited Inco 718 sample is respectively 121 and 116 kgf/mm<sup>2</sup> at room temperature and at 650°C, which are a little bit less than the data of forged Inco 718 plate 142 and 127 kgf/mm<sup>2</sup> due to its directional solidified columnar structure perpendicular to the tensile test force.

Beiya Nan, Xiaowei Yin, Litong Zhang, Laifei Cheng, “Three-Dimensional Printing of Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub>-Based Ceramics”, 25 February 2011.

National Key Laboratory of Thermostructure Composite Materials, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, Shaanxi 710072, China.

In the present work, we explored the feasibility of fabricating Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub>-based ceramics by a near-net-shape fabrication process of three-dimensional printing (3D printing) combined with liquid silicon infiltration (LSI). The porous ceramic preform was fabricated by 3D printing TiC powder with dextrin as a binder. The heat-treated preforms contained bimodal pore structure with interagglomerate pores ( $d \approx 23 \mu\text{m}$ ) and intraagglomerate pores ( $d \approx 1 \mu\text{m}$ ). Upon infiltration in Ar atmosphere at 1600°–1700°C for 1 h, silicon melt infiltrated the pores and reacted with TiC to yield Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub>, TiSi<sub>2</sub>, and SiC. The effects of silicon content and infiltration temperature on the phase composition of the Ti<sub>3</sub>SiC<sub>2</sub>-based composites were also studied. After LSI at 1700°C for 1 h, the composites with an initial TiC:Si mole ratio of 3:1.2 attained a bending strength of 293 MPa, a Vickers hardness of 7.2 GPa, and an electrical resistivity of 27.8  $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ , respectively.

- Yongnian Yan, Shengjie Li, Renji Zhang, Feng Lin, Rendong Wu, Qingping Lu, Zhuo Xiong, Xiaohong Wang, “Rapid Prototyping and Manufacturing Technology: Principle, Representative Technics, Applications, and Development Trends”, Elsevier Tsinghua Science & Technology, June 2009 et Elsevier Journal of Cleaner Production, Volume 41, February 2013, Pages 82–88.

Key Laboratory for Advanced Materials Processing Technology of Ministry of Education, Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China.

The rapid prototyping and manufacturing technology (RPM), is an integration of many different disciplines. It is based on an advanced dispersed-accumulated forming principle and originated from 1980s. It generates an entity by first forming a series of layers according to the dispersed section information of the digital model, and then piling the formed layers sequentially together. It is capable of forming parts with complicated structures and non-homogeneous materials. Traditional RPM techniques are mainly used as prototypes in product invention process, such as stereolithography, three-dimensional printing, laminated object manufacturing, and fused deposition modeling. Later, with the progress of material and enabling technology, many new RPM techniques emerged out and have been already applied in the fields such as rapid tooling/moulding, direct formed usable part, nano-/micro-RPM, and biomanufacturing. This high flexible digital manufacturing method has a likely ability to become an almighty forming technology.

Jun Xiong, Guangjun Zhang, Zhilong Qiu, Yongzhe Li, “ Vision-sensing and bead width control of a single-bead multi-layer part: material and energy savings in GMAW-based rapid manufacturing”, Elsevier Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 27, Issue 3, June 2011, Pages 641–645.

State Key Laboratory of Advanced Welding and Joining, Harbin Institute of Technology, West Straight Street 92, Harbin 150001, PR China.

Rapid manufacturing technologies have made it possible to reduce material wastes and to remanufacture valuable dies and tools. This paper focuses on reasonable utilization of materials and energies in gas metal arc welding (GMAW) for rapid manufacturing. During the weld-based additive manufacturing process, geometries of the deposited weld beads should be monitored and controlled. Using a composite filtering technique, a computer vision-sensing system was designed. Features of the weld bead image were analyzed. A corresponding image processing technology was used to extract parameters of the deposited weld beads. An on-line control of the deposited beads was realized based on a segmented neuron self-learning controller. The results show that the

proposed control system is capable of keeping the deposited bead width of a thin-walled part consistent, making an efficient use of materials and energies possible.

Yong Cao, Sheng Zhu, Xiubing Liang, Wanglong Wang, “Overlapping model of beads and curve fitting of bead section for rapid manufacturing by robotic MAG welding process”, National Key Laboratory for Remanufacturing, The Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China.

As a deposition technology, robotic metal active gas (MAG) welding has shown new promises for rapid prototyping (RP) of metallic parts. During the process of forming metal parts with the robotic MAG welding technology, the sectional geometry of single-pass bead and the overlap of the adjacent beads have critical effects on the dimensional accuracy and quality of metal parts. In this work, Canny edge detection of the robotic MAG beads was carried out and the data were smoothed with a Gaussian filter and fitted with Gaussian function, logistic function, parabola function and sine function, respectively. In addition, a mathematical model of bead section was developed to analyze the bead geometry. Based on “surfacing of equivalent area” method, the concept of overlapping coefficient and optimum-overlapping coefficient was put forward, and calculated model of overlapping was analyzed. Optimal overlapping coefficient was calculated to be 63.66% under experimental condition. The conclusion is that the edge detection of bead section with Canny operator is continuous and distinct, and as compared with Gaussian function, logistic function and parabola function, sine function has higher accuracy to fit the measured data, and “surfacing of equivalent area” method shows to be rational and feasible by the experiments.

Xiang Li, Chengtao Wang, Wenguang Zhang, Yuanchao Li, “ Fabrication and compressive properties of Ti6Al4V implant with honeycomb-like structure for biomedical applications”, Rapid Prototyping Journal, 2010.

The Institute of Life Quality and Mechanical Engineering, School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China.

Purpose – The purpose of this paper is to verify the feasibility and evaluate the compressive properties of Ti6Al4V implants with controlled porosity via electron beam melting process. This process might be a promising method to fabricate orthopedic implants with suitable pore architecture and matched mechanical properties.

Design/methodology/approach – Ti6Al4V implants with controlled porosity are produced using an electron beam melting machine. A scanning electron microscope is utilized to examine the macro-pore structures of the Ti6Al4V implants. The compressive test is performed to investigate the mechanical properties of the porous implants.

Findings – The fabricated samples show a fully interconnected open-pore network. The compressive yield strength of the Ti6Al4V implants with the porosity of around 51 percent is higher than that of human cortical bone. The Young's modulus of the implants is similar to that of cortical bone.

Research limitations/implications – The surface of samples produced by electron beam melting process is covered with loosely spherical metal particles. Polishing and ultrasonic cleaning have to be used to remove the loose remnants.

Originality/value – This paper presents the potential application in the fabrication of orthopedic or dental implants using electron beam melting process.

- Jichang Liu, Lijun Li, “Direct Fabrication of Thin-Wall Parts by Laser Cladding”, Elsevier Journal of Manufacturing Processes, 2006, Pages 1–7.

Laser Institute, Hunan University, Changsha, Hunan, China.

Direct fabrication of thin-wall metallic parts by low-power laser cladding is developed. With some assumptions for fabrication of thin-wall metallic parts with a focused Gaussian laser beam, theoretic models of the minimum laser power and of wall thickness are established, and effects of process parameters on the minimum laser power and wall thickness are analyzed. In the presented experiment, a CO<sub>2</sub> laser with low power and a small light spot on the interacting area are applied in single-pass cladding. The experimental results demonstrate that if the scanning velocity, powder flow rate, and other process parameters are matched suitably with the laser, a thin wall with thickness down to 0.4 mm can be formed and that the thickness of the wall formed by single-pass cladding is dependent on the process parameters and the wall height.

## **Annexe 3 : liste des organismes publics, des entreprises et des publications indiennes**

### **Liste des organismes publics indiens ayant une activité en imprimante 3D**

#### **Beant College of Engineering and Technology (BECETGSP)**

**Activité :** créé en 1995. Département : bio-technologie, chimie, informatique, électronique et mécanique.

**Adresse :** Gurdaspur, Pujab, India.

**Publication :**

- Simranpreet Singh Gill (1), Munish Kaplas (2), « Efficacy of powder-based three-dimensional printing (3DP) technologies for rapid casting of light alloys », SpringerLink, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 52, Issue 1-4, pp 53-64, janvier 2011.

(1) Department of mechanical engineering, Beant College of Engineering and technology, Gurdaspur, Pujab, India.

(2) Department of mechanical engineering, Government of Polytechnic College, Amritsar, Pujab, India.

L'étude vise à comparer l'efficacité de deux technologies d'impression 3D en poudre de sable pour réaliser des moules qui serviront à couler des pièces à base d'alliages légers (aluminium en alliage de zinc) avec la machine Zcast de Z Corporation (USA).

#### **Indian Institute of Science (IISc)**

**Activité :** sciences mathématiques, les nanosciences, bio-ingénierie, changements climatiques.

**Adresse :** Bangalore.

**Publication :**

- Vijay Chandru; Manohar S. ; Prakash, « Voxel-based modeling for layered manufacturing », Computer Graphics and Applications, IEEE, Volume:15, Issue: 6, novembre 1995.

Indian Inst. of Sci., Bangalore, India.

Etude sur le développement de logiciel.

#### **Indian Institute of Technology Delhi (IITD)**

**Activité :** département de biochimie, chimie, informatique, électronique, physique et textile.

**Adresse :** Hauz Khas, New Delhi-110 016, India.

**Publication :**

- Pulak M. Pandey, « On the Rapid Prototyping Technologies and Applications in Product Design and Manufacturing », Materials Science Forum, janvier 2012. Indian institute of technology, Delhi, India. Etude prospective sur l'état de l'art et les applications des imprimantes 3D qui produisent des pièces métalliques.

### **Government of Polytechnic College (GPC)**

**Activité :** département : pharmacie, électronique, informatique, mécanique, ingénierie civile.

**Adresse :** Amritsar, Pujab, India.

**Publication :**

- Simranpreet Singh Gill (1), Munish Kaplas (2), « Efficacy of powder-based three-dimensional printing (3DP) technologies for rapid casting of light alloys », SpringerLink, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 52, Issue 1-4, pp 53-64, janvier 2011.

(1) Department of mechanical engineering, Beant College of Engineering and technology, Gurdaspur, Pujab, India.

(2) Department of mechanical engineering, Government of Polytechnic College, Amritsar, Pujab, India.

L'étude vise à comparer l'efficacité de deux technologies d'impression 3D en poudre à base de moulage rapide d'alliages légers (aluminium en alliage de zinc).

### **Guru Nanak Dev Engineering College (GNDEC)**

**Activité :** créé en 1953. Il a des départements dans : l'informatique, les mathématiques, l'ingénierie civile.

**Adresse :** Ludhiana, Punjab, India.

**Publication :**

- R. Singh, M. Verma, « Investigations for deducing wall thickness of aluminium shell casting using three dimensional printing », Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 1 décembre 2008.

Mechanical & Production Engineering Department, GNDEC.

La technique 3DP avec différentes épaisseurs de coquille (12 mm à 2 mm) pour des alliages légers.

- R Singh, J P Singh, « Comparison of rapid casting solutions for lead and brass alloys using three-dimensional printing », journal of mechanical engineering science, 1 septembre 2009.

Department of Production Engineering, GNDEC.

L'étude vise à développer une technique pour diminuer l'épaisseur de la paroi de l'enveloppe pour une solution de coulée rapide de laiton et l'alliages de plomb en utilisant l'impression tridimensionnelle (3DP).

- M Kaplas, R Singh, « Experimental investigations for reducing wall thickness in zinc shell casting using three-dimensional printing », journal of mechanical engineering science, 1 décembre 2008.

Mechanical and Production Engineering Department, GNDEC.

L'objectif est de diminuer l'épaisseur de la coquille dans une coulée rapide (RC) avec une imprimante 3D (précision des dimensions, des propriétés mécaniques des solutions RC) pour la production d'alliage de zinc.

- Rupinder Singh, « Effect of Workpiece Volume on Statistically Controlled Rapid Casting Solution of Low Melting Alloys Using Three-Dimensional Printing », Taylor and Francis, Materials and Manufacturing Processes, Volume 27, Issue 4, 14 mars 2012.

Faculty of Production Engineering, GNDEC.

Etudier l'effet du volume de la pièce sur la réduction de l'épaisseur de la coque avec une solution de moulage statistiquement contrôlée en alliage léger en utilisant l'impression tridimensionnelle (3DP).

- Rupinder Singh, J.P. Singh, « Experimental investigations for reducing wall thickness in solder (20-80) lead alloy rapid casting solution of three dimensional printing », International Journal of Rapid Manufacturing, 20 octobre 2010.  
Faculty of Production Engineering and Depart. of Production Engineering, GNDE.  
Diminuer l'épaisseur de la paroi de l'enveloppe à partir de celle qui est recommandée (12 mm), afin de réduire le coût et le temps de production, ainsi que pour évaluer la précision des dimensions, des propriétés mécaniques de soudure (20-80) pour les alliages de plomb.
- J P Singh, R Singh, « Investigations for a statistically controlled rapid casting solution of lead alloys using three-dimensional printing », journal of mechanical engineering science, 1 septembre 2009.  
Production Engineering Department, GNDEC.  
Etude pour diminuer l'épaisseur de la coque pour une solution de coulée en alliage de plomb en utilisant la technologie d'impression 3D.
- Rupinder Singh, « Metallurgical Affects of Three Dimensional Printing Based Rapid Casting Solution », Materials Science Forum, octobre 2011.  
Department of production engineering, GNDEC, Ludhiana, India.  
Examiner l'incidence sur la variation des propriétés mécaniques (comme la finition de surface, la dureté, stabilité dimensionnelle, etc) de la solution 3DP.
- R. Singh, « Process Capability Study Of Rapid Casting Solution For Aluminium Alloys Using Three-Dimensional Printing », International Journal of Automotive and Mechanical Engineering (IJAME), 2011.  
Faculty of Production Engineering Guru Nanak Dev Engg. College Ludhiana, India.  
Etude sur le moulage rapide des alliages d'aluminium.
- Tarsem Lal, Rupinder Singh, « Study the effect of moulding sand properties for reducing shell wall thickness in zinc casting using three-dimensional printing », International Journal of Rapid Manufacturing, 31 octobre 2011.  
Department of Production Engineering, GNDEC, Ludhiana, Punjab, India.  
Etude de faisabilité d'une réduction l'épaisseur de la coque de paroi de zinc (Zn) coulée en utilisant l'impression 3D.
- R. Singh, J.P. Singh, « Study of statistically control rapid casting solution of aluminium alloys using three dimensional printing », International Journal of Precision Technology, 19 janvier 2011.  
Department of Production Engineering, GNDEC, Ludhiana, India.  
L'étude vise à diminuer l'épaisseur de la paroi de l'enveloppe de la cavité du moule pour la solution de coulée rapide économique et statistiquement contrôlée en alliage d'aluminium à l'aide.
- Rupinder Singh, « Effect of moulding sand on statistically controlled hybrid rapid casting solution for zinc alloys », Journal of Mechanical Science and Technology, 26 avril 2010.  
Department of production engineering, GNDEC, Ludhiana, India.  
L'étude quantifie l'effet de sable de moulage sur la diminution de l'épaisseur de la paroi de la cavité du moule (combinaison de d'impression 3D et du moulage au sable classique) pour les alliages de zinc.



## **Nagesh Karajagi Orchid College of Engineering and Technology Solapur (NKOCET)**

**Activité :** projet de développement d'application.

**Adresse :** Solapur-Tuljapur Road, Tale-Hipparaga, Solapur, India.

**Publication :**

- Shruti S. Bammani, Pranav R. Birajdar, Shrinivas S Metan, « Application of CAD and SLA Method in Dental Prosthesis », *AMAE Int. J. on Manufacturing and Material Science*, Vol. 3, No. 1, mai 2013.

Dept. of Mechanical Engineering, Nagesh Karajagi Orchid College of Engineering and Technology Solapur, Maharashtra, India.

Developpement d'un logiciel pour une imprimante 3D SLA dans le domaine des implants dentaires.

## **National Institute of Foundry and Forge Technology (NIFFT)**

**Activité :** créé en 1966. Spécialisé dans la coulée de métal et la technologie de formage des métaux.

**Adresse :** Ranchi 834 003, India.

**Publication :**

- Anoop Kumar Sood (1), R.K. Ohdar (1), S.S. Mahapatra (2), « Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts », Elsevier, janvier 2010.

(1) Department of Manufacturing Engineering, National Institute of Foundry and Forge Technology, Ranchi 834 003, India.

(2) Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Rourkela 769008, India.

Technique d'impression 3D par FDM pour des pièces métalliques.

## **National Institute of Technology**

*The National Institutes of Technology (NITs)* sont un groupe d'écoles d'ingénieurs publiques en l'Inde. Les NITs ont été fondés pour promouvoir la diversité régionale et la compréhension multiculturelle en Inde. En 2007, le gouvernement indien a déclaré ces écoles institut d'importance nationale.

Comprenant trente instituts autonomes, ils offrent des cursus allant du baccalauréat au doctorat dans diverses branches de l'ingénierie et de la technologie.

## **National Institute of Technology Hamirpur (NITH)**

**Activité :** créé en 1986. Il dispose de départements en chimie, architecture, ingénierie civile, mathématique, informatique, électronique, physique.

**Adresse :** Hamirpur, Himachal Pradesh, PIN 177 005, India.

**Publication :**

- Vineet Kumar Vashishtha, Rahul Makade, Neeraj Mehla, « Advancement of rapid prototyping in aerospace industry », *International Journal of Engineering Science & Technology*, Vol. 3 Issue 3, p2486-2493. 8p., 2011.

Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Hamirpur, Himachal Pradesh-177055 India.

Etat de l'art dans la technologie de prototypage rapide et ses applications dans le secteur aérospatial.

### **National Institute of Technology Kurukshetra (NITKRR)**

**Activité :** crée en 1963. L'institut a les départements suivants: génie mécanique, travaux publics, informatique, électrique, physique, chimie, mathématiques, sciences humaines.

**Adresse :** Kurukshetra, Haryana.

**Publication :**

- Puneet Tandon, Anuj Kant, « A modelling and manufacturing strategy for the heterogeneous solids », International Journal of Manufacturing Technology and Management, 16 novembre 2004.

Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Kurukshetra 136 119, India.

Ce travail présente une approche pour modéliser et représenter des objets hétérogènes (logiciel).

### **National Institute of Technology Rourkela (NITRKL)**

**Activité :**

**Adresse :** Rourkela 769008, India.

**Publication :**

- Anoop Kumar Sood (1), R.K. Ohdar (1), S.S. Mahapatra (2), « Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts », Elsevier, janvier 2010.

(1) Department of Manufacturing Engineering, National Institute of Foundry and Forge Technology, Ranchi 834 003, India.

(2) Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Rourkela 769008, India.

Technique d'impression 3D par FDM pour des pièces métalliques.

### **Osmania University (OU)**

**Activité :** créé en 1918. Il a 23 centres de recherche spécialisés en biologie et en génétique.

**Adresse :** Hyderabad-500007 AP India.

**Publication :**

- L.Siva Rama Krishna (1), Sriram Venkatesh (1), Satish Kumar (2), M. Umamaheswara (3), « A Comparative Study on the Dimensional Error of 3D CAD Model and SLS RP Model for Reconstruction of Cranial Defect », World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering, 2014.

(1) Department of Mechanical Engineering, Osmania University, Hyderabad, India.

(2) CMF surgery specialist, MDS CareHospitals, Hyderabad, India.

(3) Assistant Divisional Engineer, APGENCO, Hyderabad, India.

Developpement de logiciel.

### **Prof Ram Meghe Institute of Technology & Research (MITRA)**

**Activité :** créé en 1983, l'institut est affilié à S. G. B. Amravati University. Departement d'électronique, informatique, mécanique, etc.

**Adresse :** Anjangaon Bari Road, Badnera-Amravati 444 701 (M.S.).

**Publication :**

- Ingole, Dilip; Kuthe, Abhaykumar; Deshmukh, Tushar; Bansod, Satish, « Coding system for rapid prototyping industry », Rapid Prototyping Journal, Volume 14, Number 4, 2008

Tushar Deshmukh and Satish Bansod Ram Meghe Institute of Technology & Research, Amravati, India.  
Etude sur le developpement d'un logiciel.

### **Samrat Ashok Technological Institute (SATI)**

**Activité :** créé en 1960.

**Adresse :** Vidisha, India.

**Publication :**

- Deepika Jijotiya, Dr. Prabhu Lal Verma, « A Survey of Performance based Advanced Rapid Prototyping Techniques », Scholars Journal of Engineering and Technology (SJET), 2013.  
Department of Mechanical Engineering, Samrat Ashok Technological Institute, Vidisha, M.P., India.  
Etude sur le developpement d'un logiciel RAD.

### **SRM Kattankulathur Dental College**

**Activité :** créé en 1996. Spécialisée dans le domaine dentaire.

**Adresse :** Chennai.

**Publication :**

- K. Vijay Venkatesh, V. Vidyashree Nandini, « Direct Metal Laser Sintering: A Digitised Metal Casting Technology », SpringLink, The Journal of Indian Prosthodontic Society, Volume 13, Issue 4, pp 389-392, décembre 2013.  
Department of conservative dentistry and endodontics and Department of Prosthodontics and implantology, SRM Kattankulathur Dental College Chennai India.  
Impression 3D avec la technique DMLS pour le domaine dentaire.

## Liste des organismes publics indiens ayant une coopération internationale sur le sujet des imprimantes 3D

### Central Glass and Ceramic Research Institute (CGCRI)

**Activité :** créé en 1950. Il travaille sur l'identification des ressources minérales et leurs aptitudes pour le développement d'un produit spécifique, telle que différents types de verres optiques. Le verre optique est un matériau stratégique utilisé comme dans les lentilles et les prismes pour faire des périscoptes, jumelles, télémètres, arme à feu, etc. L'usine pilote de l'institut une capacité annuelle de 10 tonnes depuis 1961.

**Adresse :** 196 Raja S C Mullick Road, Kolkata-700032, India.

#### Publications :

- P. DeVasConCellos (1), V. K. Balla (1, 2), S. Bose (1), R. Fugazzi (3), W. S. Dernell (3), A. Bandyopadhyay (1), « Patient specific implants for amputation prostheses: Design, manufacture and analysis », Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology (VCOT) 2012: Issue 4, 2012.

(1) W. M. Keck Biomedical Materials Research Laboratory, School of Mechanical and Materials Engineering Washington State University, Pullman, WA, USA.

(2) Bioceramics and Coatings Division, Central Glass and Ceramic Research Institute, Kolkata, India.

(3) Department of Veterinary Clinical Sciences, College of Veterinary Medicine, Washington State University, Pullman, WA USA.

Etude sur les implants en Ti6Al4V personnalisé en utilisant le LENS.

- Mitun Das (1, 2), Vamsi Krishna Balla (1), T. S. Sampath Kumar (2), Indranil Manna (1, 3), « Fabrication of Biomedical Implants using Laser Engineered Net Shaping (LENS) », Transactions of the Indian Ceramic Society, Volume 72, Issue 3, 7 octobre 2013.

(1) CSIR-Central Glass & Ceramic Research Institute, Kolkata, India.

(2) Department of Metallurgical and Materials Engineering, IIT Madras.

(3) Currently at Indian Institute of Technology, Kanpur, India.

Implants métalliques (Ti6Al4V) par Net ingénierie laser Shaping (LENS).

### Gas Turbine Research Establishment (GTRE)

**Activité :** c'est un laboratoire de Defence Research and Development Organisation (DRDO). Sa fonction principale est la recherche et le développement de turbines à gaz aéronautiques pour les avions militaires.

**Adresse :** Bangalore.

#### Publications :

- S. Suryakumar (1), K.P. Karunakaran (1), Alain Bernard (2), U. Chandrasekhar (4), N. Raghavender (1), Deepak Sharma (1), K.P. Karunakaran (1) « Weld bead modeling and process optimization in Hybrid Layered Manufacturing », Elsevier, Computer-Aided Design, Volume 43, Issue 4, Pages 331–344, avril 2011.

(1) Indian Institute of Technology Bombay, 400076 Mumbai, Maharashtra, India.

(2) IRCCyN, Ecole Centrale de Nantes, France.

(4) Gas Turbine Research Establishment, Bangalore, India.

Etude sur les fils métalliques.

- P. Karunakaran (1), S. Suryakumar (1), U. Chandrasekhar (2), A. Bernard (3), « Hybrid rapid manufacturing of metallic objects », International Journal of Rapid Manufacturing, 20 octobre 2010.

(1) Dept. of Mech. Engg., Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, India.

(2) Rapid Prototyping Section, GTRE, Bangalore, India.

(3) Ecole Centrale de Nantes, 1 rue de la Noe, BP 92101, 44321 Nantes, France.

Etude pour montrer les diverses applications des imprimantes 3D pour la fabrication de pièce métalliques (état de l'art).

## Indian Institute of Technology

Les instituts indiens de technologie sont un réseau d'excellence formé de 7 instituts d'ingénierie et de technologie créés par le gouvernement. Connus à travers le monde pour leurs programmes, ils ont été déclarés d'importance stratégique par le gouvernement indien.

L'Institut indien de technologie de Kharagpur fut le premier institut à être créé en 1951. Les autres furent mis en place pour former les scientifiques et les ingénieurs nécessaires au développement de l'Inde après l'indépendance.

Chaque membre de ce groupe forme une université autonome, et chacun est chapeauté par deux conseils, le *Visitor Council* et le *IIT Council*. Il partage aussi le même programme d'admission.

### Indian Institute of Technology Bombay (IITB)

**Activité :** créé en 1958. En 1961, le Parlement a décrété l'IIT comme « Instituts d'importance nationale ». Il a beaucoup de centres : Centre for Aerospace System Design & Engineering, Centre for Excellence in Nanoelectronics and Indian Nano Users Programme, Indira Gandhi Centre for Atomic Research (IGCAR) Research Cell, Interdisciplinary research centre for security.

**Adresse :** Powai, Mumbai - 400076, India.

#### Publications :

- K.P. Karunakaran (1), Alain Bernard (2), S. Suryakumar (1), Lucas Dembinski (3), Georges Taillandier (4), « Rapid manufacturing of metallic objects », Rapid Prototyping Journal, 1995.

(1) Department of Mechanical Engineering, IIT Bombay, India.

(2) IRCCyN, Ecole Centrale de Nantes, Nantes, France.

(3) LERMPS-UTBM, Belfort, France.

(4) French Rapid Prototyping Association, Clermont-Ferrand, France.

Analyse pour faciliter l'identification du processus d'imprimante 3D approprié pour des objets métalliques (Etat de l'art ?).

- A. Bernard (1), G. Taillandier (2), K.P. Karunakaran (3), « Evolutions of rapid product development with rapid manufacturing: concepts and applications », International Journal of Rapid Manufacturing, 15 octobre 2009.

(1) 1, rue de la Noe, BP 92101, 44321 – Nantes Cedex 3, France.

(2) 5, Avenue du Marechal LECLERC, Meudon 92360, France.

(3) IIT Bombay, Powai, Mumbai, India.

