

Additive manufacturing

Un panorama des brevets

Fabienne Monfort–Windels
Sirris

Août 2019

TABLE DES MATIERES

Table des matières

1. Introduction.....	3
2. Le panorama.....	4
2.1. Le portefeuille global.....	4
2.2. Les litiges	5
3. Evolution de la R&D au cours du temps	5
3.1. Les brevets fondateurs	5
3.2. Importance des brevets fondateurs	7
3.3. Evolution des dépôts de brevets.....	8
3.4. Expiration de certains brevets.....	9
4. Les acteurs clés de l'innovation	10
4.1. Quels sont les acteurs de l'AM et à quel point sont-ils actifs ?	10
4.2. Les acteurs de l'AM Métal	12
4.3. Typologie des déposants	13
4.4. PME et start-ups	15
4.5. Déposants atypiques.....	19
4.6. Evolution des déposants	20
5. Distribution géographique de l'AM.....	21
5.1. Où se fait la R&D ?	21
5.2. Les déposants belges.....	23
5.3. Où sont les marchés ?.....	25
6. Les technologies	26
6.1. Les grands domaines	26
6.2. Spécificité des portefeuilles.....	28
6.3. Les matériaux	32
6.4. Les poudres métalliques	33
7. Les applications	36
7.1. Cartographie.....	36
7.2. Les produits	36
7.3. Les déposants	43
7.4. Le secteur médical, plus en détail	44
8. Quelques pistes pour l'avenir.....	49

Additive manufacturing

Un panorama des brevets

1. Introduction

L'additive manufacturing, dès ses débuts, a bénéficié d'un vocabulaire foisonnant, si bien que le comité de normalisation ASTM F42 créé en 2009, très tôt suivi par d'autres organismes normatifs, a tranché et imposé le vocable "additive manufacturing" (AM), y compris pour ce qu'on appelait avant le rapid prototyping et le rapid manufacturing.

Le 3D printing ou impression 3D ne concerne en principe que la fabrication d'objets par des techniques similaires à l'impression 2D (déposition d'une encre à l'aide d'une tête d'impression). Associé d'abord aux machines à bas coût ou avec des caractéristiques bas de gamme, le terme s'est imposé progressivement dans la littérature et le langage commun.

Dans le présent rapport, impression 3D et additive manufacturing sont considérés comme interchangeables.

L'étude des brevets qui a été menée est basée sur une combinaison de ces termes, de bien d'autres synonymes et des classifications IPC/CPC les plus adéquates. Elle a été relayée avec le outils Orbit Intelmelligence de Questel et PatentInspiration de Aulive/Creax.

Les comptages et analyses statistiques qui sont présentés dans ce texte ne sont que des cartographies et des graphes destinés à donner une idée d'un environnement R&D et ne doivent pas être interprétés autrement que comme une source d'inspiration.

Quelques remarques liminaires :

- Sauf indication contraire, les statistiques ci-après comptabilisent à la fois les demandes de brevets et les brevets délivrés. Toutes les demandes ne débouchent pas sur l'octroi d'un brevet parce que certaines inventions ne répondent pas aux critères de brevetabilité ou parce que la stratégie du déposant consiste à déposer plus de demandes qu'il n'a l'intention d'en poursuivre.
- Il y a un délai entre la publication de la demande et l'octroi d'un brevet, délai de plusieurs années en fonction de l'Office concerné. C'est donc l'analyse des demandes de brevets qui est généralement considérée comme intéressante pour l'étude des tendances pour le futur.

- Sauf avis contraire aussi, les statistiques présentées ici portent sur des familles de brevets (une publication par famille) et donc sur des inventions uniques. Une famille comprend généralement plusieurs brevets correspondant à une invention initiale protégée dans plusieurs pays ou région.

2. Le panorama

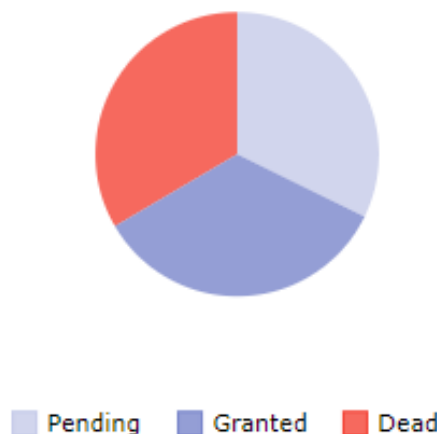
Sirris a réalisé ici une large approche des brevets en additive manufacturing pour esquisser un panorama de l'environnement R&D de ce domaine. L'examen des brevets et demandes de brevets permet en effet de se faire une idée du dynamisme d'une technologie et de la vitalité de la R&D qui présagent de l'évolution du paysage industriel.

2.1. Le portefeuille global

Le portefeuille étudié est large et riche de 97938 familles de brevets (ce qui équivaut à 97938 inventions, au 12.07.19), mais très dispersé : les 10 plus grands acteurs ne sont à l'origine que de 4% de ces inventions. Il n'y a pas de monopole général sur la technologie, qui compte des inventions sur aussi bien sur les procédés de fabrication que les machines et leurs composants, sur les logiciels de pilotage et de contrôle ou sur les objets imprimés. Si monopole il y a, il s'exercera plutôt sur des niches particulières.



Dans ce vaste ensemble, un tiers des brevets à peu près sont en attente, un tiers sont délivrés, et le dernier tiers sont des inventions qui sont retournées dans le domaine public pour une raison ou une autre (ils n'ont pas été octroyés pour non-conformité aux critères de brevetabilité, ils n'ont pas été maintenus par le titulaire via le paiement des taxes annuelles, ils ont dépassé la durée du monopole qui est de 20 ans etc.)



Quand il y a rejet, le motif invoqué par les examinateurs américains est le 103 "Obvious subject matter" et par les examinateurs européens la citation Y. Les demandes de brevets dans le domaine AM sont probablement plus sensibles à ces rejets parce qu'elles sont de plus en plus souvent des adaptations de technologies ou de processus existants.

2.2. Les litiges

Le nombre de brevets augmente, et dès lors, les litiges en matière de propriété intellectuelle se multiplient eux aussi. Récemment, on a vu, par exemple, le spécialiste de l'impression jet d'encre Memjet accuser HP de contrefaire dans la machine Multijet Fusion sept de ses brevets portant sur sa technique "waterfall". On a vu aussi EnvisionTEC attaquer Formlabs pour contrefaçon de 2 brevets SLA.

Fin mars 2018, c'est Desktop Metal qui a poursuivi Markforged pour violation de brevets ainsi que pour détournement de secret commercial dans le chef d'un ancien stagiaire.

Les brevets incriminés sont les documents US9815118 "Fabricating Multi-Part Assemblies" et US9833839 "Fabricating an Interface Layer for Removable Support", tous deux traitant des innovations de Desktop Metal en matière de supports imprimés détachables.

28. Markforged has infringed at least claim 1 of the '839 patent through use of its Markforged Metal X 3D print system to practice the patented method for fabricating, from a first material, a support structure for an object; fabricating an interface layer adjacent to the support structure; and fabricating a surface of the object from a second material, the surface of the object adjacent to the interface layer and the second material including a powdered material for forming a final part and a binder system including one or more binders, wherein the one or more binders retain a net shape of the object during processing of the object into the final part, wherein processing of the object into the final part includes debinding the net shape to remove at least a portion of one or more binders and sintering the net shape to join and densify the powdered material, and wherein the interface layer resists bonding of the support structure to the object during sintering.

3. Evolution de la R&D au cours du temps

3.1. Les brevets fondateurs

On fait généralement remonter l'histoire de l'AM aux années 80. Avant cela, on trouve déjà quelques prémices. Ainsi, dans les années 1960, l'Institut Battelle a déjà étudié la création d'objets solides par photopolymérisation d'une résine avec un laser. Il a ensuite testé la solidification d'un matériau dans un bain liquide à l'intersection de deux lasers de longueurs d'onde différentes.

La photorésine elle-même avait été inventée par DuPont dans les années 50.

En 1967, un inventeur danois W.Swainson brevète un procédé similaire : "Method of Producing a 3D Figure by Holography".

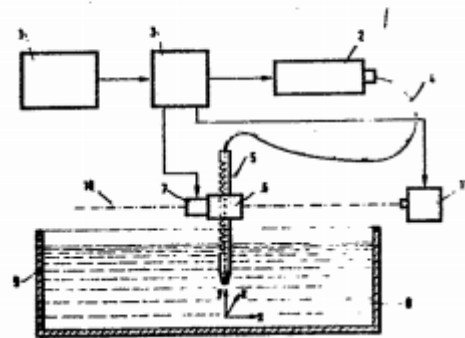
"A method of producing a permanent three-dimensional figure, comprising providing a three-dimensional volume of a radiation sensitive medium, directing into the said volume at least two beams of the same radiation, to which the medium is transmissive, the said beams intersecting within the said volume to define an active region, the medium being substantially insensitive to the effect of a single one of the beams but sensitive to the total effect of the beams at the active region, and moving the beams within the said volume, the movements of the individual beams being interrelated so that the active region is moved through the said volume to form in the said material a volume affected by the radiation and having the shape of the desired figure, the last-mentioned volume forming, or the said medium being processed to form from the said volume, the said permanent figure or a mould thereof."

Les premiers "vrais" dépôts de brevets sur l'AM datent des années 1980.

Le premier, FR2567668, a été déposé le 16 juillet 1984. Trois Français sont à l'origine d'un procédé de photopolymérisation, Jean-Claude André, Olivier de Witte, et Alain le Méhauté, travaillant pour le compte de l'entreprise CILAS. Les inventeurs ont laissé tomber leurs développements, par manque d'opportunités commerciales.

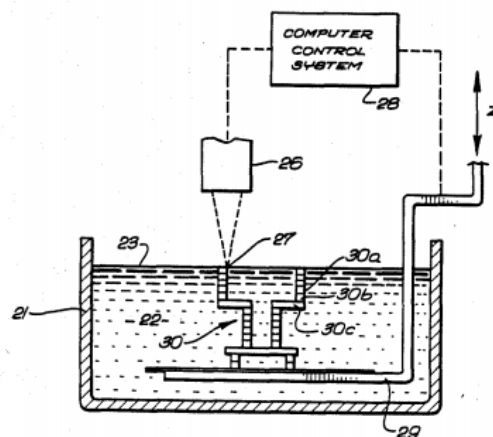
(54) Dispositif pour réaliser un modèle de pièce industrielle.

(57) Dispositif pour réaliser un modèle de pièce industrielle.
Le dispositif comporte un système de mémoires 1 contenant des informations sur la forme de la pièce, un générateur laser 2 relié au système de mémoires 1 par un circuit de traitement 3, une fibre optique 4 couplée à la sortie du générateur laser 2, et des moyens 6, 7, 11 pour déplacer l'extrémité libre de la fibre 4 dans une cuve 9 remplie d'un liquide monomère polymérisable 8, ces moyens étant commandés par les signaux de sortie de circuit de traitement 3.
Application à la réalisation d'un modèle de bielle.



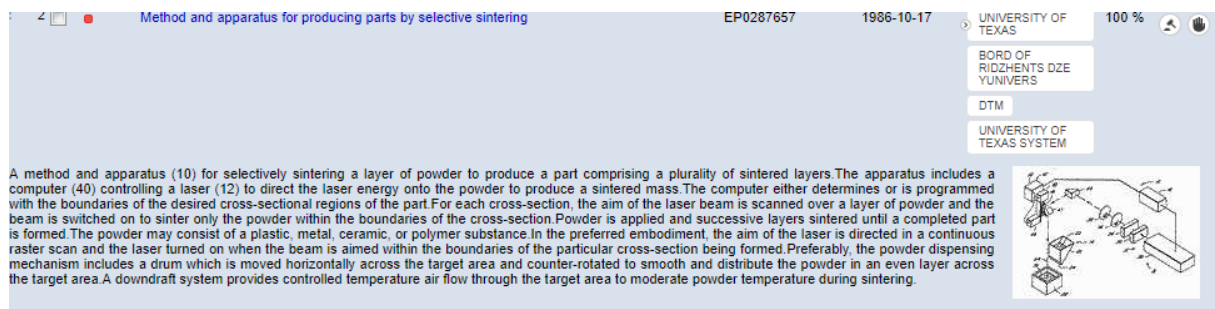
Brevet FR2567668

Quelques jours plus tard, le 1^{er} août 1984, l'Américain Chuck Hull a déposé un brevet sur une technique qu'il a appelé stéréolithographie. Cette invention donnera naissance à une entreprise leader, 3D Systems, qui lancera fin 1988 la première imprimante 3D SLA commerciale, dont un exemplaire a été acquis par Sirris, pionnier dans le domaine, en 1990.



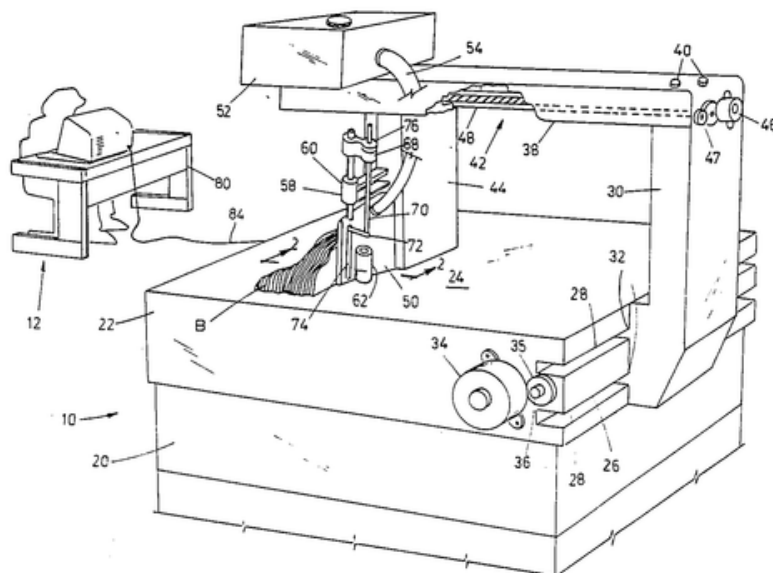
Brevet SLA US4575330 Charles Hull

En 1986, le SLS (Sintering Laser System) est inventé par un chercheur de l'Université du Texas, Carl Deckard. Licence sera cédée à l'entreprise DTM rachetée plus tard par 3D Systems.



Brevet SLS EP0287657 Université du Texas

En 1986 aussi, Scott Crump dépose un brevet sur la construction de pièces par extrusion d'un filament fondu (US4749347 et plus tard US5121329). Il co-fonde la société Stratasys, qui lancera sur le marché la technologie FDM en 1988.



Brevet FDM US4749347 S.Crump

Voilà donc l'additive manufacturing lancé en quelques années par 3-4 brevets fondateurs, déposés par des pionniers dont on a retenu le nom. Ces technologies sont toujours d'actualité aujourd'hui. Les inventions qui vont suivre seront plutôt le fait d'équipes et d'entreprises, comme souvent dans l'histoire des sciences.

3.2. Importance des brevets fondateurs

Le nombre de citations dont un brevet fait l'objet reflète l'importance technologique et commerciale de ce brevet. Une étude réalisée en 2016 par Sirris a indiqué que le brevet le plus souvent cité était est le brevet EP101769 - Method and apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography - déposé aux USA en 1984 par Charles Hull, fondateur de 3D Systems et considéré comme le père de l'additive manufacturing.

Arrivait en deuxième place le brevet WO8802677 - Method and Apparatus for producing parts by selective sintering - déposé en 1986 par Deckard de l'Université du Texas. Ce brevet est lui aussi très important pour l'histoire de l'additive manufacturing puisqu'il est à l'origine de tous les systèmes de frittage laser.

Un troisième brevet très fréquemment cité est celui du MIT, US5204055, de 1989 qui concerne l'impression 3D par jet binding.

Les entreprises les plus anciennes de l'AM enregistrent pour l'ensemble de leur portefeuille, le nombre de citations/nombre de brevets suivant :

3D Systems 43.9

Stratasys 37.7

EOS 20.5

ce qui est considérable sur l'ensemble d'un portefeuille et témoigne de la manière dont elles ont contribué à l'avancement de l'état de l'art.

3.3. Evolution des dépôts de brevets

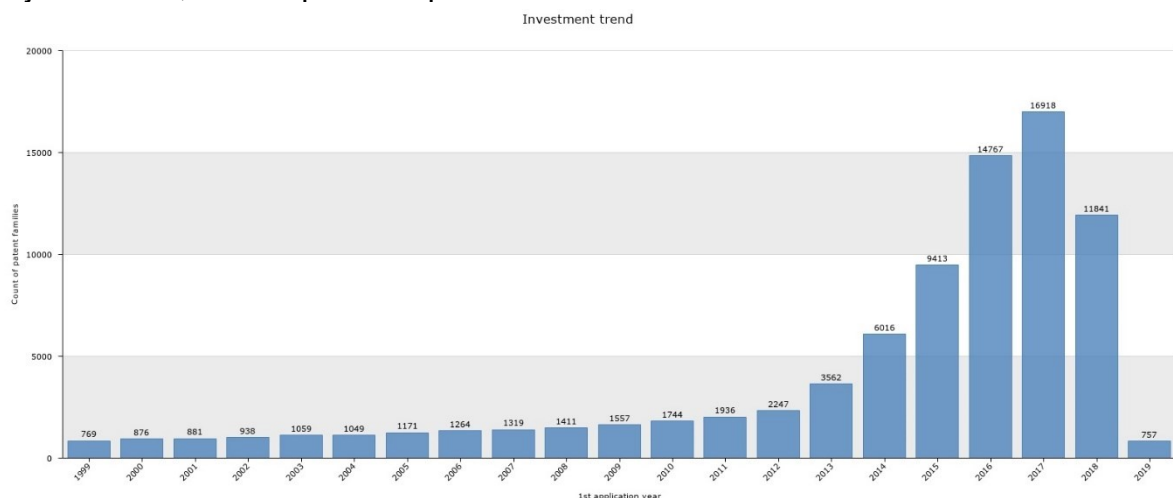
L'évolution dans le temps du nombre de demandes de brevets est une indication de la dynamique d'inventivité du secteur étudié.

Depuis les premières inventions dans les années 80, le nombre de dépôts de brevets AM a augmenté progressivement. D'une cinquantaine de demandes par an, la croissance est devenue plus importante, mais assez linéaire à partir des années 2000. La crise économique de 2008 ne semble pas avoir eu de conséquences sur l'investissement R&D en AM alors qu'elle a occasionné une chute de l'activité brevets dans beaucoup d'autres domaines.

A partir de 2013, la croissance s'est accélérée. Le fait que les demandes semblent diminuer à partir de 2018 s'explique par le délai procédural entre le dépôt d'une demande de brevets et sa publication.

Entre 2017 et 2018, la quantité de brevets octroyés a augmenté de 37%.

En juillet 2019, on comptabilise près de 100 000 familles de brevets AM au total.



