

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 061 402

21 N° d'enregistrement national : 16 63220

51 Int Cl⁸ : H 05 H 1/46 (2017.01)

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 22.12.16.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 29.06.18 Bulletin 18/26.

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) : UNIVERSITE DE PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR Etablissement public — FR et CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE - CNRS - Etablissement public — FR.

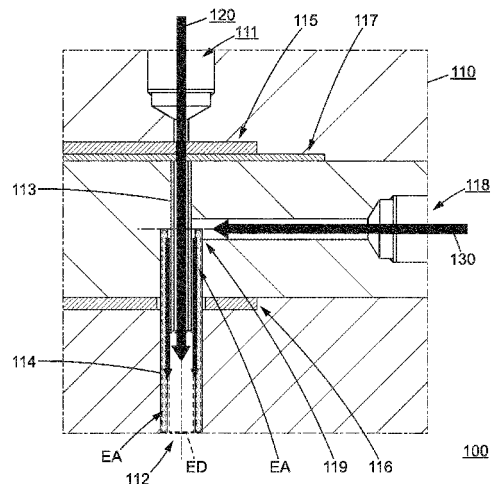
72 Inventeur(s) : CLEMENT FRANCK, JEAN, LOUIS, MARLIN LAURENT, CHRISTIAN, NOEL et MANGIN MICHEL, PATRICK, SYLVESTRE.

73 Titulaire(s) : UNIVERSITE DE PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR Etablissement public, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE - CNRS - Etablissement public.

74 Mandataire(s) : MARKS & CLERK FRANCE Société en nom collectif.

54 REACTEUR PLASMA DE DECHARGE A BARRIERE DIELECTRIQUE.

57 L'invention concerne un réacteur plasma de décharge à barrière diélectrique (100) comprenant une enceinte (110) soumise à la pression atmosphérique et ayant au moins un orifice d'entrée de gaz plasmagène (111) et au moins un orifice de sortie de plasma froid à pression atmosphérique (112). Le réacteur est caractérisé en ce que l'enceinte comprend en outre, un tube interne (113) et un tube externe (114) agencés de sorte qu'au moins une portion du tube interne s'étend à l'intérieur du tube externe de manière parallèle à l'axe longitudinal du tube externe et de façon à définir, un espace de diffusion (ED), formé à l'intérieur du tube externe entre l'extrémité inférieure du tube interne et l'extrémité inférieure du tube externe, et un espace annulaire (EA), formé entre la surface externe de la paroi du tube interne et la surface interne de la paroi du tube externe. Cet agencement permet de rendre un plasma froid à pression atmosphérique généré dans le tube interne, plus diffus dans l'espace de diffusion.



FR 3 061 402 - A1



Titre : Réacteur plasma de décharge à barrière diélectrique**Description**Domaine technique

- [001] La présente invention concerne un réacteur plasma de décharge à barrière diélectrique pour la production de plasma froid à pression atmosphérique.
- [002] L'invention trouve notamment application dans les domaines suivants : le biomédical, la stérilisation, la médecine, la dermatologie, le cosmétique, le traitement de matériaux, la fonctionnalisation de surface ou de dépôt, la dépollution, l'agro-alimentaire, la germination, l'éclairage, la commutation rapide, la modification d'écoulement, la détection ou encore la métrologie de nanoparticules.

