(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** ***3 035 769***

(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **15 53951**

(51) Int Cl[8] : ***H 05 H 1/24*** *(2016.01), H 05 H 1/02, G 01 R 33/26*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 30.04.15.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 04.11.16 Bulletin 16/44.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire :** *Se reporter à la fin du présent fascicule*

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

( ) **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public* — FR.

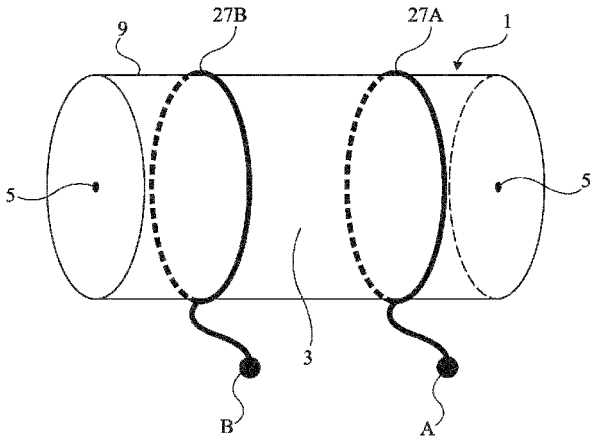
(72) **Inventeur(s) :** LE PRADO MATTHIEU, BERANGER MARC, CORSI MARIE-CONSTANCE, JOSSELIN VINCENT, LABYT ETIENNE et MORALES SOPHIE.

(73) **Titulaire(s) :** COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public.

(74) **Mandataire(s) :** CABINET BEAUMONT.

(54) CELLULE DE GENERATION D'UN PLASMA.

(57) L'invention concerne une cellule de génération d'un plasma comprenant une enceinte cylindrique (1) fermée à ses extrémités par des fenêtres (5) transparentes et parallèles, l'enceinte étant en un matériau isolant; un gaz (3) remplissant l'enceinte; et deux anneaux (27A, 27B) en un matériau électriquement conducteur entourant l'enceinte et étant décalés l'un par rapport à l'autre dans une direction parallèle à l'axe de l'enceinte.



FR 3 035 769 - A1

CELLULE DE GÉNÉRATION D'UN PLASMA

Domaine

La présente demande concerne une cellule de génération d'un plasma, et plus particulièrement une cellule de petite dimension adaptée à être utilisée dans des magnétomètres à pompage optique.

Exposé de l'art antérieur

Dans un magnétomètre à pompage optique, un gaz tel que du ^4He (isotope 4 de l'hélium) remplissant une cellule fermée est porté à l'état de plasma et est pompé optiquement par un laser. La fréquence de résonance magnétique des atomes du plasma pompé optiquement est alors proportionnelle au champ magnétique auquel est soumise la cellule.

La figure 1 est une vue en perspective représentant schématiquement un exemple d'une cellule de génération d'un plasma utilisée dans des magnétomètres à pompage optique. La cellule comprend une enceinte cylindrique fermée 1 en un matériau électriquement isolant remplie d'un gaz 3 tel que du ^4He. Des fenêtres 5, transparentes et parallèles, ferment l'enceinte 1 à ses extrémités. La cellule est munie de deux électrodes électriquement conductrices 7A et 7B. Les électrodes sont disposées en regard l'une de l'autre sur la paroi cylindrique 9 de l'enceinte et sont symétriques l'une de l'autre par rapport à

l'axe de la cellule cylindrique. Les électrodes 7A et 7B sont couplées à des bornes respectives A et B par l'intermédiaire de fils conducteurs 11.

Dans une réalisation pratique actuelle, l'enceinte 1 a un diamètre de 3 cm et une longueur axiale de 4 cm, et les électrodes 7A et 7B ont une longueur de 2 cm et une largeur développée de 0,9 cm. Chaque électrode est constituée d'une couche électriquement conductrice telle qu'une couche métallique déposée ou collée sur la paroi cylindrique 9 de la cellule. La pression du gaz 3 dans la cellule est comprise entre 13 et 1300 Pa, par exemple de 130 Pa.