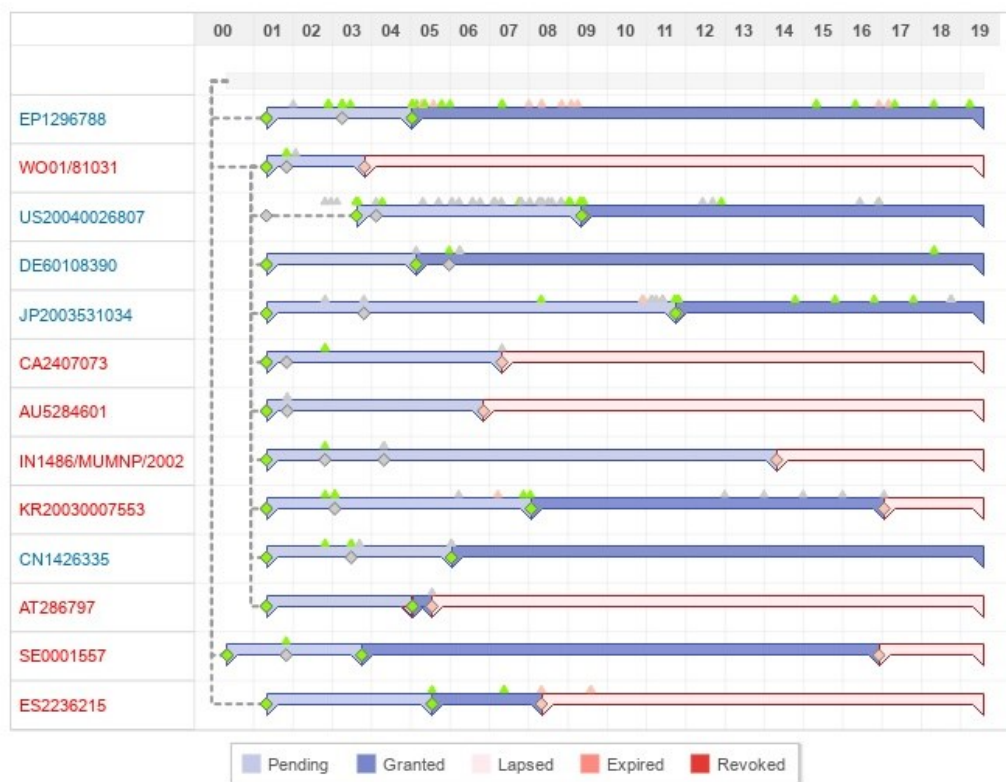
Nombre de demandes de brevets AM en fonction du temps

Il faudrait sans doute normaliser ces chiffres par rapport à la croissance générale des dépôts de brevets, mais ils restent néanmoins élevés. Il n'en reste pas moins que l'additive manufacturing connaît une activité inventive intense et que le nombre de brevets explose. La croissance exponentielle observée ces dernières années témoigne de l'important développement des technologies dans un secteur qui n'est pas encore à maturité; elle est aussi révélatrice d'une course aux brevets synonyme d'une intense concurrence (voir 2.2.).

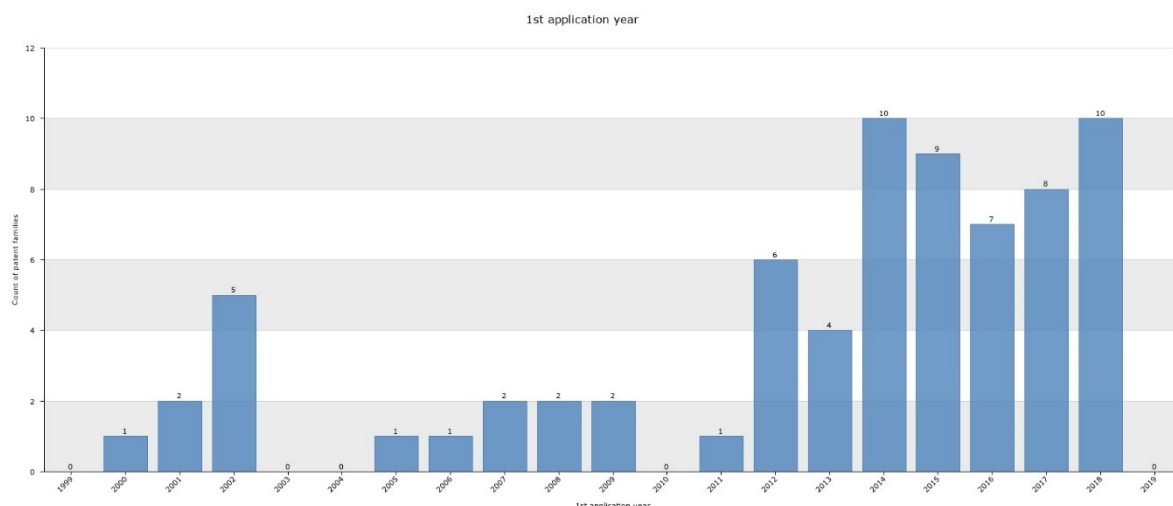
3.4. Expiration de certains brevets

La croissance des brevets dans les premières années 2010 est peut-être en liaison avec l'expiration des monopoles (20 ans max.) liés aux brevets sur les procédés FDM, SLA et SLS délivrés dans les années 1980 et au début des années 1990. C'est sans doute en partie vrai, car cela a certainement stimulé la R&D autour de ces technologies, mais les facteurs sont multiples et plus complexes, liés notamment à un environnement politico-économique favorable. On peut citer les investissements réalisés par les pouvoirs publics, le développement technologique de la Chine, le hype médiatique, la volonté de réindustrialiser certaines régions...

Mais ce n'est pas totalement vrai : lorsque le ou les premiers brevets autour d'une technologie tombent dans le domaine public, les concurrents ont certes de l'espace pour innover dans le domaine, mais dans certains cas, ils ont pris un tel retard qu'il n'est pas possible de le rattraper. Ainsi, si le premier brevet d'Arcam sur l'Electron Beam Melting date de 2000 et aura bientôt expiré, ce n'est pas pour autant que d'autres acteurs se ruent sur la technologie : Arcam a depuis déposé 72 familles de brevets qui améliorent son invention de base.



Statut juridique du premier brevet Arcam



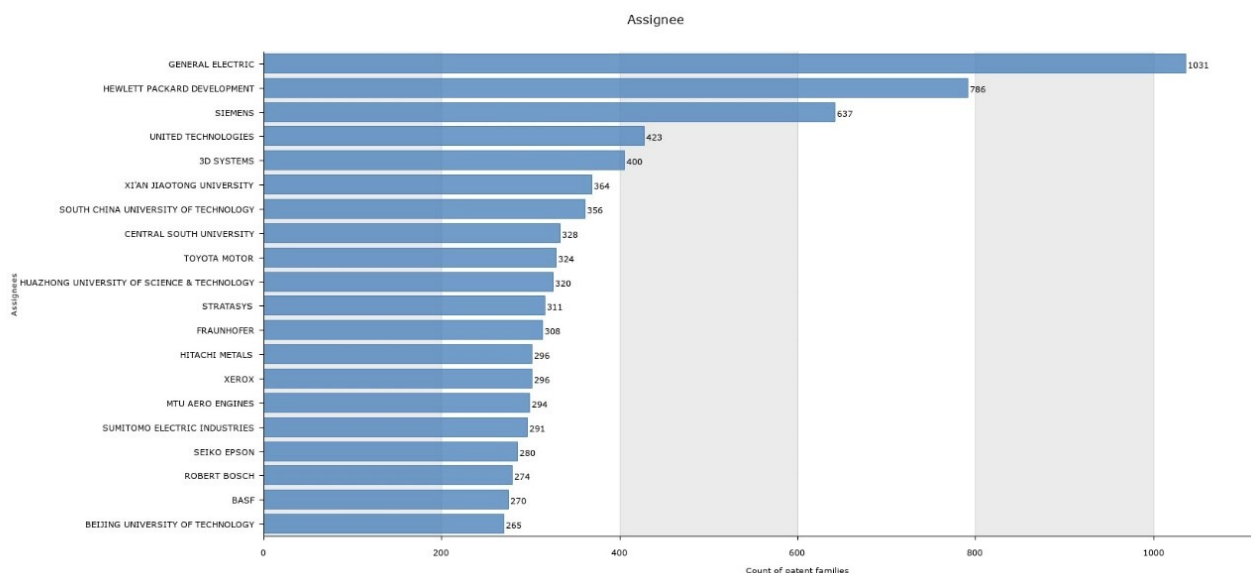
Les dépôts de brevets d'Arcam

4. Les acteurs clés de l'innovation

4.1. Quels sont les acteurs de l'AM et à quel point sont-ils actifs ?

Le graphique suivant indique la taille des portefeuilles des 20 premiers déposants dans le corpus des brevets AM. Cette donnée est un bon indicateur du niveau d'inventivité des acteurs.

Pour rappel, les 10 premiers déposants ne détiennent que 4 % des brevets.



Top 20 des déposants AM et le nombre de leurs inventions

Le premier déposant, avec 1031 familles de brevets AM, est le géant américain General Electric qui investit fortement dans cette technologie et consolide en permanence son leadership.

Ainsi, notamment, en 2016, il a réalisé d'importants investissements en rachetant l'entreprise allemande Concept Laser et le fabricant suédois Arcam.

Les entreprises américaines sont les principaux déposants, avec, en tête, General Electric, HP, United Technologies.

Plusieurs entreprises allemandes - Siemens, MTU Aero Engines, EOS – et plusieurs firmes japonaises – Toyota, Sumitomo, Hitachi, - sont également dans cette liste. XYZPrinting (28^{ème}) appartient à un groupe taiwanais (idem que Knipo Electronics, 20^{ème}).

Les pionniers de l'AM, 3D Systems, Stratasys, EOS, reculent progressivement dans le classement; ils sont actuellement respectivement en 5^{ème}, 11^{ème} et 25^{ème} place.

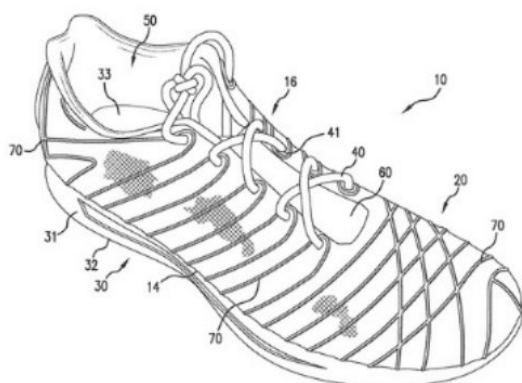
La présence de 7 universités chinoises dans les 30 principaux organismes de recherche déposants (4 dans le top 10) s'explique par l'implication forte des pouvoirs publics dans ces instituts. C'est un phénomène assez récent, et qui pourrait expliquer l'accélération globale des dépôts constatée ces dernières années.

Dans le top 30 des déposants, on trouve

- des fabricants de matière comme BASF ou Höganäs
- des secteurs utilisateurs tels que l'aéronautique avec Rolls Royce, MTU et Boeing, l'automobile avec Toyota, les outils de coupe avec Sandvik, l'énergie avec General Electric ou Siemens
- des fabricants de systèmes comme 3D Systems, Eos, Stratasys, Xerox XYZPrinting...

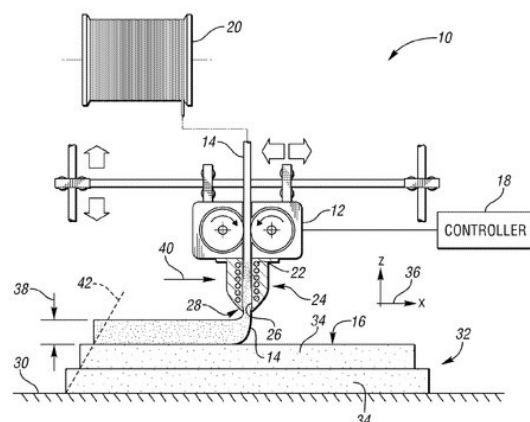
Les activités ne sont pas tranchées : des producteurs de matières développent des systèmes, des fabricants de pièces développent leurs imprimantes, des utilisateurs finaux sont aussi à l'origine de systèmes, des entreprises comme Siemens produisent des composants mais proposent des services d'industrialisation...

Nike (plus loin dans le classement), par exemple, a déposé 61 brevets, concernant aussi bien des produits de consommation (chaussures, textile) que des composants d'imprimantes ou des méthodes de fabrication.



EP3243637

Footwear assembly method with 3d printing



WO2015/102775

3D print head

4.2. Les acteurs de l'AM Métal

Les trois plus grandes entreprises déposantes dans l'AM Métal sont General Electric, Siemens, United Technologies.

3D SYSTEMS INC • AIRBUS OPERATIONS GMBH • ALSTOM TECHNOLOGY LTD
APPLIED MATERIALS INC • ARCAM AB • BAE SYSTEMS PLC • BAKER HUGHES INC
BOEING CO • CATERPILLAR INC
CL SCHUTZRECHTSVERWALTUNGS GMBH • DELAVAN INC
DESKTOP METAL INC • DISCO CORP • EOS ELECTRO OPTICAL SYST
EOS GMBH ELECTRO OPTICAL SYSTEMS • FRAUNHOFER GES FORSCHUNG
GEN ELECTRIC • HALLIBURTON ENERGY SERVICES INC
HAMILTON SUNDSTRAND CORP • HEWLETT PACKARD DEVELOPMENT CO
HEWLETT-PACKARD DEV COMPANY L P • HONEYWELL INT INC • IND TECH RES INST
JFE STEEL CORP • LINCOLN GLOBAL INC • MATERIALS SOLUTIONS
MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD • MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD • MICHELIN & CIE
MICHELIN RECH TECH • MTU AERO ENGINES GMBH
NTN TOYO BEARING CO LTD • PANASONIC IP MAN CO LTD • RENISHAW PLC
RICOH KK • ROLLS ROYCE PLC • SAFRAN AIRCRAFT ENGINES
SAMSUNG DISPLAY CO LTD • SEIKO EPSON CORP • SEMICONDUCTOR ENERGY LAB
SIEMENS AG • SIEMENS ENERGY INC • SNECMA • SODICK CO LTD
STRATASYS INC • TOSHIBA KK • TOYOTA MOTOR CO LTD
TRUMPF LASER & SYSTEMTECHNIK
UNITED TECHNOLOGIES CORP • VELO3D INC
Les entreprises qui déposent le plus en AM Métal

Apparaissent dans la liste

- des secteurs utilisateurs tels que l'aéronautique avec Boeing, BAE Systems, Airbus, MTU, Rolls Royce, SNECMA, l'automobile avec Michelin ou Toyota, l'énergie avec General Electric, Halliburton ou Siemens
- des fabricants de systèmes anciens comme Eos, Stratasys, Arcam, Trumpf, Renishaw ou plus récents comme Desktop Metal ou Velo3D.

Parmi les déposants académiques dans l'AM Métal, on trouvera des établissements français (CNRS, Ecole d'Ingénieurs de Saint Etienne...), suisses (EPFL), allemands (Univ Dortmund, Clausthal, Dresden...), des universités et laboratoires américains (Univ Texas, pionnière en AM, Washington, Missouri, Californie, Columbia...) ainsi que des universités chinoises et coréennes.

CALIFORNIA INST OF TECHN
 CENTRE NAT RECH SCIENT
 ECOLE NAT DINGENIEURS DE SAINT ETIENNE
 ECOLE POLYTECHNIQUE FED DE LAUSANNE (EPFL) • INST SOLARENERGIEFORSCHUNG
 KOREA MACH & MATERIALS INST
 LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO • LORRAINE INST NAT POLYTECH
 MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY • NANTES ECOLE CENTRALE
 NAT INST ADVANCED IND SCIENCE & TECH • NAT UNIV OF SCIENCE AND TECH "MISIS"
 NAT UNIV TSING HUA • TECH UNIVERSITÄT CLAUSTHAL
 TECH UNIVERSITÄT DORTMUND • TECH UNIVERSITÄT HAMBURG HARBURG
 THE UNIV OF LIVERPOOL • UNIV ALABAMA • UNIV BIRMINGHAM • UNIV BRITISH COLUMBIA
 UNIV CALIFORNIA • UNIV CARNEGIE MELLON • UNIV CATANIA
 UNIV COLUMBIA • UNIV DANMARKS TEKNISKE • UNIV DRESDEN TECH
 UNIV HAMBURG HARBURG TECH • UNIV HUAZHONG SCIENCE TECH
 UNIV INNSBRUCK • UNIV JIANGSU • UNIV KUMAMOTO • UNIV KYOTO
 UNIV LORRAINE • UNIV MISSOURI • UNIV MONTFORT
 UNIV NAGAOKA TECHNOLOGY • UNIV NANCY 1 HENRI POINCARÉ • UNIV NAT CHIAO TUNG
 UNIV NORTHEASTERN • UNIV SAITAMA NAT UNIV CORP • UNIV SOOCHOW
 UNIV STUTTGART • UNIV SUZHOU • UNIV TEXAS
 UNIV TOULOUSE III PAUL SABATIER • UNIV TSINGHUA
 UNIV UTAH RES FOUND • UNIV WASHINGTON STATE • UNIV YONSEI IACF
 ZHANGJIAGANG INST IND TECHNOLOGIES SOOCHOW UNI

Les organismes académiques dans l'AM Métal

4.3. Typologie des déposants

La nature des déposants

Lorsqu'un nouveau domaine technologique apparaît, ce sont généralement les universités et centres de recherche qui déposent des brevets en premier. Les grandes entreprises disposant d'importants moyens de R&D arrivent ensuite.

Mais ce modèle classique n'est pas celui qui a prévalu en AM. Si l'on en croit les statistiques de l'USPTO, les déposants de brevets (délivrés) sont à 83% des entreprises, à 8% des inventeurs isolés et à 10% des universités et académiques; ces proportions sont restées à peu près stables pendant plusieurs années mais commencent aujourd'hui à évoluer.

Deux des procédés AM les plus importants ont toutefois été développés au MIT et à l'Université du Texas à Austin, ces organismes possédant un portefeuille de brevets considérable dans le domaine.

Les brevets universitaires ont généralement été licenciés à des entreprises privées pour la commercialisation des inventions. Ainsi, le MIT a licencié plusieurs entreprises pour sa technologie d'impression à jet d'encre (exemple : Z Corp. racheté par 3D Systems en 2012).

Les inventeurs

L'importance d'Internet, la facilité de communication entre intéressés, la disponibilité de fichiers CAO, la baisse du prix des imprimantes, l'engouement médiatique, tous ces facteurs ont sans doute amené plus d'individus à comprendre et à expérimenter les technologies, ce qui explique le nombre croissant de déposants individuels.

Les déposants académiques

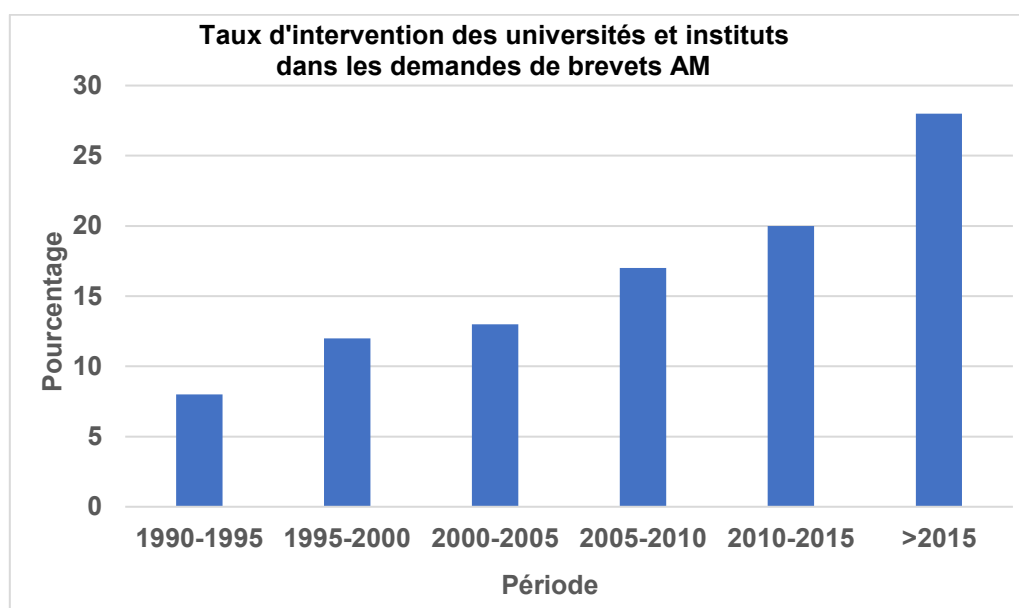
Les universités et le secteur public ne représentaient jusqu'ici qu'une faible partie des demandes mais la proportion va en croissant ces dernières années au fur et à mesure que l'on sort de l'empirisme et du technologique pour aller vers le scientifique.

