

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2015/197794 A1**

(43) Date de la publication internationale  
30 décembre 2015 (30.12.2015)

WIPO | PCT

(51) Classification internationale des brevets :  
B29C 67/00 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/EP2015/064459

(22) Date de dépôt international :  
25 juin 2015 (25.06.2015)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
1455948 26 juin 2014 (26.06.2014) FR

(71) Déposants : UNIVERSITE JOSEPH FOURIER [FR/FR]; 621, Avenue Centrale, B.P. 53, F-38041 Grenoble Cedex 9 (FR). CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE [FR/FR]; 3, Rue Michel Ange, F-75794 Paris Cedex 16 (FR).

(72) Inventeurs : BALDECK, Patrice; 85, Chemin Montchauboud, F-38220 Vizille (FR). BOURIAU, Michel; Liphly, 140, Avenue de la Physique, BP 87, F-38402 Saint Martin d'Hères (FR).

(74) Mandataire : CABINET BEAUMONT; 1, Rue Champollion, F-38000 Grenoble (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasiatique (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : THREE-DIMENSIONAL PRINTING DEVICE

(54) Titre : DISPOSITIF D'IMPRESSION TRIDIMENSIONNELLE

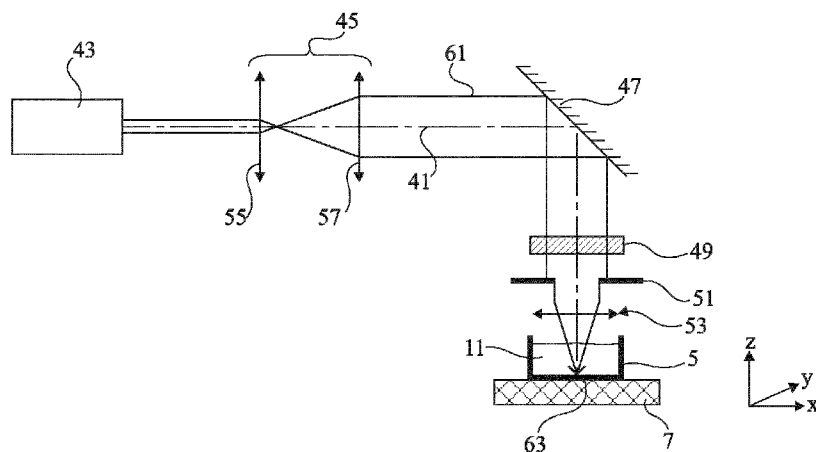


Fig 4

(57) Abstract : The invention relates to a two-photon absorption 3D printer including a laser source (43) and a focusing lens (53) that provide a laser beam, focused in at least one focal space. Said 3D printer is characterized in that it also includes a system (49) for changing the shape of the wavefront of the laser beam (61). Said system is combined with a control means capable of modifying the deformation of the wavefront during printing so as to modify the dimensions of said at least one focal space.

(57) Abrégé : L'invention concerne une imprimante 3D à absorption à deux photons comprenant une source laser (43) et un objectif de focalisation (53) fournissant un faisceau laser focalisé en au moins un volume focal, caractérisée en ce qu'elle comprend en outre un système de déformation du front d'onde (49) du faisceau laser (61), ce système étant associé à des moyens de commande propres à modifier la déformation du front d'onde en cours d'impression de façon à modifier les dimensions dudit au moins un volume focal.



WO 2015/197794 A1

**DISPOSITIF D'IMPRESSION TRIDIMENSIONNELLE**

La présente demande de brevet revendique la priorité de la demande de brevet français FR14/55948 qui sera considérée comme faisant partie intégrante de la présente description.

Domaine

5 La présente demande concerne un dispositif d'impression d'objet en trois dimensions (3D) plus couramment appelé imprimante 3D, et plus particulièrement une imprimante 3D utilisant une réaction photochimique induite par absorption multiphotonique à au moins deux photons.

10 Exposé de l'art antérieur

Dans une imprimante 3D à absorption à deux photons, un faisceau laser de longueur d'onde et de puissance appropriées est focalisé en des points successifs d'un matériau de sorte que les régions du matériau situées aux points de focalisation successifs  
15 du faisceau se modifient par une réaction photochimique induite par absorption à au moins deux photons. Le matériau à modifier peut être de divers types. Ce matériau peut comprendre une résine se solidifiant par polymérisation ou photo-réticulation, une résine dont les propriétés de solubilité se modifient par  
20 photochimie, des protéines se solidifiant par photo-réticulation, ou des sels métalliques se solidifiant par photo-réticulation. L'excédent de matériau non modifié étant dissous par un solvant

approprié après la modification. Les rendements de ces réactions photochimiques induites par absorption à deux photons sont proportionnels au carré de l'intensité du laser entraînant que la modification du matériau est très localisée.

5           La figure 1 représente schématiquement un exemple d'imprimante 3D à absorption à deux photons. L'imprimante 3D comprend une source laser 1, un objectif de focalisation 3, et un bac 5 reposant sur une table XYZ 7 pouvant être déplacée selon des directions orthogonales (XY) et parallèle (Z) à la direction  
10 de propagation d'un faisceau laser 9 généré par la source 1. Le bac 5 est rempli d'un matériau 11 de l'un des types susmentionnés. On considère ci-après à titre d'exemple le cas où le matériau est une résine se solidifiant par photoréticulation.