Développement de l'imprimante 3D (état de l'art ?).

- S. Suryakumar (1), K.P. Karunakaran (1), Alain Bernard (2), U. Chandrasekhar (4), N. Raghavender (1), Deepak Sharma (1), K.P. Karunakaran (1) « Weld bead modeling and process optimization in Hybrid Layered Manufacturing », Elsevier, Computer-Aided Design, Volume 43, Issue 4, Pages 331–344, avril 2011.

(1) IIT Bombay, 400076 Mumbai, Maharashtra, India.

(2) IRCCyN, Ecole Centrale de Nantes, France.

(4) Gas Turbine Research Establishment, Bangalore, India.

Etude sur les fils métalliques.

- K.P. Karunakaran (1), S. Suryakumar (1), U. Chandrasekhar (2), A. Bernard (3), « Hybrid rapid manufacturing of metallic objects », International Journal of Rapid Manufacturing, 20 octobre 2010.

(1) Dept. of Mech. Engg., Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, India.

(2) Rapid Prototyping Section, Gas Turbine Research Establishment (GTRE), Bangalore, India.

(3) Ecole Centrale de Nantes, 1 rue de la Noe, BP 92101, 44321 Nantes, France.

Etude pour montrer les diverses applications des imprimantes 3D pour la fabrication de pièce métalliques (état de l'art).

- K.P. Karunakaran, S. Suryakumar, Vishal Pushpa, Sreenathbabu Akula, « Low cost integration of additive and subtractive processes for hybrid layered manufacturing », Elsevier, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, October 2010.

Department of Mechanical Engineering, IIT Bombay, Mumbai, India.

Etude sur la technique d'imprimante 3D WAAM.

- P. Ganesh (1), R. Kaul (1), S. Mishra (1), P. Bhargava (1), C. P. Paul (1), Ch. Prem Singh (1), P. Tiwari (1), S. M. Oak (1), R. C. Prasad (2), « Laser rapid manufacturing of bi-metallic tube with Stellite-21 and austenitic stainless steel », Transactions of the Indian Institute of Metals, Volume 62, Issue 2, pp 169-174, avril 2009.

(1) Laser Materials Processing Division and Indus Synchrotron Utilization Division, Raja Ramanna Centre for Advanced Technology, Indore, 452 013, India.

(2) Metallurgy and Materials Science Dept., IIT Bombay, Mumbai, 400 076, India.

Fabrication avec un laser CO<sub>2</sub> de tube bi-métallique en alliage à base de cobalt sur le diamètre intérieur et le type d'acier inoxydable sur le diamètre extérieur. La structure bi-métallique comme préfabriqué (EBDM).

- Sreenathbabu Akula, K.P. Karunakaran, « Hybrid adaptive layer manufacturing: An Intelligent art of direct metal rapid tooling process », Elsevier, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 22, Issue 2, Pages 113–123, avril 2006.

Mechanical Engineering Department, IIT Bombay, India.

L'étude porte sur un programme personnalisé pour calculer l'épaisseur de tranche pour la fabrication de pièce de métal.

- P Ganesh (1), R. Kaul (1), C.P. Paul (1), Pragya Tiwari (1), S.K. Rai (1), RC Prasad (2), L.M. Kukreja (1), « Fracture Toughness and Fatigue Crack Growth Characterization of Laser Rapid Manufactured In-625 », ELESIVIER, Materials Science and Engineering, Volume 527, Issues 29–30, Pages 7490–7497, 15 novembre 2010.

(1) Indus Synchrotrons Utilization Division et Laser materials processing division, Raja Ramana, Centre for advanced technology-Indore-MP India.

(2) Metallurgy and materials science departement, IIT Bombay, Mumbai.

Etude sur la fabrication de pièce en alliage d'Incolonel avec la technique d'imprimante 3D EBDM.

- Alem Baraki, Kiran Bhole, Prasanna Gandhi, « Novel large-range, high-resolution 3D printing of microcomponents using dSPACE », dSPACE User Conference 2010 – India, 24 septembre 2010.

Department of Mechanical Engineering, IIT Bombay.  
Développement d'un logiciel.

### **Indian Institute of technology Indore (IITI)**

**Activité :** créé en 2009, l'IIT Bombay est le mentor de l'IIT Indore. La recherche est interdisciplinaire : algorithmes et informatique théorique, semi-conducteurs, Physique et Technologie, Si / SOI technologie, VLSI USLI Circuit / et la conception du système, traitement de signal biomedical, processus de fabrication et paramètres de l'optimisation des processus, micro-usinage et processus Nano-finition.

**Adresse :** PACL Campus, Harnya Khedi, Madhya Pradesh 453331, India.

#### **Publications :**

- Suyog Jhavar (1), N.K. Jain (1), C.P. Paul (2), « Development of micro-plasma transferred arc ( $\mu$ -PTA) wire deposition process for additive layer manufacturing applications », Elsevier, Journal of Materials Processing Technology, Volume 214, mai 2014.

(1) Discipline of Mechanical Engineering, IIT Indore, MP, India.

(2) Laser Materials Processing Division, RRCAT, Indore, MP, India.

Réparer et/ou refabriquer les matrices et moules défectueux par dépôt de fils.

### **Indian Institute of Technology Kanpur (IITK)**

**Activité :** créé en 1959. Les États-Unis ont aidé à la mise en place des programmes et au développement des laboratoires universitaires en 1972. L'Institut est organisé en 9 départements d'ingénierie, de physique, chimie, mathématiques et sciences humaines.

**Adresse :** Kanpur.

#### **Publications :**

- Kostyantyn Malukhin (1), Kornel Ehmann (2), « Development of A Monolithic Shape Memory Alloy Manipulator », SpringerLink, 2008.

(1) Department of mechanical Engineering, Northwestern University, Development of A Monolithic Shape Memory Alloy Manipulator vanston, IL, USA

(2) nomination complément at University of Illinois at Urbana Chamapign, IITK India and Yuan Christian University, Chung Li, Taiwan.

Etude sur la matière première : un alliage à mémoire de forme (SMA) par Direct Dépôt de Métal (DMD).

- Mitun Das (1, 2), Vamsi Krishna Balla (1), T. S. Sampath Kumar (2), Indranil Manna (1, 3), « Fabrication of Biomedical Implants using Laser Engineered Net Shaping (LENS) », Transactions of the Indian Ceramic Society, Volume 72, Issue 3, 7 octobre 2013.

(1) CSIR-Central Glass & Ceramic Research Institute, Kolkata, India.

(2) Department of Metallurgical and Materials Engineering, IIT Madras.

(3) Currently at Indian Institute of Technology, Kanpur, India.

Implants métalliques (Ti6Al4V) par Net ingénierie laser Shaping (LENS).

### **Indian Institute of Technology Kharagpur (IITKGP)**

**Activité :** Créé en 1946. Il travaille dans le domaine de l'aérospatiale, ingénierie, ingénierie agricole et alimentaire, biotechnologie, chimie, ingénierie et science informatique, ingénierie électrique.

**Adresse :** Kharagpur India – 721302.

#### **Publications :**

- Manoj Tiwari (2), Jenny A. Harding (3), Candice Majewski, « Applications of Evolutionary Computing to Additive Manufacturing », John Wiley & Sons, 22 août 2011.  
(2) Dept. of Industrial Engineering and Management, IIT Kharagpur, India.  
(3) Wolfson School of Mechanical and Manufacturing Engineering, Loughborough University, UK.  
Livre sur le design pour la fabrication additive.
- Sarat Singamneni (1), Nicholas McKenna (1), Olaf Diegel, Darius Singh (1), A Roy Choudhury (2), « Rapid Manufacture in Light Metals Processing », Materials Science Forum (Volumes 618 - 619), avril 2009.  
(1) Centre for rapid product development, AUT University, Auckland, New Zealand.  
(2) Department of mechanical engineering, IIT Kharagpur India.  
L'étude vise à évaluer l'efficacité du processus de moulage rapide pour les métaux légers avec la technologie d'impression 3D SLA SLS (EDM) (pièces de haute résistance et complexe).
- F. Rengier (1), A. Mehndiratta (1)(3), H. von Tengg-Kobligk (1), C. M. Zechmann (1)(2), R. Unterhinninghofen (4), H.-U. Kauczor (1), F. L. Giesel (1)(2), « 3D printing based on imaging data: review of medical applications », SpringLink, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Volume 5, juillet 2010.  
(1) Departemnt of radiology, Germany cancer center Heidelberg, Germany.  
(2) University of hospital Heidelberg, Germany.  
(3) School of medical science and technology, IIT Kharagpur, India.  
(4) University of Karlsruhe, Germany.  
Lociciel pour créer des objets en 3D à partir d'images médicales CT ou IRM.
- Singamneni Sarat (1); McKenna Nicholas (1); Diegel Olaf (1); Singh Darius (2); Neitzert Thomas (1); St George John D (3); Choudhur Asimava Roy (4); Yarlagadda Prasad (5), « Rapid Casting: A Critical Analysis of Mould and Casting Characteristics », Australian Journal of Mechanical Engineering, 2009.  
(1) Head, School of Engineering and Mechanical and Production Engineering, Faculty of Designand Creative Technologies, CAMTEC, CIRI, AUT University, Auckland, New Zealand.  
(2) I-cubed (Institute for Industrial Innovation), Auckland University of Technology (AUT), CAMTEC, CIRI, Auckland, New Zealand.  
(3) Department of Civil and Environmental Engineering, University of Auckland, New Zealand.  
(4) Department of Mechanical Engineering, IIT, Kharagpur, India.  
(5) School of Engineering Systems, Queensland University of Technology (QUT), Brisbane, Australia.  
Utilisation des technologies de SLS (fournit par Z Corporation) pour la production de moules en sable à usage unique pour l'industrie de la fonderie.

### **Indian Institute of Technology Madras (IITM)**

**Activité :** l'IIT Madras est l'un des plus grands instituts d'importance nationale. Issu d'un accord indo-allemand de 1959. L'IIT a seize instituts de technologie (100 laboratoires) : Kharagpur, Mumbai, Chennai, Kanpur, Delhi, Guwahati et Roorkee. IIT Madras est un institut résidentiel avec près de 550 professeurs et 8000 étudiants.

**Adresse :** IIT P.O., Chennai 600 036, India.

**Publications :**



- J.J.S. Dilip (1), G.D. Janaki Ram (1), B.E. Stucker (2), « Additive manufacturing with friction welding and friction deposition processes », Inderscience Publishers, 26 avril, 2012.  
 (1) Department of Metallurgical and Materials Engineering, IIT Madras, Chennai.  
 (2) Department of Industrial Engineering, University of Louisville, Louisville, KY 40292, USA.  
 Imprimante 3D de pièces métalliques par friction.
- Yanzhe Yang (1), G.D. Janaki Ram (2), Brent E. Stucker (1), « An analytical energy model for metal foil deposition in ultrasonic consolidation », Rapid Prototyping Journal, Vol. 16 Iss: 1, pp.20 – 28, 2010.  
 (1) Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Utah State University, Logan, Utah, USA.  
 (2) Department of Metallurgical and Materials Engineering, IIT Madras, Chennai.  
 Fabrication additive par consolidation ultrasons (UC) pour dépôt de métal.
- J. John Samuel Dilip, H. Kalid Rafi, G. D. Janaki Ram, « A new additive manufacturing process based on friction deposition », Spring link Transactions of the Indian Institute of Metals, Volume 64, Issue 1-2, pp 27-30, février 2011.  
 Department of metallurgical and materials engineering, Indian Institute of Technology Madras, Chennai 600 036 India.  
 Un cylindre solide a été réalisé avec succès en acier inoxydable. L'étude des microstructures et des essais de traction ont été effectués pour vérifier la qualité de la liaison entre les couches. Les résultats montrent que l'approche proposée est en effet tout à fait prête pour la fabrication additive et peut conduire à un procédé commercial viable.
- Mitun Das (1, 2), Vamsi Krishna Balla (1), T. S. Sampath Kumar (2), Indranil Manna (1, 3), « Fabrication of Biomedical Implants using Laser Engineered Net Shaping (LENS) », Transactions of the Indian Ceramic Society, Volume 72, Issue 3, 7 octobre 2013.  
 (1) CSIR-Central Glass & Ceramic Research Institute, Kolkata, India.  
 (2) Department of Metallurgical and Materials Engineering, IIT Madras.  
 (3) Currently at Indian Institute of Technology, Kanpur, India.  
 Implants métalliques (Ti6Al4V) par Net ingénierie laser Shaping (LENS).

### **National Informatics Center (NIC)**

**Activité :** créé en 1976. Mise en place de l'infrastructure des TIC.

**Adresse :** Ministry of Communications & Information Technology, A-Block, CGO Complex, Lodhi Road, New Delhi, India.

**Publication :**

- Reginald C. Jegathese (1), Eustace Painkras (2), Edmond C. Prakash (3), « Discrete Voxel Manufacturing Without Slicing », IFIP PROLAMAT 98 - September 9-10-11 & 12, 1998 Trento, Italy.  
 (1) CAD Group, National Informatics Center, CGO Complex, New Delhi, India.  
 (2) Center for Wireless Communication, National University of Singapore, Singapore.  
 (3) School of Applied Science, Nanyang Technological University, Singapore.  
 L'objectif de cet article est de développer un nouvel algorithme pour générer automatiquement des modèles de représentation 3D.

## **Raja Ramanna Centre for Advanced Technology (RRCAT)**

**Activité :** c'est une unité du Département de l'énergie atomique, engagée dans la R&D sur les lasers et les technologies d'accélérateurs de particules. Créé en 1986.

**Adresse :** Indore.

### **Publications :**

- P. Ganesh (1), R. Kaul (1), S. Mishra (1), P. Bhargava (1), C. P. Paul (1), Ch. Prem Singh (1), P. Tiwari (1), S. M. Oak (1), R. C. Prasad (2), « Laser rapid manufacturing of bi-metallic tube with Stellite-21 and austenitic stainless steel », Transactions of the Indian Institute of Metals, Volume 62, Issue 2, pp 169-174, avril 2009.  
(1) Laser Materials Processing Division and Indus Synchrotron Utilization Division, Raja Ramanna Centre for Advanced Technology, Indore, 452 013, India.  
(2) Metallurgy and Materials Science Dept., IIT Bombay, Mumbai, 400 076, India.  
Le tube bi-métallique a été fabriqué avec un laser CO<sub>2</sub> en alliage à base de cobalt sur le diamètre intérieur et le type d'acier inoxydable sur le diamètre extérieur.
- Suyog Jhavar (1), N.K. Jain (1), C.P. Paul (2), « Development of micro-plasma transferred arc ( $\mu$ -PTA) wire deposition process for additive layer manufacturing applications », Elsevier, Journal of Materials Processing Technology, Volume 214, mai 2014.  
(1) Discipline of Mechanical Engineering, IIT Indore, MP, India.  
(2) Laser Materials Processing Division, RRCAT, Indore, MP, India.  
Réparer et/ou refabriquer les matrices et moules défectueux par dépôt de fils.
- P Ganesh (1), R. Kaul (1), C.P. Paul (1), Pragya Tiwari (1), S.K. Rai (1), RC Prasad (2), L.M. Kukreja (1), « Fracture Toughness and Fatigue Crack Growth Characterization of Laser Rapid Manufactured In-625 », ELSEVIER, Materials Science and Engineering, Volume 527, Issues 29–30, Pages 7490–7497, 15 novembre 2010.  
(1) Indus Synchrotrons Utilization Division et Laser materials processing division, Raja Ramana, Centre for advanced technology-Indore-MP India.  
(2) Metallurgy and materials science departement, IIT Bombay, Mumbai.  
Etude sur la fabrication de pièce en alliage d'Incolonel avec la technique d'imprimante 3D EBDM.

## **Liste des entreprises indiennes developpant et/ou fabricant des imprimantes 3D ou du materiel**

### **1. 3Geometry Manufacturing Systems Pvt Ltd**

**Activité :** fabrique et vend des systèmes de frittage laser à base de sable pour produire des moules utilisables pour des métaux ferreux et non ferreux.

**Adresse :** Hyderabad, Andhra Pradesh, India.

### **2. Integrated spacial analytics consultants (ISAC)**

**Activité :** cabinet de conseil multi-disciplinaire avec un fort accent sur l'analyse spatiale.

**Adresse :** Aggarwal Square Plaza, Plot No. - 9, Sector - 12, Dwarka, New Delhi, India.

**Publication :**

- T. Ghawana (1), S. Zlatanova (2), « 3D printing for urban planning : a physical enhancement of spacial perspective », Urban and regional data managment, Taylor and Francis, 2013.

(1) Integrated spacial analytics consultants, India.

(2) Delft University of technology, GIS technology section, Delft, the Netherlands.  
Etude sur un logiciel.

### **3. OpenRP**

**Activité :** initiative d'échange de données qui maintient la compatibilité avec le format de fichier STL (Software).

**Adresse :** S1/116, Nova Cidade Complex, NH 17, Alto Porvorim, Goa – 403521, India.

## Liste des publications indiennes

La recherche a été effectuée sur Google Scholar avec pour mots clefs « additive manufacturing India » et « 3D printing India ».

J.J.S. Dilip (1), G.D. Janaki Ram (1), B.E. Stucker (2), « Additive manufacturing with friction welding and friction deposition processes », Inderscience Publishers, 26 avril, 2012.

(1) Department of Metallurgical and Materials Engineering, Indian Institute of Technology Madras, Chennai 600 036, India.

(2) Department of Industrial Engineering, University of Louisville, Louisville, KY 40292, USA.

Most of the commercially available additive manufacturing processes that are meant for fabrication of fully dense metallic parts involve melting and solidification. Consequently, these processes suffer from a variety of metallurgical problems. Processes that can facilitate material addition in solid-state are therefore ideally suited for additive manufacturing. In this work, we explore two new solid-state processes, viz. friction welding and friction deposition, for additive manufacturing. Stainless steel samples produced using these processes showed excellent layer bonding and Z-direction tensile properties. The authors believe that these processes are uniquely capable and can offer significant benefits over existing commercial additive manufacturing processes.

K.P. Karunakaran (1), Alain Bernard (2), S. Suryakumar (1), Lucas Dembinski (3), Georges Taillandier (4), « Rapid manufacturing of metallic objects », Rapid Prototyping Journal, 1995.

(1) Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of technology, Bombay, India.

(2) IRCCyN, Ecole Centrale de Nantes, Nantes, France.

(3) LERMPS-UTBM, Belfort, France.

(4) French Rapid Prototyping Association, Clermont-Ferrand, France.

Purpose – The purpose of this paper is to review additive and/or subtractive manufacturing methods for metallic objects and their gradual evolution from prototyping tools to rapid manufacture of actual parts.

Design/methodology/approach – Various existing rapid manufacturing (RM) methods have been classified into six groups, namely, CNC machining laminated manufacturing, powder-bed technologies, deposition technologies, hybrid technologies and rapid casting technologies and discussed in detail. The RM methods have been further classified, based on criteria such as material, raw material form, energy source, etc. The process capabilities springing from these classifications are captured in the form of a table, which acts as a database.

Findings – Due to the approximation in RM in exchange for total automation, a variety of multi-faceted and hybrid approaches has to be adopted. This study helps in choosing the appropriate RM process among these myriad technologies.

Originality/value – This review facilitates identification of appropriate RM process for a given situation and sets the framework for design for RM.

A. Bernard (1), G. Taillandier (2), K.P. Karunakaran (3), « Evolutions of rapid product development with rapid manufacturing: concepts and applications », International Journal of Rapid Manufacturing, 15 october 2009.

(1) 1, rue de la Noe, BP 92101, 44321 – Nantes Cedex 3, France.

(2) 5, Avenue du Marechal LECLERC, Meudon 92360, France.

(3) IIT Bombay, Powai, Mumbai-400076, India.

This paper relates to the recent evolutions of rapid product development and mainly on technological point of view. Critical issues are of several nature, methodologies, product-process knowledge-based approaches, new technologies and applications. The idea is to take into account the knowledge related to the additive manufacturing technologies when defining the main characteristics of the products. The evolution of the capacities of the actual rapid manufacturing technologies enlarges the scope of new product design and manufacturing. The final goal is to increase the efficiency of the rapid product development processes by the use of new technologies and new methodologies.

S. Suryakumar (1), K.P. Karunakaran (1), Alain Bernard (2), U. Chandrasekhar (4), N. Raghavender (1), Deepak Sharma (1), K.P. Karunakaran (1) « Weld bead modeling and

process optimization in Hybrid Layered Manufacturing », Elsevier, Computer-Aided Design, Volume 43, Issue 4, Pages 331–344, avril 2011.

(1) Indian Institute of Technology Bombay, 400076 Mumbai, Maharashtra, India.

(2) IRCCyN, Ecole Centrale de Nantes, France.

(4) Gas Turbine Research Establishment, Bangalore, India.

Hybrid Layered Manufacturing is a Rapid Manufacturing process in which the metallic object is built in layers using weld deposition. Each layer built through overlapping beads is face milled to remove the scales and scallops and ensure Z-accuracy. The formations of single beads and overlapping multiple beads are modeled in this paper. While the individual bead's geometry is influenced by the size of the filler wire and the speeds of the wire and torch, the step over increment between the consecutive beads additionally comes into the picture for the multiple bead deposition. These models were validated experimentally. They are useful not only to predict the bead's shape but also to optimize the three process parameters.

P. Karunakaran (1), S. Suryakumar (1), U. Chandrasekhar (2), A. Bernard (3), « Hybrid rapid manufacturing of metallic objects », International Journal of Rapid Manufacturing, 20 octobre 2010.

(1) Dept. of Mech. Engg., Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai 400076, India.

(2) Rapid Prototyping Section, Gas Turbine Research Establishment (GTRE), C.V. Raman Nagar, Bangalore – 560093, India.

(3) Ecole Centrale de Nantes, 1 rue de la Noe, BP 92101, 44321 NANTES Cedex 3, France.

While CNC machining, the subtractive method, is the only option when it comes to high quality components, the need for human intervention to generate the CNC programs makes it a slow and costly route. On the other hand, rapid prototyping (RP), the additive method, is able to convert the design into the physical objects without any human intervention but its total automation comes with compromises in the qualities of geometry and material. A balance between these two extremes is hybrid rapid manufacturing (HRM). In HRM, the near-net shape of the component is built in layers (additive method) and the same is finish-machined (subtractive method). While the priority during material addition is material integrity, the same is on geometric quality during material subtraction. As the focuses in both these steps are different, they are very fast. The existing HRM processes for metallic objects are reviewed in this paper followed by a brief description of ArchHLM under development at IIT Bombay. The generic ArchHLM facility or Hybrid FMS will be able to demonstrate its various applications of for fresh manufacture and repair of tools and components.

Sarat Singamneni (1), Nicholas McKenna (1), Olaf Diegel, Darius Singh (1), A Roy Choudhury (2), « Rapid Manufacture in Light Metals Processing », Materials Science Forum (Volumes 618 - 619), avril 2009.

(1) Centre for rapid product development, AUT University, Auckland, New Zealand.

(2) Department of mechanical engineering, Indian Institute of Technology, Kharagpur India.

As several of the free form fabrication processes progress with continuous process and material improvements, the feasibility of Rapid Manufacturing becomes more and more of a reality. Defined as the use of a Computer Aided Design (CAD) based automated additive manufacturing process to construct parts that are used directly as finished products and components, some of the rapid manufacturing processes are already competing with traditional processes such as injection moulding and progress is being made in applying the new technologies to the processing of metals, envisioning additive manufacture of high strength parts of unlimited complexity. While there have been quite a few successful attempts in the rapid production of complex medical implants using titanium alloys, 3D printing of sand moulds opens up yet another rapid manufacturing front, allowing for the rapid casting of aluminium and magnesium alloys. The effectiveness of such processes is yet to be researched in terms of process and product characteristics and the overall economy. This paper attempts to review some of the promising rapid manufacturing technologies for light metals processing and presents results of experimental investigations conducted to evaluate the effectiveness of the rapid casting process currently researched at the Rapid Product Development Centre of AUT University.

P. DeVasConCellos (1), V. K. Balla (1, 2), S. Bose (1), R. Fugazzi (3), W. S. Dernell (3), A. Bandyopadhyay (1), « Patient specific implants for amputation prostheses: Design, manufacture and analysis », Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology (VCOT) 2012: Issue 4, 2012.

(1) W. M. Keck Biomedical Materials Research Laboratory, School of Mechanical and Materials Engineering Washington State University, Pullman, WA, USA.

(2) Current: Bioceramics and Coatings Division, Central Glass and Ceramic Research Institute, Kolkata, India.

(3) Department of Veterinary Clinical Sciences, College of Veterinary Medicine, Washington State University, Pullman, WA USA.

**Objectives:** To design, manufacture and analyze custom implants with functional gradation in macrostructure for attachment of amputation prostheses. **Methods:** The external shape of the implant was designed by extracting geometrical data of canine cadavers from computed tomography (CT) scans to suit the bone cavity. Three generations of implant designs were developed and were optimized with the help of fit/fill and mechanical performance of implant-cadaver bone assembly using CT analysis and compression testing, respectively. A final optimized, custom Ti6Al4V alloy amputation implant, with approximately 25% porosity in the proximal region and approximately zero percent porosity in the distal region, was fabricated using Laser Engineered Net Shaping (LENS™) – a laser based additive manufacturing technology. **Results:** The proposed design changes in the second generation designs, in terms of refining thresholds, increased the average fill of the bone cavity from 58% to 83%. Addition of a flange between the stem and the head in the second generation designs resulted in more than a seven-fold increase in the compressive load carrying capacity of the assembly. Application of LENS™ in the fabrication of present custom fit Ti6Al4V alloy implants enabled incorporation of 20 to 30% porosity in the proximal region and one to two percent residual porosity in the distal portion of the implant. **Clinical significance:** Patient specific prostheses having direct connection to the skeletal structure can potentially aid in problems related to load transfer and proprioception in amputees. Furthermore, application of LENS™ in the fabrication of custom implants can be faster to incorporate site specific porosity and gradients for improving long-term stability.

Yanzhe Yang (1), G.D. Janaki Ram (2), Brent E. Stucker (1), « An analytical energy model for metal foil deposition in ultrasonic consolidation », Rapid Prototyping Journal, Vol. 16 Iss: 1, pp.20 – 28, 2010.

(1) Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Utah State University, Logan, Utah, USA.

(2) Department of Metallurgical and Materials Engineering, Indian Institute of Technology Madras, Chennai, India.

**Purpose** – Recently, a number of research projects have been focused on an emerging additive manufacturing process, termed ultrasonic consolidation (UC). The purpose of this paper is to present an analytical energy model aimed at investigating the effects of process parameters on bond formation in UC.

**Design/methodology/approach** – In the model, two factors are defined, energy input to the workpiece within a single cycle of ultrasonic vibration ( $E_0$ ) and total energy input to the workpiece ( $E_t$ ), to evaluate the magnitude of transmitted energy into the workpiece during UC.