Cela pourrait s'expliquer par l'ouverture de nouveaux créneaux d'application, comme celui des prothèses, applications qui gagnent en importance grâce à la caution de la R&D universitaire.

Cela s'explique aussi par une certaine maturité des technologies : l'AM a gagné en crédibilité et la période des essais-erreurs est (presque) terminée. Il est temps de lui donner une assise scientifique qu'il n'avait pas au début. Le fait par exemple de se diriger vers la production de pièces métalliques finales de plus en plus critiques impose une meilleure connaissance des phénomènes métallurgiques à l'œuvre dans le Laser Beam Melting. Autre exemple : le fait que l'AM soit considéré comme une technique d'avenir pour la construction incite les chercheurs à mettre au point des outils scientifiques pour comprendre l'impression 3D du béton.

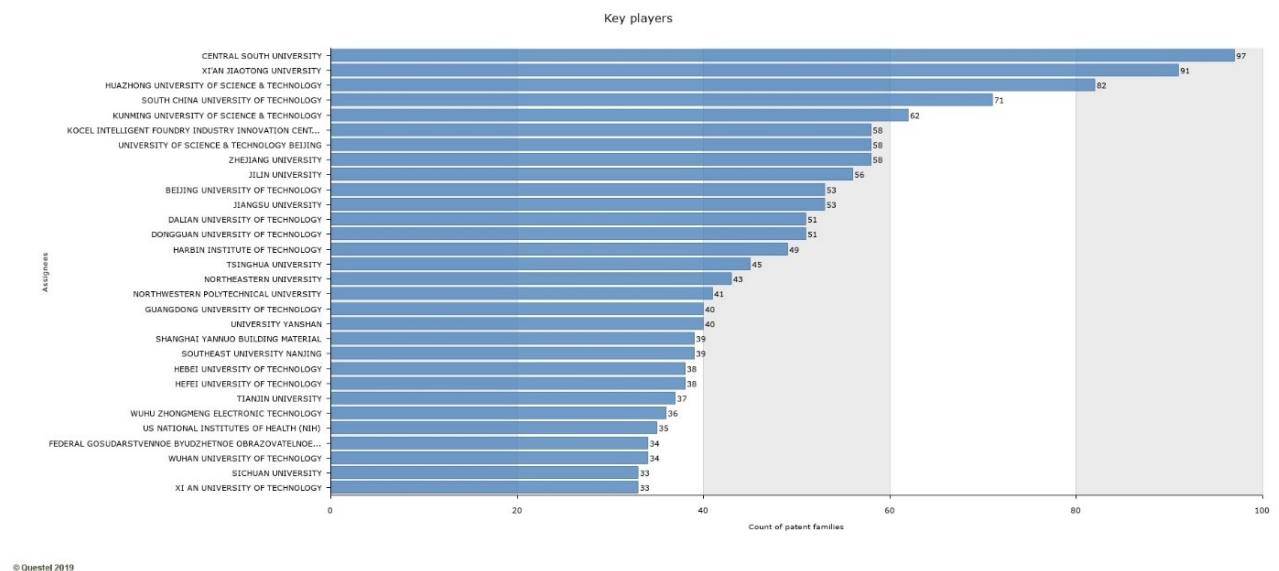
Enfin, la diversité des applications, depuis l'aéronautique et l'automobile jusqu'à la botanique en passant par l'archéologie ou l'art culinaire implique que des scientifiques s'y intéressent dans toutes les disciplines.

L'engouement des pouvoirs publics pour l'AM y est aussi pour quelque chose puisque les financements sont plus largement disponibles.



La R&D est le fait d'organismes et d'universités vétérans dans le domaine (ex : MIT) auxquelles se sont ajoutés des nouveaux venus. Des mécanismes de transfert de technologies vers l'industrie sont maintenant en place.

En 2018, les 30 premiers déposants en AM sont tous des universités et pour la plupart chinoises.



4.4. PME et start-ups

Dans les entreprises, selon Wohlers, les dépenses moyennes en R&D ont représenté 29.3 % des revenus de 2018, contre 22 % en 2016 chez les grands acteurs de l'AM. Mais à côté de ces grands, les PME qui déposent des brevets sont nombreuses. Les montants impressionnants investis dans l'industrie ont permis ces dernières années de lancer de nombreuses startups dans tous les domaines, qu'il s'agisse d'outils logiciels, de produits imprimés, de matériaux ou de techniques.

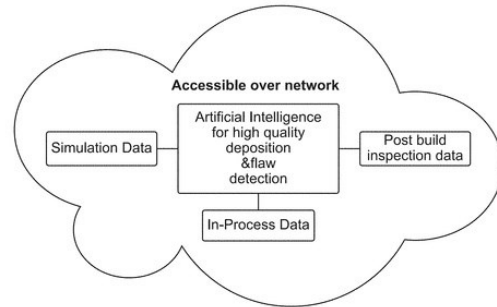
En voici quelques exemples.

[Apis Cor](#), une start-up russe, est connue pour avoir imprimé une maison complète en 24 heures, grâce à une machine mobile équipée d'un bras robotique amovible qui extrude un mélange de béton directement sur chantier.



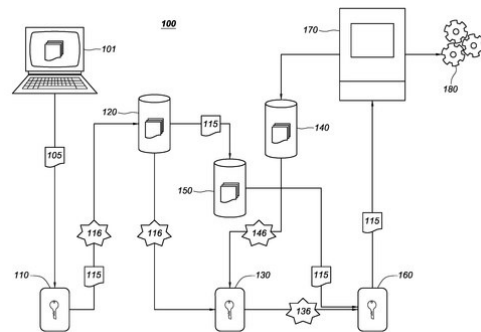
WO2018/098129 - 3-d printer on active framework - Apis Cor Engineering

La start-up américaine [Relativity Space](#) a mis au point une méthode pour produire des lanceurs complets beaucoup moins coûteux et ce plus rapidement (60 jours) que par les techniques classiques. Son procédé Stargate est basé sur la plus grande imprimante LBM au monde.



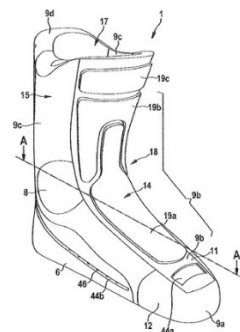
WO2018/21790 - Real-time adaptive control of additive manufacturing processes using machine learning - Relativity Space

[Identify3D](#), une startup californienne, offre une solution logicielle complète, du modèle CAO à la fabrication, pour garantir la protection des données, la confidentialité, la répétabilité du manufacturing et la traçabilité des pièces imprimées.



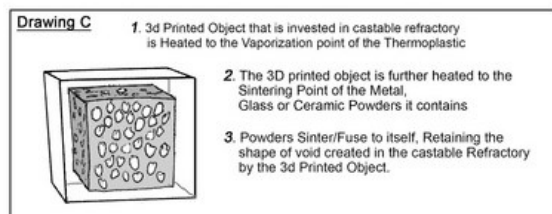
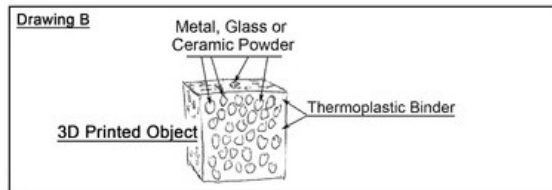
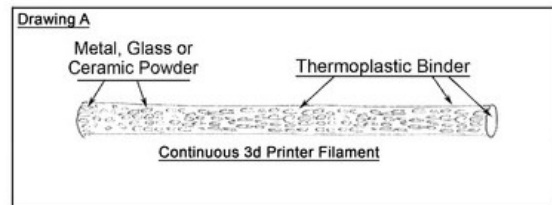
WO2019/055507 - System and method for data management and security for digital manufacturing – Identify3D

La startup suisse [Tailored Fits](#) s'est lancée dans la création de chaussures de sport sur mesure. Elle capture les données corporelles du client puis intègre les données biométriques dans un logiciel qui conçoit un produit final avec un ajustement personnalisé et des performances optimales.



EP3320796 - Inner shoe, shoe and method for producing a ski boot – Tailored Fits

The [Virtual Foundry](#), startup américaine, propose des filaments métalliques. Elle a commencé avec une gamme Filamet chargée à 85% de métal et compatible avec toutes les imprimantes FDM. Elle poursuit ses développements de filaments.



US20170312820 - Extrudable mixture for use in 3d printing systems to produce metal, glass and ceramic articles of high purity and detail – Virtual Foundry

Et voici d'autres start-ups qui se sont développées sur la base de nouveaux procédés/machines.



La start-up américaine [Voodoo Manufacturing](#), créée par d'anciens employés de Makerbot, a lancé un système de micro-usine automatisée d'imprimantes 3D dans lequel un bras robotisé sert 9 machines et enlève les plateaux, les dépose sur un convoyeur et les remplace. La firme a déposé un brevet.



[Formlabs](#), fondée en 2011 par trois étudiants du MIT est bien connue pour ses machines de bureau Form 1 et Form 2 (et plus récemment pour une imprimante SLS Fuse 1) possède 38 familles de brevets.

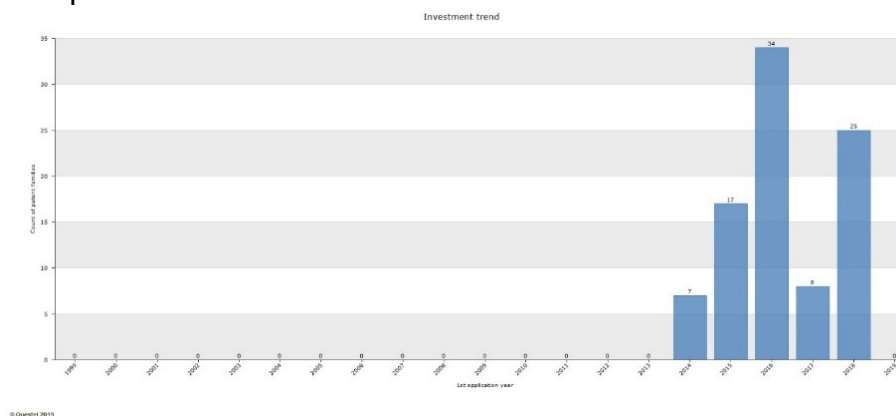


Desktop Metal, une autre start-up du Massachusets, a développé Studio Systems pour les mises au point et les petites séries et Production System pour les séries plus grandes. Elle a déposé 57 familles de brevets dont ceux relatifs à la technique Separable Supports qui permet de séparer manuellement les structures de support métalliques.



Carbon

La firme californienne **Carbon** (ex Carbon 3D) a été fondée en 2013. Elle est à l'origine du procédé SLA en continu appelé Continuous Liquid Interface Production (CLIP). Elle possède 91 familles de brevets.

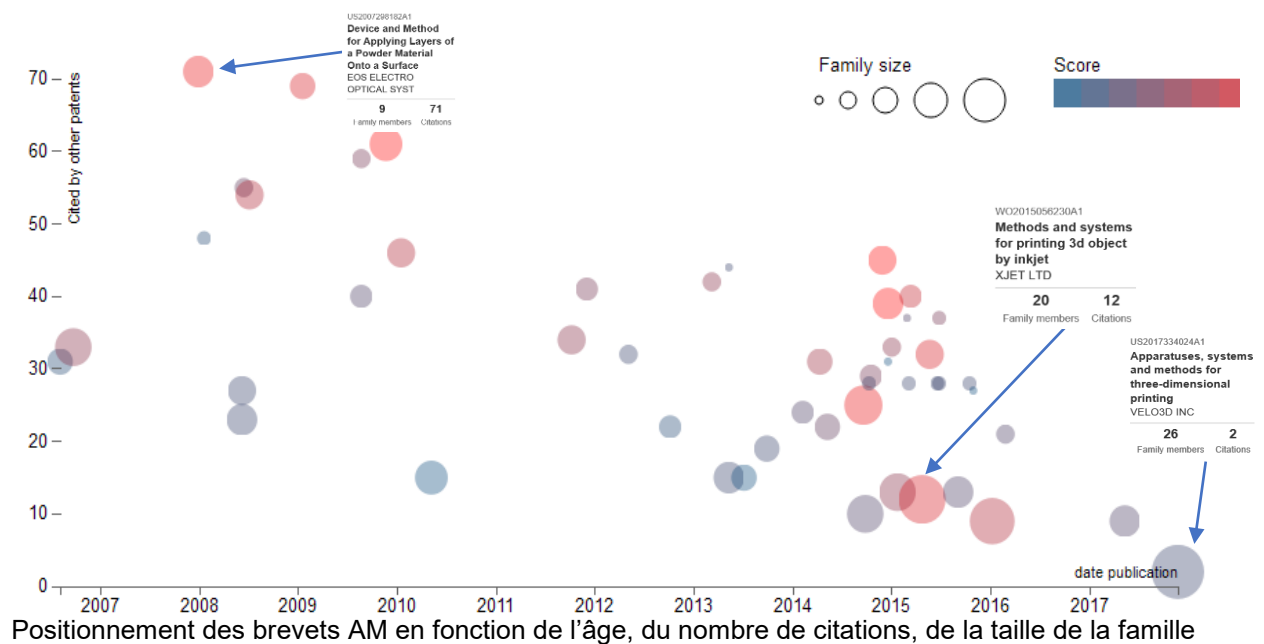


Un des brevets a été déposé avec Adidas selon lequel la pièce imprimée est conformée et redurcie dans une forme. On sait qu'il existe une collaboration avec le fabricant de chaussures de sport et le fabricant d'imprimantes autour de la technique Digital Light Synthesis de Carbon qui est mise en œuvre pour produire plus de 100 000 paires par an de FutureCraft 4D.

Le graphique ci-après classe quelques brevets sur l'AM métal ces 15 dernières années en fonction de l'âge, du nombre de citations, de la taille de la famille. On voit ressortir un brevet d'EOS, pionnier de l'AM, qui compte de nombreuses citations et une famille importante, mais aussi des entreprises plus récentes et prometteuses comme

- XJet, qui a développé une machine d'impression de métal basée sur une encre liquide contenant des nanoparticules : des gouttelettes du matériau sont pulvérisées sur le plateau d'impression et forme une première couche qui est chauffée à 300°C jusqu'à évaporation de l'encre et obtention d'une couche métallique. Le processus se poursuit alors par l'impression de la couche suivante.

- Velo3D, qui a développé une machine d'impression sur lit de poudre à 2 lasers commercialisée sous le nom de Sapphire System, propose ici un système et une méthode pour les supports.

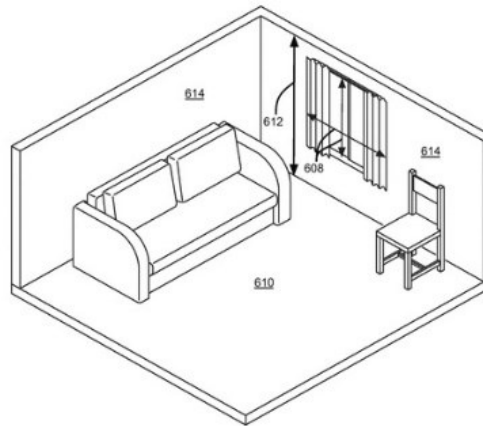


4.5. Déposants atypiques

Non seulement il n'y a pas de spécialisation stricte de l'innovation pour les déposants (des producteurs de matières développent des imprimantes, des spécialistes des proposent des systèmes, des entreprises du logiciel développent du hardware etc.), mais le secteur de l'AM est tellement foisonnant et générateur d'idées nouvelles que des acteurs atypiques apparaissent dans le paysage. C'est le cas du géant américain de la distribution Walmart a déposé 12 brevets dans le domaine de l'AM.

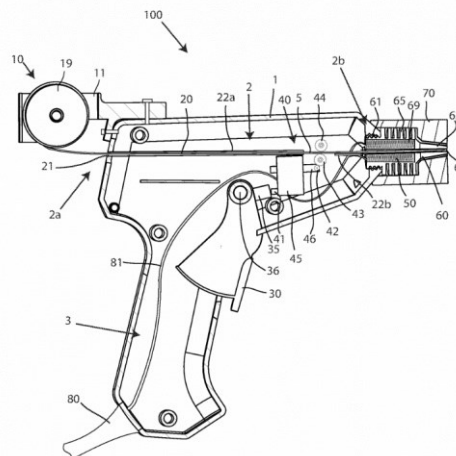
Publication numbers	Title	Current assignees
US20170161960 A1	Three dimensional printing for consumers	WAL MART STORES, ...
WO2016191151 A1	Method and apparatus to use an additive manufacturing platform	WALMART STORES
US20180333910 A1	Three-dimensional printing gun	WALMART APOLLO
US20180154578 A1	Method and apparatus to use an additive manufacturing platform	WALMART APOLLO
WO2018165155 A1	System and methods for three dimensional printing with blockchain controls	WALMART APOLLO
WO2019133124 A1	Seal printing system	WALMART APOLLO
WO2018160287 A1	Systems, devices, and methods for forming three-dimensional products with embedded rfid elements	WALMART APOLLO
US20180229194 A1	Paint Mixing System	WALMART APOLLO
US20170102682 A1	Method and Apparatus for Using an Additive-Manufacturing Platform	WAL MART STORES, ...
US20170068238 A1	Method And Apparatus To Facilitate The Use Of Additive-Manufacturing Models	WAL MART STORES, ...
WO201967409 A1	Controlled 3-d printing	WALMART APOLLO
US20170161404 A1	Interior decorating system using three-dimensional and other properties of a space	WAL MART STORES, ...

L'un de ces brevets est un système de décoration intérieure basé sur le scan de l'espace à décorer et son remplissage par des modèles réduits de mobilier et d'objets imprimés en 3D.