Technique antérieure

- [003] Les décharges à barrière diélectrique (DBD) sont connues depuis longtemps, notamment pour leur capacité à générer des plasmas froids hors équilibre à des pressions élevées en évitant la transition vers un régime d'arc.
- [004] Les DBD sont souvent caractérisées par des structures de plasma non homogènes de type filamentaire. Cependant, la nature non homogène et filamentaire du plasma peut être inadéquate pour certaines applications, par exemple dans le cas de certains traitements de surface où il est important que la surface soit traitée de manière uniforme.
- [005] De nombreux travaux ont été consacrés à la recherche de conditions de DBD dans lesquelles le plasma pouvait rester homogène à pression atmosphérique. Toutefois, ces conditions sont assez drastiques, car elles nécessitent l'utilisation de gaz rares comme l'hélium en plus du respect de certaines restrictions au niveau de la distance inter-diélectrique, de la pression, de la tension appliquée ainsi que de la fréquence à utiliser. Par exemple, on peut obtenir une DBD homogène dans l'hélium à pression atmosphérique pour une distance entre deux diélectriques de 5 mm et une tension d'amplitude 1 kV et de fréquence 10 kHz. Toutefois, si la fréquence est diminuée à 1 kHz, la décharge devient inhomogène et on observe la présence de filaments.
- [006] Cette situation n'est pas satisfaisante, car les conditions requises sont si délicates à respecter qu'elles constituent un frein sérieux au développement de projets dans le domaine des plasmas homogènes.

Résumé de l'invention

- [007] L'invention vise à résoudre ces problèmes en proposant un réacteur plasma de décharge à barrière diélectrique capable de générer un plasma froid à pression atmosphérique sans nécessiter de conditions draconiennes entourant la génération de la décharge.
- [008] À cet effet, il est proposé un réacteur plasma de décharge à barrière diélectrique comprenant une enceinte soumise à la pression atmosphérique et ayant au moins un orifice d'entrée de gaz plasmagène et au moins un orifice de sortie de plasma froid à

pression atmosphérique. Le réacteur est caractérisé en ce que l'enceinte comprend en outre un tube interne et un tube externe. Le tube interne et le tube externe sont du type diélectrique, chacun comprenant une extrémité supérieure, une extrémité inférieure et une paroi avec une surface intérieure et une surface extérieure, l'extrémité supérieure du tube interne étant couplée à l'orifice d'entrée de gaz plasmagène, l'extrémité supérieure du tube externe étant fermée hermétiquement et étant traversée par le tube interne, l'extrémité inférieure du tube interne étant ouverte et l'extrémité inférieure du tube externe étant couplée à l'orifice de sortie de plasma froid à pression atmosphérique. En outre, le tube interne et le tube externe sont agencés de sorte qu'au moins une portion du tube interne s'étend à l'intérieur du tube externe de manière parallèle à l'axe longitudinal du tube externe et de façon à définir un espace de diffusion et un espace annulaire. L'espace de diffusion est formé à l'intérieur du tube externe entre l'extrémité inférieure du tube interne et l'extrémité inférieure du tube externe, et l'espace annulaire est formé entre la surface externe de la paroi du tube interne et la surface interne de la paroi du tube externe.

- [0009] Selon une première caractéristique possible, l'extrémité inférieure du tube interne et l'extrémité inférieure du tube externe s'étendent en dehors de l'enceinte via l'orifice de sortie de plasma froid à pression atmosphérique.
- [0010] Selon une deuxième caractéristique possible, l'enceinte comprend en outre,
- une électrode haute tension et une électrode de masse, espacées par un espace interélectrode dans lequel au moins un premier matériau diélectrique est disposé,
 - un orifice d'entrée d'alimentation électrique haute tension couplé à l'électrode haute tension, et apte à être couplé à une alimentation haute tension de façon à permettre la génération d'une décharge électrique dans l'espace interélectrode,
- et dans laquelle,
- au moins une portion du tube interne s'étend à travers l'électrode haute tension, le premier matériau diélectrique et l'électrode de masse, et
 - au moins une portion du tube externe s'étend à travers l'électrode de masse.
- [0011] Selon une troisième caractéristique possible, l'enceinte comprend en outre au moins un orifice d'entrée de fluide environnant couplé à un au moins un passage s'étendant à travers la paroi du tube externe. Dans un exemple, le passage s'étend de manière sensiblement perpendiculaire à l'axe longitudinal du tube externe. Dans un autre exemple, le passage s'étend de manière sensiblement oblique à l'axe longitudinal du tube externe. De préférence, le passage est disposé à un niveau situé entre le premier matériau diélectrique et l'électrode de masse.
- [0012] Dans un exemple des deuxième et troisième caractéristiques possibles, l'extrémité supérieure du tube externe est située entre le premier matériau diélectrique et l'électrode de masse.
- [0013] Selon une quatrième caractéristique possible, l'électrode haute tension, le premier matériau diélectrique et l'électrode de masse se présentent chacun sous la forme d'une plaque circulaire, ovale ou polygonale. Dans un exemple, la longueur de la plaque du

premier matériau diélectrique est plus longue que celle des plaques des électrodes haute tension et de masse.