En fonctionnement, le faisceau laser 9 est focalisé par  
15 l'objectif 3 en un point de focalisation 13 situé dans le matériau 11. Au point de focalisation 13, lorsque la puissance du laser est suffisante, le matériau 11 se solidifie localement ce qui forme un pixel volumique (voxel) de ce matériau. Dans la figure, le point de focalisation 13 est représenté comme étant au fond du  
20 bac 5. La table XYZ 7 est commandée de sorte que le point de focalisation 13 du faisceau 9 est déplacé dans le matériau 11 pour former d'autres voxels jusqu'à ce que tout le volume de l'objet à imprimer ait été solidifié.

L'utilisation d'une telle imprimante 3D permet de  
25 réaliser des voxels de dimensions inférieures au micromètre, voire à la centaine de nanomètres. Ces imprimantes ont donc essentiellement été développées pour la fabrication d'objets de très petites dimensions à motifs micrométriques ou sub-micrométriques. Lors de l'impression d'un objet dont les  
30 dimensions sont de l'ordre du millimètre ou du centimètre, en raison des très faibles dimensions des voxels, les temps d'impression deviennent très longs.

Il existe donc un besoin d'une imprimante 3D résolvant au moins certains des inconvénients des imprimantes 3D à  
35 absorption à deux photons classiques.

Résumé

Ainsi, un mode de réalisation prévoit une imprimante 3D à absorption à deux photons comprenant une source laser et un objectif de focalisation fournissant un faisceau laser focalisé en au moins un volume focal, caractérisée en ce qu'elle comprend  
5 en outre un système de déformation du front d'onde du faisceau laser, ce système étant associé à des moyens de commande propres à modifier la déformation du front d'onde en cours d'impression de façon à modifier les dimensions dudit au moins un volume focal.

10 Selon un mode de réalisation, ledit système comprend plusieurs lames dont chacune a une épaisseur irrégulière, les moyens de commande comprenant un carrousel plaçant l'une ou l'autre des lames sur le trajet du faisceau laser.

15 Selon un mode de réalisation, ledit système comprend une matrice de micro-miroirs, les moyens de commande comprenant des moyens de positionnement des micro-miroirs.

20 Selon un mode de réalisation, ledit système comprend une matrice de pixels à cristaux liquides, les moyens de commande comprenant des moyens de polarisation propres à orienter les cristaux liquides de chaque pixel.

Selon un mode de réalisation, l'imprimante 3D comprend un agrandisseur de faisceau en amont dudit système.

Brève description des dessins

25 Ces caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres, seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite à titre non limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

la figure 1 représente schématiquement un exemple d'imprimante 3D à absorption à deux photons ;

30 les figures 2A et 2B représentent schématiquement un exemple d'objet à imprimer en 3D, la figure 2B étant une vue en coupe selon un plan BB de la figure 2A ;

la figure 3 est une vue schématique de la zone de focalisation d'un faisceau laser ;

la figure 4 représente schématiquement un mode de réalisation d'une imprimante 3D ;

les figures 5A et 5B représentent schématiquement un mode de réalisation d'un système de déformation du front d'onde utilisé dans l'imprimante 3D de la figure 4, la figure 5A étant  
5 une vue en coupe selon un plan AA de la figure 5B ;

les figures 6A et 6B représentent schématiquement un mode de réalisation d'un masque de phase ;

la figure 7 représente schématiquement un mode de réalisation d'un système de déformation de front d'onde à cristaux  
10 liquides ; et

la figure 8 représente schématiquement un mode de réalisation d'un système de déformation de front d'onde à micro-miroirs.

15 Par souci de clarté, de mêmes éléments ont été désignés par de mêmes références aux différentes figures et, de plus, les diverses figures ne sont pas tracées à l'échelle.

#### Description détaillée

Les figures 2A et 2B représentent schématiquement un exemple d'objet à imprimer en 3D, la figure 2A étant une vue de  
20 dessus de l'objet, et la figure 2B étant une vue en coupe selon un plan BB de la figure 2A. L'objet à imprimer est un filtre 21 comprenant une grille de filtration 23 solidaire d'une bague 25. La grille, ou tamis, 23 comporte des motifs extrêmement fins qui  
25 doivent être réalisés avec une haute définition tandis que la bague 25 ne nécessite pas une très haute définition.

La grille 23 comporte un réseau de barreaux de petites dimensions ayant, par exemple, une largeur de 100 nm avec un intervalle  $\tau$  entre barreaux de 200 nm. La bague 25 a une hauteur  
30 h de 0,5 mm, une épaisseur e de 0,2 mm, et un diamètre interne d de 0,5 cm.

Si on souhaite fabriquer le filtre 21 avec l'imprimante 3D de la figure 1 on devra, pour imprimer la grille 23 avec la précision souhaitée, choisir une imprimante telle que les voxels  
35 aient des dimensions inférieures ou égales à une centaine de

nanomètres, ce qui entraîne que, pour imprimer la bague 25 ayant des dimensions au moins 1000 fois supérieures à celles des voxels, le temps d'impression devient très long.

On propose ici de modifier une imprimante 3D à absorption à deux photons du type de celle décrite en relation avec la figure 1 pour y intégrer un système permettant d'adapter, en cours d'impression, les dimensions des voxels en fonction des dimensions des différentes régions d'un objet à imprimer. Ainsi, la grille 23 du filtre 21 pourra être imprimée avec des voxels dont les dimensions sont inférieures à la centaine de nanomètres, et la bague 25 pourra être imprimée avec des voxels dont les dimensions sont environ 100 fois plus grandes, par exemple de 1 à 20  $\mu\text{m}$ , par exemple de 2 à 10  $\mu\text{m}$ .