US20170161404 - Interior decorating system using three-dimensional and other properties of a space
- Walmart

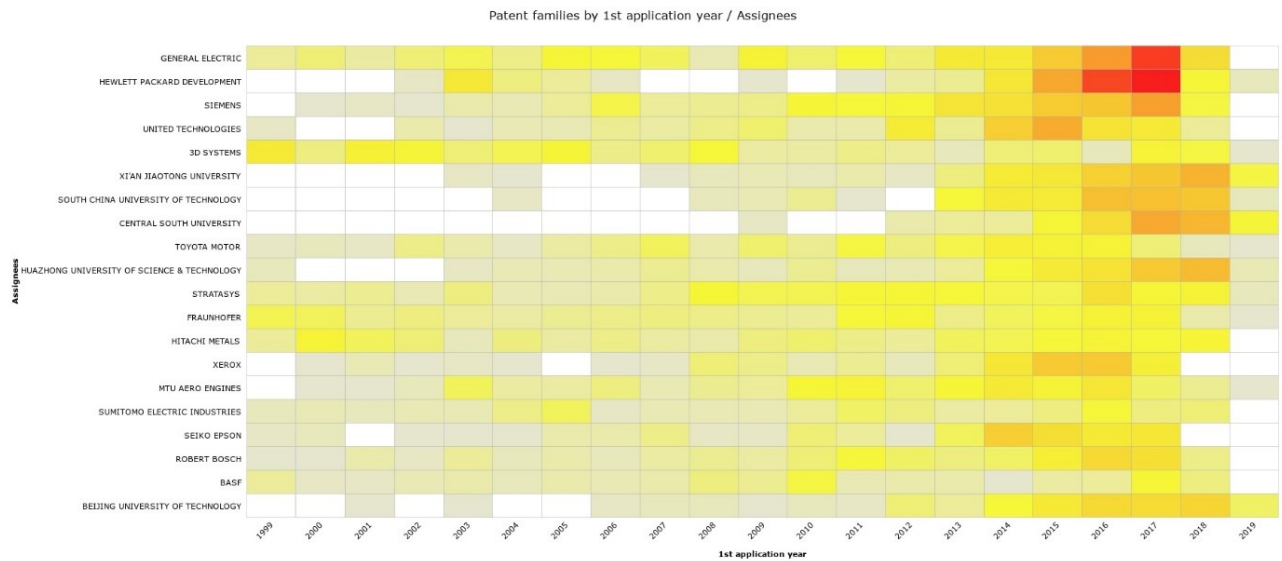
Un autre brevet porte sur un dispositif d'impression 3D qui se présente sous la forme d'un pistolet. Parmi les scénarios d'utilisation, Walmart décrit l'impression 3D de grandes pièces qui dépassent le volume des imprimantes low cost classiques mais surtout un moyen pour les détaillants de réparer directement, dans les magasins, des pièces et composants cassés, ou encore un moyen pour les commerçants de personnaliser directement des produits.



US20180333910 - Three-dimensional printing gun - Walmart

4.6. Evolution des déposants

Le tableau ci-dessus, qui représente le nombre de brevets AM déposés au fil du temps, indique des stratégies de développement différentes selon les entreprises. Ainsi, par exemple, 3D Systems a été très actif avant 2006 puis a ralenti son rythme d'investissement en R&D alors que son concurrent Stratasys a au contraire accéléré à partir de la même période.



HP a été actif autour de 2003 mais revient sur le devant de la scène avec des brevets depuis 2011. Le groupe a dévoilé sa technologie Multi Jet Fusion en 2014 et avait annoncé que s'il était peu présent dans le créneau de l'AM jusqu'alors, il comptait se repositionner fortement et de prendre une position de leader.

Assez logiquement, les fabricants de composants (Boeing, GE...) se sont investis à partir d'un certain niveau de maturité des techniques.

5. Distribution géographique de l'AM

5.1. Où se fait la R&D ?

La cartographie des pays de priorité est un bon indicateur des sites de R&D, la plupart des acteurs déposant localement leurs demandes de brevets prioritaires.

La carte ci-après indique que les déposants en AM sont chinois, américains et européens.

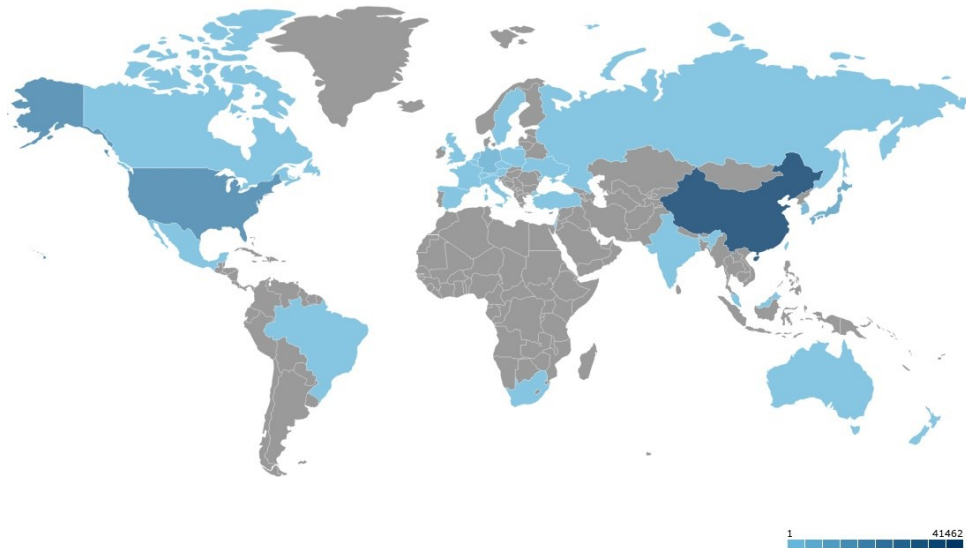
Le Japon a été très prolifique dans les années 1980, mais a été dépassé par les dépôts US dans les années 2000. A l'époque, le Osaka Prefectural Industrial Research Institute (OPIRI) a licencié une technologie SLA (brevet 1984 "Optical Molding Method") à différentes entreprises dont Mitsubishi Heavy Industries, encore active en AM aujourd'hui. Cela a été le point de départ de l'impression 3D au Japon.

Les États-Unis ont été longtemps en tête des dépôts. Le fait que le software et les business methods puissent y être brevetés, alors que ce n'est pas le cas en Europe, y a contribué. Selon l'USPTO, ces brevets représentaient plus de 11% des brevets délivrés.

En Europe, beaucoup de pays sont actifs. En Pologne, par exemple, on trouve notamment la société Zortrax, dont les machines FDM sont très bien cotées mais qui commercialise aussi des SLA – LCD. L'Allemagne se distingue cependant par un nombre plus grand de brevets.

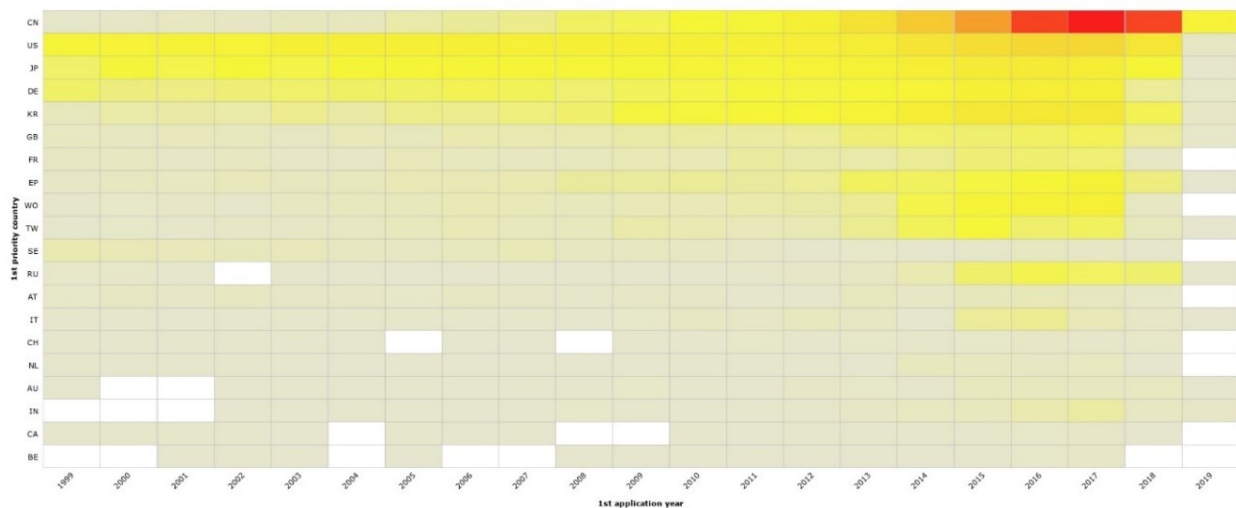
En 2018, la Chine a déposé près de 70% des brevets liés à l'impression 3D.

Patent families by 1st priority country (without EP and WO)



Pays où s'effectuent les premiers dépôts

Patent families by 1st application year / 1st priority country



Evolution des pays où s'effectuent les premiers dépôts

Les dépôts chinois se multiplient depuis 2006-2007, avec des entreprises comme TierTime (ex: 49 dépôts à partir de 2012) et Hunan Farsoon, et avec de nombreuses universités et organismes de recherche publics : Chinese Academy of Sciences, Huazhong University of Science & Technology, Xi'an Jiaotong University, South China University of Technology, Harbin Institute of Technology, Beijing University of Technology.

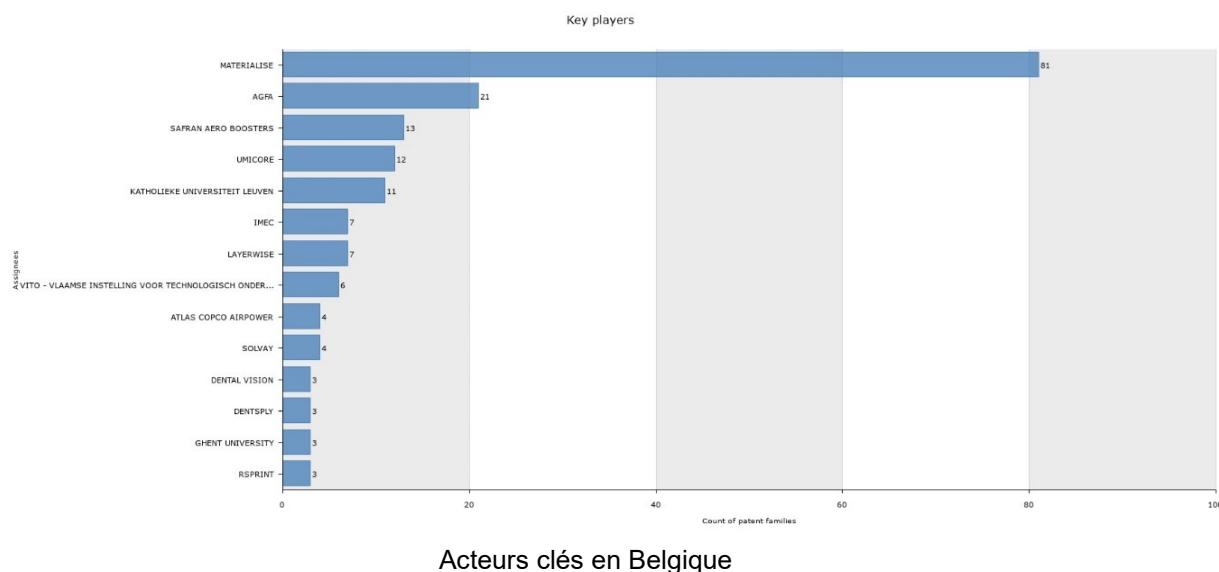
En 2018, les dépôts chinois en matière d'impression 3D ont été 3.6 x plus nombreux que les dépôts japonais.

5.2. Les déposants belges

Dans le corpus des quelque 100 000 familles de brevets autour de l'AM, 235 sont des inventions déposées par des entreprises belges.

Les 10 premiers déposants concentrent dans leurs mains les 68% des brevets.

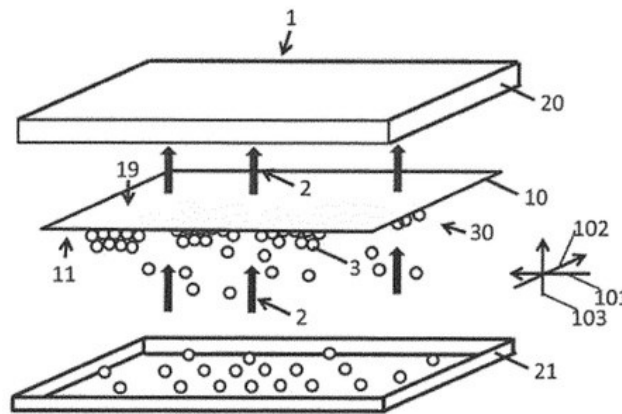
Seuls 14 déposants disposent de plus de deux brevets.



- Fondé en 1990, Materialise arrive largement en tête du classement, avec des innovations tant dans le domaine des matériaux/machines que des logiciels, dans celui des méthodes comme dans celui des applications (médicales).
- Agfa est le 2^{ème} déposant, avec essentiellement des brevets sur les encres.
- Safran Aero Boosters est tourné vers les applications aéronautiques : réservoirs d'huile pour les turboréacteurs, pales de turbine, remplacement de pièces d'avion et même imprimante protégée contre les charges électrostatiques...
- Umicore développe des poudres et nanopoudres.
- KULeuven est aussi un pionnier dans le domaine de l'AM. C'est d'ailleurs de cette université qu'est né Materialise.
- On trouve aussi parmi les déposants d'autres organismes de R&D: l'Université de Gand, plutôt orientée vers les polymères alors que KULeuven est plutôt orienté vers l'AM métal et le VITO (cladding, structures poreuses...).
- Solvay dépose des brevets dans le domaine du frittage et des poudres polymères haute performance (PEEK).

- Dental Vision et Dentsply sont deux spécialistes en implantologie.
- RSprint a développé un système permettant d'imprimer des semelles sur mesure à partir d'un scanning du pied.
- Parmi les autres déposants, qui ont 1 ou 2 brevets, on citera des start-ups comme Cerhum, Aerosint, 3D side, 2Ingis... et de grandes entreprises comme Allnex, AKZO Nobel, Total...

Un exemple de start-up : Aerosint, fondé en 2016, est à l'origine d'une technologie d'impression SLS multi-poudres.



WO2018/059833 - Device and method for manipulating particles - Aerosint

Un exemple de grande entreprise : Total, qui a développé un PLA imprimable

A 3D printed article comprising a 3D printable composition comprising from 92.0 to 99.5 % by weight of a poly-lactide based on the total weight of the 3D printable composition; and from 0.5 to 8.0 % by weight of a co- or ter-polymer based on the total weight of the 3D printable composition; said co- or ter-polymer comprising (i) 50.0 to 99.9 % by weight of ethylene monomer based on the total weight of the co- or ter-polymer composition; (ii) 0.1 to 50.0 % by weight of an unsaturated anhydride-, epoxide- or carboxylic acid- containing monomer based on the total weight of the co- or ter-polymer composition; and iii) 0 to 50.0 % by weight of a (meth)acrylic ester monomer based on the total weight of the co- or ter-polymer composition.

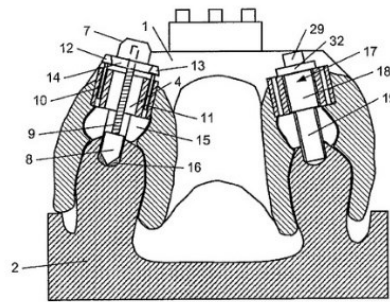
WO2017/191089 - 3d-printed pla articles – Total Petrochemicals Research Feluy

Sirris, bien qu'actif depuis 1990 en AM, ne figure pas dans les déposants : toute la propriété intellectuelle de ses développements appartient aux entreprises avec qui le centre travaille.

Les deux brevets les plus cités, c'est-à-dire qui ont eu l'impact le plus important sur le développement des technologies, sont deux brevets de Materialise :

- EP0756735 Method for making a perfected medical model on the basis of digital image information of a part of the body
- US5595703 Method for supporting an object made by means of stereolithography or another rapid prototype production method

Si on considère l'impact technologique basé sur les citations mais pondéré par l'âge, le domaine technologique et le type de citation, le brevet le plus fort déposé par un déposant belge est celui de 2Ingis "Method for producing a bone prosthesis or preimplanting simulation and device for applying this method". La spécialité de cette entreprise est l'imagerie médicale et l'implantologie.



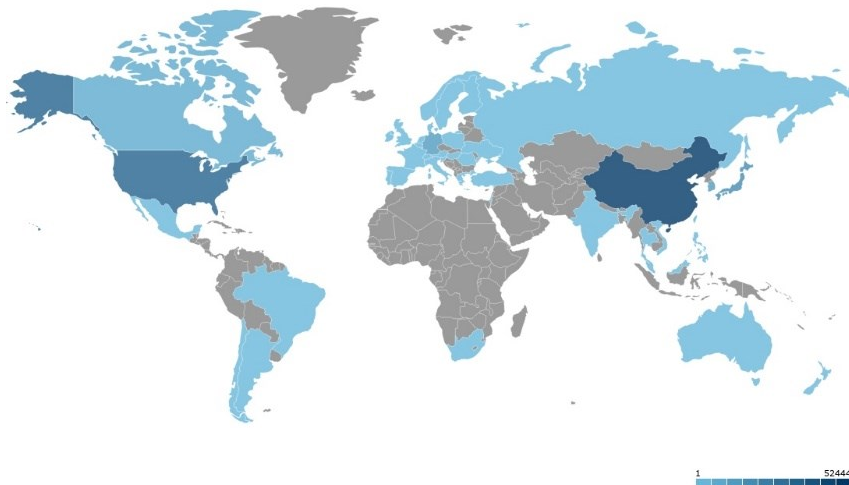
EP2037834 - Method for producing a bone prosthesis or preimplanting simulation and device for applying this method - 2Ingis - 2007-07-09

5.3. Où sont les marchés ?

La carte ci-après fournit des informations sur les stratégies en matière de brevets des acteurs de l'AM, les dépôts nationaux étant un bon indicateur des marchés qu'ils ciblent.

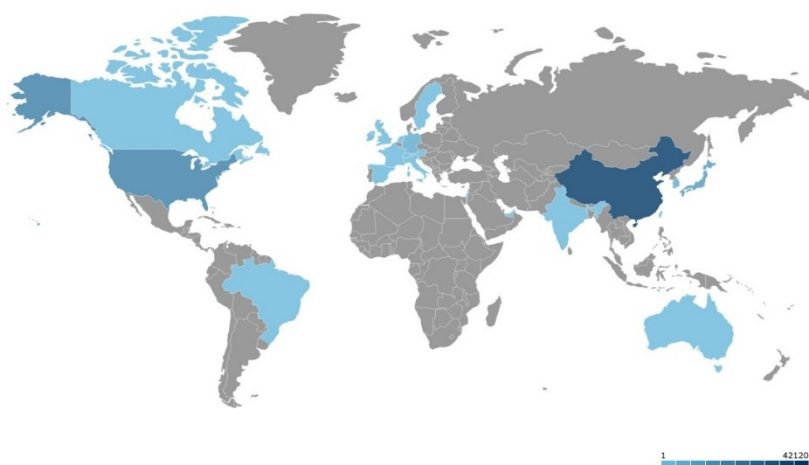
On peut constater que, en dehors de l'Afrique et du Proche Orient, toutes les régions du monde sont concernées, y compris par exemple une bonne partie de l'Amérique du Sud où il n'y a pourtant pas ou peu de déposants en dehors du Brésil. L'Europe est largement ciblée : le Portugal, l'Irlande, la Norvège, la Grèce sont protégés alors qu'il y a peu de déposants nationaux.

Patent families by Publication country (without EP and WO)



Pays de publication des brevets AM

Cependant, si on ne considère que les brevets maintenus, c'est-à-dire ceux pour lesquels les déposants continuent à payer les taxes et donc qui représentent un investissement important, ce qui laisse supposer que les pays correspondants sont spécialement ciblés, la couverture géographique est beaucoup moins large. La Russie, par exemple, disparaît de la carte, ainsi que plusieurs pays de l'Asie-Pacifique et l'Amérique du Sud, à l'exception du Brésil.



Pays où les brevets AM sont maintenus

La taille des familles de brevets (nombre de pays) est généralement considérée comme un important indicateur de marché. En effet, l'importance économique d'une invention est en relation avec le coût du maintien de la protection sur la durée et de l'élargissement de sa portée géographique.

Les exemples ci-dessous indiquent que le nombre de brevets par famille n'est en moyenne pas très élevé chez les grands déposants.