Avant que le gaz 3 ne soit à l'état de plasma, les électrodes 7A et 7B sont isolées électriquement l'une de l'autre par la paroi cylindrique 9 de l'enceinte 1 et par le gaz 3. La cellule de la figure 1 se comporte alors comme une capacité.

La figure 2 représente un exemple de circuit électrique d'excitation de la cellule de la figure 1 pour y générer un plasma. Le circuit comprend une première bobine 13A connectée en série avec une première résistance 15A, entre une première borne d'un oscillateur 17 et la borne A d'une capacité 19 correspondant à la cellule de la figure 1. Une deuxième bobine 13B est connectée en série avec une deuxième résistance 15B, entre la deuxième borne de l'oscillateur 17 et la borne B de la capacité 19.

Chaque bobine 13A, 13B a une inductance de valeur L/2. Les résistances 15A et 15B correspondent aux pertes résistives dans le circuit. La capacité 19 de la cellule a une valeur C. La pulsation w de fonctionnement du circuit est telle que $w^2=1/LC$. Un champ électrique alternatif s'étend à travers la cellule, entre les électrodes 7A et 7B, et entraîne qu'un plasma se forme dans la cellule.

Il est souhaitable, notamment pour des applications spatiales ou médicales, de disposer d'une cellule de génération d'un plasma dans laquelle les perturbations électromagnétiques résultant de la génération d'un plasma sont faibles.

Résumé

Ainsi, un mode de réalisation prévoit une cellule de génération d'un plasma comprenant : une enceinte cylindrique fermée à ses extrémités par des fenêtres transparentes et parallèles, l'enceinte étant en un matériau isolant ; un gaz remplissant l'enceinte ; et deux anneaux en un matériau électriquement conducteur entourant l'enceinte et étant décalés l'un par rapport à l'autre dans une direction parallèle à l'axe de l'enceinte.

Selon un mode de réalisation, chaque anneau est constitué d'un fil électriquement conducteur entourant l'enceinte, les extrémités au moins du fil étant court-circuitées.

Selon un mode de réalisation, le fil est un ruban.

Selon un mode de réalisation, les anneaux sont en cuivre.

Selon un mode de réalisation, le gaz est du ^4He.

Selon un mode de réalisation, l'enceinte est en verre.

Selon un mode de réalisation, la pression à l'intérieur de l'enceinte est comprise entre 2000 à 3300 Pa.

Selon un mode de réalisation, l'enceinte cylindrique a un diamètre et une longueur inférieurs à 1 cm.

On prévoit en outre un magnétomètre à pompage optique comprenant la cellule génération d'un plasma susmentionnée.

Brève description des dessins

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 est une vue en perspective représentant schématiquement un exemple de cellule de génération d'un plasma ;

la figure 2 représente un circuit électrique d'excitation de la cellule de la figure 1 ; et

la figure 3 est une vue en perspective d'un mode de réalisation d'une cellule de génération d'un plasma.

Description détaillée

De mêmes éléments ont été désignés par de mêmes références dans les différentes figures.

Sauf précision contraire, l'expression "sensiblement" signifie ici à 10 % près, de préférence à 5 % près.

Dans une cellule du type de celle de la figure 1, les électrodes de type plaque sont symétriques l'une de l'autre par rapport à l'axe de la cellule et le champ électrique s'étendant entre ces électrodes est sensiblement transverse à l'axe de la cellule. De telles cellules seront dites "à champ transverse" dans la suite de la description.

On propose ici d'utiliser des cellules ayant des structures du type illustré en figure 3. Dans ces cellules, chacune des deux électrodes est en forme d'anneau, et ces électrodes sont décalées l'une par rapport à l'autre dans une direction parallèle à l'axe de la cellule. Le champ électrique s'étendant entre ces électrodes est sensiblement parallèle à l'axe de la cellule. De telles cellules seront dites "à champ axial" dans la suite de la description.