**Findings** – It is found that linear weld density,  $E_0$  and  $E_t$  are affected by process parameters in similar manners.

**Research limitations/implications** – The current model is developed based on several simplifying assumptions, and energy dissipation and bond degradation during UC are not considered in the model.

**Originality/value** – The current model gives a useful understanding of the effects of process parameter on the bond formation in UC from an energy point of view.

Kostyantyn Malukhin, Kornel Ehmann, « Development of A Monolithic Shape Memory Alloy Manipulator », SpringLink, 2008.

Department of mechanical Engineering, Northwestern University, Evanston, IL, USA nomination complément at University of Illinois at Urbana Chamapign, Indian Institute of technology Kanpur India and Yuan Christian University, Chung Li, Taiwan.

The essential steps and issues in the development of a Shape Memory Alloy (SMA) based multi-degrees-of-freedom monolithic manipulator are reflected upon. The use of Direct Metal Deposition (DMD) will be described for the manufacture of the manipulator's structure followed by the exploration of the feasibility of the "self-sensing" functionality of the structure as a basis for the manipulator's control. Finally, a synopsis of a new mathematical model of the kinetics of the temperature-induced phase transformation that was developed and its experimental verification will be given and shown that the analytical predictions closely follow the experimentally measured responses.

F. Rengier (1), A. Mehndiratta (1)(3), H. von Tengg-Kobligk (1), C. M. Zechmann (1)(2), R. Unterhinninghofen (4), H.-U. Kauczor (1), F. L. Giesel (1)(2), « **3D printing based on imaging data: review of medical applications** », **SpringLink**, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Volume 5, Issue 4, pp 335-341, juillet 2010.

(1) Departemnt of radiology, Germany cancer center Heidelberg, Germany.

(2) University of hospital Heidelberg, Germany.

(3) School of medical science and technology, Indian Institute of technology, Kharagpur, India.

(4) University of Karlsruhe, Germany.

Generation of graspable three-dimensional objects applied for surgical planning, prosthetics and related applications using 3D printing or rapid prototyping is summarized and evaluated.

Graspable 3D objects overcome the limitations of 3D visualizations which can only be displayed on flat screens. 3D objects can be produced based on CT or MRI volumetric medical images. Using dedicated post-processing algorithms, a spatial model can be extracted from image data sets and exported to machine-readable data. That spatial model data is utilized by special printers for generating the final rapid prototype model.

Patient-clinician interaction, surgical training, medical research and education may require graspable 3D objects. The limitations of rapid prototyping include cost and complexity, as well as the need for specialized equipment and consumables such as photoresist resins.

Medical application of rapid prototyping is feasible for specialized surgical planning and prosthetics applications and has significant potential for development of new medical applications.

Singamneni Sarat (1); McKenna Nicholas (2); Diegel Olaf (2); Singh Darius (3); Neitzert Thomas (2); St George John D (4); Choudhur Asimava Roy (5); Yarlagadda Prasad (6), « **Rapid Casting: A Critical Analysis of Mould and Casting Characteristics** », Australian Journal of Mechanical Engineering, Vol. 7, No. 1, 2009.

(1) Mechanical and Production Engineering, Faculty of Design and Creative Technologies, AUT University, Auckland, New Zealand.

(2) Head, School of Engineering, and Centre for Rapid Product Development, CAMTEC, CIRI, AUT University, Auckland, New Zealand.

(3) I-cubed (Institute for Industrial Innovation), Auckland University of Technology (AUT), Centre for Rapid Product Development, CAMTEC, CIRI, Auckland, New Zealand.

(4) Senior Lecturer, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Auckland, New Zealand.

(5) Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology, IIT, Kharagpur, India.

(8) Director, Smart Systems Research Theme, and Professor, School of Engineering Systems, Queensland University of Technology (QUT), Brisbane, Australia.

The use of rapid prototyping technologies for the production of sacrificial sand moulds for the foundry industry has been previously researched, but with selective laser sintering as the main technology, and with different methods of processing and materials as critical variables. With the proliferation of 3D printers and the relatively easy and economical production of moulds with special sands supplied by Z Corporation, it is time that direct metal casting through 3D printing is scientifically investigated. Knowledge of the influence of various process parameters on the quality of moulds and subsequent castings is essential in effectively employing direct metal casting in real-world applications. This paper presents results of experimental investigations carried out to establish the influences of critical factors, such as curing times and temperatures, on mechanical characteristics, such as strength and permeability, of sand moulds produced by 3D printing. The dimensional and surface qualities of castings produced using the casting grade aluminium, A356, and the effectiveness of various mould surface coatings, and causes of casting defects, are also investigated. Statistically-designed experiments are employed for the systematic analysis of the individual roles of direct metal casting parameters, as well as their combined effects.

Reginald C. Jegathese (1), Eustace Painkras (2), Edmond C. Prakash (3), « **Discrete Voxel Manufacturing Without Slicing** », IFIP PROLAMAT 98 - September 9-10-11 & 12, 1998 Trento, Italy.

- (1) CAD Group, National Informatics Center, CGO Complex, New Delhi, India.
- (2) Center for Wireless Communication, National University of Singapore, Singapore.
- (3) School of Applied Science, Nanyang Technological University, Singapore.

Slicing of a 3D model represented as STL (stereolithography file format) to generate layers for rapid manufacturing is a common choice. The problems encountered are the complexity of the models and the unknown amount of time taken to compute each slice, knowing the number of slices to be generated. The time taken is not known because the number of triangles intersected by the layer varies with the model and the orientation of the model. The layer thus obtained further takes unpredictable time in tracing these contours during manufacturing. The objective of this paper is to develop a new algorithm to automatically generate volume models from 3D representations without slicing. We characterize a set of projective algorithms for computationally fast and efficient functions for volume modeling. The preliminary results from this work indicate the feasibility of volume modeling of STL models by projective voxelization. The performance indicates a linear improvement in time with increasing number of triangles. We also see a lot of potential for this new method for emerging technologies such as 3D Printing and 3D Volumetric Fax.

Vijay Chandru; Manohar S. ; Prakash, « Voxel-based modeling for layered manufacturing », *Computer Graphics and Applications, IEEE, Volume: 15, Issue: 6, novembre 1995.*  
Indian Inst. of Sci., Bangalore, India.

Layered manufacturing (LM) technologies have revolutionized the prototyping of complex geometric designs, but still employ traditional CAD tools. A voxel-based approach is under development in a modeling tool called G-WoRP (Geometric Workbench for Rapid Prototyping), which is tuned toward fabrication with LM equipment. The user interacts with the workbench through an input layer that provides two major primitives—the slice and the voxel—and the operations that support them. An import facility also permits designs from other CAD systems. Central to the internal layer is V-Rep, a new representation scheme that provides an efficient interface among the various G-WoRP modules. The output layer gives the part description in a form suitable to the actual LM technology employed. It also supports a process description for manufacturing the part using traditional processes. The design and manufacturing phases do not require an explicit process-planning step because the design description of the part closely resembles the input description needed by the LM equipment.

K.P. Karunakaran, S. Suryakumar, Vishal Pushpa, Sreenathbabu Akula « Low cost integration of additive and subtractive processes for hybrid layered manufacturing », *Elsevier, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 26, Issue 5, Pages 490–499, October 2010.*  
Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, India.

While CNC machining (subtractive method) is the only option when it comes to high quality components, it demands greater human intervention to generate the CNC programs, making it a slow and costly route. On the other hand, Rapid Prototyping (additive method) is able to convert the design into the physical objects without any human intervention. But its total automation comes with compromises in the qualities of geometry and material. A hybrid layered manufacturing process presented here combines the best features of both these approaches. In this process the near-net shape of the object is first built using weld-deposition; the near-net shape is then finish machined subsequently. Time and cost saving of this process can be attributed to reduction in NC programming effort and elimination of rough machining. It is envisioned as a low cost retrofitment to any existing CNC machine for making metallic objects without disturbing its original functionalities. Near-net shape building and finish machining happening at the same station is the unique feature of this process. A customized software generates the NC program for near-net shape building. The intricate details of integrating arc welding unit with a CNC milling machine are presented in this paper.

P. Ganesh (1), R. Kaul (1), S. Mishra (1), P. Bhargava (1), C. P. Paul (1), Ch. Prem Singh (1), P. Tiwari (1), S. M. Oak (1), R. C. Prasad (2), « Laser rapid manufacturing of bi-metallic tube with Stellite-21 and austenitic stainless steel », *Transactions of the Indian Institute of Metals, Volume 62, Issue 2, pp 169-174, avril 2009.*

- (1) Laser Materials Processing Division and Indus Synchrotron Utilization Division, Raja Ramanna Centre for Advanced Technology, Indore, 452 013, India.
- (2) Metallurgy and Materials Science Dept., IIT Bombay, Mumbai, 400 076, India.

Fabrication of multi-material engineering components is one of the technologies to address diverse and conflicting functional requirements posed by rapid technological development. Bi-metallic tube is one such



multi-material component with different materials on internal and outer surfaces. This paper briefs about fabrication of a bi-metallic tubular structure with an indigenously developed 3.5 kW CO<sub>2</sub> laser integrated with a beam delivery system, a 5-axis CNC work station along with a powder feeding sub-system. The bi-metallic tube was fabricated with cobalt based alloy Stellite 21 on inner diameter and type 316L stainless steel on the outer diameter. Besides, a stainless steel tube with an internal step of Stellite 21 was also fabricated. As-fabricated bi-metallic structure was structurally sound and carried desired transition in chemical composition and hardness across its wall thickness.

Sreenathbabu Akula, K.P. Karunakaran, « Hybrid adaptive layer manufacturing: An Intelligent art of direct metal rapid tooling process », Elsevier, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 22, Issue 2, Pages 113–123, avril 2006.

Mechanical Engineering Department, IIT Bombay, India.

A direct metal rapid tool making process, hybrid-layered manufacturing (HLM), was developed for building metallic dies and molds. This unique methodology has a numerical controlled system that integrates the TransPulse Synergic Metal Inert Gas (MIG)/Metal Active Gas (MAG) welding process for near-net layer deposition and Computer Numerical Control (CNC) milling process for net shaping. A customized software program was made to calculate the required adaptive slice thickness for the deposition of the filler metal with welding process as successive layers from the lowest to the topmost layer direction and to generate the required NC codes for machining from the top to the bottom layer direction of the deposited metallic layers for attaining the required contour profile shape. To implement this proposed process, a low-cost three-axis manipulator was fabricated with stepper motor drivers in open-loop control and integrated with the weld machine. Adequate isolation to protect the motion control electronics from welding spike was incorporated. Synchronization of this two-step processing of each layer, yielding near-net deposition with welding process and near-net shaping with CNC milling operation offers a new accelerator way of building metal tools and dies.

Bhojar, Anjali, Harazi, Puja Ivory, « Additive rapid prototyping a technology of shaping virtual images », Guident, Vol. 5 Issue 2, p72-76. 4p, 2012.

Advances in computer-aided design and computer-aided manufacturing (CAD/CAM) provide a new horizon for dentistry, creating an alternative technique for producing dental restorations. All CAD/CAM systems have three functional components: data capture or scanning to capture and record data about the oral environment (tooth preparation, adjacent teeth and occluding tooth geometry); CAD to design the restoration to fit the preparation and to perform according to conventional dental requirements, and CAM to fabricate the restoration. Rapid prototyping is extremely beneficial, capable of directly generating physical objects from graphical computer data and represents the technology for tomorrow.

Copyright of Guident is the property of Ivory India and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use. This abstract may be abridged. No warranty is given about the accuracy of the copy. Users should refer to the original published version of the material for the full abstract.

Suyog Jhavar (1), N.K. Jain (1), C.P. Paul (2), « Development of micro-plasma transferred arc ( $\mu$ -PTA) wire deposition process for additive layer manufacturing applications », Elsevier, Journal of Materials Processing Technology, Volume 214, mai 2014.

(1) Discipline of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology Indore, MP, India.

(2) Laser Materials Processing Division, Raja Ramanna Centre for Advanced Technology, Indore, MP, India.

Micro-plasma transferred arc ( $\mu$ -PTA) deposition process has potential to meet requirements of the meso-sized fabrication and repair of the high value components. This paper reports on the development of  $\mu$ -PTA as cost effective and energy efficient alternative process for small sized deposition with an overall objective to repair and/or remanufacture the defective dies and molds. An experimental setup was developed to deposit 300  $\mu$ m diameter wire of AISI P20 tool steel on the substrate of the same material which is one of the most commonly used materials for making the dies and molds used for various applications. Two stage experiments were conducted to identify the important process parameters generating regular and smooth single bead geometry. The process was further explored for highest possible deposition rate for fabrication of straight walls through multi-layer deposition. The  $\mu$ -PTA deposition process was found to be capable of fabricating straight walls having total wall width of 2.45 mm and effective wall width of 2.11 mm. The deposition efficiency was found to be 87% for the maximum deposition rate of 42 g/h. The microscopic examination and micro-hardness measurements revealed that the deposited wall is free from cracks, porosity, and inclusions. This study confirms

the capability of  $\mu$ -PTA for ALM in comparison to the existing high energy deposition processes used for meso-scale fabrication and repair applications of the dies and molds. This work confirms that  $\mu$ -PTA wire deposition process offers the advantages of the laser based processes at much lower cost and more energy efficiency thus making it potential alternative process for repair and remanufacturing of the defective dies and molds. Use of finer wire can further reduce the deposition size enabling  $\mu$ -PTA wire deposition process to fabricate the miniaturized parts.

J. John Samuel Dilip, H. Kalid Rafi, G. D. Janaki Ram, « A new additive manufacturing process based on friction deposition », Spring link Transactions of the Indian Institute of Metals, Volume 64, Issue 1-2, pp 27-30, février 2011.

Department of metallurgical and materials engineering, Indian Institute of Technology Madras, Chennai 600 036 India.

Additive manufacturing involves layer-by-layer fabrication of three-dimensional parts under computer control. The current study demonstrates a novel concept for additive manufacturing, in which material addition is achieved in solid-state through a process that can be termed as "friction deposition." The present work reports preliminary results on the proposed new approach. Individual layers up to a thickness of 1 to 2 mm can be added up successively by friction deposition. A solid cylinder of 20 mm dia and 50 mm height was successfully produced with austenitic stainless steel AISI 304. Microstructural studies and tensile tests were conducted to ascertain the quality of bonding between the layers. The results show that the proposed approach is indeed quite amenable for additive manufacturing and can lead to a viable commercial process.

Vineet Kumar Vashishtha, Rahul Makade, Neeraj Mehla, « Advancement of rapid prototyping in aerospace industry », International Journal of Engineering Science & Technology, Vol. 3 Issue 3, p2486-2493. 8p., 2011.

Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Hamirpur, Himachal Pradesh-177055 India.

Rapid prototyping technology have emerged a new innovation to reduced the time cost of moulds fabrication by creating 3D product directly from computer aided design thus the designer is able to perform design validation and accuracy analysis easily in a virtual environment as if using a physical model. The primary aim of this paper is to give the reader an overview of the current state of the art in rapid prototyping technology .The paper also deal with feature's of rapid prototyping in Aerospace industry and some of the existing problem's of rapid prototyping.

Puneet Tandon, Anuj Kant, « A modelling and manufacturing strategy for the heterogeneous solids », International Journal of Manufacturing Technology and Management, 16 novembre 2004.

Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Kurukshetra 136 119, India.

Heterogeneous objects, composed of multiple materials, are now increasingly being used in engineering applications. With the development of new fabrication methods like rapid prototyping (RP), a new dimension is added to manufacture these objects. To manufacture heterogeneous objects by RP, a CAD model is required that contains both geometric information as well as material information. However, current solid modelling techniques focus mainly on capturing the geometric information only. This work presents an approach to model and represent heterogeneous objects by integrating the material information along with the geometry/topology in the solid model. Here, we define new modelling operations for creating and manipulating heterogeneous models and to complement traditional modelling operations through algorithms.

Mitun Das (1, 2), Vamsi Krishna Balla (1), T. S. Sampath Kumar (2), Indranil Manna (1, 3), « Fabrication of Biomedical Implants using Laser Engineered Net Shaping (LENS) », Transactions of the Indian Ceramic Society, Volume 72, Issue 3, 7 octobre 2013.

(1) CSIR-Central Glass & Ceramic Research Institute, Kolkata – 700 032, India.

(2) Department of Metallurgical and Materials Engineering, IIT Madras Chennai, India.

(3) Currently at Indian Institute of Technology, Kanpur, India.

There has been significant research, understanding of musculoskeletal disorders, but the development of suitable bone replacement materials for load-bearing applications is still lacking. Commercially available load-bearing

implants/materials differ significantly from the natural host tissues in several aspects such as macro/microstructures, mechanical, physical and chemical properties. These differences limit the effectiveness of implants' biological repair capability and longevity. One approach to enhance the cellular response and tissue integration of metal implants is to design and fabricate novel porous biomaterials that closely resemble the architecture and properties of natural bone tissue.

In this article, we review application of Laser Engineered Net Shaping (LENS) an additive manufacturing process developed at Sandia National Laboratories, in developing materials/structures for load bearing implant application to enhance their in vivo life time. It has been established that LENS process is capable of fabricating near net shaped metallic implants with tailored porosity that can eliminate stress shielding issue associated with fully dense implants. Similarly, LENS is a potential technique to create compositionally and/or structurally graded implants. Further, functionally graded hard coatings have been developed via LEN to minimize the wear induced osteolysis. Finally, mono-block or unitized structures such as functionally graded CoCrMo or TiB-TiN coating on porous Ti6Al4V can also be fabricated using LENS. In summary, the combination of novel designs and freeform fabrication capability of LENS process might have significant effect on development of novel implants/structures using varieties of metallic/ceramic biomaterials with tailored mechanical and biological properties.

Shruti S. Bammani, Pranav R. Birajdar, Shrinivas S Metan, « Application of CAD and SLA Method in Dental Prosthesis », *AMAE Int. J. on Manufacturing and Material Science*, Vol. 3, No. 1, mai 2013.

Dept. of Mechanical Engineering, Nagesh Karajagi Orchid College of Engineering and Technology Solapur, Maharashtra, India.

Placement of dental implants requires precise planning that accounts for anatomic limitations and restorative goals. Diagnosis can be made with the assistance of computerized tomographic scanning, but transfer of planning to the surgical field is limited. Precise implant placement no longer relies upon so called mental-navigation but rather can be computer guided, based on a three dimensional prosthetically directed plan. Recently, novel CAD/ CAM techniques such as stereolithographic rapid prototyping have been developed to build surgical guides in an attempt to improve precision of implant placement. The purpose of this paper is to discuss the use of scanning equipments to transfer clinically relevant prosthetic information which can be used for fabrication of stereolithographic medical models and surgical guides. The proposed method provides solid evidence that computer-aided design and manufacturing technologies may become a new avenue for custom-made dental implants design, analysis, and production in the 21st century. Index Terms—Rapid Prototyping (RP), Stereolithography (SLA), Dental Prosthesis, Dental Implants, Surgical Guides.

R Singh, J P Singh, « Comparison of rapid casting solutions for lead and brass alloys using three-dimensional printing », *journal of mechanical engineering science*, 1 septembre 2009.

Department of Production Engineering, G. N. D. E. College, Ludhiana, Punjab, India.

The purpose of the present investigation is to study and compare the feasibility of decreasing the shell wall thickness for rapid casting solution of brass and lead alloys using three-dimensional printing (3DP) technology. Starting from the identification of components/benchmarks, technological prototypes have been produced at different shell thicknesses using lead and brass alloys. Measurements on a coordinate measuring machine helped in calculating the dimensional tolerances of the castings produced. Some important mechanical properties are also compared to verify the suitability of the castings and further results are supported by microstructure analysis. The study suggested that the production of sound casting for minimum wall thickness depends on pouring temperature and weight density. It has been observed that IT grades comparable to machining can be obtained with 3DP for lower pouring temperature alloys. Further feasibility of obtaining minimum shell thickness is more dependent on pouring temperature than weight density. Based on improved dimensional accuracy and microstructure analysis, the saving of costs up to 45.75 per cent and time up to 43 per cent can be achieved over the recommended one in the case of lead alloy for the selected benchmark/component. For brass alloy casting saving of costs and time up to 40.05 and 32.84 per cent, respectively, has been achieved.

Simranpreet Singh Gill (1), Munish Kaplas (2), « Efficacy of powder-based three-dimensional printing (3DP) technologies for rapid casting of light alloys », *SpingerLink, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Volume 52, Issue 1-4, pp 53-64, janvier 2011.

(1) Department of mechanical engineering, Beant College of Engineering and technology, Gurdaspur, Pujab, India.

(2) Department of mechanical engineering, Government of Polytechnic College, Amritsar, Pujab, India.

The aim of the present research was to compare the efficacy of two powder based 3D printing technologies for rapid casting of light alloys. The technologies of ZCast process and investment casting were employed to cast aluminium A356 alloy and zinc ZA-12 alloy. The split pattern shells were printed in ZCast501 powder and used directly as mould with outside sand support in case of ZCast process. Two commercially available powders starch-based ZP14 and plaster-based ZP100 were infiltrated with two infiltrants acrylate and wax resulting in four different material systems for making investment casting patterns. A standard method was premeditated by identifying and designing the benchmark component. The proposed concept was presented in physical form by fabricating prototypes to appraise the impact of technology used on dimensional accuracy. The dimensional accuracy was ascertained by assigning tolerance grades as per UNI EN 20286-1 ISO. In addition, the working suitability of castings was analysed by comparing important mechanical properties, and further, the results were supported by radiography and microstructure analysis. The feasibility of decreasing shell wall thickness for ZCast process was also checked so as to make the process more economical and fast.

M Kaplas, R Singh, « Experimental investigations for reducing wall thickness in zinc shell casting using three-dimensional printing », *Journal of mechanical engineering science*, 1 décembre 2008.

Mechanical and Production Engineering Department, G.N.D. Engineering College, Punjab, India.

The purpose of this study is to verify the feasibility of decreasing the shell thickness in rapid casting (RC) process based on three-dimensional printing technology and to evaluate the dimensional accuracy, mechanical properties of RC solutions for the production of zinc-alloy casting. Starting from the identification of component/benchmark, technological prototypes were produced with different shell thickness. Measurements on a coordinate-measuring machine helped in calculating the dimensional tolerances of the castings produced. Some important mechanical properties were also compared to verify the suitability of the castings, and further results are supported by the radiography analysis. The study suggested that the shell thickness having value less than the recommended one is more suitable from dimensional accuracy and economic point of view. The provided data from the experimentation are extremely useful for the industrial application of the considered technology. The result indicates that at 7 mm shell thickness, hardness of the casting improved from the recommended 12 mm. Further, production cost and production time have been reduced by 41 and 37 per cent, respectively, in comparison with the 12 mm recommended shell thickness.

K. Vijay Venkatesh, V. Vidyashree Nandini, « Direct Metal Laser Sintering: A Digitised Metal Casting Technology », *SpringLink, The Journal of Indian Prosthodontic Society*, Volume 13, Issue 4, pp 389-392, décembre 2013.

Department of conservative dentistry and endodontics and Department of Prosthodontics and implantology, SRM Kattankulathur Dental College Chennai India.

Dental technology is undergoing advancements at a fast pace and technology is being imported from various other fields. One such imported technology is direct metal laser sintering technology for casting metal crowns. This article will discuss the process of laser sintering for making metal crowns and fixed partial dentures with a understanding of their pros and cons.

Rupinder Singh, « Effect of Workpiece Volume on Statistically Controlled Rapid Casting Solution of Low Melting Alloys Using Three-Dimensional Printing », *Taylor and Francis, Materials and Manufacturing Processes*, Volume 27, Issue 4, 14 mars 2012.

Faculty of Production Engineering, Guru Nanak Dev Engineering College, Ludhiana, India.

The purpose of the present investigations is to study the effect of workpiece volume on shell wall thickness reduction for statistically controlled rapid casting solution of low melting alloy using three-dimensional printing (3DP). The results of the study suggest that workpiece volume has unnoticeable effect on shell wall thickness reduction (for the selected range of workpiece volume). The research proved that the shell wall thickness having value less than the recommended one (12 mm) is more suitable from dimensional accuracy and economic point of view. Final castings produced, at different shell wall thicknesses are acceptable as per IS

standard UNI EN 20286-I (1995). Keeping in view the cost effectiveness, one (01) mm shell wall thickness has been recommended for producing the casting.

## **Rupinder Singh, J.P. Singh, « Experimental investigations for reducing wall thickness in solder (20-80) lead alloy rapid casting solution of three dimensional printing », International Journal of Rapid Manufacturing, 20 octobre 2010.**

Faculty of Production Engineering and Department of Production Engineering, GNDE.

In this work, three dimensional printing (3DP) technology has been used as rapid shell casting to make the shell moulds. An effort has been made through experiments, to study the feasibility of decreasing the shell wall thickness from the recommended one (12 mm), in order to reduce the cost and time of production, as well as to evaluate the dimensional accuracy, mechanical properties of solder (20-80) lead alloys castings obtained, for assembly purpose. The study suggested that the shell thickness, having value less than the recommended one, is more suitable from the dimensional accuracy and an economic point of view. Further sound casting results are supported by microstructure analysis. The result indicates that at 1 mm shell thickness, slight variation in hardness of the casting is observed, but production cost and production time has been reduced by 45.75% and 43% respectively from recommended 12 mm.

J P Singh, R Singh, « Investigations for a statistically controlled rapid casting solution of lead alloys using three-dimensional printing », journal of mechanical engineering science, 1 septembre 2009.

Production Engineering Department, GND Engineering College, Ludhiana, Punjab, India.

The purpose of the present investigation is to study the feasibility of decreasing the shell thickness for a statistically controlled rapid casting solution of lead alloy using three-dimensional printing technology. Starting from the identification of a component/benchmark, technological prototypes were produced with different shell thickness. Measurements on a coordinate measuring machine helped in calculating the dimensional tolerances of the castings produced. Some important mechanical properties were also compared to verify the suitability of the castings and further results are supported by microstructure analysis. The study suggested that the shell thickness having a value less than the recommended one is more suitable from a dimensional accuracy and an economic point of view. The provided data from the experimentation are extremely useful for the industrial application of the considered technology. The result indicates that at 1 mm shell thickness, the hardness of the casting improves from the recommended 12 mm. Further, production costs and production time have been reduced by 45.75 and 43 %, respectively, in comparison with the 12 mm recommended shell thickness.

L.Siva Rama Krishna (1), Sriram Venkatesh (1), Satish Kumar (2), M. Umamaheswara (3), « A Comparative Study on the Dimensional Error of 3D CAD Model and SLS RP Model for Reconstruction of Cranial Defect », World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering, 2014.

(1) Department of Mechanical Engineering, University College of Engineering, Osmania University, Hyderabad, India.

(2) CMF surgery specialist, MDS CareHospitals, Hyderabad, India.

(3) Assistant Divisional Engineer, APGENCO, Hyderabad, India.