La figure 3 est une vue en coupe illustrant schématiquement l'allure de la zone de focalisation d'un faisceau laser 31 focalisé en un point focal 33. Au niveau du point focal 33, le faisceau laser 31 présente une zone de convergence maximale pour laquelle le faisceau a un diamètre minimal (waist)  $D_{\text{min}}$ . Le diamètre du faisceau augmente lorsqu'on s'éloigne de la zone de convergence maximale. En particulier, à une distance  $L_R$  (longueur de Rayleigh) de la zone de convergence maximale, le faisceau a un diamètre  $D_R$  égal à  $D_{\text{min}}$  multiplié par racine de 2, et son énergie par unité de surface est égale à la moitié de l'énergie par unité de surface au niveau de la zone de convergence maximale.

On appelle volume focal 35 la portion volumique du faisceau laser 31 centrée sur la zone de convergence maximale et de longueur  $L$  égale à deux fois la longueur de Rayleigh  $L_R$ .

En pratique, le volume focal 35 correspond à la portion volumique du faisceau laser 31 dans laquelle l'énergie par unité de surface est suffisante pour induire une réaction photochimique par absorption à deux photons entraînant la solidification d'un matériau approprié et y former un voxel. Ainsi, en modifiant les dimensions d'un volume focal, on modifie les dimensions du voxel correspondant. Dans la suite de cette demande,  $D_R$ ,  $D_{\text{min}}$ , et  $L$

désignent respectivement le diamètre maximal, le diamètre minimal, et la longueur d'un volume focal ou d'un voxel.

Dans le cas d'un faisceau laser à front d'onde plan, le diamètre  $D_{\min}$  d'un volume focal 35 est inversement proportionnel à l'ouverture numérique ON de l'objectif de focalisation utilisé, et la longueur L du volume focal est proportionnelle au carré de  $D_{\min}$ . Si on diminue d'un facteur k l'ouverture numérique ON, on augmente d'un facteur k le diamètre  $D_{\min}$  et d'un facteur  $k^2$  la longueur L de ce volume focal. Afin que l'énergie du faisceau reste suffisante pour induire une réaction chimique par absorption à deux photons, la puissance du faisceau laser est augmentée d'un facteur  $k^2$ . Par exemple, pour un volume focal de diamètre  $D_{\min}$  égal à 0,2  $\mu\text{m}$  et de longueur L égale 0,7  $\mu\text{m}$ , si l'ouverture numérique ON est diminuée d'un facteur 5,  $D_{\min}$  est multiplié par 5 et devient égal à 1  $\mu\text{m}$  et L est multiplié par 25 et devient égal à 17,5  $\mu\text{m}$ . Les voxels obtenus sont donc fortement étirés dans le sens de leur longueur et la définition en Z de l'impression devient très inférieure à la définition en XY ce qui pose de nombreux problèmes lors de l'impression d'un objet 3D.

La figure 4 représente schématiquement un mode de réalisation d'une imprimante 3D à absorption à deux photons. L'imprimante 3D comprend successivement, sur un axe optique 41, une source laser 43, un agrandisseur de faisceau 45, un miroir plan 47, un système spécifique de déformation de front d'onde 49, un diaphragme 51, et un objectif de focalisation 53. Dans l'exemple représenté, l'agrandisseur de faisceau 45 comprend deux lentilles 55 et 57. Comme dans le cas de la figure 1, l'imprimante comprend un bac 5 disposé sur une table XYZ 7 et rempli d'un matériau 11 se solidifiant par une réaction photochimique induite par absorption à deux photons. Le faisceau laser 61 de sortie de l'agrandisseur 45 converge dans le matériau 11 en un point de focalisation 63.

Avant passage par le système de déformation de front d'onde 49, le front d'onde du faisceau laser est plan et orthogonal à l'axe optique 41. Le système de déformation de front d'onde 49

permet d'appliquer à des rayons du faisceau laser 61 des déphasages variant en fonction de la position de ces rayons dans le faisceau. Il en résulte une déformation du front d'onde du faisceau laser 61.

5 On utilise ici le fait que, lors de la focalisation d'un faisceau laser ayant subi une déformation spécifique de son front d'onde, le volume focal est d'autant plus grand que le front d'onde de ce faisceau est plus perturbé. Ainsi, en prévoyant un système adapté de déformation du front d'onde, les diamètres  $D_{\min}$   
10 et  $D_R$  susmentionnés peuvent être augmentés sans que la longueur  $L$  n'augmente significativement. Ce système adapté peut être calculé par des programmes informatiques de simulation et d'itération pour obtenir le résultat souhaité. Ce type de programme est connu de façon générale (Voir par exemple R. di Leonardo et al, Optics  
15 Express, Vol. 15, N° 4, 19 février 2007) et pourra être utilisé dans le but proposé ici.

Le système de déformation de front d'onde 49 est associé à des moyens de commande non représentés. Ces moyens de commande permettent de modifier, pendant l'impression, la perturbation  
20 appliquée au front d'onde du faisceau pour adapter les dimensions des voxels aux dimensions des régions de l'objet en train d'être imprimé.

Les figures 5A et 5B représentent schématiquement un mode de réalisation d'un système de déformation de front d'onde  
25 49A, la figure 5B étant une vue de dessus, et la figure 5A étant une vue en coupe selon le plan AA de la figure 5B. Le système de déformation de front d'onde 49A comprend plusieurs lames 65a, 65b, 65c et 65d d'épaisseurs irrégulières en un matériau transparent à la longueur d'onde d'un faisceau laser 61. Ces épaisseurs  
30 irrégulières sont calculées comme exposé ci-dessus. Lorsque le faisceau laser 61 traverse une des lames 65a, 65b, 65c ou 65d, les irrégularités d'épaisseurs de la lame entraînent des déphasages différents entre les rayons du faisceau 61 ce qui résulte en une déformation du front d'onde de ce faisceau. Les  
35 irrégularités d'épaisseurs sont différentes d'une lame à l'autre

et chaque lame correspond à une déformation particulière du front d'onde. L'une des lames 65a, 65b, 65c et 65d peut avoir une épaisseur régulière n'entraînant pas de déformation du front d'onde du faisceau 61.