- [0014] De préférence, l'enceinte comprend en outre un corps d'enceinte moulé dans un deuxième matériau diélectrique. Dans un premier exemple, le corps d'enceinte est constitué d'une seule pièce. Dans un deuxième exemple, le corps d'enceinte est constitué de trois pièces, - la première pièce comprenant l'orifice d'entrée de gaz plasmagène, l'électrode haute tension et le premier matériau diélectrique, - la deuxième pièce comprenant l'orifice d'entrée de fluide environnant et le passage s'étendant à travers la paroi du tube externe, et - la troisième pièce comprenant l'électrode de masse et l'orifice de sortie de plasma froid à pression atmosphérique.
- [0015] De préférence, le premier matériau diélectrique, le tube interne et le tube externe sont en verre de quartz et le deuxième matériau diélectrique est en matière plastique, du type PTFE, PFA ou FEP.
- [0016] De préférence, l'électrode haute tension et l'électrode de masse sont en laiton.

Brève description des dessins

- [0017] Les caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre et en référence aux dessins annexés, donnés à titre illustratif et nullement limitatif.
- [0018] La figure 1 représente un réacteur selon une première mise en œuvre de l'invention.
- [0019] La figure 2 représente le réacteur de la figure 1 selon une autre mise en œuvre de l'invention.
- [0020] Les figures 3A et 3B représentent une vue en coupe transversale détaillant l'alimentation haute tension et la mise à la masse.
- [0021] La figure 4 représente une deuxième mise en œuvre de l'invention.
- [0022] La figure 5 représente une troisième mise en œuvre de l'invention.
- [0023] Les figures 6A et 6B représentent des agencements particuliers des tubes internes et externes de l'invention.
- [0024] Dans ces figures, des références identiques ou analogues d'une figure à une autre désignent des éléments identiques ou analogues. Pour des raisons de clarté, les éléments représentés ne sont pas à l'échelle les uns par rapport aux autres, sauf mention contraire.

Description des modes de réalisation

- [0025] L'exemple de la figure 1 illustre un réacteur plasma de décharge à barrière diélectrique 100 permettant de traiter une cible. Par exemple, la cible peut comprendre une matière physique, un tissu vivant ou un volume de fluide.
- [0026] Le réacteur 100 comprend une enceinte hermétique 110 soumise à la pression atmosphérique. L'enceinte 110 comprend un orifice d'entrée de gaz plasmagène 111 et un orifice de sortie de plasma froid à pression atmosphérique 112.