Rapid Prototyping (RP) is a technology that produces models and prototype parts from 3D CAD model data, CT/MRI scan data, and model data created from 3D object digitizing systems. There are several RP process like Stereolithography (SLA), Solid Ground Curing (SGC), Selective Laser Sintering (SLS), Fused Deposition Modeling (FDM), 3D Printing (3DP) among them SLS and FDM RP processes are used to fabricate pattern of custom cranial implant. RP technology is useful in engineering and biomedical application. This is helpful in engineering for product design, tooling and manufacture etc. RP biomedical applications are design and development of medical devices, instruments, prosthetics and implantation; it is also helpful in planning complex surgical operation. The traditional approach limits the full appreciation of various bony structure movements and therefore the custom implants produced are difficult to measure the anatomy of parts and analyze the changes in facial appearances accurately. Cranioplasty surgery is a surgical correction of a defect in cranial bone by implanting a metal or plastic replacement to restore the missing part. This paper aims to do a comparative study on the dimensional error of CAD and SLS RP Models for reconstruction of cranial defect by comparing the

virtual CAD with the physical RP model of a cranial defect.

Rupinder Singh, « Metallurgical Affects of Three Dimensional Printing Based Rapid Casting Solution », Materials Science Forum, octobre 2011.

Department of production engineering, GNDEC, Ludhiana, India.

Three dimensional printing (3DP) as rapid casting (RC) solutions has transformed over centuries from black art to science, but the metallurgical impinge on the process responsible for change in mechanical properties (like: surface finish, hardness, dimensional stability etc.) are still disputed. The purpose of the present research paper is to review metallurgical affect of 3DP based RC solution. The result of study suggests that prominent reason found to be responsible for improving the mechanical properties of RC is control of heat transfer rate while solidification (thus reducing dendrite formation).

Alem Baraki, Kiran Bhole, Prasanna Gandhi, « Novel large-range, high-resolution 3D printing of microcomponents using dSPACE », dSPACE User Conference 2010 – India, 24 septembre 2010.

Department of Mechanical Engineering, IIT Bombay.

Microstereolithography is novel 3D micro-fabrication technique capable of producing complex high-resolution microstructures in layer-by-layer fashion. To achieve fabrication, it is crucial to have efficient slicing, scan path generating algorithm and data transfer scheme to control the scanning mechanism and laser spot. The type and capability of interfacing system is essential ingredient in the fabrication process. In this work slicing and scan path generating algorithms are developed along with data transfer scheme with an aim of fabricating large-range high-resolution components. dSPACE is used as real time interfacing unit to link developed algorithms with the machine hardware. Simulink model is constructed to represent data flow and data conversion in to serial compatible form and then back to double data type. Developed model is integrated with the main Simulink model constructed to control the scanning system. By building the overall integrated Simulink model, C code is generated to load the required task to DS1104 microcontroller. Laser path data for each of the layers of desired model is generated and converted in to serial compatible form in MATLAB and is directly sent to dSPACE DS1104 microcontroller serially. Scan path data is then dispatched to respective lines through dSPACE D/A interfacing board to control the optomechatronic scanning system. The flexibility of dSPACE has greatly helped to send data directly from computer through MATLAB thereby allowing large output buffer. Combining the potential of developed path generating algorithm and dSPACE serial data transfer scheme, memory limitation is alleviated and hence large components are successfully fabricated at high resolution.

Anoop Kumar Sood (1), R.K. Ohdar (1), S.S. Mahapatra (2), « Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts », Elsevier, Materials & Design Volume 31, Issue 1, janvier 2010.

(1) Department of Manufacturing Engineering, National Institute of Foundry and Forge Technology, Ranchi 834 003, India.

(2) Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Rourkela 769008, India.

Fused deposition modelling (FDM) is a fast growing rapid prototyping (RP) technology due to its ability to build functional parts having complex geometrical shape in reasonable time period. The quality of built parts depends on many process variables. In this study, five important process parameters such as layer thickness, orientation, raster angle, raster width and air gap are considered. Their influence on three responses such as tensile, flexural and impact strength of test specimen is studied. Experiments are conducted based on central composite design (CCD) in order to reduce experimental runs. Empirical models relating response and process parameters are developed. The validity of the models is tested using analysis of variance (ANOVA). Response surface plots for each response is analysed and optimal parameter setting for each response is determined. The major reason for weak strength may be attributed to distortion within or between the layers. Finally, concept of desirability function is used for maximizing all responses simultaneously.

R. Singh, « Process Capability Study Of Rapid Casting Solution For Aluminium Alloys Using Three-Dimensional Printin », International Journal of Automotive and Mechanical Engineering (IJAME), 2011.

Faculty of Production Engineering Guru Nanak Dev Engg. College Ludhiana-141006, India.

In the present work best shell wall thickness of mould cavity has been investigated for process capability study of rapid casting solution for aluminum alloys using three dimensional printing (3DP). Starting from the

identification of component/ benchmark, aluminum-alloy casting prototype was produced at different shell wall thickness with three dimensional printing. The results of the study suggests that at best shell wall thickness (5mm) for aluminum alloys, rapid casting solution using 3DP process lies in  $\pm 3.999$

Tarsem Lal, Rupinder Singh, « Study the effect of moulding sand properties for reducing shell wall thickness in zinc casting using three-dimensional printing », *International Journal of Rapid Manufacturing*, 31 octobre 2011.

Department of Production Engineering, GNDEC, Ludhiana, Punjab, India.

This paper aims to study the feasibility of reducing shell wall thickness of zinc (Zn) shell casting using three-dimensional printing. Experimentation started from the design of benchmark, printing of shells at different thicknesses, followed by supporting the shells with dry, green and molasses sands. Prototypes of Zn were produced at different shell thicknesses of moulds cavities. Cooling curves were drawn to explore the cooling rate/solidification rate of molten Zn metal in hybrid shells of different thicknesses. The dimensional accuracy of castings produced was measured with coordinate measuring machine and some mechanical properties of castings were also tested to observe the effects of sand properties over the prototypes produced, when casted with shells of different thicknesses from 12 to 1 mm. It has been observed that it is feasible to reduce shell wall thickness recommended from 12 to 1 mm. While comparing hardness of the specimens produced, it was observed that the hybrid casted component with green sand shows more hardness in comparison to components casted with dry and molasses sand. Results also indicate that hybrid casted prototype with green sand at 3 mm shell thickness shows better dimensional accuracy and mechanical properties.

R. Singh, J.P. Singh, « Study of statistically control rapid casting solution of aluminium alloys using three dimensional printing », *International Journal of Precision Technology*, 19 janvier 2011.

Department of Production Engineering, GNDEC, Ludhiana, India.

The purpose of the present investigations is to study the feasibility of decreasing the shell wall thickness of mould cavity for economical and statistically controlled rapid casting solution of aluminium alloy using three dimension printing technology. Starting from the identification of component/benchmark, technological prototypes were produced at different shell wall thickness of mould cavity. Measurements on a coordinate measuring machine helped in calculating the dimensional tolerances of the castings produced. Some important mechanical properties were also compared to verify the suitability of the castings. The study suggested that the shell wall thickness, having value less than the recommended one is more suitable from dimensional accuracy and economic point of view. The result indicates that for the selected component/benchmark, at best set shell wall thickness (5 mm) of mould cavity, strong possibilities are observed for the process under statistical control in case of aluminium alloy.

Rupinder Singh, « Effect of moulding sand on statistically controlled hybrid rapid casting solution for zinc alloys », *Journal of Mechanical Science and Technology*, 26 avril 2010.

Department of production engineering, GNDEC, Ludhiana, India.

The purpose of the present investigations is to study the effect of moulding sand on decreasing shell wall thickness of mould cavities for economical and statistically controlled hybrid rapid casting solutions (combination of three dimensional printing and conventional sand casting) for zinc alloys. Starting from the identification of component/ benchmark, technological prototypes were produced at different shell wall thicknesses supported by three different types of sands (namely: dry, green and molasses). Prototypes prepared by the proposed process are for assembly check purpose and not for functional validation of the parts. The study suggested that a shell wall with a less than recommended thickness (12mm) is more suitable for dimensional accuracy. The best dimensional accuracy was obtained at 3mm shell wall thickness with green sand. The process was found to be under statistical control.

Pulak M. Pandey, « On the Rapid Prototyping Technologies and Applications in Product Design and Manufacturing », *Materials Science Forum*, janvier 2012.

Indian institute of technology, Delhi, India.

Material removal, forming, casting and joining are the established manufacturing approaches and processes based on these approaches are being practiced even in modern industries with appropriate automation. Layer by layer material deposition method to produce prototypes from a solid model is relatively new and was developed during last 10-15 years of 20th century. These processes were named as Rapid Prototyping (RP) or Solid Freeform Fabrication (SFF). Today there are many commercial RP system and most of these able to deposit

liquid or solid/powder polymer based materials. Some systems are also able to deposit blends of polymer and metal or ceramic. Latest trend in this area is to deposit metals or alloys with variable composition and hence to produce functionally graded material. This paper describes in general the details related to RP processes, data preparation, and various commercial RP technologies. The article also discusses applications these processes.

Ingole Dilip; Kuthe Abhaykumar; Deshmukh Tushar; Bansod Satish, « Coding system for rapid prototyping industry », Rapid Prototyping Journal, Volume 14, Number 4, 2008

Tushar Deshmukh and Satish Bansod Ram Meghe Institute of Technology & Research, Amravati, India.

Purpose - The purpose of this paper is to illustrate the classification and coding system developed for the rapid prototyping (RP) industry. Design/methodology/approach - The similarities among RP part geometries and processes are identified and related for the development of rapid prototyping coding system (RPCS). Findings - RPCS forms a base for developing "prototyping philosophy" to take advantage of parts similarities in determination of optimal build orientation and optimization of part building cost. Research limitations/implications - Most of the examples are limited to parts built by fused deposition modelling process. But, the concept is applicable to any existing RP process. Practical implications - RPCS implementation is suitable in industries where variety of RP parts are in use. Originality/value - This is the first attempt towards development of a formal coding system for the RP industry.



## **Annexe 4 : liste des organismes publics et des publications russes**

### **Liste des organismes publics russes ayant une activité en imprimante 3D**

#### **Baikov Institute of Metallurgy and Materials Technology (IMET)**

**Activité :** fondé en 1938, spécialisé en chimie, physique, poudre de matériaux extratins et technologie de métallurgie des métaux ferreux et non ferreux. Il a participé à des projets de l'ISTC sur des poudres nanostructurés. L'Institut a de nombreux liens scientifiques avec des centres de recherche et les entreprises aux États-Unis, Allemagne, Pays-Bas, Japon, Chine, Corée et d'autres pays.

**Adresse :** 49, Leninskiy prospect, Moscow, 119991, Russia.

#### **Publications :**

- M. A. Goldberg (1), V. V. Smirnov (1), S. M. Barinov (1), E. N. Antonov (2), V. N. Bagratashvili (2), A. S. Fomin (1), N. V. Petrakova (1), A. Yu. Fedotov (1), D. D. Titov (1), « Thermochemical gypsum conversion forming calcium phosphates », *Inorganic Materials: Applied Research*, juillet 2013.  
(1) Baikov Institute of Metallurgy and Materials Technology, RAS, Moscow, Russia.  
(2) Institute of Laser and Information Technology Problems, RAS, Moscow, Russia.  
Analyse de la composition de la poudre de gypse commercialisée par Z Corporation.
- V. V. Smirnov (1), A. Yu. Fedotov (1), E. N. Antonov (2), V. N. Bagratashvili (2), S. M. Barinov (1), M. A. Gol'dberg (1), O. S. Antonova (1), N. V. Petrakova (1), « Ceramic calcium phosphate materials obtained by technology adapted to three-dimensional printing on inkjet printer », *Inorganic Materials: Applied Research*, juillet 2013.  
(1) Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science, RAS, Moscow, Russia.  
(2) Institute of Laser and Information Technologies, RAS, Shatura, Moscow, Russia.  
Formation de phosphate de calcium pour des implants céramiques (inkjet printer).

#### **Institute of Structural Macrokinetics and Materials Science (ISMAN)**

**Activité :** fondé en 1987, il est spécialisé en études sur la cinétique des réactions chimiques macroscopiques. La R&D à ISMAN se passe le long des lignes suivantes :

- modèles théoriques de structurelles macrocinétiques
- nouveaux catalyseurs et catalyse hétérogène
- de nouveaux systèmes de chimie de la combustion
- impact des influences externes sur SHS (Synthèse Haute Température)
- SHS dans les systèmes multi-composants
- Production de poudres SHS, les matériaux et objets
- revêtements SHS
- SHS joindre
- la science des matériaux des produits SHS

**Adresse :** Osipyan str., 8, Chernogolovka, Moscow Region, 142432, Russia.

#### **Publication :**

- Igor Vladimirovich Shishkovsky (1)(2), Angela Vladimirovna Bulanova (2), Yuri Georgievich Morozov (3), « Porous Polycarbonate Membranes with Ni and Cu Nano Catalytic Additives Fabricated by Selective Laser Sintering », Journal of Materials Science and Engineering B 2, 25 décembre 2012.

(1) P.N. Lebedev Physics Institute of RAS, Samara branch, Novo-Sadovaja, Samara, Russia.

(2) Samara State University, Chemical Department, ak. Pavlova st.1, Samara, Russia.

(3) ISMAN, RAS, Chernogolovka, Russia.

Fabrication de piles à combustible et stockage d'hydrogène par SLS. Etude sur l'influence de paramètres laser, compositions en poudre métal-polymère et la taille de fraction d'inclusions de nanoparticules métalliques.

### **Lomonosov Moscow State University (MSU)**

**Activité** : créée en 1755, priorités de recherche en sciences et sciences humaines.

**Adresse** : GSP-1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia.

**Publication** :

- Evdokimov P., Putlayev V., Garshev A., Merzlov D., « Materials based on double calcium phosphates and alkaline metals  $\text{Ca}_{3-x}\text{M}_2\text{x}(\text{PO}_4)_2$  (M=Na,K) for biomedical applications obtained by the 3D-printing technology », phantomsnet.net.

Department of Materials Science et Department of Chemistry, MSU, Moscow, Russia.  
Matériaux à base de phosphates de calcium et de métaux alcalins pour des imprimantes 3D dans le secteur biomédicale.

### **National University of Science and Technology (MISiS)**

**Activité** : créée en 1930. Spécialisée en métallurgie et en science des matériaux, elle a pris de nouvelles orientations vers les nanotechnologies, la biotechnologie, les technologies de l'information et des télécommunications, du développement durable et de l'énergie.

**Adresse** : 119049, Moscow, Leninskiy prospekt 4.

**Publications** :

- V. Koltygin, V. E. Bazhenov, « Development of a substitute for Z cast molding sand used on installations of 3D printing for obtaining aluminum, magnesium, and iron casting », Russian journal on non-ferrous metals, 2012.

MISiS, Leninskii, Moscow, Russia.

Développement d'un substitut de poudre de sable de la machine Z Corporation (États-Unis) pour fabriquer des moules afin de couler des pièces métalliques (aluminium, le magnésium et fer).

- V. V. Drokina, V. D. Belov, S. N. Chekhonin, « Obtaining casts of aluminum alloys by foundry in loose molds fabricated on installations of three-dimensional printing », Russian Journal of Non-Ferrous Metals, février 2011.

Moscow Institute of Steel and Alloys, National MISiS, Leninskii, Moscow, Russia.

L'étude a montré que le prototypage rapide des modèles et des moules en sable avec une machine Z Corporation peut être utilisé efficacement en fonderie pour obtenir des moulages pour des alliages d'aluminium.

### **Samara State University (SSU)**



**Activité :** fondée en 1918. L'université a récemment ouvert un département d'histoire et de philologie, de médecine, de physique et mathématiques et d'agriculture.

**Adresse :** 443011, Samara Ak. Pavlova st.

**Publication :**

- Igor Vladimirovich Shishkovsky (1)(2), Angela Vladimirovna Bulanova (2), Yuri Georgievich Morozov (3), « Porous Polycarbonate Membranes with Ni and Cu Nano Catalytic Additives Fabricated by Selective Laser Sintering », Journal of Materials Science and Engineering B 2, 25 décembre 2012.

(1) P.N. Lebedev Physics Institute of RAS, Samara branch, Novo-Sadovaja, Samara, Russia.

(2) Samara State University, Chemical Department, ak. Pavlova st.1, Samara, Russia.

(3) Institute of Structural Macrokinetics and Materials Science (ISMAN), RAS, Chernogolovka, Russia.

Fabrication de piles à combustible et stockage d'hydrogène par SLS. Etude sur l'influence de paramètres laser, compositions en poudre métal-polymère et la taille de fraction de inclusions de nanoparticules métalliques.

## Liste des organismes publics russes ayant une coopération internationale sur le sujet des imprimantes 3D

### Lebedev Physics Institute (LPI)

**Activité :** fondé en 1714, son programme scientifique couvre presque tous les grands domaines de la physique.

**Adresse :** 53 Leninskij Prospekt, 119991, Moscow, Russia.

#### Publications :

- Shishkovsky (1)(2), I. Yadroitsev (2), I. Smurov (2), « Direct Selective Laser Melting of Nitinol Powder », Elsevier, Physics Procedia, Laser Assisted Net shape Engineering, 2012.

(1) Université de Lyon, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint-Etienne (ENISE), DIPI laboratory, 58 rue Jean Parot, 42023 Saint-Étienne Cedex 2, France.

(2) Lebedev Physics Institute (LPI) of RAS, Samara branch, Novo-Sadovaja st. 221, 443011 Samara, Russia.

Pièces 3D en nitinol (nickel titane, métal très élastique) par DSLM pour des applications médicales.

- Igor Shishkovsky (1)(2), Floran Missemmer (1), Nina Kakovkina (2), Igor Smurov (1), « Intermetallics Synthesis in the Fe–Al System via Layer by Layer 3D Laser Cladding », Crystals 2013.

(1) Diagnostics and Imaging of Industrial Processes (DIPI) Laboratory, Ecole Nationale d'Ingenieurs de Saint Etienne (ENISE), Université de Lyon, Saint-Étienne 42023, France.

(2) Lebedev Physical Institute of RAS, Samara branch, Samara 443011, Russia.

Modifier le rapport de concentration Fe-Al dans le mélange de poudre lors d'une DMD of *functional graded structures* (FGS) pour des applications dans l'aérospatial et l'industrie nucléaire. Les poudres utilisées proviennent de TLS Technik GmbH & Co., Bitterfeld (Allemagne) et de Products Inc., Bettendorf, IA, USA.

- V. Shishkovsky, « Simulation of thermomechanical and electrothermal hysteresis phenomena in porous nickel titanium », Springlink, Technical Physics, février 2014.

Lebedev Physical Institute, Samara Branch, RAS Samara, 443011, Russia.

Fabrication par LENS d'une matrice bio-microfluidique poreuse à base de titane de nickel pour des applications en délivrance de médicament.

- Igor Vladimirovich Shishkovsky (1)(2), Angela Vladimirovna Bulanova (2), Yuri Georgievich Morozov (3), « Porous Polycarbonate Membranes with Ni and Cu Nano Catalytic Additives Fabricated by Selective Laser Sintering », Journal of Materials Science and Engineering B 2, 25 décembre 2012.

(1) P.N. Lebedev Physics Insitute of RAS, Samara branch, Novo-Sadovaja, Samara, Russia.

(2) Samara State University, Chemical Department, ak. Pavlova st.1, Samara, Russia.

(3) Institute of Structural Macrokinetics and Materials Science (ISMAN), RAS, Chernogolovka, Russia.

Fabrication de piles à combustible et stockage d'hydrogène par SLS. Etude sur l'influence de paramètres laser, compositions en poudre métal-polymère et la taille de fraction de inclusions de nanoparticules métalliques.

### **Moscow State Technological University Stankin (MSTU)**

**Activité :** fondé en 1930, elle s'organise autour de trois facultés : faculté de technologie du génie et de l'équipement (MTO), faculté de technologie de l'information et des systèmes de gestion (ITS) et faculté des sciences économiques et de gestion (FEM). Elle a des relations internationales avec des universités et des entreprises d'Autriche, du Brésil, d'Hongrie, d'Italie, de Chine, des États-Unis, de Corée du Sud et d'autres pays.

**Adresse :** 127994, Moscou, voie Vadkovsky, 1.

**Effectif :** plus de 600 professeurs et scientifiques.

#### **Publications :**

- Sova (1), S. Grigoriev (2), A. Okunkova (2), I. Smurov (1), « Potential of cold gas dynamic spray as additive manufacturing technology », Springlink, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, décembre 2013.

(1) National Engineering School of Saint-Etienne, DIPI Laboratory, University of Lyon, Saint-Etienne, France.

(2) MSTU Stankin, Moscow, Russia.

Projection à froid et dépôt multimatériaux (nanocristalline, titane, cuivre) comme technique d'impression 3D.

- Yadroitsev (1), Ph. Bertrand (1), G. Antonenkova (2), S. Grigoriev (2), I. Smurov (1), « Use of track/layer morphology to develop functional parts by selective laser melting », AIP Journal of laser applications, juin 2014.

(1) Université de Lyon, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint-Etienne (ENISE), DIPI Laboratory, 58 rue Jean Parot, 42023 Saint-Etienne Cedex 2, France.

(2) MSTU "STANKIN"; Vadkovsky Moscow, Russia.

Dans cette étude, les effets des paramètres du laser d'une SLM, tels que la distance de la trappe, l'épaisseur de la couche, la puissance du laser, la vitesse de balayage sur la morphologie de surface et sa texture sont analysées.

- A.V. Gusarov (1), I.S. Malakhova-Ziablova (1), M.D. Pavlov (2), « Thermoelastic Residual Stresses and Deformations at Laser Treatment », Elsevier, Physics Procedia, Lasers in Manufacturing, 2013.

(1) Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint-Etienne, Saint-Etienne, France.

(2) MSTU "STANKIN", Vadkovsky, Moscow, Russia.

Prédire la stabilité thermomécanique des matériaux, tels que les alliages métalliques, à un traitement au laser.

### **National Research University of Electronic Technology (MIET)**

**Activité :** spécialisée en microélectronique, nanotechnologies dans l'électronique, information et les technologies des télécommunications ainsi qu'en sciences fondamentales.

**Adresse :** Bld. 5, Pas. 4806, Zelenograd, Moscow, Russia, 124498.

#### **Publication :**

- R. A. Rezende (1), S. V. Selishchev (2), V. A. Kasyanov (3), J. V. L. da Silva (1), V. A. Mironov (1)(2), « An Organ Biofabrication Line: Enabling Technology for Organ Printing. Part I: from Biocad to Biofabricators of Spheroids », Springlink, Biomedical Engineering, septembre 2013.

(1) Renato Archer Information Technology Center CTI, Campinas, Brazil.

(2) National Research University of Electronic Technology, Moscow, Russia.

(3) Riga Stradins University, Riga, Latvia.

L'impression d'organe (état de l'art).

### **Siberian State Aerospace University (SibSAU)**

**Activité :** fondé en 1960, spécialisés dans les hautes technologies pour les fusées et l'espace ainsi que les sciences informatiques, la nanotechnologie; le commerce international, les finances, la gestion et les sciences humaines. Il entretient des relations de collaboration avec plus de 50 universités dans 25 pays dont l'Allemagne, la France, la République tchèque, la Slovaquie, les États-Unis, la Chine, etc.

**Adresse :** 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, Russia.

#### **Publications :**

- E.V. Morozov (1), A.V. Lopatin (2), « Design and analysis of the composite lattice frame of a spacecraft solar array », Elsevier, Composite Structures, juin 2011.

(1) School of Engineering and Information Technology, University of New South Wales at the Australian Defence Force Academy, Canberra, Australia.

(2) Department of Aerospace Engineering, Siberian State Aerospace University, Krasnoyarsk, Russia.

Cadre du réseau composite d'un panneau solaire d'une machine spatiale (fabrication de connecteur métallique possible par impression 3D).

- Vladimir Gantovnik (1), Santosh Tiwari (1), Georges Fadel (1), Alexander Lopatin (2), « Multi-Objective Optimization of Heterogeneous Non-Uniform Flywheel », Structural Dynamics, and material conference 23-26 avril 2007.

(1) Department of Mechanical Engineering, Clemson University, USA.

(2) Department of Aerospace Engineering, SibSAU, Krasnoyarsk, Russia.

Utilisation de la technique LENS avec plusieurs matériaux pour des applications dans l'aérospatiale, le biomédical ou l'électronique.

### **The Institute on Laser and Information Technologies of the Russian Academy of Sciences (ILIT)**

**Activité :** Créé en 1978, Scientific Research Center for Technological Lasers of the Russian Academy of Sciences v NICTL RAN jusqu'en 1998. Cet institut public fait partie du Department of Information Technologies and Computation Systems of the Russian Academy of Sciences. Il est l'un des principaux organismes nationaux qui produisent des lasers CO<sub>2</sub> de haute puissance. L'institut collabore avec les principales universités, centres de recherche et les entreprises Russe, Ukrainienne, Biélorussie, Américaine, Japonnaise, Allemande, Anglaise, Polonoise, Bulgare, Grèque, Italienne, Indienne et Chinoise.

**Adresse :** 1 Svyatoozerskaya St., 140700 Shatura, Moscow Region, Russia.

**Effectif :** 270 employés.

#### **Publications :**

- M. A. Goldberg (1), V. V. Smirnov (1), S. M. Barinov (1), E. N. Antonov (2), V. N. Bagratashvili (2), A. S. Fomin (1), N. V. Petrakova (1), A. Yu. Fedotov (1), D. D. Titov (1), « Thermochemical gypsum conversion forming calcium phosphates », Inorganic Materials: Applied Research, juillet 2013.

(1) Baikov Institute of Metallurgy and Materials Technology, RAS, Moscow, Russia.

(2) Institute of Laser and Information Technology Problems, RAS, Moscow, Russia.

Analyse de la composition de la poudre de gypse commercialisée par Z Corporation.

- V. V. Smirnov (1), A. Yu. Fedotov (1), E. N. Antonov (2), V. N. Bagratashvili (2), S. M. Barinov (1), M. A. Gol'dberg (1), O. S. Antonova (1), N. V. Petrakova (1), « Ceramic calcium phosphate materials obtained by technology adapted to three-

dimensional printing on inkjet printer », *Inorganic Materials: Applied Research*, juillet 2013.

(1) Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

(2) Institute of Laser and Information Technologies, RAS, Shatura, Moscow, Russia.

Formation de phosphate de calcium pour des implants céramiques.

- E. N. Antonov (1), V. N. Bagratashvili (1), S. M. Howdle (2), A. N. Konovalov (1), V. K. Popov (1), V. Ya. Panchenko (1), « Fabrication of polymer scaffolds for tissue engineering using surface selective laser sintering », *Laser Physics*, mai 2006.

(1) Institute on Laser and Information Technologies, RAS, Russia

(2) School of Chemistry, University of Nottingham, Nottingham, NG7 2RD, UK.

Fabrication d'implants en polymère avec des protéines incorporées par SLS.