5 Les lames 65a, 65b, 65c et 65d, aussi appelées masques de phase, sont disposées dans un carrousel 67 pouvant tourner autour d'un axe 69 parallèle à la direction de propagation du faisceau 61. Des rotations du carrousel 67 autour de l'axe 69 permettent de disposer l'une ou l'autre des lames sur le trajet  
10 du faisceau laser 61. Ces rotations peuvent être commandées pendant l'impression pour obtenir différentes dimensions de voxels.

Les figures 6A et 6B illustrent schématiquement un mode de réalisation d'un masque de phase, par exemple le masque de  
15 phase 65a, la figure 6A étant une vue de dessus, et la figure 6B étant une vue en coupe selon le plan BB de la figure 6A. Le masque de phase 65a est constitué d'un disque 73 en un matériau transparent à la longueur d'onde du laser, le diamètre du disque 73 étant supérieur au diamètre d'un faisceau laser 61 traversant  
20 ce masque de phase 65a. Le disque 73 comprend une face plane et une face comportant des marches 75 ayant des bords abrupts. Le choix des dimensions et des positions des marches 75 conduit à une déformation particulière du front d'onde, et donc à une modification donnée des dimensions des voxels. On pourra par  
25 exemple passer de voxels ayant des dimensions  $D_{\min}$  égale à  $0,2 \mu\text{m}$  et  $L$  égal à  $0,7 \mu\text{m}$ , à des voxels ayant des dimensions  $D_{\min}$  et  $L$  similaires et comprises entre 1 et  $20 \mu\text{m}$ , par exemple égales respectivement à  $7,5 \mu\text{m}$  et  $10 \mu\text{m}$ .

La figure 7 est une vue en coupe représentant  
30 schématiquement un autre mode de réalisation d'un système de déformation de front d'onde 49B. Le système 49B comprend une matrice de pixels 81 transparents à la longueur d'onde d'un faisceau laser 61, chaque pixel 81 comprenant des cristaux liquides 83 disposés entre deux électrodes de polarisation non  
35 représentées. Le dispositif 49B est disposé dans un plan

orthogonal à la direction de propagation d'un faisceau laser 61 de sorte que ce faisceau traverse la matrice de pixels.

Les électrodes de polarisation permettent de commander l'orientation des cristaux liquides 83 dans chaque pixel 81 ce qui conduit à des déphasages différents entre les rayons du faisceau 61. L'orientation des cristaux liquides de chacun des pixels 81 est commandée en cours d'impression pour effectuer différentes déformations du front d'onde entraînant l'obtention de différentes dimensions de voxels.

La figure 8 est une vue en coupe représentant schématiquement un autre mode de réalisation d'un système de déformation de front d'onde 49C. Le système comprend une matrice de micro-miroirs 91, chaque micro-miroir étant lié à un même support 93 par l'intermédiaire de micro-pistons 95 permettant de modifier la position de chaque micro-miroir. Le système 49C est disposé de sorte qu'un faisceau laser 61 frappant les micro-miroirs 93 soit réfléchi en direction d'un objectif de focalisation 53. A titre d'exemple, le système 49C est disposé à la place du miroir plan 47 de l'imprimante 3D de la figure 4.

Lorsque le faisceau laser 61 est réfléchi par la matrice de micro-miroirs, les différences de position des micro-miroirs de la matrice entraînent des différences de déphasage entre les rayons du faisceau 61 d'où il résulte une déformation du front d'onde du faisceau. Les micro-pistons 95 sont commandés de façon à permettre de modifier, en cours d'impression, les positions des micro-miroirs 93 pour obtenir différentes déformations du front d'onde et donc différentes dimensions de voxels.

Des modes de réalisation particuliers ont été décrits. Diverses variantes et modifications apparaîtront à l'homme de l'art. En particulier, bien que l'on ait décrit une imprimante 3D en relation avec la figure 4 dans laquelle la position du point de focalisation est modifiée par le déplacement d'une table XYZ, la position du point de focalisation pourra être modifiée par d'autres moyens, par exemple, en ce qui concerne le déplacement en Z, par un déplacement de l'objectif de focalisation, et en ce

qui concerne le déplacement en XY, par l'utilisation de miroirs orientables ou d'un défecteur acousto-optique.

Bien que l'on ait décrit en relation avec les figures 6A et 6B un mode de réalisation d'un masque de phase comportant des marches ayant des bords abrupts, les irrégularités d'épaisseurs du masque de phases pourront être obtenues avec des marches ayant des profils arrondis. Les masques de phase pourront être remplacés par d'autres éléments optiques introduisant une déformation du front d'onde d'un faisceau laser les traversant.

10 On pourra, par exemple, utiliser des matrices de microlentilles.

On a décrit en relation avec les figures 5A, 5B, 6A, 6B, 7 et 8 trois modes de réalisation d'un système de déformation de front d'onde, ces systèmes comprenant des moyens pour modifier de manière discrète ou continue la déformation du front d'onde en cours d'impression. L'homme de l'art pourra utiliser tous autres types connus de systèmes commandés de déformation du front d'onde d'un faisceau laser. On pourra par exemple utiliser des SLM (Spatial Light Modulator - modulateur spatial de lumière), des DMD (Digital Micromirror Device - dispositif numérique à micro-miroirs), des miroirs déformables, et des valves optiques à cristaux liquides.