La figure 3 est une vue en perspective d'un mode de réalisation d'une cellule à champ axial. La cellule comprend un gaz 3 remplissant une enceinte cylindrique fermée 1. La cellule est munie de deux électrodes annulaires 27A et 27B couplées à des bornes respectives A et B, chaque électrode entourant la paroi cylindrique 9 de l'enceinte 1. Les électrodes annulaires 27A et 27B sont en vis-à-vis et sont décalées l'une par rapport à l'autre dans une direction parallèle à l'axe de la cellule. Les électrodes 27A et 27B sont identiques, et, comme cela est illustré en figure 3, ont un diamètre interne correspondant au diamètre externe de la paroi cylindrique 9.

Lorsqu'une telle cellule est excitée par un circuit du type de celui de la figure 2, un champ électrique alternatif s'étend entre les électrodes 27A et 27B et entraîne qu'un plasma se forme dans la cellule.

A titre d'exemple, chaque électrode annulaire 27A, 27B peut être constituée d'un fil en un matériau électriquement conducteur enroulé autour de la paroi cylindrique 9 de l'enceinte 1. Les électrodes pourront être en cuivre, en or, en aluminium ou en un alliage métallique tel que du laiton.

La distance séparant les électrodes l'une de l'autre est choisie en fonction de la valeur C de la capacité que l'on souhaite obtenir. L'enceinte 1 de la cellule peut être en verre, par exemple en le matériau commercialisé sous la marque Pyrex.

Les inventeurs ont comparé des cellules à champ transverse à des cellules à champ axial constituées à partir d'enceintes identiques remplies d'un même gaz à la même pression. La comparaison a été effectuée dans le cas de cellules de génération d'un plasma dont toutes les dimensions sont inférieures au centimètre, de telles cellules étant plus particulièrement adaptées à un déploiement en réseau et donc à de l'imagerie magnétique des organes du corps humain ou animal.

Il a été observé que la puissance à fournir pour générer et entretenir un plasma est plus faible dans le cas où on utilise une cellule à champ axial que dans le cas où on utilise une cellule à champ transverse.

A titre d'exemple, on considère une cellule à champ axial dans laquelle l'enceinte a un diamètre de 5 mm pour une longueur de 5 mm, le gaz remplissant la cellule est du ^4He, la pression dans la cellule est de 2000 à 3300 Pa, par exemple 2700 Pa (20 torrs), chaque électrode annulaire est constituée d'un fil de cuivre de 0,315 mm de diamètre, et la distance séparant les électrodes l'une de l'autre est égale à 3 mm. Lorsque cette cellule est excitée par un circuit du type de celui de la figure 2, la puissance à fournir pour qu'un plasma se forme est de 0,8 W et une puissance 0,02 W est suffisante pour entretenir le plasma. En utilisant une cellule à champ transverse de mêmes dimensions et dont les électrodes de type plaque ont une surface de 9 mm^2 chacune, la puissance à fournir pour qu'un plasma se forme est

alors de 2 W et une puissance de 0,05 W est nécessaire pour entretenir le plasma.

L'exemple comparatif ci-dessus montre que l'utilisation d'une cellule avec des électrodes annulaires permet une diminution de 60% des puissances à fournir pour générer et entretenir un plasma par rapport au cas où on utilise une cellule avec des électrodes de type plaque d'une surface de 9 mm^2 chacune.

De plus, il a été observé que les perturbations électromagnétiques résultant de la génération d'un plasma sont plus faibles dans le cas où on utilise une cellule avec des électrodes annulaires que dans le cas où on utilise une cellule avec des électrodes de type plaque. Cet aspect est essentiel dans le cas où la cellule est utilisée dans le cadre d'applications à des diagnostics médicaux.