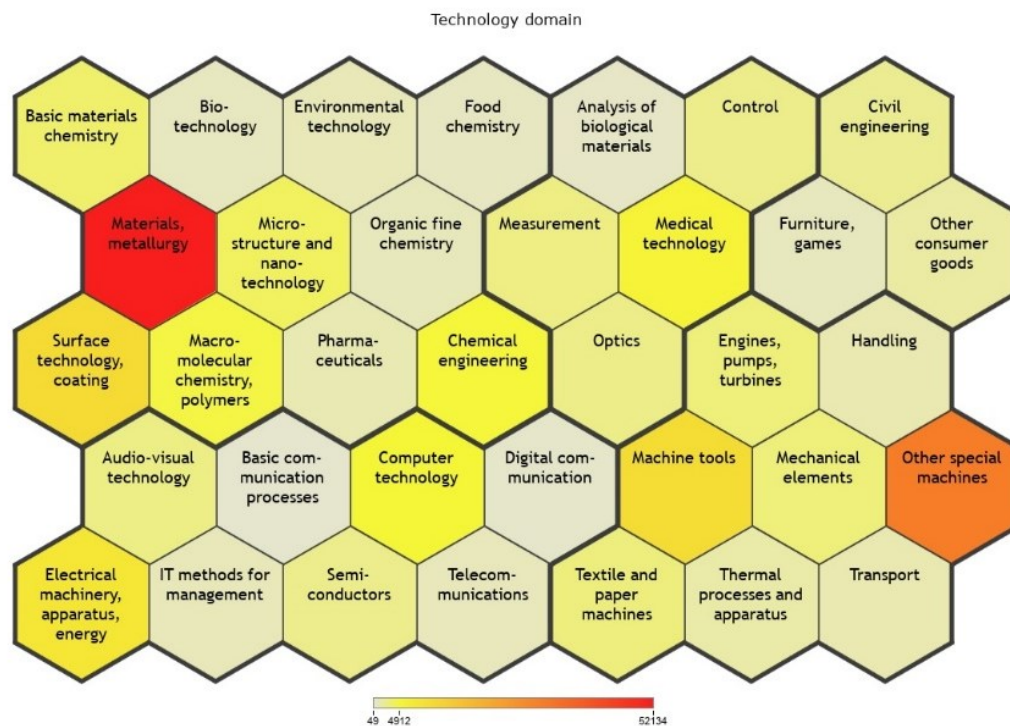
	Assignees	Alive	Family size
GENERAL ELECTRIC		655	3
HEWLETT PACKARD DEVELOPMENT		725	2.5
SIEMENS	323		2.9
UNITED TECHNOLOGIES	330		2.8
3D SYSTEMS	226		5.3

6. Les technologies

6.1. Les grands domaines

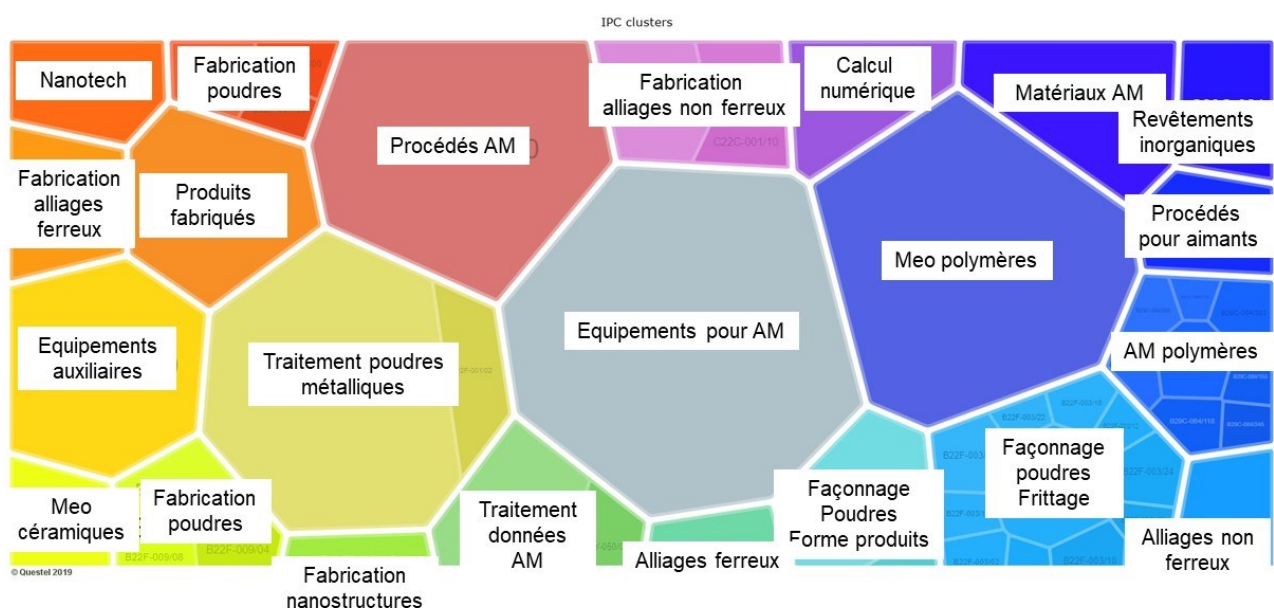
Les domaines technologiques concernés par les brevets AM sont très larges et vont des machines aux nanotechnologies et à l'ICT, des coatings à la mesure et à l'optique, de la chimie à l'alimentaire ou à la pharmacie comme l'indique le graphique ci-dessous. Celui-ci illustre les 35 domaines définis par l'OMPI (Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle) par regroupements des classifications.

Ceci illustre bien la diversité des axes d'innovation en AM. Les domaines les plus riches (où la couleur est la plus vive) sont toutefois les matériaux et la métallurgie ainsi que les machines.

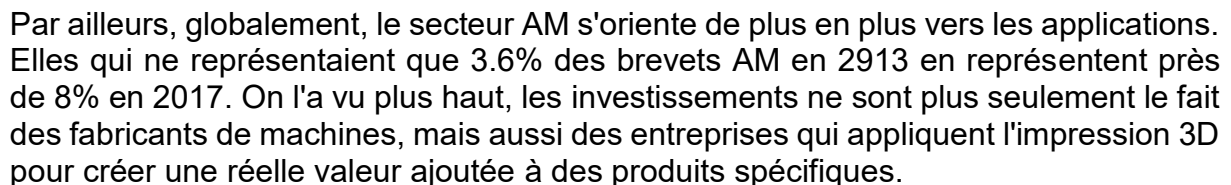


Les grands domaines technologiques des brevets AM

Pour étudier ces domaines plus en détail, le graphique suivant, obtenu par une clusterisation des classes de brevets indique que les inventions concernant des applications sont peu nombreuses par rapport à celles qui concernent les matériaux, les procédés ou les machines, si l'on considère les 30-40 ans de développement de l'AM.



On peut constater la montée des applications aéronautiques (2668 brevets), qui n'apparaissent pas dans la même cartographie des brevets sur l'ensemble de la période de temps mais aussi l'importance croissante du software en AM et l'omniprésence des techniques d'impression 3D de métal à partir de poudres, le titane (qui n'apparaissait pas non plus jusqu'ici) sortant du lot.



Chaque déposant a son domaine de spécificité et la différence peut être profonde, en relation avec le core business de l'entreprise et son positionnement commercial.

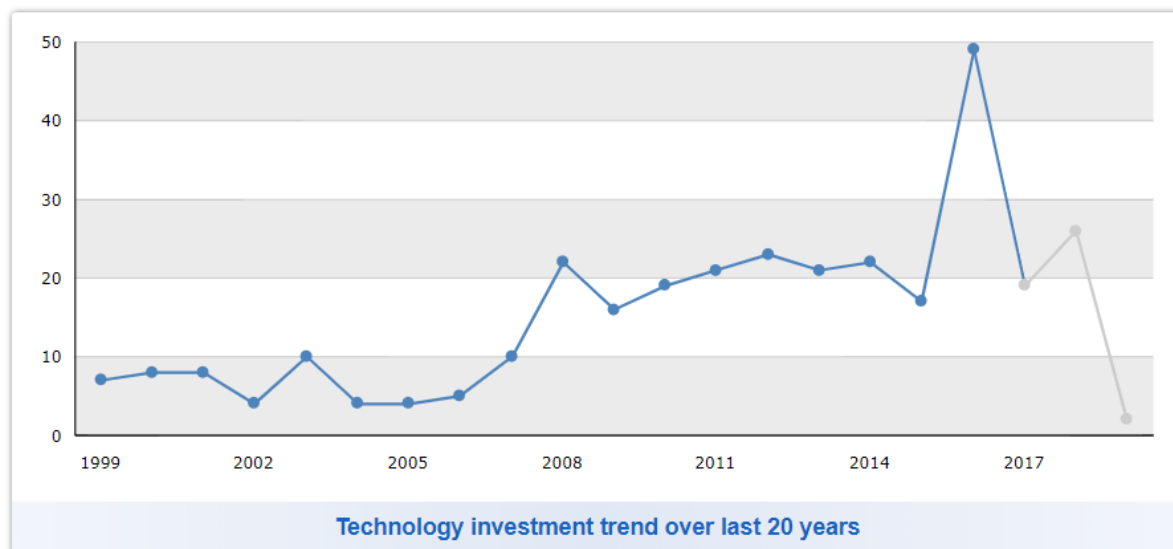
Les pays et régions dans lesquels les deux entreprises se protègent par dépôt de brevets sont l'Amérique du Nord, Brésil, Europe, Australie, Inde, Chine. Stratasys se protège aussi en Russie, ce qui n'est pas le cas de 3D Systems.

La Chine est 3ème pays de Stratasys en termes de protection; il n'est que le 8ème pour 3D Systems.

Enfin, 3D Systems semble réduire son investissement en R&D au fil des années alors que Stratasys a une courbe plutôt ascendante.



Demandes de brevets AM pour 3D Systems



Demandes de brevets AM pour Stratasys

Les cartographies ci-après montrent des clusters (groupes) de familles identifiées par différentes couleurs (1 couleur par groupe). Ces clusters sont construits par un algorithme qui calcule le nombre de familles pour un concept et des relations de similarité et de proximité, puis indique les familles et les positions sur une carte. Les clusters représentent des catégories techniques. Pour chaque groupe sont indiqués les concepts les plus pertinents sur le plan statistique. Plus la distance entre deux points longue plus les concepts sémantiques sont différents. Une famille n'est représentée qu'une seule fois sur la carte.

Les brevets de 3D Systems ne se limitent pas aux procédés et aux machines. Apparaît sur la carte ci-après un groupe important de documents liés à des applications médicales et un autre lié à des systèmes d'environnement virtuel.



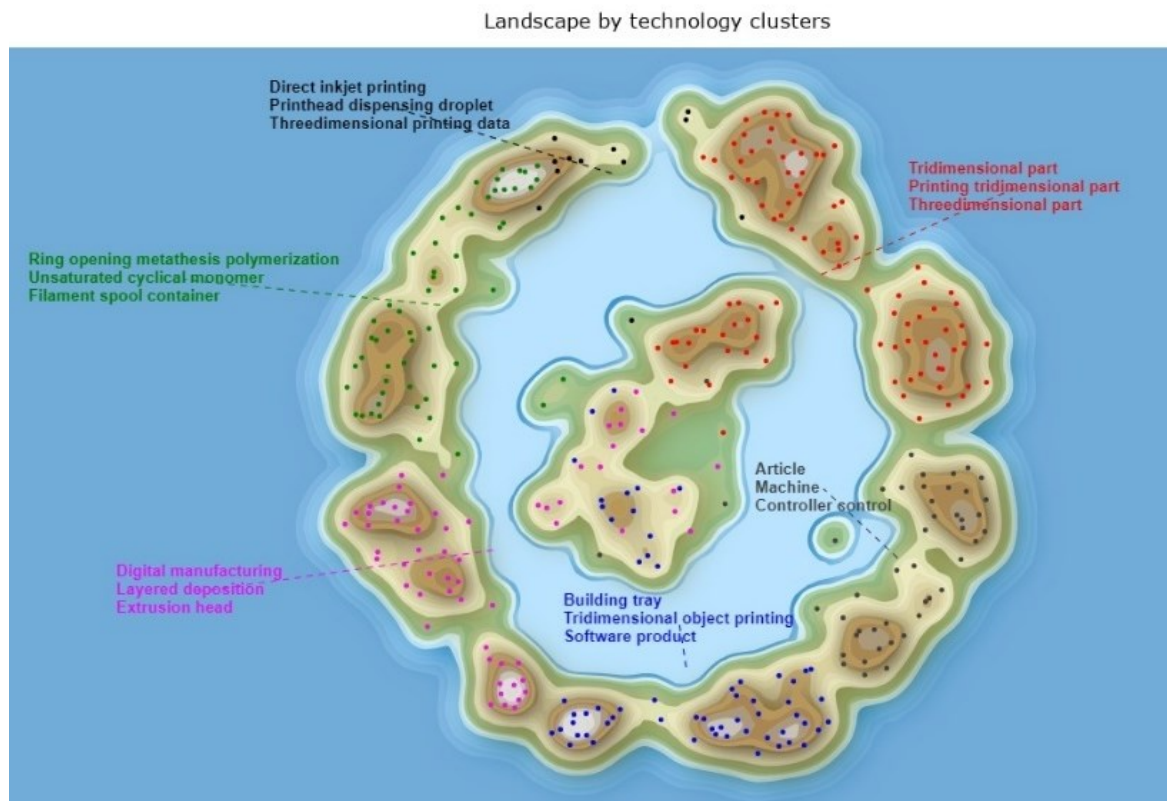
Cartographie des brevets de 3D Systems

Voici un exemple d'un système complet pour la simulation médicale dans un environnement de réalité virtuelle.



WO2018/083687 - Method and system for rendering a medical simulation in an operating room in virtual reality or augmented reality environment – 3D Systems, Symbionix

Les brevets de Stratasys, d'après l'examen de la carte, tournent, eux, essentiellement autour des technologies AM : extrusion, inkjet...



Enfin, 3D Systems a un impact plus fort au vu du nombre élevé de citations de ses brevets.

Deux entreprises plus récemment dans le business AM : GE et HP

General Electric s'est spécialisé dans l'AM métal et vise la production de pièces finales pour l'industrie. Il utilise plutôt le vocabulaire "additive manufacturing", "additive fabrication", "additive manufacturing technology"... là où Hewlett Packard choisit les mots "3D printing", "3D printing, printer"... sans doute parce que sa technologie est une technique de jetting inspirée (de loin) de l'impression 2D, à l'origine du terme "impression 3D" et que, d'autre part, elle vise des applications plus larges et des matériaux plus variés.

Dans les concepts préférentiels chez GE, on retrouve des noms de procédés comme "electron beam melting", "selective laser melting" tandis que chez HP, les concepts sont plus orientés vers les méthodes "build layer", "material build"...

Le domaine technique (défini par des combinaisons de classifications de brevets) qui arrive en tête dans les brevets GE est celui des matériaux et de la métallurgie, avec des concepts de cobalt, cobalt chrome, metal alloy, metal powder, powder particle, nickel base superalloy, molybdenum...

Le domaine préférentiel de HP semble être celui des machines, d'où le nombre de brevets autour de composants tels que lampes, têtes d'impression, volume de construction, pistons..., avec tout de même, dans les concepts principaux, quelques produits chimiques comme des surfactants, des agents mouillants etc.

On trouve des applications dans les domaines techniques préférentiels chez GE, les moteurs, pompes et turbines (281 inventions) mais aussi l'ingénierie chimique, le génie civil, les appareils électriques et l'énergie. Les applications sont quasi inexistantes dans les concepts des brevets HP.

6.3. Les matériaux

Le tableau périodique ci-après indique les matériaux le plus souvent cités dans les brevets (en haut à droite de chaque case) sur l'AM métal ces 15 dernières années. La couleur de chaque case est en relation avec la nature de l'élément et son intensité en relation avec le nombre de brevets.

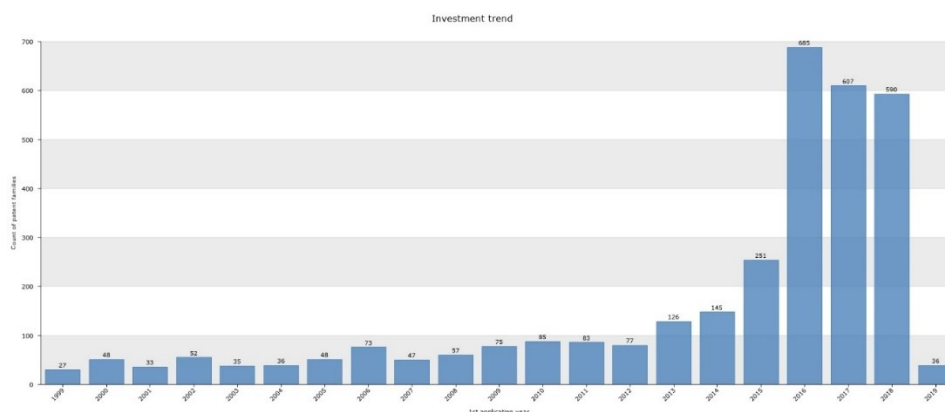
atomic number: 26, 232
chemical symbol: Fe
name: Iron
number of patents: 232

Legend:

- Non-metals
- Alkali metals
- Transition metals
- Basic metals
- Halogens
- Noble gases
- Alkali earths
- Semi-metals
- Lanthanides
- Actinides

Le titane (1008), l'aluminium (1081) et le nickel (1080) arrivent en tête du classement. Le fer est un élément important aussi, avec ses éléments d'alliages Co, Cr, Mo.

Les recherches sur l'impression de cuivre se multiplient à partir de 2012 mais la R&D a été catalysée en 2016 avec le développement de technologies à fusion de poudre (laser et faisceau d'électrons) pour l'impression du cuivre pur et de ses alliages en vue de la production de bobines à induction.



Demandes de brevets AM cuivre

Le tungstène intervient sous forme de carbure dans des poudres composites ou est utilisé pour produire des pièces de blindage contre les radiations.

L'argent est utilisé souvent sous forme de nanoparticules, notamment dans les encres d'impression.

L'argon se réfère aux gaz de process.

6.4. Les poudres métalliques

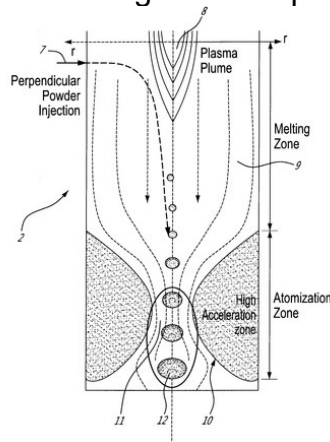
Plusieurs procédés d'impression 3D métal utilisent des poudres comme matériaux de base et de la qualité de ces poudres métalliques dépend la qualité des pièces imprimées. La plupart des fabricants de poudres métalliques se sont lancés dans la production de matières optimisées pour l'AM afin de s'approprier une part de ce marché en forte expansion et travaillent donc sur des facteurs tels que la forme et la taille des particules, le fluidité de la poudre, la teneur en oxygène et la résistance à l'oxydation des grains.

Voici quelques exemples de ces travaux :

1. Sphéricité

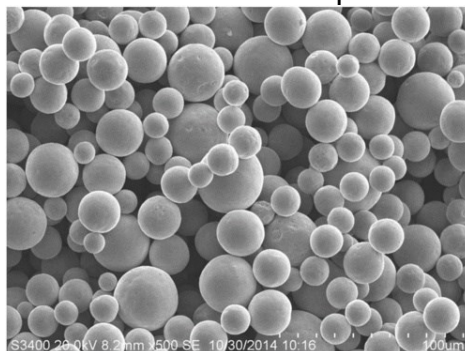
La sphéricité des particules dans une poudre est un paramètre essentiel : les particules rondes assurent un bon écoulement qui facilite l'impression 3D et forment des produits finis denses, avec un bon taux de compaction.