- [0027] L'orifice d'entrée de gaz plasmagène 111 est destiné à être couplé à une source de gaz plasmagène 120. Dans l'exemple de la figure 1, le couplage est réalisé grâce à un piquage droit. Toutefois, d'autres types courants de piquage et de raccordement peuvent être utilisés. La source de gaz plasmagène 120 peut comprendre un gaz rare, un mélange de gaz rares (typiquement de l'hélium He, de l'argon Ar, etc.) ou un mélange d'un ou plusieurs gaz rares avec un ou plusieurs gaz moléculaires (typiquement de l'oxygène O₂, de l'hydrogène H₂, de Tétrafluorure de carbone CF₄, de l'hexafluorure de soufre SF₆, de l'azote N₂ et de la vapeur d'eau H₂O, etc..) minoritaires, c'est-à-dire présents en faible concentration par rapport à la concentration de gaz rare(s).
- [0028] Ainsi, lorsque le réacteur 100 est en opération, un gaz vecteur provenant de la source de gaz plasmagène 120 est injecté dans l'orifice d'entrée de gaz plasmagène 111. De préférence, le débit entrant du gaz vecteur est de l'ordre d'un litre par minute.
- [0029] L'orifice de sortie de plasma froid à pression atmosphérique 112 est prévu pour mener un plasma froid à pression atmosphérique produit par le réacteur 100 vers l'extérieur de l'enceinte 110.
- [0030] Dans la figure 1, l'enceinte 110 comprend en outre, un tube interne 113 et un tube externe 114. Le tube interne 113 et le tube externe 114 sont constitués d'un matériau isolant électrique d'une résistivité supérieure à $10^{15} \Omega.m$, comme, par exemple, une céramique, du quartz, de l'alumine, de la silice (SiC) ou du nitrure de bore. Chacun des tubes 113 et 114 présente une longueur et une épaisseur de paroi. La longueur des tubes 113 et 114 est déterminée entre une extrémité supérieure de tube et une extrémité inférieure de tube, tandis que l'épaisseur de paroi est déterminée entre une surface intérieure de paroi et une surface extérieure de paroi.
- [0031] Selon l'invention, le tube interne 113 présente un rapport longueur sur épaisseur ne dépassant pas 30, de préférence compris entre 20 et 27 et avantageusement compris entre 24 et 26 tandis que le tube externe 114 présente un rapport longueur sur épaisseur ne dépassant pas 30, de préférence compris entre 20 et 27 et avantageusement compris entre 24 et 26. En outre, de préférence, la longueur du tube externe 114 est plus grande que celle du tube interne 113.
- [0032] Comme on peut le voir dans la figure 1 :
- l'extrémité supérieure du tube interne 113 est couplée à l'orifice d'entrée de gaz plasmagène 111,
 - l'extrémité supérieure du tube externe 114 est fermée hermétiquement,
 - les extrémités inférieures des tubes internes 113 et externes 114 sont ouvertes, et
 - l'extrémité inférieure du tube externe 114 est couplée à l'orifice de sortie de plasma froid à pression atmosphérique 112.
- [0033] En outre, les tubes 113 et 114 sont agencés de sorte qu'au moins une portion du tube interne 113 s'étend à l'intérieur du tube externe 114 de manière coaxiale à l'axe longitudinal du tube externe 114 et de façon à définir un espace de diffusion ED et un espace annulaire EA. L'espace de diffusion ED est formé à l'intérieur du tube externe 114

entre l'extrémité inférieure du tube interne 113 et l'extrémité inférieure du tube externe 114 tandis que l'espace annulaire EA est formé entre la surface externe de la paroi du tube interne 113 et la surface interne de la paroi du tube externe 114. En d'autres termes, le diamètre du tube externe 114 est suffisamment grand pour pouvoir y loger le tube interne à l'intérieur. Selon l'invention, le rapport de diamètre entre le diamètre extérieur du tube interne 113 et le diamètre interne du tube externe 114 dépassant 30%, de préférence compris entre 35 et 65 %.