A titre d'exemple, lorsque la cellule à champ axial de l'exemple décrit précédemment (électrodes annulaires) est placée dans une chambre amagnétique munie de détecteurs de type SQUID ("Superconducting Quantum Interference Device" - dispositif superconducteur à interférence quantique), lors de la formation d'un plasma, les détecteurs restent fonctionnels, c'est-à-dire qu'ils ne saturent pas à cause d'une perturbation électromagnétique trop importante, si la cellule est placée à environ 50 cm des détecteurs. En utilisant une cellule à champ transverse de mêmes dimensions et dont les électrodes ont une surface de 9 mm^2 chacune, les détecteurs de type SQUID ne fonctionnent que si la cellule à champ transverse est placée à au moins 2,5 m des détecteurs.

L'exemple comparatif ci-dessus montre que l'utilisation d'une cellule à champ axial munie d'électrodes annulaires permet d'augmenter de 80% la compatibilité électromagnétique par rapport au cas où on utilise une cellule à champ transverse munie d'électrodes de type plaque.

Dans des cellules à champ transverse dont toutes les dimensions sont inférieures au centimètre, chaque électrode a une surface dont l'étendue est au plus de sensiblement 0,1 cm^2. Il

est difficile de souder un fil conducteur couplé à une borne A ou B de la cellule sur une telle surface. Pour des cellules à champ axial de mêmes dimensions, chaque électrode annulaire peut être réalisée simplement, par exemple en entourant la paroi cylindrique de la cellule d'un fil électriquement conducteur, puis en torsadant l'une avec l'autre les extrémités du fil pour former un élément de connexion à une borne A ou B de la cellule.

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 cellule de génération d'un plasma adaptée à être utilisée dans un magnétomètre à pompage optique, on pourra utiliser cette cellule dans d'autres applications requérant l'utilisation d'un plasma, par exemple dans une horloge atomique, dans un gyroscope atomique ou dans un imageur à résonance magnétique nucléaire.

Les électrodes annulaires pourront être formées à partir d'un ruban plat plutôt que d'un fil.

En outre, bien que l'on ait décrit une cellule remplie de ^{4}He, on pourra remplir la cellule d'autres gaz adaptés à être ionisés pour former un plasma, par exemple avec du ^{3}He (isotope 3 de l'hélium) ou avec du césium à l'état vapeur. La pression dans la cellule pourra également être adaptée par l'homme de métier.

REVENDICATIONS

1. Cellule de génération d'un plasma comprenant :

une enceinte cylindrique (1) fermée à ses extrémités par des fenêtres (5) transparentes et parallèles, l'enceinte étant en un matériau isolant ;

un gaz (3) remplissant l'enceinte ; et

deux anneaux (27A, 27B) en un matériau électriquement conducteur entourant l'enceinte et étant décalés l'un par rapport à l'autre dans une direction parallèle à l'axe de l'enceinte.

2. Cellule de génération d'un plasma selon la revendication 1, dans laquelle chaque anneau (27A, 27B) est constitué d'un fil électriquement conducteur entourant l'enceinte (1), les extrémités au moins du fil étant court-circuitées.

3. Cellule de génération d'un plasma selon la revendication 2, dans laquelle le fil est un ruban.

4. Cellule de génération d'un plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans laquelle les anneaux (27A, 27B) sont en cuivre.

5. Cellule de génération d'un plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans laquelle le gaz (3) est du ^{4}He.

6. Cellule de génération d'un plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans laquelle l'enceinte (1) est en verre.

7. Cellule de génération d'un plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans laquelle la pression à l'intérieur de l'enceinte (1) est comprise entre 2000 à 3300 Pa.

8. Cellule de génération d'un plasma selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dont l'enceinte cylindrique (1) a un diamètre et une longueur inférieurs à 1 cm.