Sphéroïdisation de particules grossières par atomisation plasma



WO2019/095039 Method and apparatus for producing fine spherical powders from coarse and angular powder feed material - PyroGenesis

Méthode de fabrication d'une poudre de laiton



CN104475745 - Spherical brass alloy powder manufacture method – Nanjing University

2. Oxydation

Une poudre métallique peut subir une oxydation rapide qui réduit considérablement sa qualité.

General Electric par exemple divulgue une technique pour produire des poudres d'alliages de nickel à haute résistance à l'oxydation.

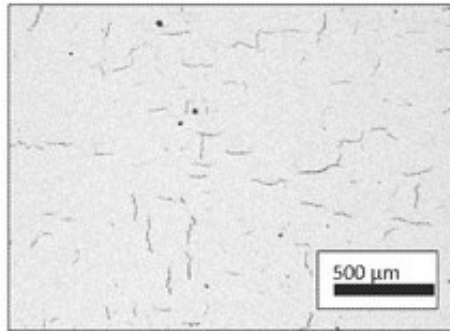


Fig. 1 (PRIOR ART)

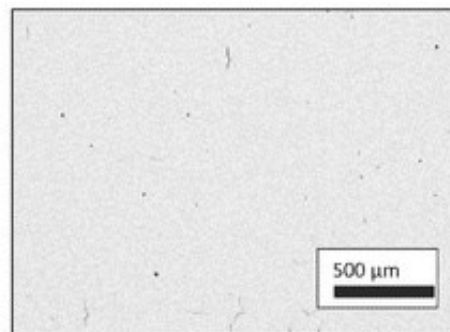


Fig. 2

WO2015096980 - Gamma prime precipitation strengthened nickel-base superalloy for use in powder based additive manufacturing process - GE

La firme israélienne Nano Dimension, fabricant de la machine d'impression 3D de systèmes électroniques Dragonfly, a développé une encre à base de nanoparticules de cuivre qui résiste à l'oxydation. En effet, l'inconvénient du cuivre, dont l'avantage sur l'argent est le prix, est que les nanoparticules s'oxydent rapidement au contact de l'air, ce qui nuit à sa conductivité électrique. Cette avancée constitue un pas vers la fabrication industrielle de PCB par impression.

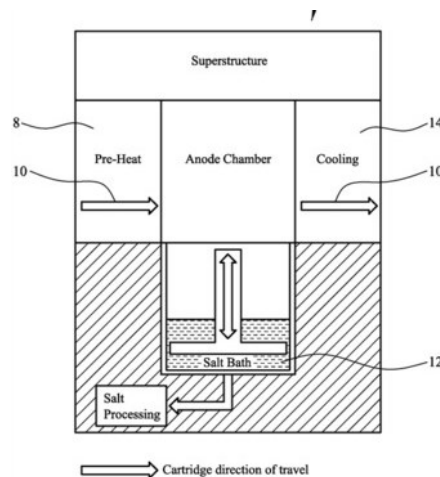
The disclosure relates to metallic, geometrically discrete nanoparticle. Specifically, the disclosure relates to a process for the preparation of air stable copper nanoparticles, their unique dispersion into ink formulation and their sintering in open air without their oxidation.

WO2017/091831 Metallic, geometrically discrete nanoparticle composition and methods of forming the same - Nano Dimension

3. Coût des poudres

Les poudres métalliques sont coûteuses, notamment parce que leur production coûte cher vu la grande quantité d'énergie qu'elle représente. C'est un des défis qui poussent les producteurs à innover.

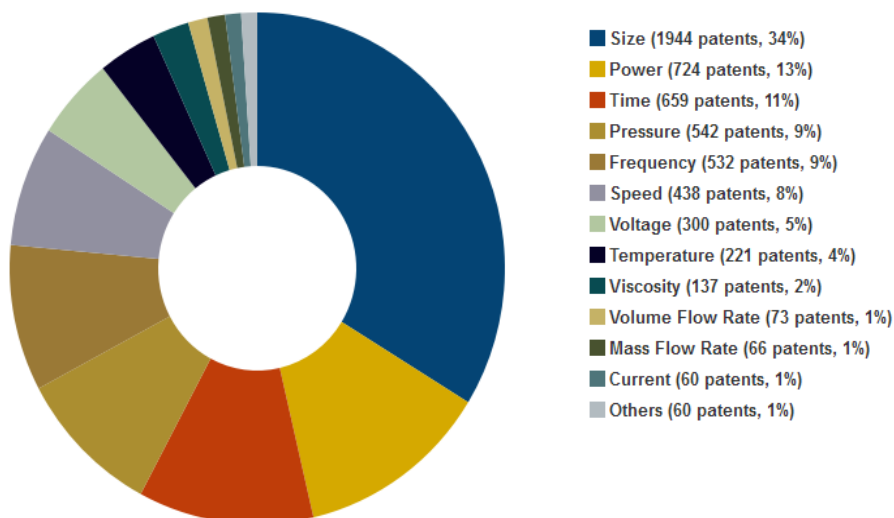
Ainsi, par exemple, la firme Metalysis est propriétaire d'un procédé de production de titane qui rend cette matière beaucoup plus abordable car fabriquée directement à partir d'une éponge métallique issue de l'électrolyse de l'oxyde plutôt que par atomisation gazeuse du métal. Elle l'adapte spécialement à l'AM en localisant ensemble production de poudre et impression 3D.



EP3464656 - Manufacturing apparatus

Le graphique ci-après indique à quelle fréquence certaines unités de mesure sont citées dans les brevets AM métal. Ceci est une indication des paramètres importants dans les technologies étudiées.

- Les unités de longueur arrivent en tête et représentent plus d'un tiers des cas : taille des particules, taille des plateaux et volumes de travail...
- La puissance (des lasers...) est un paramètre également important.
- Curieusement, la température n'est mentionnée que dans 4% des cas.



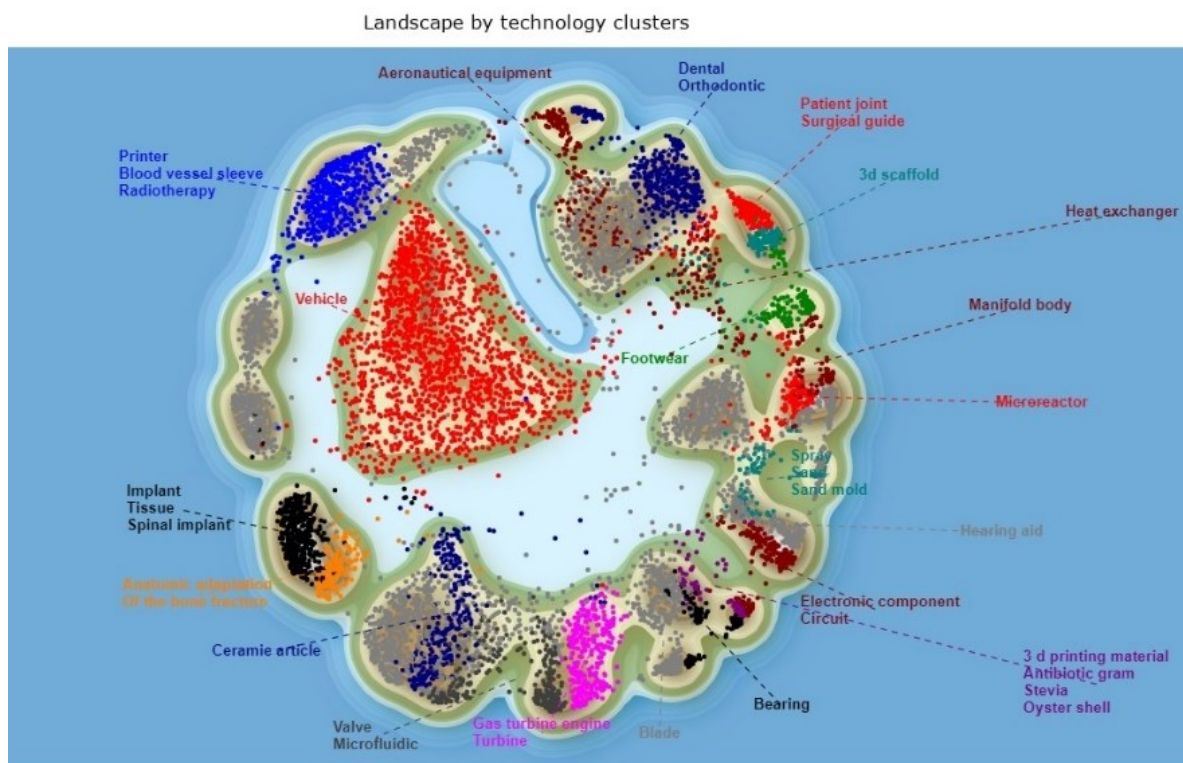
Unités de mesure rencontrées dans les brevets AM

7. Les applications

Pour avoir une idée plus précise des innovations dans les applications AM, une recherche a été faite sur base de la classification CPC B33Y 80/00 "Produits obtenus par fabrication additive". Elle fournit 8069 documents qui dessinent une tendance vers des applications industrielles à haute valeur ajoutée.

7.1. Cartographie

On voit apparaître ici plusieurs axes de recherche : les véhicules, le secteur médical/dentaire (spinal implant, 3D scaffold, surgical guide, patient joint, dental orthodontic, bone, hearing aids...), le secteur aéronautique, la céramique, la microfluidique, les turbine à gaz, les échangeurs de chaleur, les composants mécaniques (bearing, manifold).



Cartographie des brevets AM dans la classe des produits imprimés

7.2. Les produits

Les véhicules

Les véhicules apparaissent clairement dans cette carte comme un secteur essentiel d'application de l'AM.

L'industrie automobile a investi dans l'AM dès son lancement commercial à la fin des années 1980. Elle l'a adopté principalement pour la conception et le prototypage. Les constructeurs continuent à l'utiliser pour la validation des concepts, les essais d'assemblages et de fonctions et certains types d'outillage. Les volumes dans ce secteur sont trop grands pour la production de pièces finales bien que certaines applications commencent à émerger, comme celle des pièces de rechange.

De plus, dans l'automobile, les marges à l'unité sont faibles, ce qui laisse peu de place aux technologies de rupture.

La R&D est cependant vive dans ce domaine.

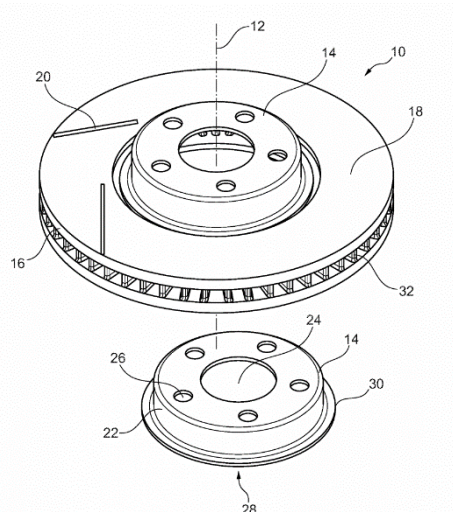
D'ores et déjà, les applications de l'AM dans le secteur des véhicules à moteur représentent 20% du marché.

Exemple : un disque de frein en aluminium chez Ford

Les disques de frein sont généralement fabriqués en fonte grise ou nodulaire puis ré-usinés. Ford cherche à utiliser l'aluminium, beaucoup plus léger. Mais ce métal ne présente pas la même résistance à l'abrasion et son point de fusion est de 660 °C, température trop basse pour certains freinages (voiture de sport). En revanche, les alliages d'aluminium présentent une conductivité thermique plusieurs fois supérieure à celle des fontes et peuvent donc dissiper plus rapidement la chaleur de frottement.

Ford réalise d'abord un premier usinage d'une chambre de frein en aluminium forgé allié pour une bonne ductilité et une bonne conduction thermique et y dépose par impression 3D un anneau de friction.

On peut ainsi atteindre une excellente stabilité thermique en même temps qu'une bonne résistance à l'abrasion de la bague de friction.



US2018209498 - Hybrid lightweight brake disk and production method - Ford

Le secteur médical/dentaire

Le secteur médical et dentaire est également très présent dans le paysage des brevets sur les applications AM : Spinal implant, 3D scaffold, surgical guide, patient joint, dental orthodontic, bone, hearing aids...

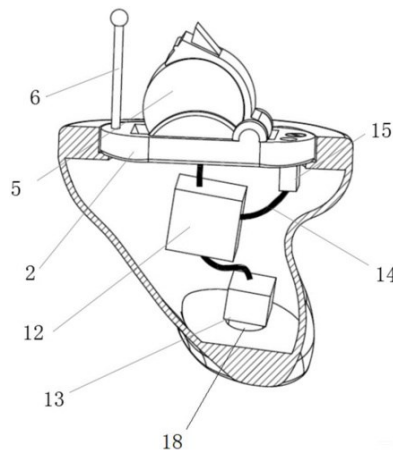
L'industrie médicale, qui représente selon Wohlers 11.5% des applications AM, a adopté la technologie pour des modèles, des guides chirurgicaux, des implants orthopédiques et d'autres prothèses. Plus de 100 dispositifs médicaux AM différents ont déjà reçu l'agrément de la FDA : implants crâniens, hanches, genoux, implants vertébraux...

L'AM apporte surtout au secteur médical la possibilité de customiser les produits à des coûts réduits.

Sur la carte ci-dessus, on voit apparaître les principaux axes de R&D :

- l'orthopédie : implants musculosquelettiques, prothèses, aux dimensions du patient (spinal implant, blood vessel, patient joint)
- la chirurgie personnalisée, avec par exemple les guides chirurgicaux
- le bioprinting : régénération tissulaire (bone, 3D scaffold) et des organes...

Les prothèses auditives sont un des premiers exemples (si pas le premier) de personnalisation de masse permise par l'AM. Chaque année, des millions d'appareils auditifs sur mesure sont imprimés dans le monde.



CN109604602 - Manufacturing method of 3d-printed hearing aid casing – Panzhihua Sandi Technology - 2019-01-31

Le secteur dentaire fait l'objet de nombreuses innovations, que ce soit au niveau des scanners, des logiciels ou de l'AM.

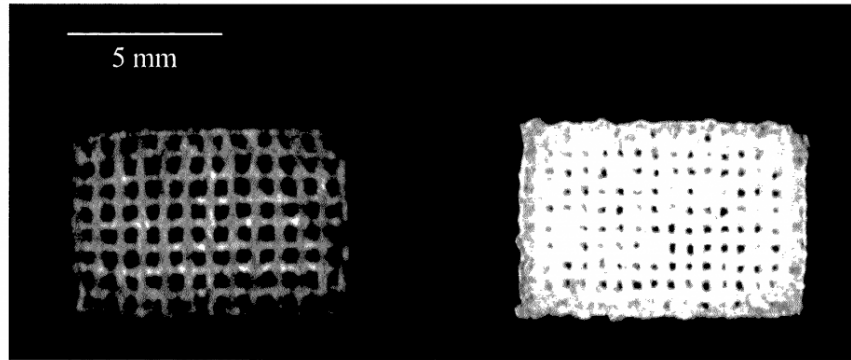
Align Technologies fabrique chaque année 17 millions d'aligneurs orthodontiques sur mesure. Ils sont produits par thermoformage d'une feuille sur un modèle produit par AM. Chaque année aussi, des millions de copings métalliques pour les couronnes et les bridges sont produits chez différents producteurs.

La bioimpression rencontre un intérêt grandissant en raison de la capacité de contrôler le placement des cellules, des biomatériaux et des molécules pour la régénération des tissus. Les applications se trouvent dans la médecine régénérative, la pharmacothérapie, l'ingénierie tissulaire, la biologie des cellules souches.

Des équipes de chercheurs évaluent par exemple la possibilité d'imprimer des tissus directement au lit des patients.

Des scientifiques de Texas A&M University notamment développent la greffe osseuse in situ par impression 3D pour intervenir rapidement sur une fracture ou un défaut. Les scaffolds sont imprimés à partir de nanosilice biocompatible et simultanément traités sous lumière UV. Les chercheurs ont étudié les porosités et chimies optimales pour une régénération osseuse et vasculaire.

Les pores dans les scaffolds permettent en effet l'absorption du sang et des facteurs de croissance essentiels, ce qui rend l'implant beaucoup plus symbiotique avec le processus naturel de guérison du corps.

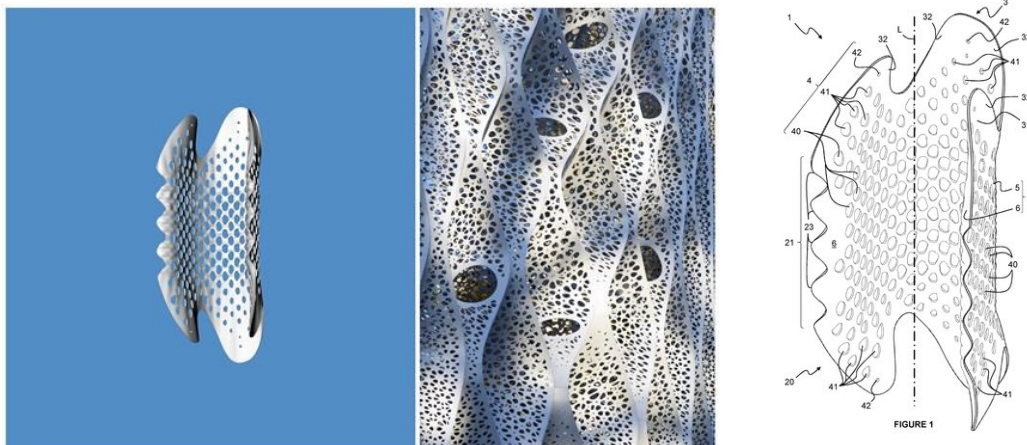


US20170143831 - In vivo live 3d printing of regenerative bone healing scaffolds for rapid fracture healing – Texas A & M University

Un exemple de prothèses innovantes est celui des stents trachéaux. Les stents couramment utilisés pour soutenir les greffes de la trachée et pour traiter les affaissements des voies respiratoires dans les cas de cancer de la gorge, de traumatisme et de vieillesse sont généralement fabriqués sous forme de treillis tubulaire, mais ne sont pas bien adaptés à la morphologie de l'organe.

Les architectes Liu et Tonkin (UK) ont mis au point un nouveau stent appelé Shell Stent Lace. La nouvelle conception n'est pas tubulaire mais en forme de C, qui s'adapte mieux à la forme de la gorge de chaque patient. Le C se déploie une fois inséré, créant un ajustement inspiré des principes géométriques des pétales du lys calla.

Le dispositif est fabriqué à partir d'un silicone de qualité médicale, avec une surface perforée permettant la respirabilité et l'administration du médicament dans les tissus de la trachée.

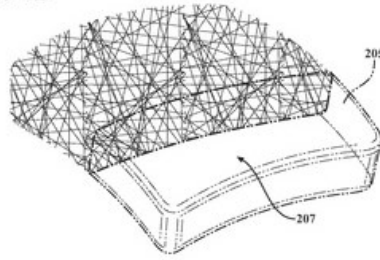


WO2018115881 - Expanding device – Tonkin Liu Stents

Profitions de cet exemple pour rappeler que la possibilité offerte par l'impression 3D d'imprimer des structures complexes en fait un outil intéressant pour la construction de structures biomimétiques.