- [0034] Avec cet agencement particulier, il a été trouvé qu'un plasma froid à pression atmosphérique généré dans le tube interne devient diffus dans l'espace de diffusion ED. En pratique, un tel plasma prend la forme d'une plume à l'intérieur du tube externe 114 et également à l'extérieur du réacteur 100, dans l'air ambiant. Cet agencement a donc pour effet de transformer le caractère filamentaire d'un plasma froid à pression atmosphérique en un plasma froid à pression atmosphérique présentant un caractère plus diffus.
- [0035] Dans l'exemple de la figure 1, on note que les tubes 113 et 114 sont disposés entièrement dans l'enceinte 110. Toutefois, d'autres variantes de mise en œuvre peuvent être envisagées. Par exemple, comme l'illustre la figure 2, il peut être envisagé une mise en œuvre du réacteur 100 de la figure 1 dans lequel l'extrémité inférieure du tube interne 113 et l'extrémité inférieure du tube externe 114 s'étendent en dehors de l'enceinte 110 via l'orifice de sortie de plasma froid à pression atmosphérique 112. Ceci a pour effet de permettre de rapprocher le plus possible le plasma froid à pression atmosphérique diffus généré par le réacteur 100, de la cible à traiter. Dans une mise en œuvre particulière permettant d'exposer le plasma encore plus près de la cible à traiter, il est possible d'adjoindre à l'extrémité inférieure du tube externe 114, un bouchon recouvrant la cible (non représenté). Par exemple, le bouchon peut être totalement hermétique ou partiellement hermétique afin d'éviter un trop grand confinement. Cet agencement peut être avantageusement utilisée lorsque la cible à traiter est de petite taille et peu volumineuse.
- [0036] De retour à la figure 1, le réacteur 100 est agencé de manière à générer une décharge électrique nécessaire à la production d'un plasma froid à pression atmosphérique dans le tube interne 113. Pour cela, le réacteur 100 est agencé selon une configuration plan-plan comprenant une électrode haute tension 115 et une électrode de masse 116, espacées par un espace interélectrode dans lequel au moins un premier matériau diélectrique 117 est disposé.
- [0037] Les électrodes 115 et 116 sont constituées d'un matériau conducteur électrique ayant une résistivité de l'ordre $10^{-8} \Omega.m$ à $10^{-9} \Omega.m$, par exemple, constitué d'un métal ou d'un alliage de métaux. Par exemple, les électrodes 115 et 116 sont constituées de tungstène, d'acier inoxydable 316L, de cuivre, d'aluminium, de laiton ou d'un matériau catalytique conducteur.
- [0038] Le premier matériau diélectrique 117 est constitué d'un matériau isolant électrique similaire à celui utilisé, ci-dessus, pour les tubes 113 et 114.

- [0039] En outre, dans la figure 1, au moins une portion du tube interne 113 s'étend à travers l'électrode haute tension 115, le premier matériau diélectrique 117 et l'électrode de masse 116 et au moins une portion du tube externe 114 s'étend à travers l'électrode de masse 116. En d'autres termes, un trou est ménagé dans l'électrode haute tension 115, le premier matériau diélectrique 117 et l'électrode de masse 116, afin d'y loger l'agencement particulier des tubes 113 et 114.
- [0040] Dans l'exemple de la figure 1, le passage menant au tube externe 114 est disposé à un niveau situé entre le premier matériau diélectrique et l'électrode de masse. Néanmoins, le passage menant au tube externe 114 peut être disposé à tout autre niveau du tube externe 114, de préférence à un niveau qui se situe au-dessus de l'extrémité inférieure du tube interne 113.
- [0041] Enfin, en liaison avec la figure 3, le réacteur 100 comprend également un orifice d'entrée d'alimentation électrique haute tension 1111 couplé à l'électrode haute tension 115 (figure 3a) et un orifice de mise à la masse 1112 couplé à l'électrode de masse 116 (figure 3b). Dans l'exemple de la figure 3, le couplage avec l'électrode haute tension 115 et avec l'électrode de masse 116 est réalisé par soudure, en particulier par soudure à l'étain.
- [0042] Avec cet agencement, lorsque le réacteur 100 est en opération, l'électrode haute tension 115 est apte à être couplée à une alimentation haute tension HT de façon à permettre la génération d'une décharge électrique dans l'espace interélectrode afin de produire un plasma froid à pression atmosphérique en ionisant le gaz vecteur qui circule dans le tube interne 113. De préférence, l'alimentation haute tension HT délivre une tension de plusieurs kV, par exemple entre 1 kV et 20 kV à partir d'un signal du type sinusoïdal, pulsé ou haché.
- [0043] Dans une mise en œuvre particulière, l'électrode haute tension, le premier matériau diélectrique et l'électrode de masse se présentent chacun sous la forme d'une plaque circulaire, ovale ou polygonale. Dans un exemple de cette mise en œuvre, comme illustré dans la figure 1, la longueur de la plaque du premier matériau diélectrique est plus longue que celle des plaques des électrodes haute tension et de masse. Ceci a pour effet d'éviter la formation d'un arc électrique entre les électrodes 115 et 116 en limitant les effets de pointe.
- [0044] Il a été remarqué que l'environnement gazeux de l'air ambiant, dans lequel se propage un plasma froid à pression atmosphérique tel que celui généré par le réacteur 100, peut avoir un impact important sur la variabilité des effets obtenus sur une cible à traiter. Il se pose alors le problème de la reproductibilité des plasmas froids à pression atmosphérique. À ce titre, il est important de pouvoir contrôler l'environnement gazeux régnant autour d'un tel plasma afin de réguler la réactivité chimique en phase gazeuse.
- [0045] Pour cela, dans une mise en œuvre particulière de l'invention, l'enceinte 110 comprend un orifice d'entrée de fluide environnant 118 couplé à un passage 119 s'étendant à travers la paroi du tube externe 114.