15

20

Bien que l'on ait décrit des systèmes de déformation de front d'onde 49A et 49B disposés entre le miroir plan 47 et le diaphragme 51 de l'imprimante 3D décrite en relation avec la figure 4, et un système 49C disposé à la place du miroir plan 47, la position du système de déformation de front d'onde dans l'imprimante 3D de la figure 4 pourra être modifiée par l'homme de l'art. Plus généralement, dans une imprimante 3D du type de celle décrite en relation avec la figure 4, on pourra ajouter ou supprimer des éléments optiques. En particulier, on pourra supprimer le miroir de renvoi 47, ou ajouter d'autres miroirs de renvoi pour rendre le dispositif plus ou moins compact.

25

30

Bien que l'on ait décrit un procédé d'impression dans lequel tout le volume d'un objet à imprimer est solidifié en réalisant successivement de nombreux voxels, on pourra choisir de

35

n'imprimer que l'enveloppe (les parois) de l'objet à imprimer ou d'une partie de cet objet (la bague dans l'exemple du filtre donné ci-dessus).

En complément de ce qui a été décrit précédemment, on  
5 pourra prévoir d'adapter les conditions de focalisation du faisceau, par exemple en modifiant l'ouverture numérique ou l'objectif de focalisation.

On a considéré le cas où l'imprimante est prévue pour qu'il y ait à chaque instant un seul point de focalisation d'un  
10 faisceau laser. Si plusieurs points de focalisation coexistent, la déformation du front d'onde susmentionnée s'appliquera à chacun, et seulement à chacun de ces points de focalisation.

On a décrit des modes de réalisation d'une imprimante 3D dans laquelle le matériau à modifier au niveau du volume focal  
15 d'un faisceau laser est disposé dans un bac 5. Dans d'autres modes de réalisation, ce matériau pourra être directement disposé sur un support tel qu'une plaque de verre ou de silicium.

Bien que l'on ait décrit des modes de réalisation d'une imprimante 3D par absorption à deux photons, ce qui a été décrit  
20 précédemment s'applique à des réactions photochimiques induites par absorption multiphotonique.

REVENDICATIONS

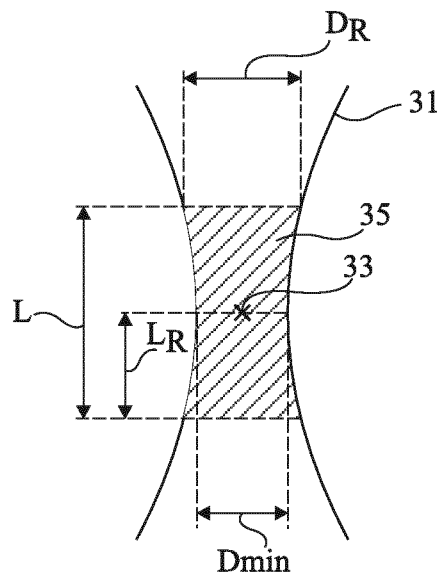
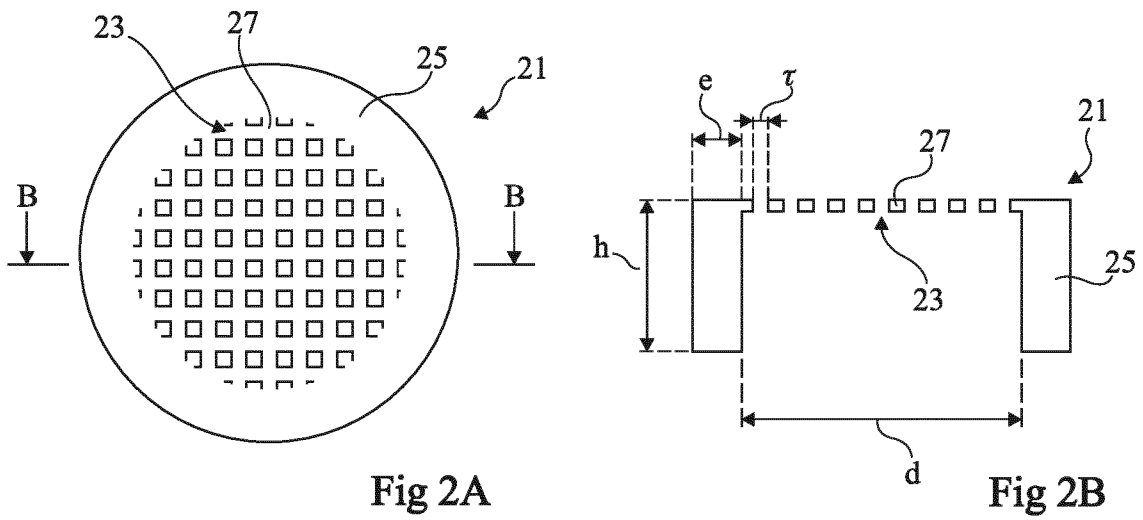
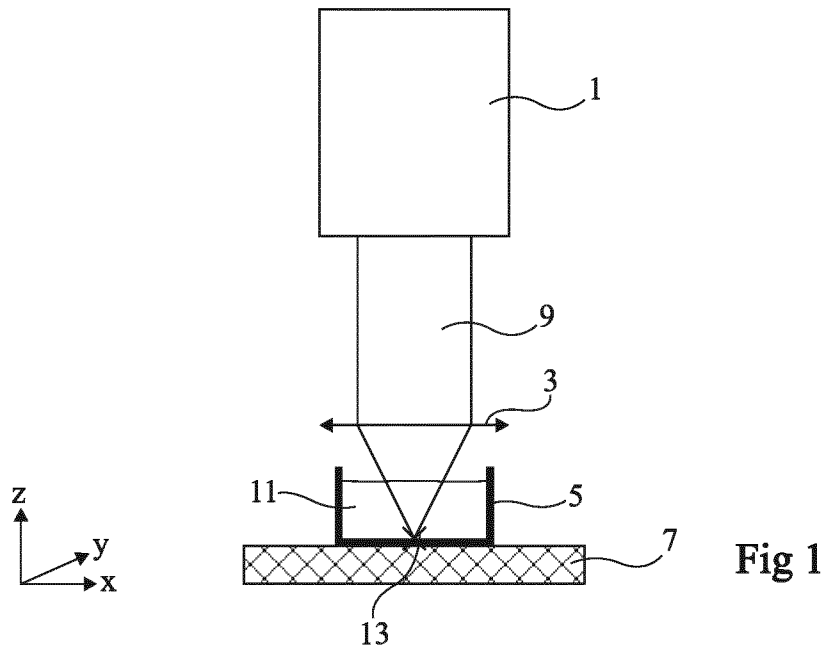
1. Imprimante 3D à absorption à deux photons comprenant une source laser (43) et un objectif de focalisation (53) fournissant un faisceau laser focalisé en au moins un volume focal (35), caractérisée en ce qu'elle comprend en outre un système de  
5 déformation du front d'onde (49, 49A, 49B, 49C) du faisceau laser (61) adapté à augmenter la section d'un volume focal sans augmenter significativement sa profondeur, ce système étant associé à des moyens de commande (67, 95) propres à modifier la déformation du front d'onde en cours d'impression de façon à  
10 modifier les dimensions dudit au moins un volume focal.