Ainsi, par exemple, Toyota cherche à produire des structures à la fois légères et très résistantes en s'inspirant des nids d'oiseau.

FIG. 4B



US20190232563 - Ultra-strong 2-manifold panels based on biomimetic inspired, algorithmically optimized structures – Toyota

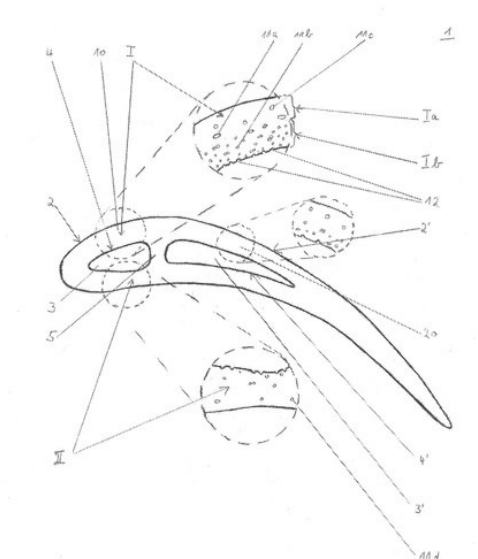
L'aéronautique

L'aéronautique est aussi un secteur qui a adopté précocement l'AM. Boeing et Bell Helicopters ont commencé à l'exploiter pour des pièces non structurales au milieu des années 90. Boeing a déjà en vol plus de 60 000 pièces de production représentant des centaines de designs pour 16 avions civils et militaires différents. GE Aviation utilise l'AM métal pour fabriquer des dizaines de milliers de injecteurs de fuel pour son moteur LEAP. Avio Aero (GE) fabrique par AM des aubes de turbine basse pression en aluminure de titane. Airbus produit des milliers de supports, de clips, de systèmes de maintien en plastique et est en train de certifier des pièces métalliques en vol.

Les premiers drivers sont ici l'amélioration de la performance des pièces, notamment grâce à leur complexité et la réduction de leur poids.

Le secteur représenterait 18% des applications, selon Wohlers. Il est en croissance rapide.

Les brevets dans le secteur aéro concernent les fuselages et les ailes d'avions, les tuyères de fusée, les composants de moteurs (turbines), notamment des aubes, des innovations dans les systèmes de communication (antennes), des composants structurels, notamment des servovannes, des actionneurs et des nervures d'aile.

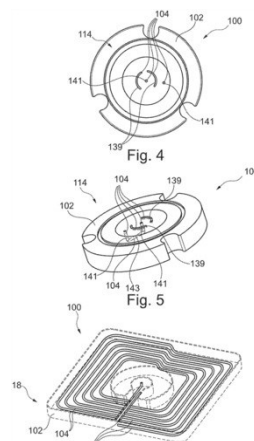


US201901281 - Wick structures for heat pipe-based cooling – MTU Aero Engines

La microfluidique

Depuis des années, les dispositifs microfluidiques sont fabriqués par une technique de moulage - soft lithography - moulés en poly(diméthylsiloxane) (PDMS). Mais cette technique est limitée par les géométries qu'il est possible d'obtenir et par le fait qu'elle est très exigeante en main d'œuvre. L'AM, par ses coûts de plus en plus réduits, et par l'amélioration rapide des résolutions et des vitesses, a récemment attiré l'attention d'autant qu'elle est automatisée et sans étape d'assemblage.

La technologie est capable d'imprimer des microréacteurs et des dispositifs sur puce pour une parallélisation efficace des réactions biologiques, biochimiques et chimiques en flux continu.

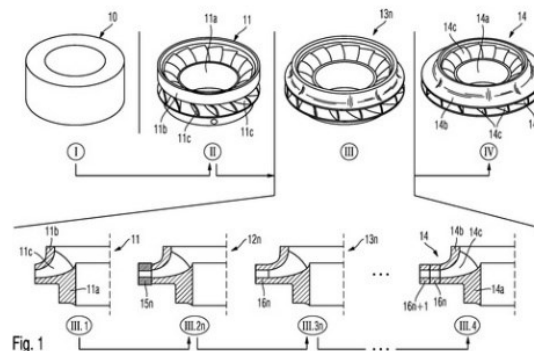


WO2019/097490 - Manufacture of a microfluidic component by additive manufacturing – Agilent Technologies

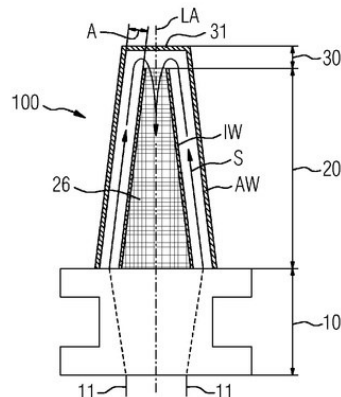
Les turbines à gaz

Les applications de l'AM dans l'énergie ont un potentiel de marché moyen; les exigences sur les pièces sont généralement moyennes également.

Les turbines à gaz sont des composants complexes à fabriquer. Les entreprises utilisent l'AM avec succès pour accélérer les temps de cycle de conception, réduire la durée des tests en développement et réduire le délai global de mise sur le marché. Il permet également d'effectuer des tests plus tôt, dès les phases de conception, ce qui permet de résoudre les problèmes rapidement, à moindre coût. Siemens est bien connu pour ses réalisations dans ce domaine.



WO2018/078048 - Method for producing a turbomachine impeller – Man Energy Solutions



EP3508690 - Turbine blade and method for its manufacture – Siemens – 2018-01-09

Les composants mécaniques (bearing, manifold)

Les composants mécaniques industriels bénéficient des avantages généraux que procure l'AM : réduction de coûts, complexité élevée, simplification des étapes de production, sur mesure ou petites séries, time to market court...

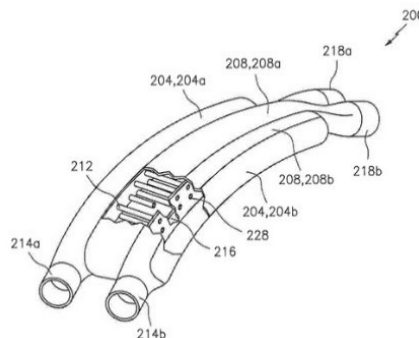
The present invention belongs to the technical field of manufacturing zo material, in particular to a bearing steel product manufacturing processes, comprising the steps of: 3D print bearing steel powder, to give the bearing steel product blank; 3 D of the bearing steel product to solution heat treatment is carried out to print a blank, the hardening heat treatment or quenching and tempering heat treatment +, processing is complete. The present invention by using 3 D printing, it is easy to implement bearing steel product personalization and batch processing, while also avoiding the conventional roll press working or the like due to the quality defect processing. 3 D of the bearing steel product blank is obtained for the different thermal treatment, i.e. the solution heat treating, quenching heat treatment or quenching and tempering heat treatment +, 3 D can be obtained at different heat treatment of bearing steel product stocks of different tissues obtained under way, so that the bearing steel products to the bearing industry to claim the use of bearing steel.

CN110090961 – Bearing steel product manufacturing processes - Shijiazhuang Iron & Steel Works - 2019-04-29

Les échangeurs de chaleur

L'AM ouvre de nouvelles perspectives dans des domaines pourtant matures tels que les échangeurs de chaleur. Il permet de concrétiser des conceptions complexes comme des gyroïdes qui sont impossibles à obtenir avec d'autres moyens de fabrication.

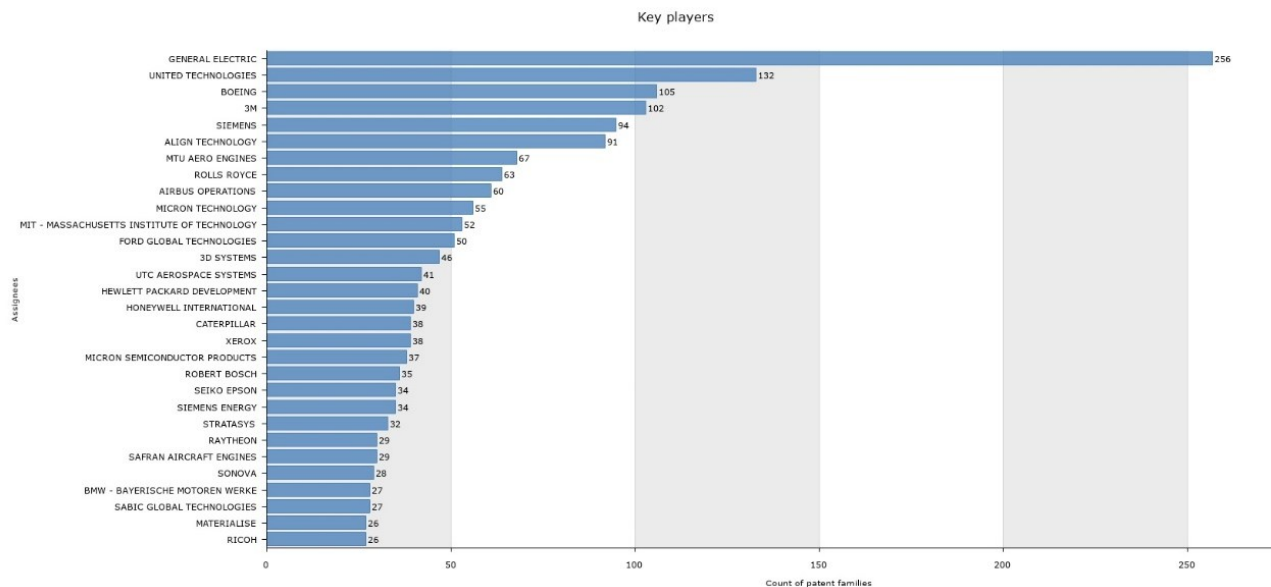
La maîtrise de la taille, la forme, la position et l'orientation des pores ou des composants permet de concevoir des applications où un contact intime entre un solide et un liquide est nécessaire. L'intérêt est multiple et peut déboucher sur des refroidisseurs plus petits et plus légers pour l'électronique, des échangeurs plus efficaces pour les voitures de course, des pompes à chaleur pour les maisons...



EP3514468 - Hybrid additive manufactured heat exchanger with tubes – United Technologies – 2018-01-18

7.3. Les déposants

Les 30 premiers déposants dans les applications AM sont tous des entreprises, à l'exception du MIT (11^{ème} position), ce qui est très logique. On reconnaît spécialement les avionneurs et les motoristes.

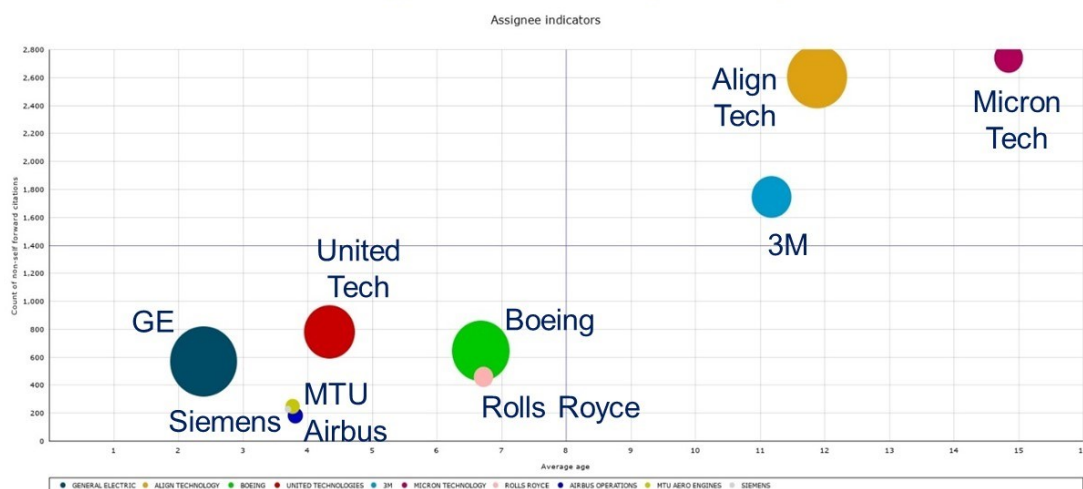


Acteurs clés dans les applications AM

Le graphique ci-après permet d'analyser et de comparer le positionnement de ces acteurs dans le paysage des brevets. L'axe vertical représente le nombre de citations et l'axe horizontal l'âge moyen du portefeuille. La taille des bulles correspond au nombre de familles dont au moins un des membres est un brevet délivré. Plus la bulle est grande, plus le potentiel de concurrence est grand dans le secteur.

Les entreprises positionnées à droite du graphique sont pionnières dans le domaine étudié. Une position en haut à droite indique qu'il s'agit d'une pionnière qui a ou a eu un fort impact sur le secteur étudié (et un potentiel de blocage). C'est le cas de Align Technology (voir plus bas), 3M, Micron Technology.

Les applications de l'AM (B33Y 80)



Les entreprises à gauche sont des arrivants plus tardifs (GE, Siemens, Boeing, MTU...).

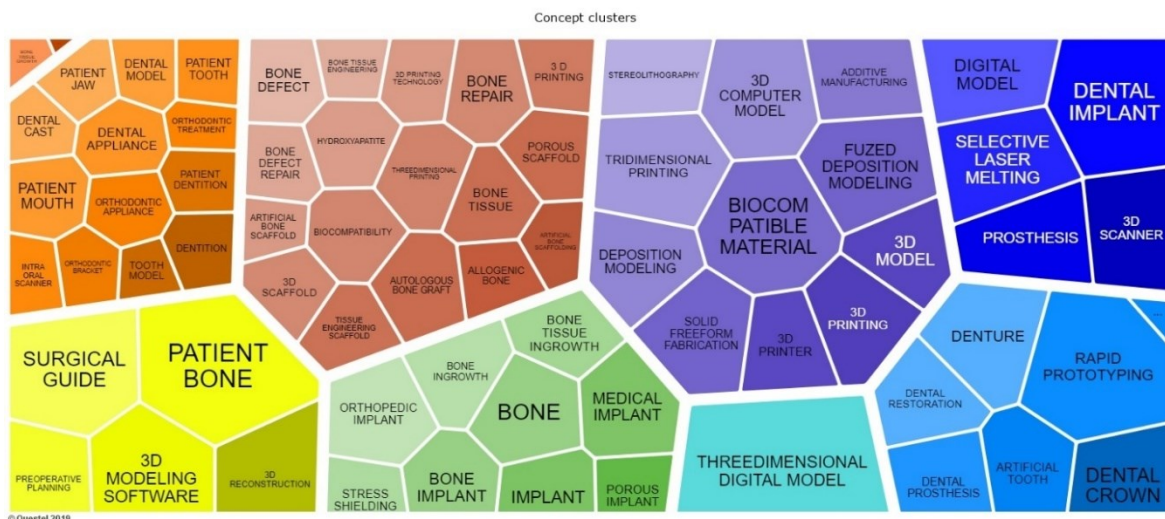
Il n'y a aucune entreprise en haut à gauche, un espace qui devrait être occupé par des entreprises qui ont pris rapidement de l'importance dans le domaine (fort impact).

7.4. Le secteur médical, plus en détail

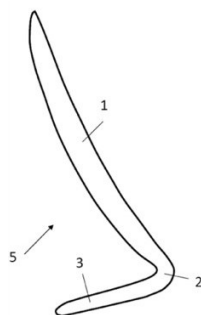
Une étude sur l'AM dans le secteur du médical indique que la classification A61 (sciences médicales) représente 6299 familles de brevets (inventions uniques), soit 6 % de l'ensemble des brevets.

On sait que les secteurs médicaux et dentaires sont parmi les plus anciens utilisateurs de l'impression 3D. Ils en font une utilisation commerciale depuis longtemps, basée sur la personnalisation et le sur mesure des produits imprimés (exemple : aligneurs dentaires, prothèses auditives...). Ils poursuivent leur progression et les innovations sont encore nombreuses.

Un graphique de Voronoï à partir des concepts permet ici encore de visualiser l'activité brevets en AM Médical.



Depuis quelques années, les chercheurs travaillent à la mise au point d'os artificiels capables de se substituer aux os humains dans le cadre de la chirurgie réparatrice ou de la greffe osseuse.

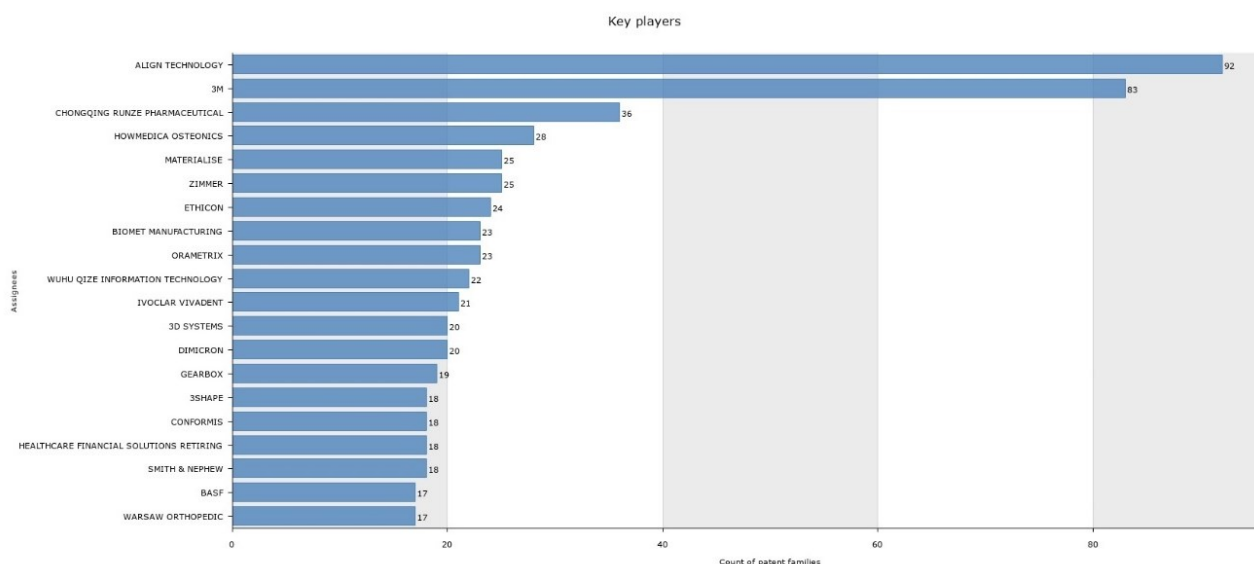


WO2018/167292 - Nasal implant – Cerhum – 2017-03-17

L'orthopédie représente une bonne partie de ces brevets, augurant d'une forte progression du marché dans les années à venir. Tous les grands acteurs des prothèses sont présents, y compris quelques hôpitaux.

L'impression 3D pour le secteur dentaire est également très représentée : gouttières, implants, prothèses, couronnes...

Les 10 premiers déposants dans le domaine de l'AM médical concentrent 7% des inventions.



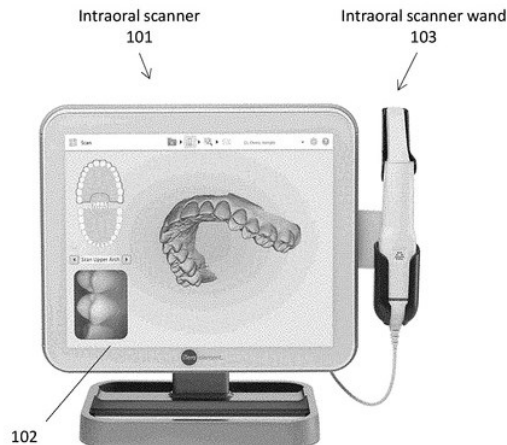
Les premiers déposants de l'AM Médical hors universités

Le premier déposant industriel est Align Technology, une entreprise californienne fondée en 1997 et spécialisée dans la conception, la fabrication et la commercialisation de dispositifs médicaux dentaires. L'activité principale (lancée en 2000) concerne les aligneurs transparents vendus sous la marque Invisalign. Quelque 11% du CA provient de scanners intra-oraux.