- [0046] L'orifice d'entrée de fluide environnant 118 est destiné à être couplé à une source de fluide environnant 130. Dans l'exemple de la figure 1, le couplage est réalisé grâce à un piquage droit. Toutefois, d'autres types courants de piquage et de raccordement peuvent être utilisés. La source de fluide environnant 118 peut être constituée d'un gaz pur, d'un mélange de gaz purs (typiquement de l'azote N, de l'oxygène O, du méthane CH₄, des gaz carbonés, des gaz fluorés, des gaz de monomères etc.), d'un liquide pulvérisé (par exemple chargé en particules de traitement de la cible) ou d'un mélange d'un ou plusieurs gaz purs avec un ou plusieurs liquides pulvérisés.
- [0047] Ainsi, lorsque le réacteur 100 est en opération, un fluide environnant provenant de la source de fluide environnant 130 est injecté dans l'orifice d'entrée de fluide environnant 118. De préférence, le débit entrant du fluide environnant est de l'ordre de quelques dizaines de centimètres cubes par minute.
- [0048] De cette manière, vu l'agencement particulier des tubes 113 et 114, le fluide environnant injecté dans l'orifice d'entrée de fluide environnant, circule dans l'espace annulaire EA pour ensuite déboucher dans l'espace de diffusion ED afin de se mélanger avec le plasma froid à pression atmosphérique généré dans le tube interne 113. Ceci a pour effet de permettre le contrôle de l'environnement de génération du plasma froid à pression atmosphérique et donc de sa réactivité chimique vis-à-vis d'une cible donnée.
- [0049] Dans la figure 1, on note que l'extrémité supérieure du tube externe 114 est située entre le premier matériau diélectrique 117 et l'électrode de masse 116. Toutefois, l'extrémité supérieure du tube externe 114 peut également être située en dehors de l'espace interélectrode.
- [0050] Dans ce même exemple, le passage s'étend de manière sensiblement perpendiculaire à l'axe longitudinal du tube externe. Dans un autre exemple, le passage s'étend de manière sensiblement oblique à l'axe longitudinal du tube externe.
- [0051] De retour à la figure 1 en liaison avec la figure 4, l'enceinte 110 comprend en outre un corps d'enceinte C moulé dans un deuxième matériau diélectrique. Le corps d'enceinte permet de maintenir les différents éléments constituant le réacteur 100 dans l'enceinte hermétique 110. De préférence, le deuxième matériau diélectrique est en matière plastique, du type de fluoropolymères (PTFE, PFA ou FEP).
- [0052] Dans un exemple, le corps d'enceinte C est constitué d'une seule pièce. Dans un autre exemple, le corps d'enceinte C est constitué de trois pièces. Dans ce cas,
- la première pièce comprend l'orifice d'entrée de gaz plasmagène 111, l'électrode haute tension 115 et le premier matériau diélectrique 117,
 - la deuxième pièce comprend l'orifice d'entrée de fluide environnant 118 et le passage 119 s'étendant à travers la paroi du tube externe 114, et
 - la troisième pièce comprend l'électrode de masse et l'orifice de sortie de plasma froid à pression atmosphérique.
- Ceci a pour effet de faciliter la fabrication du réacteur 100, car les trois pièces peuvent être

usinées séparément avant d'être assemblées. Par exemple, les trois pièces peuvent être assemblées pour former le corps d'enceinte C, grâce à des moyens de fixation tels des vis.