9. Magnétomètre à pompage optique comprenant une cellule selon l'une quelconque des revendications 1 à 8.

B 13862
DD 15721 SP

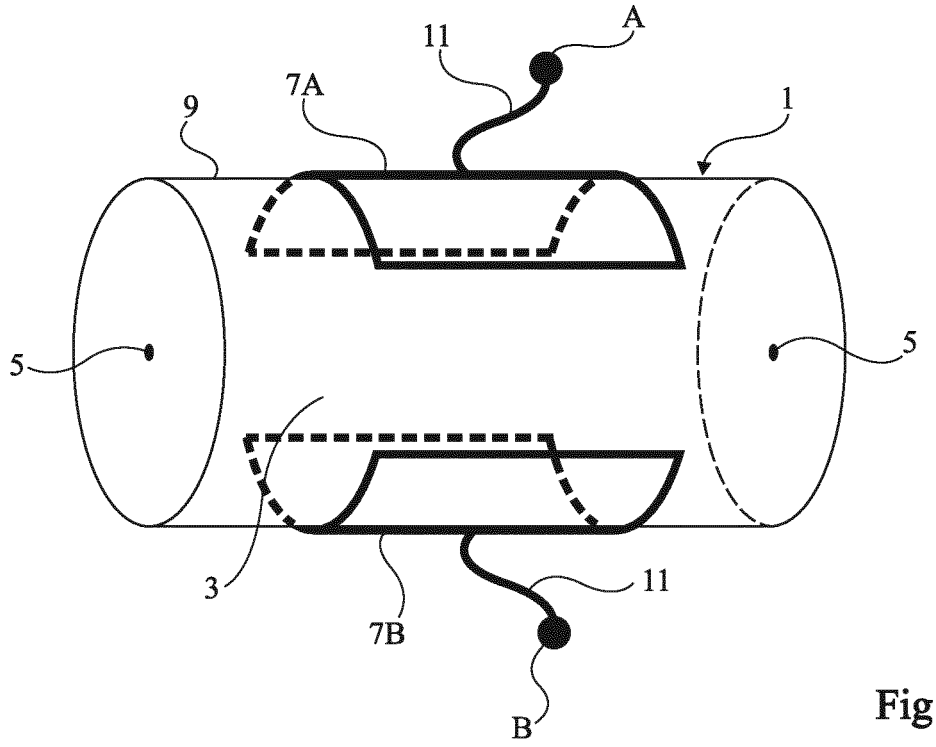


Fig 1

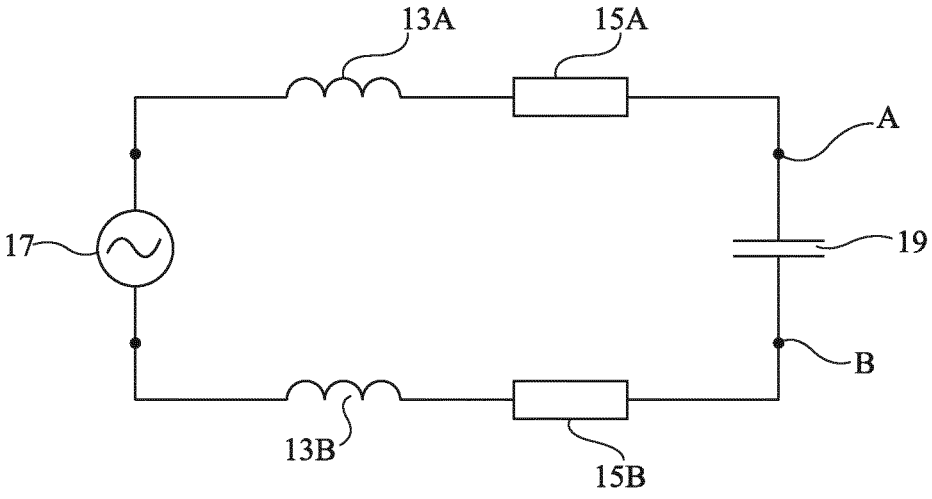


Fig 2

B 13862
DD 15721 SP

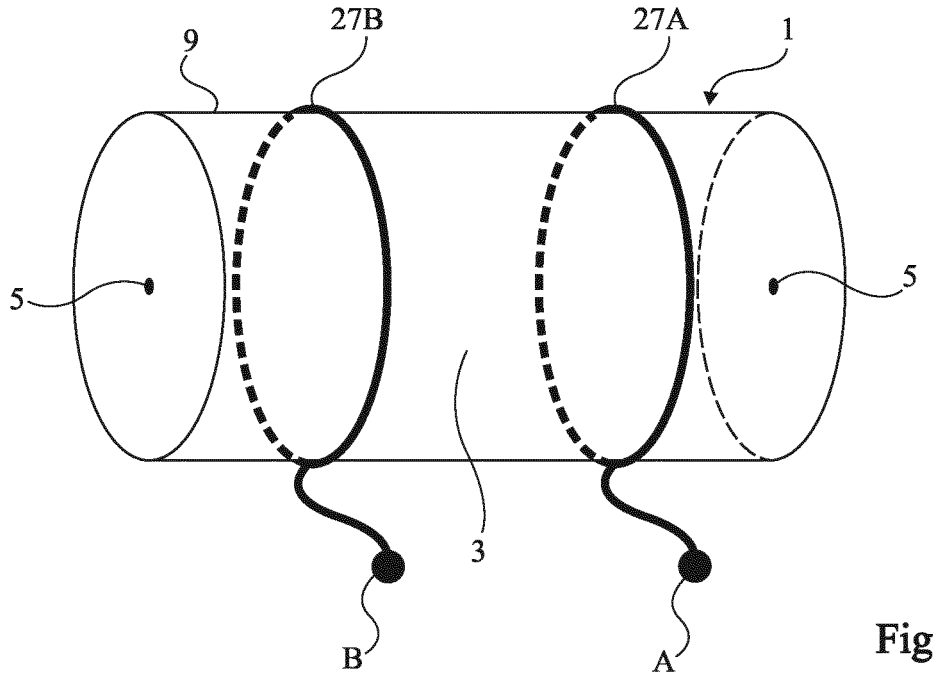


Fig 3

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement national

FA 812667
FR 1553951

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X Y	EP 0 347 292 A1 (THOMSON CSF [FR]) 20 décembre 1989 (1989-12-20) * abrégé; figure 5 * * colonne 2, lignes 34-42 * * colonne 3, lignes 8-10 * * colonne 4, lignes 8-43 * -----	1-6,9 7,8	H05H1/24 H05H1/02 G01R33/26
X	WO 91/07668 A1 (THOMSON CSF [FR]) 30 mai 1991 (1991-05-30) * abrégé; figures 1,2 * * page 3, lignes 11-19 * * page 5, lignes 3-9 * -----	1-6,9	
Y	US 4 814 707 A (MARTON BELA I [US]) 21 mars 1989 (1989-03-21) * abrégé; figure 1 * * colonne 2, lignes 30-35 * -----	7	
Y	EP 2 426 563 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 7 mars 2012 (2012-03-07) * abrégé; figure 1 * * alinéa [0029] * -----	8	

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)

H05H
G01C
G01R

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
7 janvier 2016	Crescenti, Massimo

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1553951 FA 812667

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 07-01-2016
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0347292 A1	20-12-1989	EP 0347292 A1	20-12-1989
		FR 2633056 A1	22-12-1989
		US 5053708 A	01-10-1991
WO 9107668 A1	30-05-1991	EP 0453544 A1	30-10-1991
		FR 2654570 A1	17-05-1991
		WO 9107668 A1	30-05-1991
US 4814707 A	21-03-1989	JP 2599762 B2	16-04-1997
		JP H0192676 A	11-04-1989
		US 4814707 A	21-03-1989
EP 2426563 A1	07-03-2012	EP 2426563 A1	07-03-2012
		FR 2964476 A1	09-03-2012
		JP 2012068251 A	05-04-2012
		US 2012062221 A1	15-03-2012

EPO FORM P0465