La société représenterait 80% du marché des aligneurs transparents en Amérique du Nord et est proposée par plus de 50 000 orthodontistes et dentistes. Et le chiffre d'affaires aux USA ne représente que 56% de l'ensemble !

Align Technology compte 438 familles de brevets, pas tous repris dans le corpus étudié ici car traitant aussi bien des matériaux mis en oeuvre que des logiciels que les orthodontistes utilisent pour planifier les modifications à apporter aux appareils dentaires au fur et à mesure des corrections (un traitement orthodontique peut nécessiter jusqu'à 60 paires d'aligneurs).

Voici par exemple un brevet de Align concernant un scanner intraoral afin d'acquérir les données à partir desquelles seront construits les fichiers d'impression des aligneurs.



WO2019/147984 - Diagnostic intraoral scanning and tracking – Align Technology – 2019-01-25

Sirris avait publié un texte dans sa newsletter Techniline (ex Techniwatch) sur Align Technology dès 2001 car il avait considéré ses activités comme "la première vraie démonstration d'un principe économiquement viable de mass customisation" et comme une intégration harmonieuse des technologies de la communication, de la CAO et du prototypage rapide.

Techniwatch



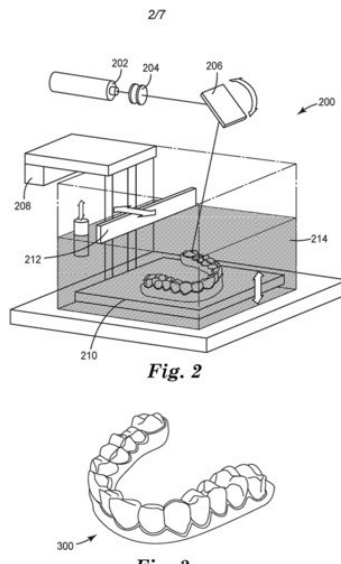
Align Technology : Premier exemple d'utilisation des techniques de prototypage rapide dans un processus de fabrication de masse

Novembre 2001

Prenez une bonne idée, mélangez-là avec une sacrée dose d'esprit d'entreprise, ajoutez-y une pointe de technologie, saupoudrez d'une couche de mondialisation et faites cuire au feu intense de la bourse et de l'investissement à risque.

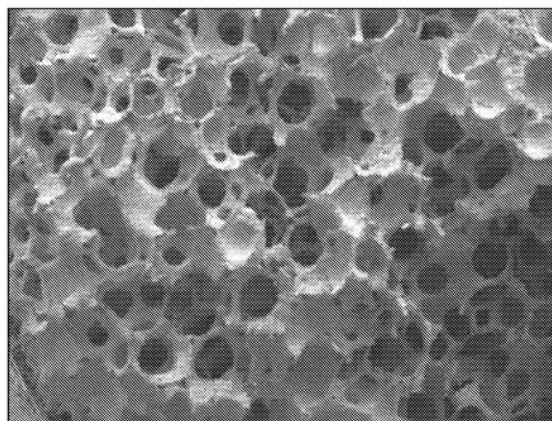
Vous obtenez Align Technology qui grâce à son procédé Invisalign est passé d'un stade de bricoleur de garage en 1997 à celui d'une société au capital de plus de 250 millions de dollars aujourd'hui.

3M est le deuxième déposant industriel. Il brevète des matières, des procédés, des produits pour l'orthodontie. Ces dernières années, son innovation est plutôt axée sur les matériaux (photorésines, photoinitiateurs...). Il s'agit peut-être d'un recentrage vers un métier de base de 3M, d'autant que les matériaux d'impression pour le secteur dentaire sont des matières spécifiques à haute valeur ajoutée avec des marges supérieures à celles de nombreux autres secteurs.



WO2019/104079 - Orthodontic articles comprising polymerized composition comprising at least two free-radical initiators – 3M – 2018-11-20

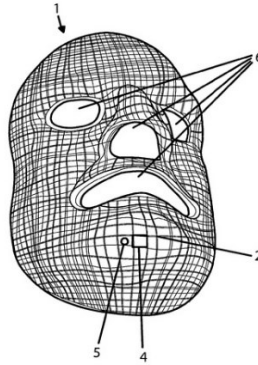
Le troisième déposant, Chongqing Runze Pharmaceutical, est spécialisé dans les implants en tantale.



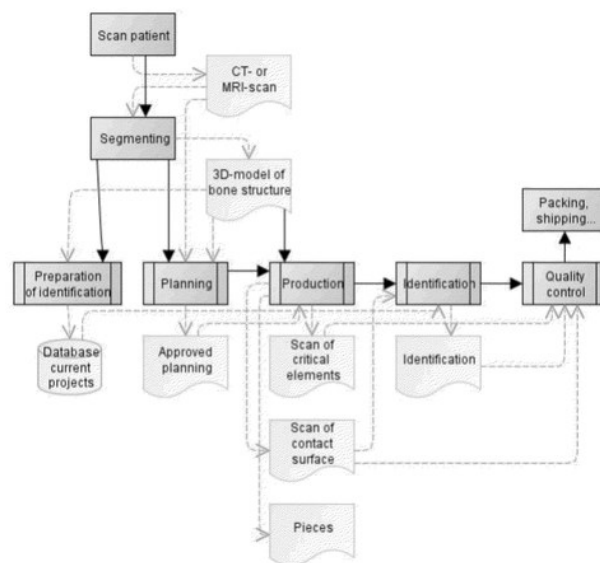
WO2013/044834 - Preparation method for medical porous tantalum implant material – Chongqing Runze Pharmaceutical - 2011-09-29

En 4^{ème} position, Howmedica Osteonics, acteur majeur sur le marché mondial de l'orthopédie, est une filiale de Stryker, l'une des principales sociétés de technologie médicale au monde.

En 5^{ème} position se trouve Materialise, acteur belge très connu, actif depuis des années dans le domaine de la médecine personnalisée. Il a développé une gamme complète de solutions pour les chirurgiens et les hôpitaux, y compris des guides imprimés que les praticiens utilisent pour effectuer des coupes et des forages de précision, ainsi que des implants imprimés et des outils logiciels.

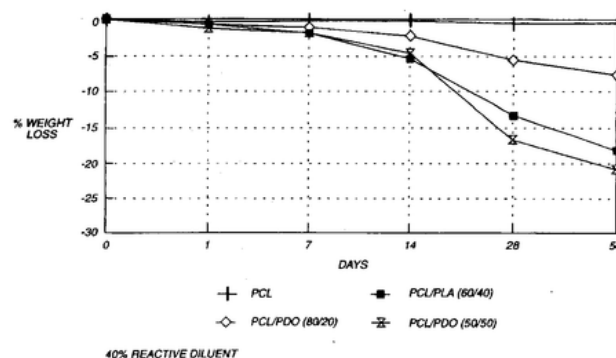


EP2739257 - Lattice structure made by additive manufacturing – Materialise – 2011-08-05



EP2486895 - Additive manufacturing flow for the production of patient-specific devices comprising unique patient-specific identifiers – Materialise – 2010-11-10

Ethicon est le 7ème déposant. Cette filiale de Johnson & Johnson fabrique des sutures chirurgicales et des dispositifs de fermeture de plaie depuis 1887. Elle possède un des portefeuilles les plus anciens dans le domaine de l'AM médical (matériaux, sutures, autres dispositifs médicaux).



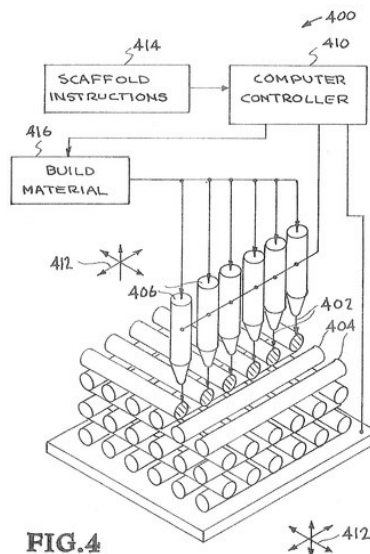
EP0579503 - Radiation-curable, urethane-acrylate prepolymers and crosslinked polymers – Ethicon - 1993-07-16

Siemens Healthcare (25ème) a un portefeuille de brevets variés : fantômes, pièces pour appareils de radiologie, collimateurs...

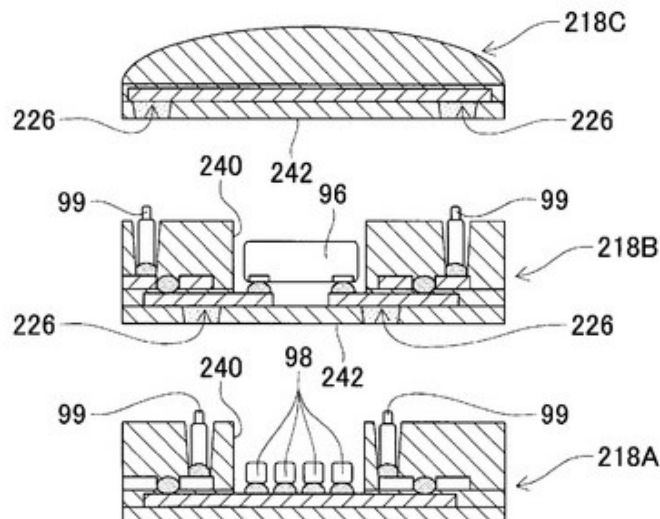
8. Quelques pistes pour l'avenir

Un examen des brevets AM les plus récents indique que les prochaines étapes de l'innovation concerneront la mise en oeuvre de matériaux nouveaux et l'impression de produits complets avec moteurs, batteries, circuiterie inclus. Voici quelques exemples

Impression électronique et impression de produits complets



WO2019/074538 - Three-dimensional rechargeable battery with solid-state electrolyte - Lawrence Livermore National Security



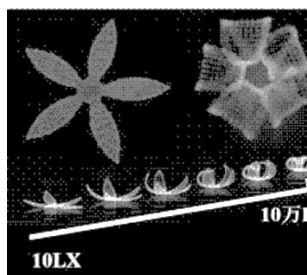
WO2019/102522 - Three-dimensional multi-layer electronic device production method and three-dimensional multi-layer electronic device - Fujii

Impression 4D

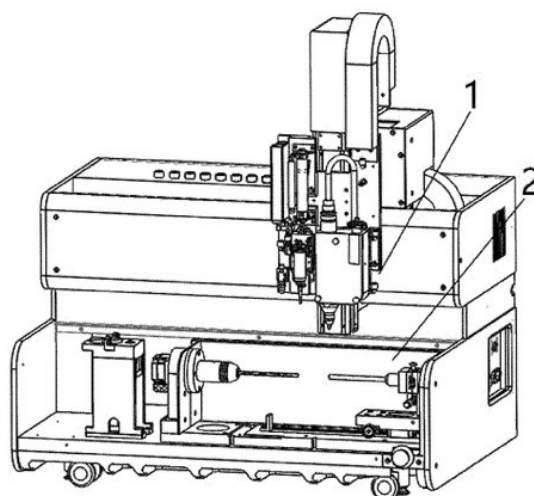
On appelle impression 4D l'impression 3D de matériaux et textures qui répondent à leur environnement et qui retrouvent (éventuellement) leur état d'origine lorsqu'ils sont exposés à d'autres paramètres (une autre température par exemple).

En voici quelques exemples récents.

Cross and full-honeycomb double-layer structure 4d printing method based on temperature responses	CN109624311	2019-01-28	ZHEJIANG UNIVERSITY
Device for on-track 4d printing of thermosetting shape memory polymers	CN109483869	2018-12-12	HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY
Method for preparing metal resonance type metamaterial based on 4d printing	CN108188396	2018-02-12	HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY
Rigidity-adjustable orthopedic insole and 4d printing forming method thereof	CN109567316	2018-12-27	NATIONAL RESEARCH CENTER FOR REHABILITATION TECHNICAL AIDS
3d printing resin material with illuminating reversible deformation for 4d field	CN109161976	2018-09-05	FU YUAN



Bioprinting



US20190216591 - Device for printing lumen tissue construct, method for using the same and 3d bioprinter - Revotek



WO2019/122351 - Tissue-specific human bioinks for the physiological 3d-bioprinting of human tissues for in vitro culture and transplantation – Cellink

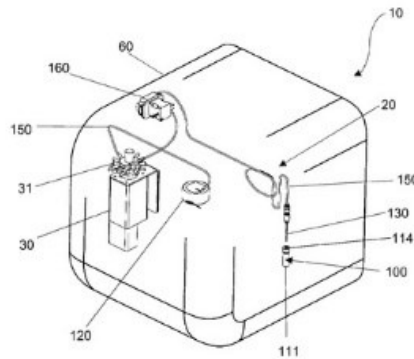


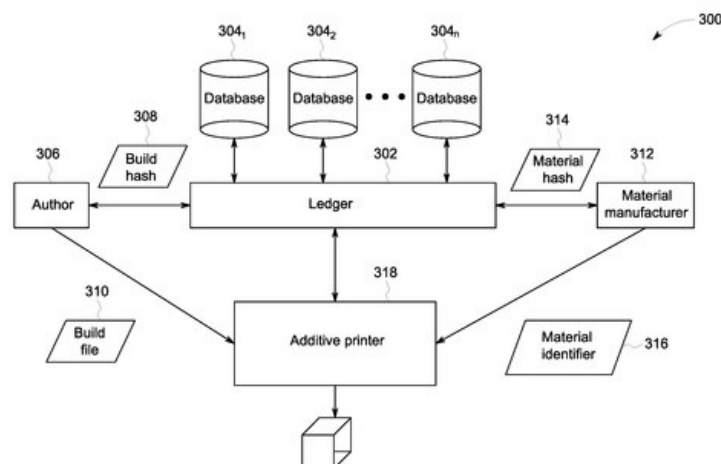
Figure 1

WO2019/109127 - Bioprinter for fabricating 3d cell constructs – Inventia Life Science

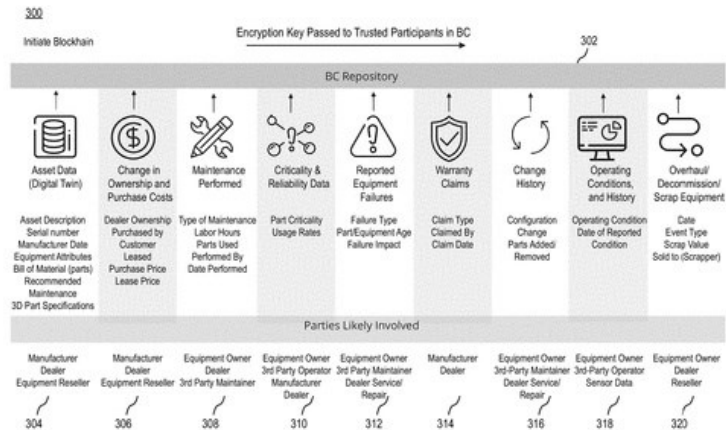
Autres technologies innovantes

Dans l'avenir, l'innovation en AM se combinera de plus en plus avec d'autres technologies, comme la blockchain, l'intelligence artificielle ou les drones. Les entreprises sont des acteurs de l'AM ou sont des spécialistes de ces autres domaines.

Blockchain

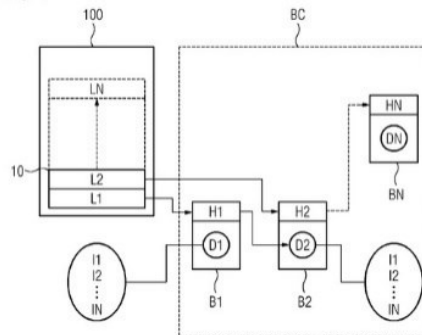


US20180173203 - Methods and systems for implementing distributed ledger manufacturing history – GE



US20190158270 - Exchanging asset, maintenance, and spares parts information via blockchain - IBM

FIG 1



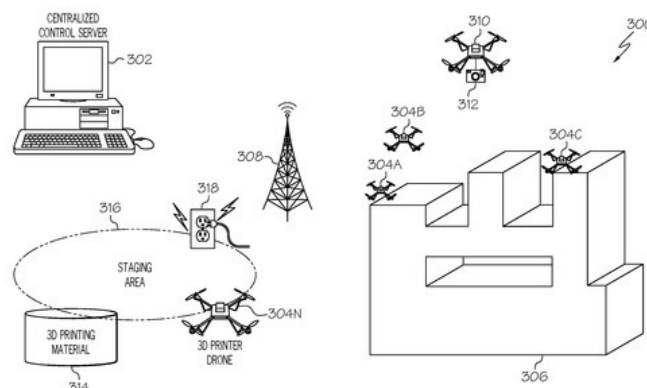
EP3422281 - Blockchain database for additive manufacturing - Siemens

Intelligence artificielle

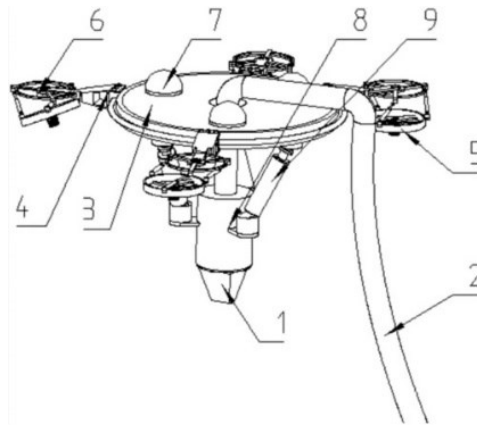
An additive manufacturing system uses a trained artificial intelligence module as part of a closed-loop control structure for adjusting the initial set of build parameters in-process to improve part quality. The closed-loop control structure includes a slow control loop taking into account in-process build layer images, and may include fast control loop taking into account melt pool monitoring data. The artificial intelligence module is trained using outputs from a plurality of convolutional neural networks (CNNs) tasked with evaluating build layer images captured in-process and images of finished parts captured post-process. The post process images may include two-dimensional images of sectioned finished parts and three-dimensional CAT scan images of finished parts.

WO2019/125970 - Convolutional neural network evaluation of additive manufacturing images, and additive manufacturing system based thereon – MOOG

Drones



US20190224956 - Multi-drone based three-dimensional printing – IBM



CN109057349 - UAV (unmanned aerial vehicle) type three-dimensional architecture printer – Wang Xun – 2018-07-23

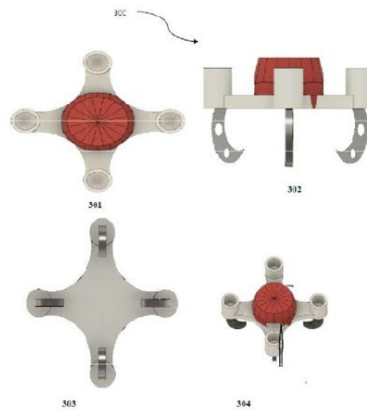


Figure 3

Dated this 14/02/2019

IN201941005768 - An aramid fiber reinforced abs composite material fabrication of unmanned aerial vehicle (uav) using 3d printing technology - THIRUGNANASAMBANTHAM

Et demain ?

Entre le 1^{er} janvier et le 15 août 2019, on comptabilise 17 119 publications de brevets AM, ce qui représente un riche potentiel d'innovations !