[0053] Dans la description, le réacteur 100 a été décrit comme comprenant un orifice d'entrée de gaz plasmagène 111 et un orifice d'entrée de fluide environnant 118. Toutefois, d'autres configurations sont envisageables.

[0054] Par exemple, comme illustré dans la figure 4, l'enceinte 110 peut comprendre une pluralité de réacteurs 100. En effet, dans la figure 4, l'enceinte 110 comprend un corps d'enceinte C constitué de trois pièces P1, P2 et P3 dans lequel sont disposés deux réacteurs 100. Dans un autre exemple, tel qu'illustré dans la figure 5, le réacteur 100 comprend un corps d'enceinte C constitué de trois pièces P1, P2 et P3 dans lequel sont disposés six réacteurs 100. L'agencement d'une pluralité de réacteurs 100 selon l'invention est particulièrement avantageux car une seule alimentation haute tension HT permet d'alimenter l'ensemble des réacteurs 100. Il n'est donc pas nécessaire d'utiliser autant d'alimentations haute tension que de réacteurs 100. Entre outre, l'utilisation de la deuxième matière isolante dans la constitution du corps d'enceinte C permet de garantir la génération indépendante de plusieurs plasmas froids à pression atmosphérique.

[0055] Par ailleurs, lorsque plusieurs réacteurs sont compris dans l'enceinte 110, il peut également être envisagé de positionner une pluralité de passages menant au tube externe 114. Par exemple, la figure 6a montre une vue du dessus d'une telle configuration dans laquelle quatre passages pouvant être couplés à un ou plusieurs orifices d'entrée de fluide environnant 118. Dans une variante illustrée dans la figure 6b, la pluralité de passages menant au tube externe 114 est disposée à des niveaux différents du tube externe 114.

[0056] La présente invention a été décrite et illustrée dans la présente description détaillée et dans des dessins annexés. La présente invention ne se limite pas, toutefois, aux formes de réalisation ainsi présentées. D'autres variantes et modes de réalisation peuvent être déduits et mis en œuvre par la personne du métier à la lecture de la présente description et des dessins annexés.

[0057] Dans les revendications, le terme "comporter" n'exclut pas d'autres éléments ou d'autres étapes. Les différentes caractéristiques présentées et/ou revendiquées peuvent être avantageusement combinées. Leur présence dans la description ou dans des revendications dépendantes différentes n'exclut pas cette possibilité. Enfin, les signes de référence aux dessins ne sauraient être compris comme limitant la portée de l'invention.