- E. N. Antonov(1), V. N. Bagratashvili (1), M. J. Whitaker (2), J. J. A. Barry (2), K. M. Shakesheff (2), A. N. Konovalov (1), V. K. Popov (2), S. M. Howdle (2), « Three-Dimensional Bioactive and Biodegradable Scaffolds Fabricated by Surface-Selective Laser Sintering », *Advanced Materials*, 20 décembre 2004.

(1) Institute of Laser and Information Technologies, RAS, Moscow Region, Russia.

(2) School of Pharmacy et School of Chemistry, University of Nottingham, UK.

SLS avec poudre de polymère bio-intégrés.

## **The National Research Nuclear University (MEPhI) (Moscow Engineering Physics Institute)**

**Activité :** fondé en 1942 comme institut de mécanique de munitions. Sa mission initiale était de former un personnel qualifié pour les programmes atomiques militaire soviétique. MEPhI comprend cinq départements principaux (facultés):

- Physique expérimentale et théorique
- Physique et de Technologie
- Cybernétique et sécurité de l'information
- L'automatisation et l'électronique
- Gestion de haute technologie et d'économie

**Effectif :** de nombreux professeurs qui enseignent dans MEPhI sont officiellement sur le personnel des instituts comme Institut Kourchatov. Les travaux de recherche des étudiants est généralement réalisée à l'extérieur de MEPhI, et les résultats de recherche publiés ne mentionnent pas MEPhI.

**Adresse :** 115409, Moscou, Kashirskoe.

**Publication :**

- Alexander Pasko (1), Valery Adzhiev (1), Evgeniya Malikova (2), Victor Pilyugin (2), « Advancing Creative Visual Thinking with Constructive Function-based Modelling », *Journal of Information Technology Education: Volume 12*, 2013.

(1) The National Centre for Computer Animation, Bournemouth University, UK.

(2) The National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia

Etat de l'art.

## Liste des publications russes

La recherche a été effectuée sur Google Scholar avec pour mots clefs « additive manufacturing Russia » et « 3D printing Russia ».

M. A. Goldberg (1), V. V. Smirnov (1), S. M. Barinov (1), E. N. Antonov (2), V. N. Bagratashvili (2), A. S. Fomin (1), N. V. Petrakova (1), A. Yu. Fedotov (1), D. D. Titov (1), « Thermochemical gypsum conversion forming calcium phosphates », *Inorganic Materials: Applied Research*, juillet 2013.

(1) Baikov Institute of Metallurgy and Materials Technology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

(2) Institute of Laser and Information Technology Problems, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

A study was carried out on effect of the conditions of physicochemical conversion of a porous gypsum intermediate product to calcium phosphates. Depending on the initial conditions of sample preparation, the materials around hydroxyapatite and dicalcium phosphate were obtained. The conducted thermal analysis and dilatometric studies made it possible to propose the conditions of thermal treatment preventing shrinkage and deformation of samples. After thermal treatment at 1000°C, fine crystalline porous materials were obtained with crystal size between 0.5 and 2 µm and pore size up to 50 µm on the basis of β-tricalcium phosphate with strength up to 2.8 MPa. The developed pore structure and fairly high strength make it possible to use the developed materials based on tricalcium phosphate to obtain biomaterials for the replacement of defects in bone tissue.

V. V. Smirnov (1), A. Yu. Fedotov (1), E. N. Antonov (2), V. N. Bagratashvili (2), S. M. Barinov (1), M. A. Gol'dberg (1), O. S. Antonova (1), N. V. Petrakova (1), « Ceramic calcium phosphate materials obtained by technology adapted to three-dimensional printing on inkjet printer », *Inorganic Materials: Applied Research*, juillet 2013.

(1) Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

(2) Institute of Laser and Information Technologies, Russian Academy of Sciences, Shatura, Moscow oblast, Russia.

The formation of microstructure and the mechanical properties of medical application ceramic materials obtained by technology adapted to three-dimensional printing on an inkjet printer are investigated. The technology is based on the preparation of a calcium phosphate powder containing a uniformly distributed organic additive that glues together powders upon interaction with a solvent. The obtained raw intermediate product is burned to obtain a ceramic. Powders containing 10 wt % polyvinyl butyral whose solvent is ethanol had the best characteristics (powder friability, compression strength of raw product, and time of hardening after interaction with solvent).

E. N. Antonov (1), V. N. Bagratashvili (1), S. M. Howdle (2), A. N. Konovalov (1), V. K. Popov (1), V. Ya. Panchenko (1), « Fabrication of polymer scaffolds for tissue engineering using surface selective laser sintering », *Laser Physics*, mai 2006.

(1) Institute on Laser and Information Technologies, Russian Academy of Sciences, Pionerskaya ul. 2, Troitsk, Moscow oblast, 142190, Russia

(2) School of Chemistry, University of Nottingham, Nottingham, NG7 2RD, UK.

A new approach to the fabrication of individual implants and scaffolds for tissue engineering—surface selective laser sintering (SSLS)—is proposed and realized. In contrast to the conventional selective laser sintering, the SSLS method makes it possible to sinter polymer microparticles and melt the near-surface layer rather than the microparticle as a whole. The effect of the laser radiation parameters and the structure and composition of the raw products on the structure and properties of the biomaterials sintered by the laser radiation is analyzed. This approach makes possible both the application of thermally unstable polymers (e.g., polylactides or polylactoglycolides) and the fabrication of scaffolds with incorporated bioactive proteins. The results obtained yield a regular physical basis for a new technology of the fabrication of various polymer scaffolds that represent important materials and elements of modern tissue engineering. The flexibility of the SSLS method is especially



important at the stage of investigation of the cell and tissue responses needed for the optimization of the material for a specific application in tissue engineering.

Alexander Pasko (1), Valery Adzhiev (1), Evgeniya Malikova (2), Victor Pilyugin (2), « Advancing Creative Visual Thinking with Constructive Function-based Modelling », Journal of Information Technology Education: Volume 12, 2013.

(1) The National Centre for Computer Animation, Bournemouth University, UK.

(2) The National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia  
Etat de l'art.

E. N. Antonov(1), V. N. Bagratashvili (1), M. J. Whitaker (2), J. J. A. Barry (2), K. M. Shakesheff (2), A. N. Kononov (1), V. K. Popov (2), S. M. Howdle (2), « Three-Dimensional Bioactive and Biodegradable Scaffolds Fabricated by Surface-Selective Laser Sintering », Advanced Materials, 20 decembre 2004.

(1) Institute of Laser and Information Technologies, RAS, Pionerskaya 2, Troitsk, Moscow Region, Russia

(2) School of Pharmacy et School of Chemistry, University of Nottingham, NG7 2RD, UK.

Surface-selective laser sintering (SSLS) has been developed for fabrication of three-dimensional polymer composite scaffolds with precise dimensions and intricate structure (see Figure), which are bioactive and biodegradable. SSLS allows sintering of polymer powders by melting only the surface layers of particles, which prevents overheating of internal domains, allowing incorporation of bioactive molecules into the structures.

A. V. Koltygin, V. E. Bazhenov, « Development of a substitute for Z cast molding sand used on installations of 3D printing for obtaining aluminum, magnesium, and iron casting », Russian journal on non-ferrous metals, 2012.

National University of Science and Technology "MISiS," Leninskii pr. 4, Moscow, Russia.

The goal of this work was to develop substitutes for the ZCast molding sand for production molds and rods by 3D printing in Z Corporation installations (United States). The composition of a substitute for the ZCast 501 powder with the application of the gypsum binder and the composition of a substitute for the Zb56 proprietary binder were developed. They do not copy the composition of proprietary consumables, but they ensure the acquisition of molds similar in quality. Using these molds, casts were fabricated from magnesium and aluminum alloys and the possibility to obtain casts from copper alloys and cast iron was shown.

Evdokimov P., Putlayev V., Garshev A., Merzlov D., « Materials based on double calcium phosphates and alkaline metals  $\text{Ca}_3\text{-xM}_2\text{x}(\text{PO}_4)_2$  (M=Na,K) for biomedical applications obtained by the 3D-printing technology », phantomsnet.net.

Department of Materials Science et Department of Chemistry, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.

Bioceramics as bone grafts have to demonstrate special biological properties, such as gradual dissolution in liquid media of organism (resorption) and replacement by newly formed bone. Bone mineral has a composition very similar to  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  (hydroxyapatite-HA), but, additionally, contains several ionic substitutions [1]. Since the resorption rate of HA is too low to induce massive bone growth, biphasic calcium phosphate ceramics, combinations of  $\square\square\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  (tricalcium phosphate) and HA, are commonly used as bioactive implants [2]. Another way to improve resorptivity of such materials is chemical modification of HA or  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , e.g. by Ca/M (=alkaline metal) substitution leading to formation of  $\text{CaMPO}_4$  compounds with rhenanite structure.

The main objective of this study was to create materials with defined 3D-structure and better resorption properties compared to HA. We have chosen double phosphates of calcium and alkaline metals  $\text{Ca}_3\text{-x}(\text{M})_2\text{x}(\text{PO}_4)_2$  ( $x=0\div 1$ , M=Na, K) with crystal structure of  $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  ( $x<0.15$ ) and  $\beta\text{-CaNaPO}_4$  ( $x=1$ ) as the components of ceramics and multiphase composites. The phase diagrams of the systems  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-CaNaPO}_4$  and  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-CaKPO}_4$  have been studied.

Phase diagram of  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-CaNaPO}_4$  was verified according to that one after Ando [3]. Phase «A» - a solid solution near the composition  $\text{Ca}_5\text{Na}_2(\text{PO}_4)_4$ , was considered as a superlattice of  $\text{CaNaPO}_4$  with doubled a lattice parameter and tripled c. It was determined that single-phase  $\text{CaNaPO}_4$  cannot be kept under cooling down at any rate, even by quenching, due to fast  $\text{CaNaPO}_4$  to  $\beta\text{-CaNaPO}_4$  transformation. This transformation accompanied by significant volume change can negatively affects the ceramics causing formation of cracks.

Also, kinetics of  $\alpha \leftrightarrow \beta$  transformation in pure  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  was explored, and critical cooling rate to produce single-phase  $\square\square\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  was determined. “Dangerous” temperature region in sense of the rapid transformation was found to be located near 800-900 °C.

Phase diagram of  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-CaKPO}_4$  system has been constructed for the first time. The main feature of it compared to the sodium system is an area of solid solution, called us by «B», at the vicinity of the composition with  $x=0.33$  considered as a superstructure of  $\square\square\text{CaKPO}_4$ . The solid solution «B» is transformed to apatite-like phase called us by «X» under cooling.

Solubility of the ceramic materials was investigated. The solubility of materials with high amount of high-temperature rhenanite phases is increased in comparison with materials based on  $\beta\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

To obtain three-dimensional structure Fused Deposition Modeling (FDM) was used. Form with a specified structure was prepared with FDM 3D-printer, after that ceramic with a given structure was prepared with negative replica technique.

V. V. Drokina, V. D. Belov, S. N. Chekhonin, « Obtaining casts of aluminum alloys by foundry in loose molds fabricated on installations of three-dimensional printing », Russian Journal of Non-Ferrous Metals, février 2011.

Moscow Institute of Steel and Alloys, National Research Technology University, Leninskii pr. 4, Moscow, 119049, Russia.

Three-dimensional printing is used more and more often at Russian enterprises in preparing the production of cast articles for fabricating models and casting molds. A ZPrinter 310 Plus and a ZCast molding sand are used at the Moscow Institute of Steel and Alloys to obtain molds by this method in the production of pilot casts of aluminum and magnesium alloys. Because of the absence of reference data on the strength and heat-transfer properties of these mixtures, it is difficult to optimize the thickness of the mold wall during their design. In connection with this, the physical and production properties of the ZCast mixture were determined as applied to different conditions of formation of the mold wall before it was poured with the aluminum alloy. The results showed that the method of rapid prototyping the models and molds can be effectively used in foundry for obtaining casts of aluminum alloys, especially at the stage of preparing the production of cast articles.

E.V. Morozov (1), A.V. Lopatin (2), « Design and analysis of the composite lattice frame of a spacecraft solar array », Elsevier, Composite Structures, juin 2011.

(1) School of Engineering and Information Technology, University of New South Wales at the Australian Defence Force Academy, Canberra, Australia.

(2) Department of Aerospace Engineering, Siberian State Aerospace University, Krasnoyarsk, Russia.

A novel design of the composite structural lattice frame for the spacecraft solar arrays is presented in the paper. The frame is composed of two flat lattice composite plates assembled into the three-dimensional panel using frame-like connectors. Design, fabrication, modelling and modal analysis of the panel solar arrays based on the proposed technology are discussed. The lattice panels are modelled as three-dimensional frame structures composed of beam elements subjected to the tension/compression, bending and torsion using the specialised finite-element model generator/design modeller. Results of the calculations of the frequencies and vibration forms for the lattice panels with various types of supports imitating the ways the panels can be attached to the spacecraft body, deployment must, and adjacent solar panels are presented and discussed. The lattice frame design for maximum fundamental frequency is performed subject to constraints imposed on the geometrical parameters of the solar panel.

I. Shishkovsky (1)(2), I. Yadroitsev (2), I. Smurov (2), « Direct Selective Laser Melting of Nitinol Powder », Elsevier, Physics Procedia, Laser Assisted Net shape Engineering, 2012.

(1) Université de Lyon, Ecole Nationale d’Ingénieurs de Saint-Etienne (ENISE), DIPI laboratory, 58 rue Jean Parot, 42023 Saint-Étienne Cedex 2, France.

(2) Lebedev Physics Institute (LPI) of Russian Academy of Sciences, Samara branch, Novo-Sadovaja st. 221, 443011 Samara, Russia.

Conditions of a layer-by-layer synthesis of 3D parts made of nitinol by a Selective Laser Melting (SLM) are studied. Full-density 3D parts from nitinol are manufactured by the SLM with preheating up to 500 °C. The effect of different laser parameters on the structure and an intermetallic phase composition of the melted samples is analyzed by the methods of optical metallography, microhardness measurement, SEM, X-ray and EDX analysis. Optimal SLM conditions for NiTi sample’s fabrication and eventual biomedical applications are discussed.

A. Sova (1), S. Grigoriev (2), A. Okunkova (2), I. Smurov (1), « Potential of cold gas dynamic spray as additive manufacturing technology », Springlink, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, décembre 2013.

(1) National Engineering School of Saint-Etienne, DIPI Laboratory, University of Lyon, Saint-Etienne, France.

(2) MSTU Stankin, Moscow, Russia.

In this paper, the application of cold spray (CS) coating deposition technology as additive manufacturing technique is discussed. Absence of material melting during CS deposition permits to obtain deposits with low value of residual stresses and to preserve the phase composition of source material which is a very important advantage. In this paper, the latest developments in the field of cold spray such as micronozzle device and new multimaterial deposition approach permitting to significantly enlarge the potential of cold spray as additive manufacturing technology is discussed.

I. Yadroitsev (1), Ph. Bertrand (1), G. Antonenkova (2), S. Grigoriev (2), I. Smurov (1), « Use of track/layer morphology to develop functional parts by selective laser melting », AIP Journal of laser applications, juin 2014.

(1) Université de Lyon, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint-Etienne (ENISE), DIPI Laboratory, 58 rue Jean Parot, 42023 Saint-Etienne Cedex 2, France.

(2) Moscow State University of Technology "STANKIN"; Vadkovsky Moscow, Russia.

Selective laser melting (SLM) is a powder-based additive manufacturing capable to produce parts layer-by-layer from a 3D computer-aided design model. Currently, there is a growing interest in industry for applying this technology for generating objects with high geometrical complexity. To introduce SLM process into industry for manufacturing real components, excellent mechanical properties and high functionality of final product must be achieved. Properties of the manufactured parts depend strongly on each single laser-melted track and each single layer, as well as the strength of the connections between them. In this study, effects of the processing parameters such as hatch distance, layer thickness, laser power, scanning speed on surface morphology, and surface texturing are analyzed.

Igor Vladimirovich Shishkovsky (1)(2), Angela Vladimirovna Bulanova (2), Yuri Georgievich Morozov (3), « Porous Polycarbonate Membranes with Ni and Cu Nano Catalytic Additives Fabricated by Selective Laser Sintering », Journal of Materials Science and Engineering B 2, 25 décembre 2012.

(1) P.N. Lebedev Physics Institute of RAS, Samara branch, Novo-Sadovaja, Samara, Russia.

(2) Samara State University, Chemical Department, ak. Pavlova st.1, Samara, Russia.

(3) Institute of Structural Macrokinetics and Materials Science (ISMMS), RAS, Chernogolovka, Russia.

Optimal regimes of laser synthesis for three-dimensional porous catalytic membranes for fuel cells and hydrogen storage by SLS method were determined depending on the laser influence parameters, metal-polymer powder compositions and fraction size of metal nano inclusions. As a metallic filler agent the copper ~ 50 nm, 70-120 nm and the nickel 15-200 nm were used. SEM equipped energy dispersive x-ray microanalysis are indicated about of relative stability of nano inclusions after liquid-phase laser sintering of polycarbonate. In the comparison the catalytic characteristics of micro- and nano-copper were studied by the gas chromatography dates of benzene hydrogenation reaction. It was shown that reaction velocity increases up to 2.5 times. We have studied low temperature oxidation of carbon monoxide and propane on nickel nano powders differing in particle size and extent of oxidation. The nano nickel with optimized characteristics has been shown to have a marked catalytic effect on these processes for the fluidic NEMS application.

A.V. Gusarov (1), I.S. Malakhova-Ziablova (1), M.D. Pavlov (2), « Thermoelastic Residual Stresses and Deformations at Laser Treatment », Elsevier, Physics Procedia, Lasers in Manufacturing, 2013.

(1) Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint-Etienne, Saint-Etienne, France.

(2) MGTU "STANKIN", Vadkovsky pereulok 3a, 127055 Moscow, Russia.

A thermoelastic model implying relaxation of stresses at melting is applied for materials with arbitrary thermoelastic properties and the melting point. The range of Poisson's ratio 0.17 - 0.34 is numerically studied. The residual stresses are independent of the space scale. In narrow remelted zones and beads the maximum

longitudinal tensile stress is approximately twice as high as the transverse one. The calculations predict cracking of alumina, even with 1600 °C preheating, plastic deformation or cracking of hard metal alloys H13 and TA6 V, and no destruction of polystyrene and the strongest grades of quartz glass. The calculation results can be used for predicting the thermomechanical stability of materials at laser treatment.

Igor Shishkovsky (1)(2), Floran Missemer (1), Nina Kakovkina (2), Igor Smurov (1), « Intermetallics Synthesis in the Fe–Al System via Layer by Layer 3D Laser Cladding », Crystals 2013.

(1) Diagnostics and Imaging of Industrial Processes (DIPI) Laboratory, Ecole Nationale d'Ingenieurs de Saint Etienne (ENISE), Université de Lyon, Saint-Étienne 42023, France.

(2) Lebedev Physical Institute of Russian Academy of Sciences, Samara branch, Novosadovaja st. 221, Samara 443011, Russia.

Intermetallide phase formation was studied in a powdered Fe–Al system under layer by layer laser cladding with the aim of fabricating the gradient of properties by means of changing the Fe–Al concentration ratio in the powder mixture from layer to layer. The relationships between the laser cladding parameters and the intermetallic phase structures in the consecutively clad layers were determined. In order to study the structure formation an optical microscopy, X-ray diffraction analysis, measurement of microhardness, scanning electron microscopy (SEM) with energy dispersive X-ray (EDX) spectroscopy analysis were used after the laser synthesis of intermetallic compounds.

Vladimir Gantovnik (1), Santosh Tiwari (1), Georges Fadel (1), Alexander Lopatin (2), « Multi-Objective Optimization of Heterogeneous Non-Uniform Flywheel », Structural Dynamics, and material conference 23-26 avril 2007.

(1) Department of Mechanical Engineering, Clemson University, USA.

(2) Department of Aerospace Engineering, Siberian State Aerospace University, Krasnoyarsk, Russia.

R. A. Rezende (1), S. V. Selishchev (2), V. A. Kasyanov (3), J. V. L. da Silva (1), V. A. Mironov (1)(2), « An Organ Biofabrication Line: Enabling Technology for Organ Printing. Part I: from Biocad to Biofabricators of Spheroids », Springlink, Biomedical Engineering, septembre 2013.

(1) Renato Archer Information Technology Center CTI, Campinas, Brazil.

(2) National Research University of Electronic Technology, Moscow, Russia.

(3) Riga Stradins University, Riga, Latvia.

Organ printing is defined as a computer-aided layer-by-layer additive robotic biofabrication of functional human 3D tissue and organ constructs using self-assembling tissue spheroids as building blocks. During last decade organ printing has rapidly emerged as a potentially superior alternative to the classic solid scaffold-based approach in tissue engineering. It is becoming increasingly obvious that organ printing could not be reduced anymore to a simple one-step bioprinting process, and it rather represents an integrated complex of enabling technologies that can be arranged into an organ biofabrication line. The information technologies, such as computer-aided design, related software and mathematical models, and computer simulations are critically important integral technological components of organ printing technology that enable precision placement of tissue spheroids in 3D space according to a specially designed instructive “blueprint”.

I. V. Shishkovsky, « Simulation of thermomechanical and electrothermal hysteresis phenomena in porous nickel titanium », Springlink, Technical Physics, février 2014.

Lebedev Physical Institute, Samara Branch, RSA, Samara, 443011, Russia.

There is represented a general scheme of functioning and the corresponding model of a porous biomicrofluid matrix based on nickel titanium, which possesses a shape-memory effect, prepared by the method of selective laser sintering. The simulation of thermomechanical and electrothermal hysteresis phenomena composes the basis of the functioning of this MEMS. Such a model can be used for estimating the efficiency and controllability of drug delivery systems via the change in the volume of pores.

# **Annexe 5 : liste des organismes publics, des entreprises, des publications et des brevets singapouriens**

## **Liste des organismes publics ayant une activité en imprimante 3D**

### **Nanyang Polytechnic (NYP)**

**Activité :** créée en 1992, c'est une école des sciences de la santé, chimie, sciences de la vie, d'ingénierie, de technologie de l'information et d'administration des affaires. L'École de Interactive & Digital Media a été créée en Novembre 2006.

**Adresse :** 180 Ang Mo Kio Avenue 8 Singapore.

**Effectif :** 1300 employés.

**Publication :**

- David S.K. Wong, Hlwan Moe Zaw, Zhen Jun Tao, « Additive manufacturing teaching factory: driving applied learning to industry solutions », Virtual and Physical Prototyping, 2014.

School of Engineering, Nanyang Polytechnic, Singapore.

**Etat de l'art.**

### **Ngee Ann Polytechnic (NP)**

**Activité :** créée en 1963. L'école polytechnique est l'un des principaux établissements de Singapour d'enseignement supérieur, qui couvrent divers domaines allant de l'entreprise, les médias, les sciences humaines et les sciences sociales à l'informatique, l'ingénierie, les sciences de la vie et sciences de la santé.

**Adresse :** 535, Clementi Road, Singapore 599489.

**Effectif :** 1600 employés.

**Publication :**

- C.M. Cheah (1), C.K. Chua (1), C.W. Lee (1), C. Feng (1), K. Totong (2), « Rapid prototyping and tooling techniques: a review of applications for rapid investment casting », Springer Link The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2005.

(1) Systems and Engineering Management Division, School of Mechanical and Production Engineering, NTU, Singapore.

(2) Mechanical Engineering Division, Ngee Ann Polytechnic, Singapore.

**Etat-de l'art sur le moulage par coulé pour des pièces métalliques.**

## Liste des organismes publics ayant une coopération internationale sur le sujet des imprimantes 3D

### **Institute of Materials Research and Engineering (IMRE)**

**Activité :** créée en 1997, c'est un institut de recherche de l'Agence pour la Science, la Technologie et la Recherche (A \* STAR). Il travaille sur la technologie des capteurs et transducteurs, stockage de l'énergie, matériaux bio-inspirés, la plasmonique et hétérostructures semi-conductrices, les matériaux poreux avancés et nanocomposites. Il travaille aussi dans le prototypage pour l'industrie de la fonderie. Des programmes de R&D ont été établis en collaboration avec des partenaires industriels : les cellules solaires organiques, nanocomposites, des diodes organiques flexibles émettrices de lumière (OLED), de l'éclairage à l'état solide, nano-impression, la microfluidique et la prochaine génération de technologie d'interconnexion à l'échelle atomique.

**Adresse :** 3, Research Link Singapore 117602.

#### **Publications :**

- L.-R. Bao (1), X. Cheng (1), X. D. Huang (2), L. J. Guo (1), S. W. Pang (1), A. F. Yee (1), « Nanoimprinting over topography and multilayer three-dimensional printing », J. Vac. Sciences Technology B 20, 2002.  
(1) Department of Materials Science and Engineering and Solid State Electronics Laboratory, Department of Electrical Engineering and Computer Science, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.  
(2) IMRE, 3 Research Link, Singapore.  
Nano-impression de polymère sur un substrat non plat (non métal).
- M. Tarik Arafat (1)(2), Christopher X. F. Lam (2), Andrew K. Ekaputra (2), Siew Yee Wong (1), Chaobin He (1)(2), Dietmar W. Hutmacher (3), Xu Li (1), Ian Gibson (2), « High performance additive manufactured scaffolds for bone tissue engineering application », Soft Matter, Issue 18, 2011.  
(1) Institute of Materials Research and Engineering (IMRE), 3 Research Link, Singapore.  
(2) Division of Bioengineering, Department of Materials Science & Engineering (DMSE), and Department of Mechanical Engineering, NUS, Singapore.  
(3) Institute of Health and Biomedical Innovation, Queensland University of Technology (QUT), Brisbane, Australia.  
Fabrication de structures non métalliques par *screw extrusion system* (SES) pour l'ingénierie des tissus osseux.

### **National University of Singapore (NUS)**

**Activité :** NUS a trois centres de recherche d'excellence et 24 instituts et centres de recherche de niveau universitaire. NUS est bien connu pour ses capacités de recherche en ingénierie, sciences de la vie et de la biomédecine, les sciences sociales.

**Adresse :** 21 Lower Kent Ridge Road Singapore 119077.

**Effectif :** 2374 employés.

#### **Publications :**

- Olaf Diegel (1), Sarat Singamneni (1), Ben Huang (1), Ian Gibson (2), « Curved Layer Fused Deposition Modeling in Conductive Polymer Additive Manufacturing », Advanced Materials Research, 1984.  
(1) Auckland University of Technology, New Zealand.  
(2) NUS, Mechanical Engineering Department.

Impression FDM pour des circuits électroniques en plastique.