2. Imprimante 3D selon la revendication 1, dans laquelle ledit système (49A) comprend plusieurs lames (65a, 65b, 65c, 65d) dont chacune a une épaisseur irrégulière, les moyens de commande comprenant un carrousel (67) plaçant l'une ou l'autre  
15 des lames sur le trajet du faisceau laser (61).

3. Imprimante 3D selon la revendication 1, dans laquelle ledit système (49C) comprend une matrice de micro-miroirs (91), les moyens de commande comprenant des moyens de positionnement (95) des micro-miroirs.

20 4. Imprimante 3D selon la revendication 1, dans laquelle ledit système (49B) comprend une matrice de pixels (81) à cristaux liquides (83), les moyens de commande comprenant des moyens de polarisation propres à orienter les cristaux liquides de chaque pixel.

25 5. Imprimante 3D selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, comprenant un agrandisseur de faisceau (45) en amont dudit système (49, 49A, 49B, 49C).



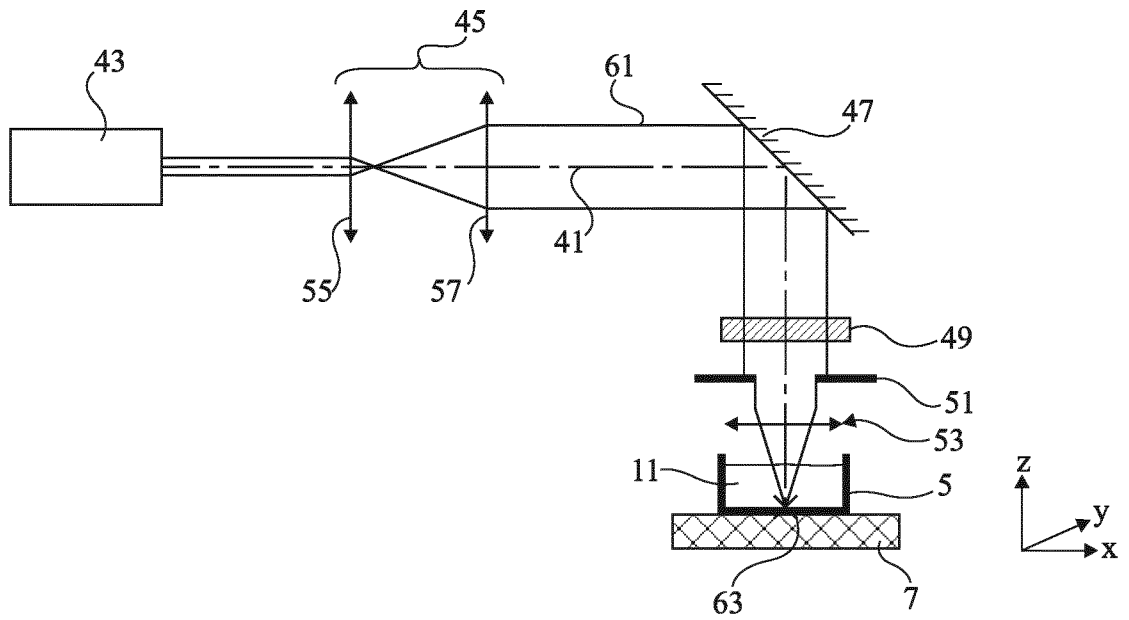


Fig 4

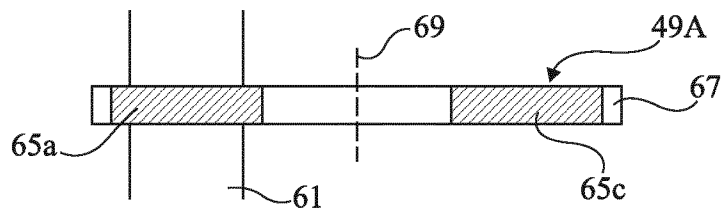


Fig 5A

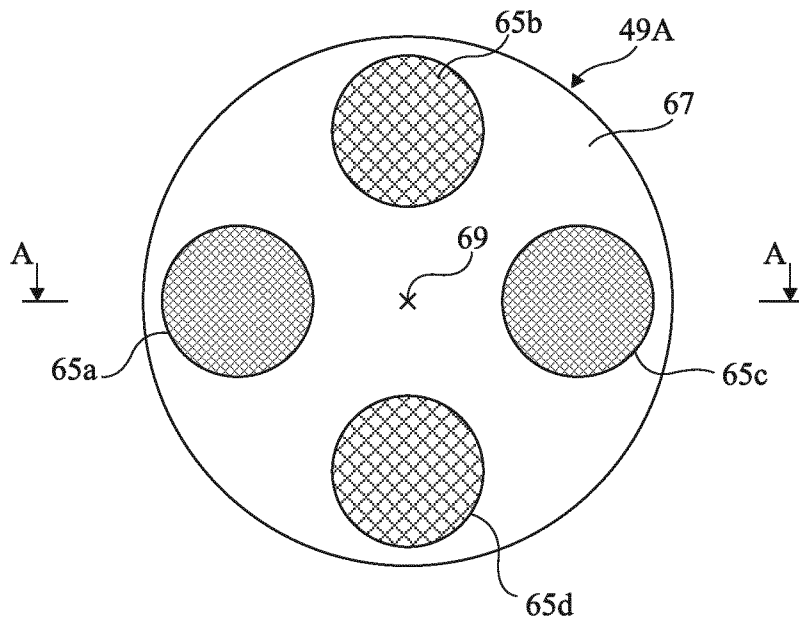


Fig 5B

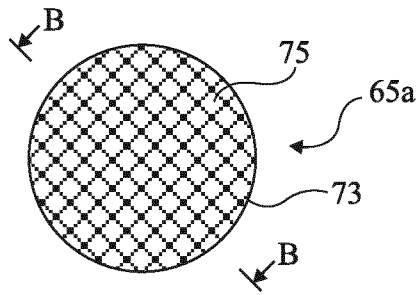


Fig 6A

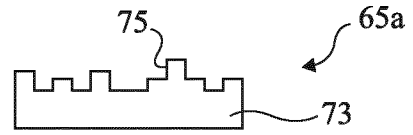


Fig 6B

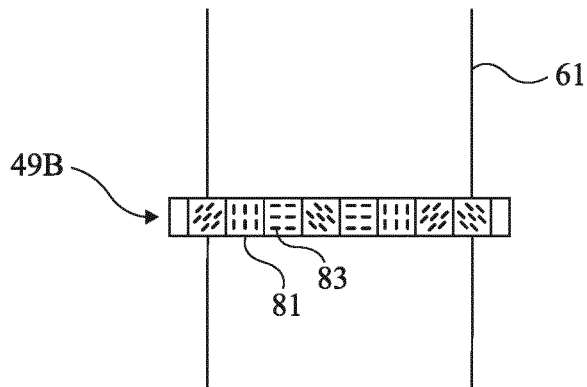


Fig 7

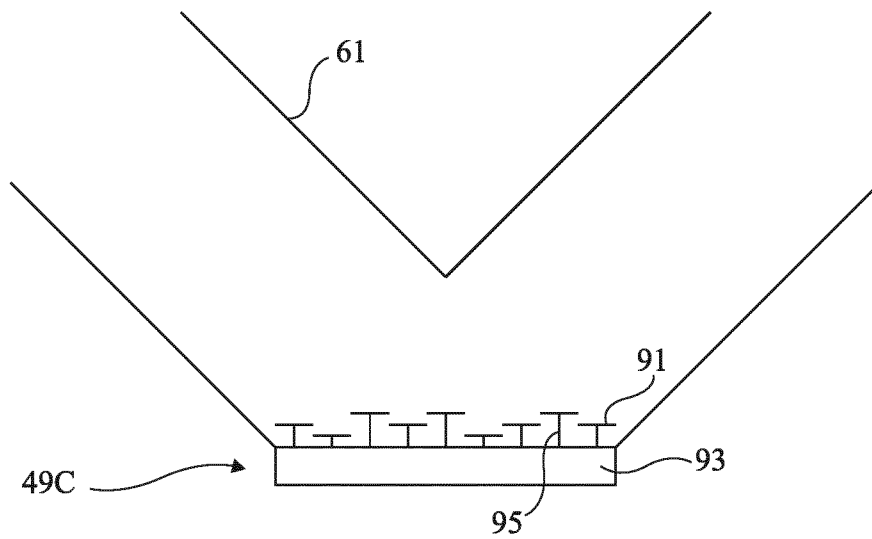


Fig 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2015/064459

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. B29C67/00  
ADD.  
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED  
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
B29C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 2 645 158 A2 (JOHNSON & JOHNSON VISION CARE [US]) 2 October 2013 (2013-10-02) column 11, line 25 - column 21, line 20 -----	1-5
X	EP 0 435 564 A2 (DU PONT [US]) 3 July 1991 (1991-07-03) figure 1 claims -----	1-5
X	US 2003/052105 A1 (NAGANO KAZUHIKO [JP] ET AL) 20 March 2003 (2003-03-20) figures 1,2,20,23 paragraph [0015] paragraph [0169] - paragraph [0195] -----	1-5
X	EP 1 405 714 A1 (EOS ELECTRO OPTICAL SYST [DE]) 7 April 2004 (2004-04-07) paragraph [0014] - paragraph [0020] ----- -/--	1

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  15 September 2015	Date of mailing of the international search report  23/09/2015
--	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Whelan, Natalie
--	---

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2015/064459

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP H01 228828 A (OSAKA PREFECTURE; MITSUBISHI CORP) 12 September 1989 (1989-09-12) abstract; figures -----	1,2
X	US 2003/214571 A1 (ISHIKAWA HIROMI [JP] ET AL) 20 November 2003 (2003-11-20) paragraph [0023] paragraph [0144] - paragraph [0159] claims 16-21 -----	1,3-5