- Olaf Diegel (1), Sarat Singamneni (1), Ben Huang (1), Ian Gibson (2), « Getting Rid of the Wires: Curved Layer Fused Deposition Modeling in Conductive Polymer Additive Manufacturing », Key Engineering Materials, Volumes 467, 2011.  
(1) Auckland University of Technology, New Zealand.  
(2) National University Of Singapore, Mechanical Engineering Department.  
Impression par FDM de composants en plastiques intégrant des circuits électroniques en polymères conducteurs.
- Ian Gibson (1), David W. Rosen (2), Brent Stucker (3), « Design for Additive Manufacturing », Additive Manufacturing Technologies, Springer Link, 2010.  
(1) Department of Mechanical & Production Engineering, NUS, Singapore.  
(2) Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA.  
(3) Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Utah State University, Logan, USA.  
Etat de l'art des applications divers dont militaires.
- Ian Gibson (1), David W. Rosen (2), Brent Stucker (3), « Additive Manufacturing Technologies », Springer Link Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing, 2010.  
(1) Department of Mechanical & Production Engineering, NUS, Singapore.  
(2) Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA.  
(3) Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Utah State University, Logan, USA.  
Etat de l'art.
- Ian Gibson (1), David W. Rosen (2), Brent Stucker (3), « Development of Additive Manufacturing Technology », Springer link Additive Manufacturing Technologies, 2010.  
(1) Department of Mechanical & Production Engineering, NUS, Singapore.  
(2) Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA.  
(3) Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Utah State University, Logan, USA.  
Etat de l'art.
- Ian Gibson (1), David W. Rosen (2), Brent Stucker (3), « The Use of Multiple Materials in Additive Manufacturing », Springer Link, Additive Manufacturing Technologies, 2010.  
(1) Department of Mechanical & Production Engineering, NUS, Singapore.  
(2) Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA.  
(3) Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Utah State University, Logan, USA.  
Etat de l'art.
- Ian Gibson (1), David W. Rosen (2), Brent Stucker (3), « Business Opportunities and Future Directions », Springer link, Additive Manufacturing Technologies, 2010.  
(1) Department of Mechanical & Production Engineering, NUS, Singapore.  
(2) Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA.

- (3) Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Utah State University, Logan, USA.  
Etat de l'art.
- Ian Gibson (1), David W. Rosen (2), Brent Stucker (3), « Generalized Additive Manufacturing Process Chain », Springer Link, Additive Manufacturing Technologies, 2010.
    - (1) Department of Mechanical & Production Engineering, NUS, Singapore.
    - (2) Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA.
    - (3) Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Utah State University, Logan, USA.  
Etat de l'art.
  - Ian Gibson (1), David W. Rosen (2), Brent Stucker (3), « Introduction and Basic Principles », Springer Link, Additive Manufacturing Technologies, 2010.
    - (1) Department of Mechanical & Production Engineering, NUS, Singapore.
    - (2) Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA.
    - (3) Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Utah State University, Logan, USA.  
Etat de l'art.
  - Ian Gibson (1), David W. Rosen (2), Brent Stucker (3), « Software Issues for Additive Manufacturing », Springer Link, Additive Manufacturing Technologies, 2010.
    - (1) Department of Mechanical & Production Engineering, NUS, Singapore.
    - (2) Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA.
    - (3) Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Utah State University, Logan, USA.  
Etat de l'art sur les logiciels.
  - Mario D. Monzón (1), Ian Gibson (2), Antonio N. Benítez (1), Luis Lorenzo (1), Pedro M. Hernández (1), María D. Marrero (1), « Process and material behavior modeling for a new design of micro-additive fused deposition », Springer Link, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 67, 2013.
    - (1) Mechanical Engineering Department and Processing Engineering Department, Campus de Tafira Baja, University of Las Palmas de Gran Canaria, Edificio de Fabricación Integrada, Las Palmas de Gran Canaria, Spain.
    - (2) Engineering Design and Innovation Centre, NUS, Singapore.  
Technique d'impression 3D par FDM avec matériaux polymère.
  - P. Gu (2), M. Hashemian (2), A.Y.C. Nee (1), « Adaptable Design », Elsevier, 2007.
    - (1) Department of Mechanical Engineering and Singapore-MIT Alliance, NUS, Singapore.
    - (2) Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada.  
Etat de l'art.
  - M.W Khaing (1), J.Y.H Fuh (2), L Lu (2), « Direct metal laser sintering for rapid tooling: processing and characterisation of EOS parts », Elsevier Journal of Materials Processing Technology, Volume 113, 2001.
    - (1) TEC Electronics Singapore Pte. Ltd., Singapore 569138, Singapore.



- (2) Department of Mechanical Engineering, NUS, Singapore.  
 Test de poudre de mélange de nickel, de bronze et cuivre-phosphore sur machine DMLS de la société EOS. L'objectif est de connaître l'influence de celle-ci sur la rugosité de surface, la résistance aux chocs et la dureté des pièces fabriquées.
- C.X.F Lam, X.M Mo, S.H Teoh, D.W Hutmacher, « Scaffold development using 3D printing with a starch-based polymer », Elsevier, Materials Science and Engineering: C, Volume 20, 2002.  
 Laboratory for Biomedical Engineering, Department of Mechanical Engineering and Department of Orthopedic Surgery, NUS, Singapore.  
 Développement d'une poudre d'amidon pour fabriquer des pièces micro et nano structurées par impression 3D.
  - Florencia Edith Wiria (1), John Yong Ming Shyan (1), Poon Nian Lim (1), Francis Goh Chung Wen (1), Jin Fei Yeo (2), Tong Cao (2), « Printing of Titanium implant prototype », Elsevier Materials & Design, Volume 31, 2010.  
 (1) Forming Technology Group, SIMTech, Singapore.  
 (2) Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Faculty of Dentistry, NUS, Singapore.  
 Implant en titane fabriqués par imprimante 3D.
  - Y. Tang, H.T. Loh, Y.S. Wong, J.Y.H. Fuh, L. Lu, X. Wang, « Direct laser sintering of a copper-based alloy for creating three-dimensional metal parts », Elsevier Journal of Materials Processing Technology, Volume 140, 2003.  
 Singapore-MIT Alliance and Department of Mechanical Engineering, NUS, Singapore.  
 Imprimante 3D par technique SLS avec un alliage de cuivre.
  - Y. Tang, J.Y.H. Fuh, H.T. Loh, Y.S. Wong, L. Lu, « Direct laser sintering of a silica sand », Elsevier Materials & Design, Volume 24, 2003.  
 Singapore-MIT Alliance and Department of Mechanical Engineering, NUS, Singapore.  
 Effet des paramètres d'un procédé de frittage de sable pour la construction de moule afin de couler des pièces métalliques.
  - M. Tarik Arafat (1)(2), Christopher X. F. Lam (2), Andrew K. Ekaputra (2), Siew Yee Wong (1) Chaobin He (1)(2), Dietmar W. Hutmacher (3), Xu Li (1), Ian Gibson (2), « High performance additive manufactured scaffolds for bone tissue engineering application », Soft Matter, Issue 18, 2011.  
 (1) IMRE, 3 Research Link, Singapore.  
 (2) Division of Bioengineering, Department of Materials Science & Engineering (DMSE), and Department of Mechanical Engineering, NUS, Singapore.  
 (3) Institute of Health and Biomedical Innovation, Queensland University of Technology (QUT), Brisbane, Australia.  
 Fabrication de structures non métalliques pour l'ingénierie des tissus osseux.
  - F. Xu, Y.S. Wong, H.T. Loh, « Toward generic models for comparative evaluation and process selection in rapid prototyping and manufacturing », Elsevier Journal of Manufacturing Systems Volume 19, 2001.  
 Dept. of Mechanical & Production Engineering, NUS, Singapore.  
 Etat de l'art.
  - W.D. Li, S.K. Ong, A.Y.C. Nee, « Recognizing manufacturing features from a design-by-feature model », Elsevier Computer-Aided Design, Volume 34, 2001.  
 Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore, Singapore.

Logiciel de design.

- Reginald C. (1), Jegathese, Eustace Painkras (2), Edmond C. Prakash (3), « Discrete Voxel Manufacturing Without Slicing », IFIP PROLAMAT 98 - September 9-10-11 & 12, 1998, Italy.  
 (1) CAD Group, National Informatics Center, New Delhi, India.  
 (2) Center for Wireless Communication, National University of Singapore, Singapore.  
 (3) School of Applied Science, Nanyang Technological University, Singapore.  
 L'objectif de cet article est de développer un nouvel algorithme pour générer automatiquement des modèles de représentation 3D.

### **Nanyang Technological University (NTU)**

**Activité :** l'université a des collèges d'ingénierie, de commerce, de sciences, de sciences humaines, d'arts et sciences sociales. Il dispose également d'une école de médecine mis en place conjointement avec l'Imperial College de Londres. Créée en 199, NTU est aujourd'hui l'une des deux plus grandes universités publiques à Singapour.

**Adresse :** 50 Nanyang Avenue, Singapore 639798.

### **Publications :**

- C.M. Cheah (1), C.K. Chua (1), C.W. Lee (1), C. Feng (1), K. Totong (2), « Rapid prototyping and tooling techniques: a review of applications for rapid investment casting », Springer Link The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2005.  
 (1) Systems and Engineering Management Division, School of Mechanical and Production Engineering, NTU, Singapore.  
 (2) Mechanical Engineering Division, Ngee Ann Polytechnic, Singapore.  
 Etat-de l'art sur le moulage par coulé pour des pièces métalliques.
- Saeed Maleksaedi (1), Jun Kit Wang (2), Aouni El-Hajje (3), Layale Harb (3), Vipra Guneta (2), Zeming He (1), Florencia Edith Wiria (1), Cleo Choong (2), Andrew J. Ruys (3), « Toward 3D Printed Bioactive Titanium Scaffolds with Bimodal Pore Size Distribution for Bone Ingrowth », Elsevier, Procedia CIRP, Volume 5, 2013.  
 (1) Joining Technology Group, SIMTech, Singapore.  
 (2) School of Materials Science and Engineering, NTU, Singapore.  
 (3) School of Aerospace, Mechanical and Mechatronic Engineering, University of Sydney, Australia.  
 Fabrication de structure en titane par impression Inkjet 3D (poudre titane avec solvant, suit par une cuisson).
- Mohammad Vaezi (1), Chee Kai Chua (2), « Effects of layer thickness and binder saturation level parameters on 3D printing process », Springlink The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 53, 2011.  
 (1) Department of Mechanical Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.  
 (2) School of Mechanical and Aerospace Engineering, NTU, Singapore.  
 Etude des effets de l'épaisseur de la couche (poudre ZP102, plâtre) et du niveau de saturation du liant sur la résistance mécanique, la qualité de surface et la précision dimensionnelle dans le processus d'impression 3D. Utilisation d'une machine Z Corporation.
- C. K. Chua, S. M. Chou, T. S. Wong, « A study of the state-of-the-art rapid prototyping technologies », Spring Link The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1998.

School of mechanical and production engineering, NTU, Singapore.

Etat de l'art.

- K.H. Low, K.F. Leong, C.K. Chua, Z.H. Du, C.M. Cheah, « Characterization of SLS parts for drug delivery devices » Rapid Prototyping Journal, Vol. 7, 2001.  
School of Mechanical and Production Engineering, NTU, Singapore.  
SLS afin de construire des disques cylindriques poreux (dispositifs de délivrance de médicaments).
- M.W. Naing, C.K. Chua, K.F. Leong, Y. Wang, « Fabrication of customised scaffolds using computer-aided design and rapid prototyping techniques », Rapid Prototyping Journal, Vol. 11, 2005.  
Nanyang Technological University, Singapore.  
Formule mathématique (logiciel) pour SLS.
- K.K. Lim (1), P. Cheang (1), M. Chandrasekaran (2), « Studies on Porous Titanium Alloy Implant Manufactured by Three Dimensional Solid Freeform Fabrication System », Advanced Materials Research, 2007.  
(1) Division of bioengineering, school of chemical and biomedical engineering, NTU.  
(2) Forming technology group, SIMTech, Nanyang.  
Fabrication d'implant en alliage de titane par technique d'impression 3D (SLS).
- Chua Chee Kai, Leong Kah Fai, « Rapid prototyping in Singapore: 1988 to 1997 », Rapid Prototyping Journal, Vol. 3, 2006.  
School of Mechanical and Production Engineering and Mechanical and Production Engineering, NTU, Singapore.  
Etat de l'art.
- Chee Kai Chua, M.J.J. Liu, S.M. Chou, « Additive Manufacturing assisted scaffold-based tissue engineering », Innovative developments in virtual and physical prototyping, Bartolo and al. Taylor and Francis group London 2012.  
School of Mechanical & Aerospace Engineering, College of Engineering, NTU, Singapore.  
Etat de l'art.
- Chee Kai Chua, Lay Poh Tan, Jia An, « Advanced nanobiomaterials for tissue engineering and regenerative medicine », SPECIAL FOCUS y Advanced nanobiomaterials for tissue engineering and regenerative medicine, 2013.  
School of Mechanical & Aerospace Engineering, College of Engineering, NTU, Singapore. Chua is an expert in rapid prototyping and additive manufacturing in Singapore.  
Nanobiomatériaux et des nanotechnologies dans le domaine de l'ingénierie tissulaire.
- A. Liu, C.K. Chua, K.F. Leong, « Properties of Test Coupons Fabricated by Selective Laser Melting », Key Engineering Materials, Volumes 447, 2010.  
School of Mechanical & Aerospace Engineering, College of Engineering, NTU, Singapore.  
SLM avec laser allemand (Concept Laser).
- Zhong Hong Liu (1), Chee Kai Chua (1), Kah Fai Leong (1), Thijs L., VanHumbeeck J., Kruth J.P., « Microstructural Investigation of M2 High Speed Steel Produced by Selective Laser Melting: Microstructural Investigation of M2 High Speed Steel », Photonics and Optoelectronics (SOPO), 2012.  
(1) Div. of Syst. & Eng. Manage. And School of Mechanical and Aerospace Engineering, NTU, Singapore.  
SLM utilisant un laser allemand.

- Liu, J.M. J., Chua Chee Kai, « Development of silk fibroin tissue engineering scaffolds via indirect additive manufacturing for cartilage regeneration », Theses and Dissertations, Nanyang Technological University, 2013.  
School of Mechanical and Aerospace Engineering, NTU, Singapore.  
Structure cartilagineuse pour prothèse crânienne.
- Haijun Gong (1), Khalid Rafi (1)(2), Hengfeng Gu (1), Thomas Starr (1), Brent Stucker (1), « Analysis of defect generation in Ti-6Al-4V parts made using powder bed fusion additive manufacturing processes », Elsevier Additive Manufacturing, 2014.  
(1) J.B. Speed School of Engineering, University of Louisville, United States.  
(2) School of Mechanical & Aerospace Engineering, NTU, Singapore.  
Technique d'impression 3D par SLM et EBM (electron beam melting).
- Vivek Manoharan (1), Siaw Meng Chou (1), Steph Forrester (2), Gin Boay Chai (1), Pui Wah Kong (1), « Application of additive manufacturing techniques in sports footwear », Virtual and Physical Prototyping, Volume 8, 2013.  
(1) Institute for Sports Research, School of Mechanical and Aerospace Engineering and Physical Education and Sports Science Academic Group, National Institute of Education, NTU, Singapore.  
(2) Sports Technology Institute, Wolfson School of Mechanical and Manufacturing Engineering, Loughborough University, United Kingdom.  
Etat de l'art.
- Chih-Hao Chen (1), Jolene Mei-Jun Liu (2), Chee-Kai Chua (2), Siaw-Meng Chou (2), Victor Bong-Hang Shyu (1), Jyh-Ping Chen (1), « Cartilage Tissue Engineering with Silk Fibroin Scaffolds Fabricated by Indirect Additive Manufacturing Technology », Materials 2014.  
(1) Department of Chemical and Materials Engineering, Craniofacial Research Center, Department of Plastic and Reconstructive Surgery, Chang Gung Memorial Hospital, College of Medicine and Research Center for Industry of Human Ecology, Chang Gung University, Kweishan, Taoyuan 333, Taiwan.  
(2) NTU Additive Manufacturing Centre, School of Mechanical and Aerospace Engineering, NTU, Singapore.  
Impression 3D de thermoplastique pour le domaine médicale.
- M Mapar (1), DQ Zhang (1), ZH Liu (1), WY Yeong (1), CK Chua (1), B.Y. Tay (2), O. Germamifard (2), Maleksaedi (2), FE Wiria (2), « Preparation and flowability characterization of ceramic powders for Selective Laser Melting », High Value Manufacturing, Bartolo and al. Taylor and Francis Group, London, 2014.  
(1) School of Mechanical & Aerospace Engineering, College of Engineering, NTU, Singapore.  
(2) SIMTech, Singapore.  
Preparation d'aluminium Zirconium en spray sec de 1 à 30 µm.
- SL Sing (1), WY Yeong (1), CK Chua (1), FE Wiria (2), « Classical Lamination Theory applied on parts produced by Selective Laser Melting », High Value Manufacturing, Bartolo and al. Taylor and Francis Group, London, 2014.  
(1) School of Mechanical and Aerospace Engineering and SIMTech-NTU Joint Laboratory, NTU, Singapore.  
(2) SIMTech, Singapore.  
Modèle mathématique pour prédire les propriétés mécaniques avec SLM.

- KH Low (1), KF Leong (1), CN Sun (1)(2), « Review of Selective Laser Melting process parameters for Commercially Pure Titanium and Ti6Al4V », High Value Manufacturing, Bartolo and al. Taylor and Francis Group, London, 2014.  
 (1) School of Mechanical and Aerospace Engineering and SIMTech-NTU Joint Laboratory, NTU, Singapore.  
 (2) SIMTch, Singapore.  
 Observation des effets des paramètres des poudres de titane sur les propriétés mécaniques des objets fabriqués par SLM.
- P. Li (1), N. Petrinic (2), C.R. Siviour (2), « X-RAY microtomographic observations of deformation and failure process in selectively laser melted microlattice structures », ICEM.  
 (1) School of Mechanical and Aerospace Engineering, NTU, Singapore.  
 (2) Department of Engineering Science, University of Oxford, UK.  
 SLM pour fabriquer des matériaux en titane micro-structurés utilisables dans l'aérospatiale et les bio-implants.
- Reginald C. (1), Jegathese, Eustace Painkras (2), Edmond C. Prakash (3), « Discrete Voxel Manufacturing Without Slicing », IFIP PROLAMAT 98 - September 9-10-11 & 12, 1998, Italy.  
 (1) CAD Group, National Informatics Center, New Delhi, India.  
 (2) Center for Wireless Communication, National University of Singapore, Singapore.  
 (3) School of Applied Science, Nanyang Technological University, Singapore.  
 L'objectif de cet article est de développer un nouvel algorithme pour générer automatiquement des modèles de représentation 3D.

### **Singapore Institute of Manufacturing Technology (SIMTech)**

**Activité :** c'est un institut de recherche de l'Agence pour la Science, la Technologie et la Recherche (A \* STAR). SIMTech a réalisé des projets pour les entreprises, grandes et petites, dans l'électronique, semi-conducteurs, de l'ingénierie de précision, la technologie médicale, de l'aérospatiale, de l'automobile, de la marine, de la logistique et d'autres secteurs. Ce centre a divers axe de recherche de pointe tel que la fabrication de plaque de microfluidique, l'automatisation, la mécatronique, la mesure de précision mais aussi un programme sur les implant en titane fabriqué par impression 3D.

**Adresse :** 71 Nanyang Drive Singapore 638075.

#### **Brevet :**

- Powder feeding nozzle, assembly and method for laser aided additive manufacturing en mai 3013. (brevet déposé par A\*STAR, auteur : Bi Guijun et Teh Kim Ming).  
 Dispositif de distribution de poudre pour procédé d'impression 3D par LAAM.

#### **Publications :**

- Guijun Bi (1), Andres Gasser (2), « Restoration of Nickel-Base Turbine Blade Knife-Edges with Controlled Laser Aided Additive Manufacturing », Elsevier Physics Procedia, Volume 12, 2011.  
 (1) SIMTech, Singapore.  
 (2) Fraunhofer Institute for Laser Technology, Aachen, Germany.  
 Réparation des turbines en nickel par technique de LAAM.
- Florencia Edith Wiria (1), John Yong Ming Shyan (1), Poon Nian Lim (1), Francis Goh Chung Wen (1), Jin Fei Yeo (2), Tong Cao (2), « Printing of Titanium implant prototype », Elsevier Materials & Design, Volume 31, 2010.  
 (1) Forming Technology Group, SIMTech, Singapore.

- (2) Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Faculty of Dentistry, NUS, Singapore.  
Implant en titane fabriqués par imprimante 3D.
- Saeed Maleksaeedi (1), Jun Kit Wang (2), Aouni El-Hajje (3), Layale Harb (3), Vipra Guneta (2), Zeming He (1), Florencia Edith Wiria (1), Cleo Choong (2), Andrew J. Ruys (3), « Toward 3D Printed Bioactive Titanium Scaffolds with Bimodal Pore Size Distribution for Bone Ingrowth », Elsevier, Procedia CIRP, Volume 5, 2013.  
(1) Joining Technology Group, SIMTech, Singapore.  
(2) School of Materials Science and Engineering, NTU, Singapore.  
(3) School of Aerospace, Mechanical and Mechatronic Engineering, University of Sydney, Australia.  
Fabrication de structure en titane par impression Inkjet 3D.
  - K.K. Lim (1), P. Cheang (1), M. Chandrasekaran (2), « Studies on Porous Titanium Alloy Implant Manufactured by Three Dimensional Solid Freeform Fabrication System », Advanced Materials Research, 2007.  
(1) Division of bioengineering, school of chemical and biomedical engineering, NTU.  
(2) Forming technology group, SIMTech, Nanyang.  
Fabrication d'implant en alliage de titane par technique d'impression 3D.
  - Florencia Edith Wiria (1), Novella Sudarmadji (2), Kah Fai Leong (2), Chee Kai Chua (2), E. Wei Chng (2), Chian Chai Chan (2), « Selective laser sintering adaptation tools for cost effective fabrication of biomedical prototypes », Rapid Prototyping Journal, Vol. 16, 2010.  
(1) Forming Technology, SIMTech, Singapore.  
(2) School of Mechanical and Aerospace Engineering, NTU, Singapore.  
Système pour réduire la consommation de poudre avec un dispositif SLS.
  - Guijun Bi, Gary Ka Lai Ng, Kim Ming Teh, Anders E.W. Jarfors, « Feasibility study on the Laser Aided Additive Manufacturing of die inserts for liquid forging », Elsevier Materials & Design Volume 31, 2010.  
Singapore Institute of Manufacturing Technology, Singapore.  
Utilisation de la technique de LAAM avec du nickel.
  - G. Bi (1), C.N. Sun (1), A. Gasser (2), « Study on influential factors for process monitoring and control in laser aided additive manufacturing », Elsevier Journal of Materials Processing Technology, Volume 213, 2012.  
(1) SIMTech, Singapore.  
(2) Fraunhofer Institute for Laser Technology, Aachen, Germany.  
Etude du procédé LAAM.
  - Graham Gagg (1), Elaheh Ghassemieh (2), Florencia Edith Wiria (3), « Effects of sintering temperature on morphology and mechanical characteristics of 3D printed porous titanium used as dental implant », Elsevier Materials Science and Engineering: C, Volume 33, 2013.  
(1) Department of Mechanical Engineering, The University of Sheffield, UK.  
(2) School of Mechanical and Aerospace Engineering, Queen's University Belfast, Ashby Building, Belfast, United Kingdom.  
(3) SIMTech, Singapore.  
Titane poreux (30 à 65 %, pores de 24 à 19  $\mu\text{m}$ ) par frittage laser.
  - Guijun Bi, Chen-Nan Sun, Hui-chi Chen, Fern Lan Ng, Cho Cho Khin Ma, « Microstructure and tensile properties of superalloy IN100 fabricated by micro-laser aided additive manufacturing », Elsevier Materials & Design, Volume 60, 2014.

SIMTech, Singapore.

Impression de pièce en nickel par technique de LAAM.

- G. Bi, C.N. Sun, M.L. Nai, J. Wei, « Micro-structure and Mechanical Properties of Nano-TiC Reinforced Inconel 625 Deposited using LAAM », Elsevier Physics Procedia, Volume 41, 2013.

SIMTech, Singapore.

Dépôt par fabrication assistée (LAAM) d'Inconel 625 mélangé avec des poudres nano-TiC.

- M Mapar (1), DQ Zhang (1), ZH Liu (1), WY Yeong (1), CK Chua (1), B.Y. Tay (2), O. Germamifard (2), Maleksaeedi (2), FE Wiria (2), « Preparation and flowability characterization of ceramic powders for Selective Laser Melting », Hight Value Manufacturing, Bartolo and al. Taylor and Francis Group, London, 2014.

(1) School of Mechanical & Aerospace Engineering, College of Engineering, NTU, Singapore.

(2) SIMTech, Singapore.

Préparation d'aluminium Zircone en spray sec de 1 à 30 µm.

- Jiaming Bai (1)(4), Ruth D. Goodridge (1), Richard J.M. Hague (1), Mo Song (2), Hideyuki Murakami (3), « Nanostructural characterization of carbon nanotubes in laser-sintered polyamide 12 by 3D-TEM », Journal of Materials Research, Volume 29, 2014.

(1) Additive Manufacturing and 3D-Printing Research Group, Faculty of Engineering, University of Nottingham, Nottingham, United Kingdom.

(2) Department of Materials, Loughborough University, Leicestershire UK.

(3) Surface Kinetics Group, High Temperature Materials Unit National Institute for Materials Science, Tsukuba, Japan.

(4) SIMTech, Singapore.

Pièce polyamide par frittage laser.

- SL Sing (1), WY Yeong (1), CK Chua (1), FE Wiria (2), « Classical Lamination Theory applied on parts produced by Selective Laser Melting », Hight Value Manufacturing, Bartolo and al. Taylor and Francis Group, London, 2014.

(1) School of Mechanical and Aerospace Engineering and SIMTech-NTU Joint Laboratory, NTU, Singapore.

(2) SIMTech, Singapore.

Modèle mathématique pour prédire les propriétés mécaniques avec SLM.

- KH Low (1), KF Leong (1), CN Sun (1)(2), « Review of Selective Laser Melting process parameters for Commercially Pure Titanium and Ti6Al4V », Hight Value Manufacturing, Bartolo and al. Taylor and Francis Group, London, 2014.

(1) School of Mechanical and Aerospace Engineering and SIMTech-NTU Joint Laboratory, NTU, Singapore.

(2) SIMTech, Singapore.

Observation des effets ds paramètre des poudre de titane sur les propriétés mécaniques des objets fabriqués par SLM.

**Liste des entreprises developpant et/ou fabricant des imprimantes 3D ou du materiel**

**1. TEC Electronics Singapore Pte. Ltd**

**Publication :**

- M.W Khaing (1), J.Y.H Fuh (2), L Lu (2), « Direct metal laser sintering for rapid tooling: processing and characterisation of EOS parts », Elsevier Journal of Materials Processing Technology, Volume 113, 2001.  
(1) TEC Electronics Singapore Pte. Ltd., Singapore 569138, Singapore.  
(2) Department of Mechanical Engineering, NUS, Singapore.  
Test de poudre de mélange de nickel, de bronze et cuivre-phosphore sur machine DMLS de la société EOS. L'objectif est de connaitre l'influence de celle-ci sur la rugosité de surface, la résistance aux chocs et la dureté des pièces fabriquées.