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No  
PCT/EP2015/064459

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
EP 2645158	A2	02-10-2013	AU 2013202155 A1	17-10-2013
			BR 102013007858 A2	07-07-2015
			CA 2810796 A1	30-09-2013
			CN 103364967 A	23-10-2013
			EP 2645158 A2	02-10-2013
			JP 2013214067 A	17-10-2013
			KR 20130111468 A	10-10-2013
			RU 2013114283 A	10-10-2014
			SG 193767 A1	30-10-2013
			TW 201346378 A	16-11-2013
			US 2013258274 A1	03-10-2013
-----				
EP 0435564	A2	03-07-1991	AU 6834090 A	12-09-1991
			CA 2032712 A1	23-06-1991
			CN 1053843 A	14-08-1991
			DE 69018952 D1	01-06-1995
			DE 69018952 T2	16-11-1995
			EP 0435564 A2	03-07-1991
			JP 2941064 B2	25-08-1999
			JP H05318604 A	03-12-1993
			US 5143817 A	01-09-1992
			-----	
US 2003052105	A1	20-03-2003	JP 2003080604 A	19-03-2003
			US 2003052105 A1	20-03-2003
-----				
EP 1405714	A1	07-04-2004	DE 10245617 A1	08-04-2004
			EP 1405714 A1	07-04-2004
			JP 2004130793 A	30-04-2004
			US 2004061260 A1	01-04-2004
-----				
JP H01228828	A	12-09-1989	JP H0533898 B2	20-05-1993
			JP H01228828 A	12-09-1989
-----				
US 2003214571	A1	20-11-2003	CN 1659479 A	24-08-2005
			KR 20050003356 A	10-01-2005
			US 2003214571 A1	20-11-2003
			US 2005175302 A1	11-08-2005
			US 2005179772 A1	18-08-2005
			US 2005180692 A1	18-08-2005
			US 2005191016 A1	01-09-2005
			WO 03085457 A1	16-10-2003
-----				

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2015/064459

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. B29C67/00 ADD.				
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB				
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE				
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) B29C				
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche				
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data				
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS				
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées		
X	EP 2 645 158 A2 (JOHNSON & JOHNSON VISION CARE [US]) 2 octobre 2013 (2013-10-02) colonne 11, ligne 25 - colonne 21, ligne 20 -----	1-5		
X	EP 0 435 564 A2 (DU PONT [US]) 3 juillet 1991 (1991-07-03) figure 1 revendications -----	1-5		
X	US 2003/052105 A1 (NAGANO KAZUHIKO [JP] ET AL) 20 mars 2003 (2003-03-20) figures 1,2,20,23 alinéa [0015] alinéa [0169] - alinéa [0195] ----- -/--	1-5		
<table border="0"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents                 </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe                 </td> </tr> </table>			<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe			
* Catégories spéciales de documents cités:				
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets			
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée  15 septembre 2015	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale  23/09/2015			
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Fonctionnaire autorisé  Whelan, Natalie			

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 1 405 714 A1 (EOS ELECTRO OPTICAL SYST [DE]) 7 avril 2004 (2004-04-07) alinéa [0014] - alinéa [0020] -----	1
X	JP H01 228828 A (OSAKA PREFECTURE; MITSUBISHI CORP) 12 septembre 1989 (1989-09-12) abrégé; figures -----	1,2
X	US 2003/214571 A1 (ISHIKAWA HIROMI [JP] ET AL) 20 novembre 2003 (2003-11-20) alinéa [0023] alinéa [0144] - alinéa [0159] revendications 16-21 -----	1,3-5

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2015/064459

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 2645158	A2	02-10-2013	AU 2013202155 A1	17-10-2013
			BR 102013007858 A2	07-07-2015
			CA 2810796 A1	30-09-2013
			CN 103364967 A	23-10-2013
			EP 2645158 A2	02-10-2013
			JP 2013214067 A	17-10-2013
			KR 20130111468 A	10-10-2013
			RU 2013114283 A	10-10-2014
			SG 193767 A1	30-10-2013
			TW 201346378 A	16-11-2013
			US 2013258274 A1	03-10-2013
-----				
EP 0435564	A2	03-07-1991	AU 6834090 A	12-09-1991
			CA 2032712 A1	23-06-1991
			CN 1053843 A	14-08-1991
			DE 69018952 D1	01-06-1995
			DE 69018952 T2	16-11-1995
			EP 0435564 A2	03-07-1991
			JP 2941064 B2	25-08-1999
			JP H05318604 A	03-12-1993
			US 5143817 A	01-09-1992
-----				
US 2003052105	A1	20-03-2003	JP 2003080604 A	19-03-2003
			US 2003052105 A1	20-03-2003
-----				
EP 1405714	A1	07-04-2004	DE 10245617 A1	08-04-2004
			EP 1405714 A1	07-04-2004
			JP 2004130793 A	30-04-2004
			US 2004061260 A1	01-04-2004
-----				
JP H01228828	A	12-09-1989	JP H0533898 B2	20-05-1993
			JP H01228828 A	12-09-1989
-----				
US 2003214571	A1	20-11-2003	CN 1659479 A	24-08-2005
			KR 20050003356 A	10-01-2005
			US 2003214571 A1	20-11-2003
			US 2005175302 A1	11-08-2005
			US 2005179772 A1	18-08-2005
			US 2005180692 A1	18-08-2005
			US 2005191016 A1	01-09-2005
			WO 03085457 A1	16-10-2003
-----				