## Liste des publications singapouriennes

La recherche a été effectuée sur Google scholar avec pour mots clefs « additive manufacturing Singapore » et « 3D printing Singapore ».

C.X.F Lam, X.M Mo, S.H Teoh, D.W Hutmacher, « Scaffold development using 3D printing with a starch-based polymer », Elsevier, Materials Science and Engineering: C, Volume 20, 2002.

Laboratory for Biomedical Engineering, Department of Mechanical Engineering and Department of Orthopedic Surgery, NUS, Singapore.

Rapid prototyping (RP) techniques have been utilised by tissue engineers to produce three-dimensional (3D) porous scaffolds. RP technologies allow the design and fabrication of complex scaffold geometries with a fully interconnected pore network. Three-dimensional printing (3DP) technique was used to fabricate scaffolds with a novel micro- and macro-architecture. In this study, a unique blend of starch-based polymer powders (cornstarch, dextran and gelatin) was developed for the 3DP process. Cylindrical scaffolds of five different designs were fabricated and post-processed to enhance the mechanical and chemical properties. The scaffold properties were characterised by scanning electron microscopy (SEM), differential scanning calorimetry (DSC), porosity analysis and compression tests.

Reginald C. (1), Jegathese, Eustace Painkras (2), Edmond C. Prakash (3), « Discrete Voxel Manufacturing Without Slicing », IFIP PROLAMAT 98 - September 9-10-11 & 12, 1998, Italy.

(1) CAD Group, National Informatics Center, New Delhi, India.

(2) Center for Wireless Communication, National University of Singapore, Singapore.

(3) School of Applied Science, Nanyang Technological University, Singapore.

L'objectif de cet article est de développer un nouvel algorithme pour générer automatiquement des modèles de représentation 3D. Etude entre le *National Informatics Center* indien et Singapour.

Slicing of a 3D model represented as STL (stereolithography file format) to generate layers for rapid manufacturing is a common choice. The problems encountered are the complexity of the models and the unknown amount of time taken to compute each slice, knowing the number of slices to be generated. The time taken is not known because the number of triangles intersected by the layer varies with the model and the orientation of the model. The layer thus obtained further takes unpredictable time in tracing these contours during manufacturing. The objective of this paper is to develop a new algorithm to automatically generate volume models from 3D representations without slicing. We characterize a set of projective algorithms for computationally fast and efficient functions for volume modeling. The preliminary results from this work indicate the feasibility of volume modeling of STL models by projective voxelization. The performance indicates a linear improvement in time with increasing number of triangles. We also see a lot of potential for this new method for emerging technologies such as 3D Printing and 3D Volumetric Fax.

L.-R. Bao (1), X. Cheng (1), X. D. Huang (2), L. J. Guo (1), S. W. Pang (1) and A. F. Yee (1), « Nanoimprinting over topography and multilayer three-dimensional printing », J. Vac. Sciences Technology B 20, 2002.

(1) Department of Materials Science and Engineering and Solid State Electronics Laboratory, Department of Electrical Engineering and Computer Science, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.

(2) IMRE, 3 Research Link, Singapore.

We have developed a simple imprinting technique that allows patterning over a nonflat substrate without the need for planarization. In this process, a polymer film is spin coated onto the mold and then transferred to a patterned substrate by imprinting. By selecting polymers with different mechanical properties, either suspended structures over wide gaps or supported patterns on raised features of the substrate can be obtained with high uniformity. It is found that imprinting at a temperature well above the glass transition temperature ( $T_g$ ) of the polymer causes the thin residue film between features to dewet from the mold, which can greatly simplify the subsequent pattern transfer process. Multilayer three-dimensional polymer structures have also been successfully

fabricated using this new imprinting method. The yield and dimensional stability in the multilayerstructure can both be improved when polymers with progressively lower Tg are used for different layers. Compared to existing techniques for patterning on nonflat substrates, the current method has a number of advantages, including simplicity, versatility, high resolution, and low pattern distortion.

M.W Khaing (1), J.Y.H Fuh (2), L Lu (2), « Direct metal laser sintering for rapid tooling: processing and characterisation of EOS parts », Elsevier Journal of Materials Processing Technology, Volume 113, 2001.

(1) TEC Electronics Singapore Pte. Ltd., Singapore 569138, Singapore.

(2) Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore, Singapore.

Direct metal laser sintering (DMLS) fabricates metal prototypes and tools directly from computer aided design (CAD) data. The process is popular in rapid tooling (RT), since a suitable metal powder can be used to produce the metal parts and tools. The powder system may be pre-alloyed powder or multi-phase powder. The properties of the RT parts, however, depend on its composition and solidification conditions. Accuracy, wear resistance and mechanical properties are critical on choosing the rapid tooling mould as the production-grade tooling. This study includes the design of metal prototypes which are then fabricated by EOS's DMLS. The EOS material system is a mixture of nickel, bronze and copper-phosphide material. The dimensional accuracy, surface roughness, impact toughness, hardness, and strength of EOS parts are measured. SEM pictures of EOS parts are also thoroughly analysed.

Mohammad Vaezi (1), Chee Kai Chua (2), « Effects of layer thickness and binder saturation level parameters on 3D printing process », Springlink The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 53, 2011.

(1) Department of Mechanical Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.

(2) School of Mechanical and Aerospace Engineering, NTU, Singapore.

Various parameters, such as binder properties, printing layer thickness, powder size, and binder saturation level, have effects on the strength and surface finish of the three-dimensional printing (3D printing) process. The objective of this research is to study the effects of two parameters of layer thickness and binder saturation level on mechanical strength, integrity, surface quality, and dimensional accuracy in the 3D printing process. Various specimens include tensile and flexural test specimens and individual network structure specimens are made by the 3D printing process under different layer thicknesses and binder saturation by use of ZCorp.'s ZP102 powder and Zb56 binder. Two printing layer thicknesses, 0.1 and 0.087 mm, are evaluated at 90% and 125% binder saturation levels. Experimental findings show that under the same layer thickness, increment of binder saturation level from 90% to 125% would result in an increase of tensile and flexural strengths of the specimens and decrease of dimensional accuracy and surface uniformity of specimens. On the other hand, under the same binder saturation conditions, increase in layer thickness from 0.087 to 0.1 mm would decrease tensile strength and increase flexural strength. Also, it gives better uniformity on the surface.

Florencia Edith Wiria (1), John Yong Ming Shyan (1), Poon Nian Lim (1), Francis Goh Chung Wen (1), Jin Fei Yeo (2), Tong Cao (2), « Printing of Titanium implant prototype », Elsevier Materials & Design, Volume 31, 2010.

(1) Forming Technology Group, SIMTech, Singapore.

(2) Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Faculty of Dentistry, NUS, Singapore.

Dental implant plays an important role as a conduit of force and stress to flow from the tooth to the related bone. In the load sharing between an implant and its related bone, the amount of stress carried by each of them directly related to their stiffness or modulus. Hence, it is a crucial issue for the implant to have matching mechanical properties, in particular modulus, between the implant and its related bone.

Titanium is a metallic material that has good biocompatibility and corrosion resistance. Whilst the modulus of the bulk material is still higher than that of bone, it is the lowest among all other commonly used metallic implant materials, such as stainless steel or cobalt alloy. Hence it is potential to further reduce the modulus of pure Titanium by engineering its processing method to obtain porous structure.

In this project, porous Titanium implant prototype is fabricated using 3-dimensional printing. This technique allows the flexibility of design customization, which is beneficial for implant fabrication as tailoring of implant size and shape helps to ensure the implant would fit nicely to the patient. The fabricated Titanium prototype had a modulus of 4.8–13.2 GPa, which is in the range of natural bone modulus. The compressive strength

achieved was between 167 to 455 MPa. Subsequent cell culture study indicated that the porous Titanium prototype had good biocompatibility and is suitable for bone cell attachment and proliferation.

C. K. Chua, S. M. Chou, T. S. Wong, « A study of the state-of-the-art rapid prototyping technologies », Springer Link The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1998.

School of mechanical and production engineering, NTU, Singapore.

C.M. Cheah (1), C.K. Chua (1), C.W. Lee (1), C. Feng (1), K. Totong (2), « Rapid prototyping and tooling techniques: a review of applications for rapid investment casting », Springer Link The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2005.

(1) Systems and Engineering Management Division, School of Mechanical and Production Engineering, NTU, Singapore.

(2) Mechanical Engineering Division, Ngee Ann Polytechnic, Singapore.

Investment casting (IC) has benefited numerous industries as an economical means for mass producing quality near net shape metal parts with high geometric complexity and acceptable tolerances. The economic benefits of IC are limited to mass production. The high costs and long lead-time associated with the development of hard tooling for wax pattern moulding renders IC uneconomical for low-volume production. The outstanding manufacturing capabilities of rapid prototyping (RP) and rapid tooling (RT) technologies (RP&T) are exploited to provide cost-effective solutions for low-volume IC runs. RP parts substitute traditional wax patterns for IC or serve as production moulds for wax injection moulding. This paper reviews the application and potential application of state-of-the-art RP&T techniques in IC. The techniques are examined by introducing their concepts, strengths and weaknesses. Related research carried out worldwide by different organisations and academic institutions are discussed.

K.H. Low, K.F. Leong, C.K. Chua, Z.H. Du, C.M. Cheah, « Characterization of SLS parts for drug delivery devices » Rapid Prototyping Journal, Vol. 7, 2001.

School of Mechanical and Production Engineering, NTU, Singapore.

There are many applications for rapid prototyping systems and application in the biomedical field is an important domain. Uses selective laser sintering (SLS) in this study to build porous cylindrical disc matrices for use as drug delivery devices (DDD). Studies the part-bed temperature to ascertain its influence over the porosity of the disc matrices. They are found to have an inverse linear relationship. Also investigates the dense walls, the inherent consequences of building porous structures with the SLS, in the disc matrix as they have a direct impact on the performance of the DDD. Discusses the size constraint of the disc matrix due to the limitations of the SLS process. Also investigates the possibility of creating disc matrices of varying porosity. Experimental results demonstrate that SLS is viable in producing DDDs that have variable porosity and micro-features.

Saeed Maleksaeedi (1), Jun Kit Wang (2), Aouni El-Hajje (3), Layale Harb (3), Vipra Guneta (2), Zeming He (1), Florencia Edith Wiria (1), Cleo Choong (2), Andrew J. Ruys (3), « Toward 3D Printed Bioactive Titanium Scaffolds with Bimodal Pore Size Distribution for Bone Ingrowth », Elsevier, Procedia CIRP, Volume 5, 2013.

(1) Joining Technology Group, Singapore Institute of Manufacturing Technology, Singapore.

(2) School of Materials Science and Engineering, NTU, Singapore.

(3) School of Aerospace, Mechanical and Mechatronic Engineering, University of Sydney, Australia.

Inkjet 3D printing as a versatile rapid manufacturing method was utilized for making titanium scaffolds with customized pores and geometry. A suitable binder/powder/solvent system was employed to make titanium printable and the parts were subjected to a firing process for strengthening. Mechanical stiffness of the part was tailored by varying printing and sintering parameters to meet that of the bone. Since titanium is inherently bioinert, the bioactivity of the parts was enhanced by surface modification of internal channels by electrochemical deposition of hydroxyapatite or hydrothermal treatment to form titania on the surface.

M.W. Naing, C.K. Chua, K.F. Leong, Y. Wang, « Fabrication of customised scaffolds using computer-aided design and rapid prototyping techniques », *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 11, 2005.

Nanyang Technological University, Singapore, Singapore.

**Purpose** – This paper details the derivation of the mathematical formulae of a novel system for designing and fabricating tissue engineering (TE) scaffolds. **Design/methodology/approach** – This work combines the unique capability of rapid prototyping (RP) techniques with computer-aided design (CAD) and imaging software to design and fabricate customised scaffolds that are not only consistent in microstructure but also readily reproducible. The prototype system, called the computer-aided system for tissue scaffolds (CASTS), has a parametric library of design units which can be assembled into scaffold structures through an in-house algorithm. An additional module, the slicing routine, has also been added to improve the functionality of the system. To validate the system, scaffolds designed were fabricated using a powder-based RP technique called selective laser sintering (SLS). **Originality/value** – The crucial role of scaffolds in TE has long been recognised. Successful TE scaffolds should have controllable characteristics such as pore size, porosity, and surface area to volume ratio as well as interconnectivity within the scaffolds. Much work has been carried out to produce such TE scaffolds with varying degrees of success. One major drawback is that the resultant TE scaffolds are not readily reproducible. The potential of CASTS lies in its ability to design and fabricate scaffolds with varying properties through the use of different unit cells and biomaterials to suit different applications.

K.K. Lim (1), P. Cheang (1), M. Chandrasekaran (2), « Studies on Porous Titanium Alloy Implant Manufactured by Three Dimensional Solid Freeform Fabrication System », *Advanced Materials Research*, 2007.

(1) Division of bioengineering, school of chemical and biomedical engineering, NTU, Singapore.

(2) Forming technology group, Singapore institut of manufacturing technology, Nanyang.

Titanium (Ti) alloys have emerged to become valuable biomaterials for biomedical and orthopedic applications due to their high strength to weight ratio, excellent biocompatibility and corrosion resistance. In this study, the authors utilized Solid Freeform Fabrication (SFF), also commonly known as a rapid prototyping technology to investigate a new porous three-dimensional (3D) Ti alloy implant. Elemental powders for producing a Ti-Al-Fe-Zr alloy were mechanically alloyed and blended with water soluble binder material. The blended powders were manufactured by Three Dimensional Printer (3DP), followed by debinding and sintering in an inert environment. The effects of process parameters on structural and geometrical requirements were assessed. Results from these investigations demonstrated that Ti alloys are promising biomaterials for near net shape fabrication of porous 3D implants, which retained their interconnected pore network. As an illustration, complex geometries of porous 3D Ti alloy specimens were manufactured as a demonstration of 3D SFF System.

Florencia Edith Wiria (1), Novella Sudarmadji (2), Kah Fai Leong (2), Chee Kai Chua (2), E. Wei Chng (2), Chian Chai Chan (2), « Selective laser sintering adaptation tools for cost effective fabrication of biomedical prototypes », *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 16, 2010.

(1) Forming Technology, Singapore Institute of Manufacturing Technology, Singapore.

(2) School of Mechanical and Aerospace Engineering, NTU, Singapore.

**Purpose** – In recent years, selective laser sintering (SLS) has been used in the biomedical field, including building small-scaled biomedical devices such as tissue engineering scaffolds and drug delivery devices. A compact adaptation system for the SLS is needed to obtain a more effective and efficient way of sintering small-scale prototypes so as to reduce powder wastage. Limitations of available smaller-scale adaptation devices include the need of additional electrical supplies for the device. The purpose of this paper is to report the development of such a system to be mounted at the SLS part bed without any additional energy supply.

**Design/methodology/approach** – The compact adaptation device works on the concept of transferring the motion of the SLS part bed onto the part bed of the compact adaptation device. The device is an integrated attachment that is fixed onto the building platform of the SLS. The gear system of the device lifts the powder supply bed at both sides of the device simultaneously when the part bed at the center of the device is lowered. To further increase powder saving, an improved powder delivery system named alternative supply mechanism (ASM) is mounted on top of the roller to be coupled together with the compact adaptation device.

**Originality/value** – The paper demonstrates the development and viability of adaptation devices for SLS to significantly reduce powder consumption by using solely mechanical means to build small parts without using external power supply.

Ian Gibson (1), David W. Rosen (2), Brent Stucker (3), « Additive Manufacturing Technologies », Springer Link Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing, 2010.

(1) Department of Mechanical & Production Engineering, NUS, Singapore.

(2) Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA.

(3) Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Utah State University, Logan, USA.

Ian Gibson (1), David W. Rosen (2), Brent Stucker (3), « Design for Additive Manufacturing », Additive Manufacturing Technologies, Springer Link, 2010.

(1) Department of Mechanical & Production Engineering, NUS, Singapore.

(2) Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA.

(3) Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Utah State University, Logan, USA.

Design for manufacture and assembly (DFM) has typically meant that designers should tailor their designs to eliminate manufacturing difficulties and minimize manufacturing, assembly, and logistics costs. However, the capabilities of additive manufacturing technologies provide an opportunity to rethink DFM to take advantage of the unique capabilities of these technologies. As we will cover in Chap. 14, several companies are now using AM technologies for production manufacturing. For example, Siemens, Phonak, Widex, and the other hearing aid manufacturers use selective laser sintering and stereolithography machines to produce hearing aid shells, Align Technology uses stereolithography to fabricate molds for producing clear dental braces (“aligners”), and Boeing and its suppliers use selective laser sintering to produce ducts and similar parts for F-18 fighter jets. For hearing aids and dental aligners, AM machines enable manufacturing of tens to hundreds of thousands of parts; where each part is uniquely customized based upon person-specific geometric data. In the case of aircraft components, AM technology enables low volume manufacturing, easy integration of design changes and, at least as importantly, piece part reductions to greatly simplify product assembly.

P. Gu (2), M. Hashemian (2), A.Y.C. Nee (1), « Adaptable Design », Elsevier, 2007.

(1) Department of Mechanical Engineering, NUS and Singapore-MIT Alliance, Singapore.

(2) Department of Mechanical and Manufacturing Engineering University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada.

Increasing competition for better product functionality, quality, features, customization, environmental friendliness, lower cost and shorter delivery time presents unprecedented challenges for product manufacturing enterprises. These challenges cannot be completely addressed by advanced manufacturing technologies alone as some of which are originated from product design. Advanced design technologies and tools for early product design processes are critically needed where most important decisions are made with respect to the product functionality, quality, manufacturability, cost and environmental performance. This paper discusses adaptable design (AD) as a design paradigm for both business success and environmental protection. Adaptable design aims at developing products that are adaptable in their design and/or their production. Adaptability is defined as the extension of the utility (service) of products. Two types of adaptabilities are proposed as product adaptability and design adaptability. Two types of design adaptations are also identified, which include foreseeable specific adaptations and unforeseeable general adaptations. The former can be described by specific adaptability and the latter by general adaptability. Three key elements of AD are presented including functions independence, a measure of adaptability and a function based design process model of the AD. Based on these concepts and design objectives, adaptable design methods and general design guidelines are proposed. Examples are included to illustrate the concepts, design methods and guidelines.

Guijun Bi (1), Andres Gasser (2), « Restoration of Nickel-Base Turbine Blade Knife-Edges with Controlled Laser Aided Additive Manufacturing », Elsevier Physics Procedia, Volume 12, 2011.

(1) SIMTech, Singapore.

(2) Fraunhofer Institute for Laser Technology, Aachen, Germany.

Réparation des turbines en nickel par technique de LAAM.

Y. Tang, H.T. Loh, Y.S. Wong, J.Y.H. Fuh, L. Lu, X. Wang, « Direct laser sintering of a copper-based alloy for creating three-dimensional metal parts », Elsevier Journal of Materials Processing Technology, Volume 140, 2003.

(1) Singapore-MIT Alliance and Department of Mechanical Engineering, NUS, Singapore.

Direct laser sintering of metal, as one of the important developments in rapid prototyping technologies, is discussed in this paper. A special copper-based alloy is used for this rapid prototyping process. Experiments on the sintering conditions of this material had been conducted in a self-developed high temperature metal sintering machine. The mechanism of laser sintering for this kind of material was disclosed by SEM analysis of microstructures of sintered parts. The density, surface roughness and mechanical properties of the laser sintering parts due to variation of process parameters were measured and analysed. The effect of process parameters to the accuracy of sintered parts was also investigated. Thus, optimum parameters were obtained for direct laser sintering of three-dimensional metal parts.

Olaf Diegel (1), Sarat Singamneni (1), Ben Huang (1), Ian Gibson (2), « Curved Layer Fused Deposition Modeling in Conductive Polymer Additive Manufacturing », Advanced Materials Research, 1984.

(1) Auckland University of Technology, New Zealand.

(2) NUS, Mechanical Engineering Department.

This paper describes a curved-layer additive manufacturing technology that has the potential to print plastic components with integral conductive polymer electronic circuits. Researchers at AUT University in New Zealand and the National University of Singapore have developed a novel Fused Deposition Modeling (FDM) process in which the layers of material that make up the part are deposited as curved layers instead of the conventional flat layers. This technology opens up possibilities of building curved plastic parts that have conductive electronic tracks and components printed as an integral part of the plastic component, thereby eliminating printed circuit boards and wiring. It is not possible to do this with existing flat-layer additive manufacturing technologies as the continuity of a circuit could be interrupted between the layers. With curved-layer fused deposition modeling (CLFDM) this problem is removed as continuous filaments in 3 dimensions can be produced, allowing for continuous conductive circuits.

**Chua Chee Kai, Leong Kah Fai, « Rapid prototyping in Singapore: 1988 to 1997 », Rapid Prototyping Journal, Vol. 3, 2006.**

(1) School of Mechanical and Production Engineering and Mechanical and Production Engineering, NTU, Singapore.

Rapid prototyping (RP) is fast becoming a “strategic” technology, one that cannot be simply overlooked. This is because the production of a physical prototype from the computer model can be achieved in a very short turnaround time and without the fuss required by NC programming systems. In Singapore, like many countries around the world, there is great interest in this emerging technology. Discusses the evolution of the RP scene in Singapore from 1988 to 1997.

Y. Tang, J.Y.H. Fuh, H.T. Loh, Y.S. Wong, L. Lu, « Direct laser sintering of a silica sand », Elsevier Materials & Design, Volume 24, 2003.

(1) Singapore-MIT Alliance and Department of Mechanical Engineering, NUS, Singapore.

As an application study of rapid prototyping, commercially available silica sand was successfully direct-laser-sintered in a self-developed high-temperature laser sintering equipment. The mechanism of powder-state sand becoming a solid state block during the laser sintering process was disclosed by scanning electron microscope (SEM) and energy dispersive X-ray (EDX) analysis on sand particles and sintered samples. The effect of process parameters to the accuracy, strength and surface finish of sintered parts was investigated and thus a set of optimal parameters has been obtained for the sand sintering process. The feasibility of using this material and process to build casting moulds for metal casting was also investigated and discussed.

Guijun Bi, Gary Ka Lai Ng, Kim Ming Teh, Anders E.W. Jarfors, « Feasibility study on the Laser Aided Additive Manufacturing of die inserts for liquid forging », Elsevier Materials & Design Volume 31, 2010.

Singapore Institute of Manufacturing Technology, Singapore.

This paper reports the Laser Aided Additive Manufacturing of nickel-base alloy Nimonic 80A for the purpose of direct building of die inserts for liquid forging. Low porosity level of 0.01–0.04% with reasonable deposition rate was achieved. The micro-hardness showed very good homogeneity. Directionally solidified cellular micro-structure with an average size of 5  $\mu\text{m}$  was observed. Very fine MC-type carbides were detected at the grain boundaries, which function as the strengthening phase of the alloy.

Olaf Diegel (1), Sarat Singamneni (1), Ben Huang (1), Ian Gibson (2), « Getting Rid of the Wires: Curved Layer Fused Deposition Modeling in Conductive Polymer Additive Manufacturing », Key Engineering Materials, Volumes 467, 2011.

(1) Auckland University of Technology, New Zealand.

(2) National University Of Singapore, Mechanical Engineering Department.

This paper describes an additive manufacturing technology that has the potential to print plastic components with integral conductive polymer electronic circuits. This could have a major impact in the fields of robotics and mechatronics as it has the potential to allow large wiring looms, often an issue with complex robotic systems, to be printed as an integral part of the products plastic shell. This paper describes the development of a novel Fused Deposition Modeling (FDM) process in which the layers of material that make up the part are deposited as curved layers instead of the conventional flat layers. This opens up possibilities of building curved plastic parts that have conductive electronic tracks and components printed as an integral part of the plastic component, thereby eliminating printed circuit boards and wiring. It is not possible to do this with existing flatlayer additive manufacturing technologies as the continuity of a circuit could be interrupted between the layers. With curved-layer fused deposition modeling (CLFDM) this problem is removed as continuous filaments in 3 dimensions can be produced, allowing for continuous conductive circuits.

G. Bi (1), C.N. Sun (1), A. Gasser (2), « Study on influential factors for process monitoring and control in laser aided additive manufacturing », Elsevier Journal of Materials Processing Technology, Volume 213, 2012.

(1) SIMTech, Singapore.

(2) Fraunhofer Institute for Laser Technology, Aachen, Germany.

In this paper, the process monitoring and control in laser aided additive manufacturing (LAAM) were studied. Some key issues which affect the process monitoring and control were revealed and discussed in detail. The results show that the geometry of the parts affects the melt-pool temperature, especially where the heat dissipation is strongly limited. The power density distribution plays an important role for controlled LAAM process. The laser beam can only be defocused to a certain extent to avoid the insufficient power density due to the excessively enlarged beam size. This can cause defects on the clad surface and in the clad layer. Surface oxidation must be avoided during the process control, because surface oxidation can deteriorate the LAAM process, as indicated by the disturbances of the measured melt pool temperature. With the path-dependant process control, the dimensional accuracy of the deposition can be significantly improved.

M. Tarik Arifat (1)(2), Christopher X. F. Lam (2), Andrew K. Ekaputra (2), Siew Yee Wong (1) Chaobin He (1)(2), Dietmar W. Hutmacher (3), Xu Li (1), Ian Gibson (2), « High performance additive manufactured scaffolds for bone tissue engineering application », Soft Matter, Issue 18, 2011.

(1) Institute of Materials Research and Engineering (IMRE), 3 Research Link, Singapore.

(2) Division of Bioengineering, Department of Materials Science & Engineering (DMSE), and Department of Mechanical Engineering, NUS, Singapore.

(3) Institute of Health and Biomedical Innovation, Queensland University of Technology (QUT), Brisbane, Australia.

This study demonstrates the feasibility of additive manufactured poly( $\epsilon$ -caprolactone)/silanized tricalcium phosphate (PCL/TCP(Si)) scaffolds coated with carbonated hydroxyapatite (CHA)-gelatin composite for bone tissue engineering. In order to reinforce PCL/TCP scaffolds to match the mechanical properties of cancellous bone, TCP has been modified with 3-glycidoxypopyl trimethoxysilane (GPTMS) and incorporated into PCL to synthesize a PCL/TCP(Si) composite. The successful modification is confirmed by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analysis. Additive manufactured PCL/TCP(Si) scaffolds have been fabricated using a screw extrusion system (SES). Compression testing demonstrates that both the compressive modulus and compressive yield strength of the developed PCL/TCP(Si) scaffolds fall within the lower ranges of mechanical properties for cancellous bone, with a compressive modulus and compressive yield strength of 6.0 times and 2.3 times of those of PCL/TCP scaffolds, respectively. To enhance the osteoconductive property of the developed PCL/TCP(Si) scaffolds, a CHA-gelatin composite has been coated onto the scaffolds via a biomimetic co-precipitation process, which is verified by using scanning electron microscopy (SEM) and XPS.

F. Xu, Y.S. Wong, H.T. Loh, « Toward generic models for comparative evaluation and process selection in rapid prototyping and manufacturing », Elsevier Journal of Manufacturing Systems Volume 19, 2001.

Dept. of Mechanical & Production Engineering, NUS, Singapore.

Selection of the most suitable rapid prototyping and manufacturing (RP&M) process for a specific part creation is a difficult task due to the proliferation of RP/s&M processes and materials. Multiple considerations such as good dimensional accuracy, fine surface finish, short building time, and low building cost are all desired objectives, and no one process is superior in all aspects. For a software tool to assist in making such a selection, a systematic study is first required to compare pertinent attributes among the different RP&M processes. It is also necessary to design appropriate models that can be used to characterize these attributes and that can be modified for existing and future RP&M machines. This paper studies the four dominant RP&M processes currently in the market—stereolithography (SL), selective laser sintering (SLS), fused deposition modeling (FDM), and laminated object manufacturing (LOM)—through a benchmark part. Generic models for surface roughness, building time, and building cost are also presented.

Ian Gibson (1), David W. Rosen (2), Brent Stucker (3), « Development of Additive Manufacturing Technology », Springer link Additive Manufacturing Technologies, 2010.

(1) Department of Mechanical & Production Engineering, NUS, Singapore.

(2) Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA.

(3) Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Utah State University, Logan, USA.

Additive Manufacturing (AM) technology came about as a result of developments in a variety of different technology sectors. Like with many manufacturing technologies, improvements in computing power and reduction in mass storage costs paved the way for processing the large amounts of data typical of modern 3D Computer-Aided Design (CAD) models within reasonable time frames. Nowadays, we have become quite accustomed to having powerful computers and other complex automated machines around us and sometimes it may be difficult for us to imagine how the pioneers struggled to develop the first AM machines.

This chapter highlights some of the key moments that catalogue the development of Additive Manufacturing technology. It will describe how the different technologies converged to a state where they could be integrated into AM machines. It will also discuss milestone AM technologies. Furthermore, we will discuss how the application of Additive Manufacturing has evolved to include greater functionality and embrace a wider range of applications beyond the initial intention of just prototyping.

W.D. Li, S.K. Ong, A.Y.C. Nee, « Recognizing manufacturing features from a design-by-feature model », Elsevier Computer-Aided Design, Volume 34, 2001.

Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore, Singapore.

This paper presents a methodology for recognizing manufacturing features from a design feature model. The common feature–feature interacting relationships are categorized. A feature recognition processor first translates the design feature model of a part into an intermediate manufacturing feature tree by handling design features according to their properties and the interacting relationships between features. Through



combination, decomposition, and (tool approach direction) TAD-led operations, alternative interpretations of manufacturing feature model for the part are then generated, and the manufacturing feature tree is updated and extended with AND/OR operators to store these interpretations. Finally, a single interpretation with the lowest machining cost will be selected in the manufacturing feature tree. The proposed processor can support a dynamic and effective recognition process of manufacturing features during the design stage of a part. By defining the interactions between volumetric features elaborately, and utilizing design features and auxiliary information, the processor can recognize manufacturing features from complex parts. The processor recognizes not only some essential manufacturing features but also replicate, compound and transition features defined in STEP. The alternative interpretations can be used for a generic manufacturing application environment.

WeiDong Li received his B.Eng. and M.Eng. from the Department of Mechatronic Engineering, Xidian University, Xi'an, PR China, in 1992 and 1995, respectively. He is currently working towards his PhD degree in the Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore. His research interests include Feature-based Modelling and Applications, Computer-Aided Process Planning, Distributed Computer Aided Design, Surface Modelling, and Computer Graphics.

S.K. Ong is an Assistant Professor currently lecturing in the Manufacturing Division in the Department of Mechanical Engineering at the National University of Singapore. She is the program manager for the Virtual Manufacturing Program in the Laboratory for Concurrent Engineering and Logistics (LCEL) in the Faculty of Engineering. Her research interests are: virtual manufacturing, applications of AI techniques in concurrent engineering, computer-aided set-up planning, life cycle engineering, and environment impact assessment. She has published about 46 international refereed journals and conference papers in these areas.

A.Y.C. Nee received his PhD from the Institute of Science and Technology, University of Manchester (UMIST) in 1973. He has over 380 technical publications in refereed journals and conferences. He is the editorial board member and associate editor of 15 international journals including International Journal of Production Research, IIE Transactions, Journal of Manufacturing Systems, International Journal of Advanced Manufacturing Technologies. His research interests include Computer-aided Design of Metal Stamping Dies and Plastic Injection Moulds, Rapid Prototyping, Computer-aided Process and Fixture Planning, and Applications of AI Techniques in Manufacturing. He is a full professor at NUS and a Deputy Executive Director of the Science and Engineering Research Council at the National Science and Technology Board of Singapore.

Chee Kai Chua, M.J.J. Liu, S.M. Chou, « Additive Manufacturing assisted scaffold-based tissue engineering », Innovative developments in virtual and physical prototyping, Bartolo and al. Taylor and Francis group London 2012.

School of Mechanical & Aerospace Engineering, College of Engineering, NTU, Singapore.

Chee Kai Chua, Lay Poh Tan, Jia An, « Advanced nanobiomaterials for tissue engineering and regenerative medicine », SPECIAL FOCUS y Advanced nanobiomaterials for tissue engineering and regenerative medicine, 2013.

School of Mechanical & Aerospace Engineering, College of Engineering, NTU, Singapore. Chua is an expert in rapid prototyping and additive manufacturing in Singapore.

Ian Gibson (1), David W. Rosen (2), Brent Stucker (3), « The Use of Multiple Materials in Additive Manufacturing », Springer Link, Additive Manufacturing Technologies, 2010.

(1) Department of Mechanical & Production Engineering, NUS, Singapore.

(2) Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA.

(3) Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Utah State University, Logan, USA. Almost since the very beginning, experimenters have tried to use more than one material in Additive Manufacturing machines. In fact, multiple materials are a fundamental benefit to how some AM technologies work. The Laminated Object Manufacturing (LOM) process, for example, was one of the earliest AM technologies developed and required that sheet material (paper) be combined with a resin to bond the sheets together to form a composite object of paper and resin.

Ian Gibson (1), David W. Rosen (2), Brent Stucker (3), « Business Opportunities and Future Directions », Springer link, Additive Manufacturing Technologies, 2010.

(1) Department of Mechanical & Production Engineering, NUS, Singapore.

(2) Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA.

(3) Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Utah State University, Logan, USA.

The current approach for many manufacturing enterprises is to centralize product development, product production, and product distribution in a relatively few physical locations. These locations can decrease even further when companies off-shore product development, production, and/or distribution to other countries/companies to take advantage of lower resource, labor or overhead costs. The resulting concentration of employment leads to regions of disproportionately high underemployment and/or unemployment. As a result, nations can have regions of underpopulation with consequent national problems such as infrastructure being underutilized, and long-term territorial integrity being compromised.

Ian Gibson (1), David W. Rosen (2), Brent Stucker (3), « Generalized Additive Manufacturing Process Chain », Spinger Link, Additive Manufacturing Technologies, 2010.

(1) Department of Mechanical & Production Engineering, NUS, Singapore.

(2) Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA.

(3) Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Utah State University, Logan, USA.

Every product development process involving an Additive Manufacturing machine requires the operator to go through a set sequence of tasks. Easy-to-use “desktop” or “3D printing” machines emphasize the simplicity of this task sequence. These desktop machines are characterized by their low cost, simplicity of use, and ability to be placed in an office environment. For these machines each step is likely to have few options and require minimal effort. However, this also means that there are generally fewer choices, with perhaps a limited range of materials and other variables to experiment with. The larger and more versatile machines are more capable of being tuned to suit different user requirements and therefore are more difficult to operate, but with a wider variety of possible results and effects that may be put to good use by an experienced operator. Such machines also usually require more careful installation in workshop environments.

This chapter will take the reader through the different stages of the process that were described in much less detail in Chap. 1. Where possible, the different steps in the process will be described with reference to different processes and machines. The objective is to allow the reader to understand how these machines may differ and also to see how each task works and how it may be exploited to the benefit of higher quality results. As mentioned before, we will refer to eight key steps in the process sequence.

Mario D. Monzón (1), Ian Gibson (2), Antonio N. Benítez (1), Luis Lorenzo (1), Pedro M. Hernández (1), María D. Marrero (1), « Process and material behavior modeling for a new design of micro-additive fused deposition », Spinger Link, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 67, 2013.

(1) Mechanical Engineering Department and Processing Engineering Department, Campus de Tafira Baja, University of Las Palmas de Gran Canaria, Edificio de Fabricación Integrada, Las Palmas de Gran Canaria, Spain.

(2) Engineering Design and Innovation Centre, National University of Singapore, Singapore.

The aim of this paper is to explore the limits and special requirements for additive manufacturing using polymer extrusion with a nozzle diameter much smaller than the conventional one: 0.050 mm diameter. This work is focused on the nozzle design and analyzes the effect of such a reduced diameter on the extrusion process and on the cooling of material while being deposited on the part. The approach is based on experimental and theoretical studies starting from conventional fused deposition modeling technology where the study tested swelling and cooling of filament material during deposition. Experimental work was used to assess the validity of the theoretical model and the first normal stress equation which estimated a swelling factor (diameter) of 1.249 at 0.087 g/h mass rate. The convection coefficient (h) on the plastic part was estimated as  $7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  on the first deposited layer; considerably lower than some references show.

Ian Gibson (1), David W. Rosen (2), Brent Stucker (3), « Introduction and Basic Principles », Springer Link, Additive Manufacturing Technologies, 2010.

(1) Department of Mechanical & Production Engineering, NUS, Singapore.

(2) Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA.

(3) Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Utah State University, Logan, USA.

The term Rapid Prototyping (or RP) is used in a variety of industries to describe a process for rapidly creating a system or part representation before final release or commercialization. In other words, the emphasis is on creating something quickly and that the output is a prototype or basis model from which further models and eventually the final product will be derived. Management consultants and software engineers both use the term Rapid Prototyping to describe a process of developing business and software solutions in a piecewise fashion that allows clients to test ideas and provide feedback during the development process. In a product development context, the term rapid prototyping was used widely to describe technologies which created physical prototypes directly from digital data. This text is about these technologies, first developed for prototyping, but now used for many more purposes.

A. Liu, C.K. Chua, K.F. Leong, « Properties of Test Coupons Fabricated by Selective Laser Melting », Key Engineering Materials, Volumes 447, 2010.

School of Mechanical & Aerospace Engineering, College of Engineering, NTU, Singapore.

Selective Laser Melting (SLM) is a popular and promising Additive Manufacturing (AM) technique as it can produce parts with complex internal features with part density close to 100%. However, unprocessed raw SLM fabricated parts have surface roughness issues and the mechanical properties of raw SLM parts without heat treatment are not ideal. The material used to address some of these issues in this research is an Aluminum alloy, AlSi10Mg – a strong and light weight metal. The SLM machine engaged for the test coupons fabrication is M2 Cusing from Concept Laser, Germany, which uses a diode pumped Yb-Fibre laser (Ytterbium-doped fibre lasers) with an effective output power of 200W. It is found that SLM fabricated parts with and without sandblasting shows up to 80% difference in surface roughness values. Also, the tensile test experiments of raw untreated SLM parts carried out at room temperature and at high temperature (200oC) show superior result compared with heat treated casted parts. Other properties such as hardness and density (porosity) are found to be better than heat treated cast parts as well.

Zhong Hong Liu (1), Chee Kai Chua (1), Kah Fai Leong (1), Thijs L., VanHumbecck J., Kruth J.P., « Microstructural Investigation of M2 High Speed Steel Produced by Selective Laser Melting: Microstructural Investigation of M2 High Speed Steel », Photonics and Optoelectronics (SOPO), 2012.

(1) Div. of Syst. & Eng. Manage. And School of Mechanical and Aerospace Engineering, NTU, Singapore.

In SLM, a high energy density is applied by a laser to locally melt layers of metallic powder particles in order to create functional parts. This high energy intensity and additive process character create a specific/unique microstructure. The solidified melt pools in HSS M2 SLM parts are observed to consist of two distinct zones next to the heat affected zone. The first zone, at the bottom of the melt pool, consists of very fine cells and columnar dendrites and has a hardness of  $655 \pm 80 \text{Hv}0.1$ . The other zone contains acicular martensite and has a hardness of  $859 \pm 80 \text{Hv}0.1$  which is already similar to the hardness of conventionally produced and heat treated HSS M2. Furthermore, the relative amount of these two zones is observed to be dependent on the scan velocity of the laser and hence can be controlled during the SLM process.

Graham Gagg (1), Elaheh Ghassemieh (2), Florencia Edith Wiria (3), « Effects of sintering temperature on morphology and mechanical characteristics of 3D printed porous titanium used as dental implant », Elsevier Materials Science and Engineering: C, Volume 33, 2013.

(1) Department of Mechanical Engineering, The University of Sheffield, United Kingdom.

(2) School of Mechanical and Aerospace Engineering, Queen's University Belfast, Ashby Building, Belfast, United Kingdom.

(3) SIMTech, Singapore.

Porous titanium samples were manufactured using the 3D printing and sintering method in order to determine the effects of final sintering temperature on morphology and mechanical properties. Cylindrical samples were printed and split into groups according to a final sintering temperature (FST). Irregular geometry samples were also printed and split into groups according to their FST. The cylindrical samples were used to determine part shrinkage, in compressive tests to provide stress-strain data, in microCT scans to provide internal morphology data and for optical microscopy to determine surface morphology. All of the samples were used in microhardness testing to establish the hardness. Below 1100 °C FST, shrinkage was in the region of 20% but increased to approximately 30% by a FST of 1300 °C. Porosity varied from a maximum of approximately 65% at the surface to the region of 30% internally. Between 97 and 99% of the internal porosity is interconnected. Average pore size varied between 24 µm at the surface and 19 µm internally. Sample hardness increased to in excess of 300 HV0.05 with increasing FST while samples with an FST of below 1250 °C produced an elastic–brittle stress/strain curve and samples above this displayed elastic–plastic behaviour. Yield strength increased significantly through the range of sintering temperatures while the Young's modulus remained fairly consistent.

Liu, J.M. J., Chua Chee Kai, « Development of silk fibroin tissue engineering scaffolds via indirect additive manufacturing for cartilage regeneration », Theses and Dissertations, Nanyang Technological University, 2013.

School of Mechanical and Aerospace Engineering, NTU, Singapore.

The development of cartilage tissue scaffolds in both craniofacial and orthopaedic surgeries still remains a great challenge in tissue engineering (TE). The architecture of scaffold constructs is one of the important criteria required for cartilage TE as it meets aesthetics and functional purposes in craniofacial and orthopaedic surgeries respectively. TE has been explored in recent years to create desirable cartilage substitutes so as to circumvent the limitations faced in the usage of autogeneous implants and allografts.

David S.K. Wong, Hlwan Moe Zaw, Zhen Jun Tao, « Additive manufacturing teaching factory: driving applied learning to industry solutions », Virtual and Physical Prototyping, 2014.

School of Engineering, Nanyang Polytechnic, Singapore.

This paper details how Nanyang Polytechnic has applied its Teaching Factory Concept in training its students and industry personnel on relevant additive manufacturing technologies with real industry applications. It also briefs on its additive manufacturing journey of capability development, industry projects and applied R&D activities over the last 20 years in alignment with the changing industry needs and trends in Singapore. It concludes with some industry case studies to demonstrate the impact and value-adding benefits to industry, leveraging on the additive manufacturing competencies.

Haijun Gong (1), Khalid Rafi (1)(2), Hengfeng Gu (1), Thomas Starr (1), Brent Stucker (1), « Analysis of defect generation in Ti–6Al–4V parts made using powder bed fusion additive manufacturing processes », Elsevier Additive Manufacturing, 2014.

(1) J.B. Speed School of Engineering, University of Louisville, United States.

(2) School of Mechanical & Aerospace Engineering, NTU, Singapore.

Ti–6Al–4V parts made using additive manufacturing processes such as selective laser melting (SLM) and electron beam melting (EBM) are subject to the inclusion of defects. This study purposely fabricated Ti–6Al–4V samples with defects by varying process parameters from the factory default settings in both SLM and EBM systems. Process parameters are classified according to their tendency to create certain types of porosity. Finally, defect characteristics are discussed with respect to defect generation mechanisms; and effective process windows for SLM and EBM system are discussed.

Vivek Manoharan (1), Siaw Meng Chou (1), Steph Forrester (2), Gin Boay Chai (1), Pui Wah Kong (1), « Application of additive manufacturing techniques in sports footwear », Virtual and Physical Prototyping, Volume 8, 2013.

(1) Institute for Sports Research, School of Mechanical and Aerospace Engineering and Physical Education and Sports Science Academic Group, National Institute of Education, NTU, Singapore.

(2) Sports Technology Institute, Wolfson School of Mechanical and Manufacturing Engineering, Loughborough University, United Kingdom.

This paper suggests a five-point scoring technique to evaluate the performance of four AM techniques, namely, stereolithography (SLA), PolyJet (PJ), selective laser sintering (SLS) and three-dimensional printing (3DP), in four important aspects of accuracy, surface finish, range of materials supported and building time for prototyping sports footwear

Ian Gibson (1), David W. Rosen (2), Brent Stucker (3), « Software Issues for Additive Manufacturing », Spring Link, Additive Manufacturing Technologies, 2010.

(1) Department of Mechanical & Production Engineering, NUS, Singapore.

(2) Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA.

(3) Department of Mechanical & Aerospace Engineering, Utah State University, Logan, USA.

It is clear that Additive Manufacturing would not exist without computers and would not have developed so far if it were not for the development of 3D solid modeling CAD. The quality, reliability, and ease of use of 3D CAD have meant that virtually any geometry can be modeled, and it has enhanced our ability to design. Some of the most impressive models made using AM are those that demonstrate the capacity to fabricate complex forms in a single stage without the need to assemble or to use secondary tooling. As mentioned in Chap. 1, the WYSIWYB (What You See Is What You Build) capability allows users to consider the design with fewer concerns over how it can be built.

Chih-Hao Chen (1), Jolene Mei-Jun Liu (2), Chee-Kai Chua (2), Siaw-Meng Chou (2), Victor Bong-Hang Shyu (1), Jyh-Ping Chen (1), « Cartilage Tissue Engineering with Silk Fibroin Scaffolds Fabricated by Indirect Additive Manufacturing Technology », Materials 2014.

(1) Department of Chemical and Materials Engineering, Craniofacial Research Center, Department of Plastic and Reconstructive Surgery, Chang Gung Memorial Hospital, College of Medicine and Research Center for Industry of Human Ecology, Chang Gung University, Kweishan, Taoyuan 333, Taiwan.

(2) NTU Additive Manufacturing Centre, School of Mechanical and Aerospace Engineering, NTU, Singapore.

Advanced tissue engineering (TE) technology based on additive manufacturing (AM) can fabricate scaffolds with a three-dimensional (3D) environment suitable for cartilage regeneration. Specifically, AM technology may allow the incorporation of complex architectural features. The present study involves the fabrication of 3D TE scaffolds by an indirect AM approach using silk fibroin (SF). From scanning electron microscopic observations, the presence of micro-pores and interconnected channels within the scaffold could be verified, resulting in a TE scaffold with both micro- and macro-structural features. The intrinsic properties, such as the chemical structure and thermal characteristics of SF, were preserved after the indirect AM manufacturing process. In vitro cell culture within the SF scaffold using porcine articular chondrocytes showed a steady increase in cell numbers up to Day 14. The specific production (per cell basis) of the cartilage-specific extracellular matrix component (collagen Type II) was enhanced with culture time up to 12 weeks, indicating the re-differentiation of chondrocytes within the scaffold. Subcutaneous implantation of the scaffold-chondrocyte constructs in nude mice also confirmed the formation of ectopic cartilage by histological examination and immunostaining.

Guijun Bi, Chen-Nan Sun, Hui-chi Chen, Fern Lan Ng, Cho Cho Khin Ma, « Microstructure and tensile properties of superalloy IN100 fabricated by micro-laser aided additive manufacturing », Elsevier Materials & Design, Volume 60, 2014.

SIMTech, Singapore.

Layer by layer fabrication using micro-laser aided additive manufacturing (micro-LAAM) was successfully implemented on nickel-base superalloy IN100. It is known that IN100, a type of superalloy having high titanium and aluminum contents, has poor weldability due to weld liquation cracking in the heat-affected zone (HAZ) and strain age cracking. In this study, micro-LAAM process was optimized through a set of designed experiments to eliminate crack formation and reduce porosity. It was found that the crack-free deposition can be achieved owing to the fact that micro-LAAM process used in this study had very low heat input. Three distinct sizes of  $\gamma'$  precipitates were observed on the post heat-treated samples. The volume fractions of  $\gamma$  to  $\gamma'$  phases were found to be approximately 60–40%. Microstructure and chemical analysis results showed that  $\gamma'$

phase was embedded within  $\gamma$ -Ni matrix while various carbides ( $MC$ ,  $M_{23}C_6$  and  $M_6C$ ) were observed as precipitates at grain boundaries or within grains. Electron backscatter diffraction (EBSD) was used to compare grain morphologies and size distribution of three distinctly different regions on each layer. The achieved ultimate tensile strength and yield strength are much better than the minimum requirements specified in aerospace material specification 5397 for cast IN100.

G. Bi, C.N. Sun, M.L. Nai, J. Wei, « Micro-structure and Mechanical Properties of Nano-TiC Reinforced Inconel 625 Deposited using LAAM », Elsevier Physics Procedia, Volume 41, 2013.

SIMTech, Singapore.

In this paper, deposition of Ni-base Inconel 625 mixed with nano-TiC powders using laser aided additive manufacturing (LAAM) was studied. Micro-structure and mechanical properties were intensively investigated. The results showed that nano-size TiC distributed uniformly throughout the Ni- matrix. Inconel 625 can be reinforced by the strengthened grain boundaries with nano-size TiC. Improved micro-hardness and tensile properties were observed.

M Mapar (1), DQ Zhang (1), ZH Liu (1), WY Yeong (1), CK Chua (1), B.Y. Tay (2), O. Germamifard (2), Maleksaeedi (2), FE Wiria (2), « Preparation and flowability characterization of ceramic powders for Selective Laser Melting », Hight Value Manufacturing, Bartolo and al. Taylor and Francis Group, London, 2014.

(1) School of Mechanical & Aerospace Engineering, College of Engineering, NTU, Singapore.

(2) SIMTech, Singapore.

**Jiaming Bai (1)(4), Ruth D. Goodridge (1), Richard J.M. Hague (1), Mo Song (2), Hideyuki Murakami (3), « Nanostructural characterization of carbon nanotubes in laser-sintered polyamide 12 by 3D-TEM », Journal of Materials Research, Volume 29, 2014.**

(1) Additive Manufacturing and 3D-Printing Research Group, Faculty of Engineering, University of Nottingham, Nottingham, United Kingdom.

(2) Department of Materials, Loughborough University, Loughborough, Leicestershire UK.

(3) Surface Kinetics Group, High Temperature Materials Unit National Institute for Materials Science, Tsukuba, Japan.

(4) SIMTech, Singapore.

Three-dimensional transmission electron microscopy (3D-TEM) is a powerful technology that provides 3D characterization of the internal details of a material. In this work, for the first time, 3D-TEM was used to characterize a laser-sintered polymer nanocomposite. The dispersion of carbon nanotubes (CNTs) in the laser-sintered polyamide 12 (PA12)-CNT nanocomposite parts was evaluated. At first, to prepare 3D-TEM samples at specific locations, a focused ion beam technique was used. Then, high quality two-dimensional (2D)-TEM images were achieved at various scanning angles for the PA12-CNT laser-sintered sample. After that, 3D-TEM images were reconstructed by combining all the 2D-TEM images. Results revealed that the CNTs were agglomerate-free in the PA12-CNT parts after laser sintering, which helps to explain previously reported improvement in mechanical properties of laser-sintered PA12-CNT parts.

SL Sing (1), WY Yeong (1), CK Chua (1), FE Wiria (2), « Classical Lamination Theory applied on parts produced by Selective Laser Melting », Hight Value Manufacturing, Bartolo and al. Taylor and Francis Group, London, 2014.

(1) School of Mechanical and Aerospace Engineering and SIMTech-NTU Joint Laboratory, NTU, Singapore.

(2) SIMTech, Singapore.

KH Low (1), KF Leong (1), CN Sun (1)(2), « Review of Selective Laser Melting process parameters for Commercially Pure Titanium and Ti6Al4V », High Value Manufacturing, Bartolo and al. Taylor and Francis Group, London, 2014.

(1) School of Mechanical and Aerospace Engineering and SIMTech-NTU Joint Laboratory, NTU, Singapore.

(2) SIMTech, Singapore.

P. Li (1), N. Petrinic (2), C.R. Siviour (2), « X-RAY microtomographic observations of deformation and failure process in selectively laser melted microlattice structures », ICEM.

(1) School of Mechanical and Aerospace Engineering, NTU, Singapore.

(2) Department of Engineering Science, University of Oxford, UK.

New development in additive manufacturing technologies such as selectively laser melting (SLM) has recently enabled the fabrication of microlattice structures with periodic unit cells. Due to the designable unit cell geometry and thus controllable mechanical properties, microlattice structures are potentially attractive in a wide range of applications such as aerospace and bio-implants. The application of these materials requires a better understanding of the deformation and failure mechanism under various loading conditions.

## Liste détaillée des brevets singapouriens

La recherche des a été réalisée sur le site worldwide.espacenet.com.

**Page bookmark** SG189649 (A1) - \_POWDER FEEDING NOZZLE, ASSEMBLY AND METHOD FOR LASER AIDED ADDITIVE MANUFACTURING

---

**Inventor(s):** BI GUIJUN; TEH KIM MING

---

**Applicant(s):** AGENCY FOR SCIENCE, TECHNOLOGY AND RESEARCH (A\*STAR)

---

**Application number:** SG20120007732 20121017

---

An inner nozzle portion for a powder feeding nozzle is provided capable of being coaxially arranged within an outer nozzle portion of the powder feeding nozzle, the inner nozzle portion including: an upper section having a plurality of defined shapes on a surface thereof configured to manipulate a stream of powder flowing across said surface of the upper section; and a lower section having a substantially flat conical surface for forming a channel between said substantially flat conical surface and an inner surface of the outer nozzle portion when the inner nozzle portion is coupled to the outer nozzle portion, the inner nozzle portion being in communication with a powder inlet for receiving the stream of powder to flow across the surface of the upper section through the channel and towards a powder discharge outlet of the channel. There is also provided a powder feeding nozzle including the inner nozzle portion being coaxially arranged within the outer nozzle portion, an assembly and a method for laser aided additive manufacturing including the powder feeding nozzle FIG. 2