Revendications

1. Réacteur plasma de décharge à barrière diélectrique (100) comprenant :
 - une enceinte (110) soumise à la pression atmosphérique et ayant au moins un orifice d'entrée de gaz plasmagène (111) et au moins un orifice de sortie de plasma froid à pression atmosphérique (112),
caractérisé en ce que l'enceinte comprend en outre,
 - un tube interne (113) et un tube externe (114), du type diélectrique, chacun comprenant une extrémité supérieure, une extrémité inférieure et une paroi avec une surface intérieure et une surface extérieure, l'extrémité supérieure du tube interne étant couplée à l'orifice d'entrée de gaz plasmagène, l'extrémité supérieure du tube externe étant fermée hermétiquement et étant traversée par le tube interne, l'extrémité inférieure du tube interne étant ouverte et l'extrémité inférieure du tube externe étant couplée à l'orifice de sortie de plasma froid à pression atmosphérique,
et en ce que le tube interne et le tube externe sont agencés de sorte qu'au moins une portion du tube interne s'étend à l'intérieur du tube externe de manière parallèle à l'axe longitudinal du tube externe et de façon à définir,
 - un espace de diffusion (ED), formé à l'intérieur du tube externe entre l'extrémité inférieure du tube interne et l'extrémité inférieure du tube externe, et
 - un espace annulaire (EA), formé entre la surface externe de la paroi du tube interne et la surface interne de la paroi du tube externe.
2. Réacteur selon la revendication 1, dans lequel l'extrémité inférieure du tube interne et l'extrémité inférieure du tube externe s'étendent en dehors de l'enceinte via l'orifice de sortie de plasma froid à pression atmosphérique.
3. Réacteur selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, dans lequel l'enceinte comprend en outre,
 - une électrode haute tension (115) et une électrode de masse (116), espacées par un espace interélectrode dans lequel au moins un premier matériau diélectrique (117) est disposé,
 - un orifice d'entrée d'alimentation électrique haute tension (1111) couplé à l'électrode haute tension, et apte à être couplé à une alimentation haute tension (HT) de façon à permettre la génération d'une décharge électrique dans l'espace interélectrode,
et dans laquelle,
 - au moins une portion du tube interne s'étend à travers l'électrode haute tension, le premier matériau diélectrique et l'électrode de masse, et
 - au moins une portion du tube externe s'étend à travers l'électrode de masse.
4. Réacteur selon l'une quelconque des revendications 1, 2 ou 3, dans lequel l'enceinte comprend en outre au moins un orifice d'entrée de fluide environnant (118) couplé à un au moins un passage (119) s'étendant à travers la paroi du tube externe.

5. Réacteur selon la revendication 4 dans lequel le passage s'étend de manière sensiblement perpendiculaire à l'axe longitudinal du tube externe.
6. Réacteur selon la revendication 4 dans lequel le passage s'étend de manière sensiblement oblique à l'axe longitudinal du tube externe.
7. Réacteur selon l'une quelconque des revendications 4, 5 ou 6 en combinaison avec la revendication 3, dans lequel le passage est disposé à un niveau situé entre le premier matériau diélectrique et l'électrode de masse.
8. Réacteur selon l'une quelconque des revendications 4, 5, 6 ou 7 en combinaison avec la revendication 3, dans lequel l'extrémité supérieure du tube externe est située entre le premier matériau diélectrique et l'électrode de masse.
9. Réacteur selon l'une quelconque des revendications 4, 5, 6, 7 ou 8 en combinaison avec la revendication 3, dans lequel l'électrode haute tension, le premier matériau diélectrique et l'électrode de masse se présentent chacun sous la forme d'une plaque circulaire, ovale ou polygonale.
10. Réacteur selon la revendication 9 en combinaison avec la revendication 3, dans lequel la longueur de la plaque du premier matériau diélectrique est plus longue que celle des plaques des électrodes haute tension et de masse.
11. Réacteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'enceinte comprend en outre un corps d'enceinte (C) moulé dans un deuxième matériau diélectrique.
12. Réacteur selon la revendication 11 dans lequel le corps d'enceinte est constitué d'une seule pièce.
13. Réacteur selon la revendication 11 en combinaison avec les revendications 3 et 4 où le corps d'enceinte est constitué de trois pièces,
 - la première pièce (P1) comprenant l'orifice d'entrée de gaz plasmagène, l'électrode haute tension et le premier matériau diélectrique,
 - la deuxième pièce (P2) comprenant l'orifice d'entrée de fluide environnant et le passage s'étendant à travers la paroi du tube externe, et
 - la troisième pièce (P3) comprenant l'électrode de masse et l'orifice de sortie de plasma froid à pression atmosphérique.
14. Réacteur selon l'une quelconque des revendications précédentes en combinaison avec les revendications 3 et 11 où le premier matériau diélectrique, le tube interne et le tube externe sont en verre de quartz et le deuxième matériau diélectrique est en matière plastique, du type PTFE, PFA ou FEP.
15. Réacteur selon l'une quelconque des revendications précédentes en combinaison avec la revendication 3, dans lequel l'électrode haute tension et l'électrode de masse sont en laiton.

1/5

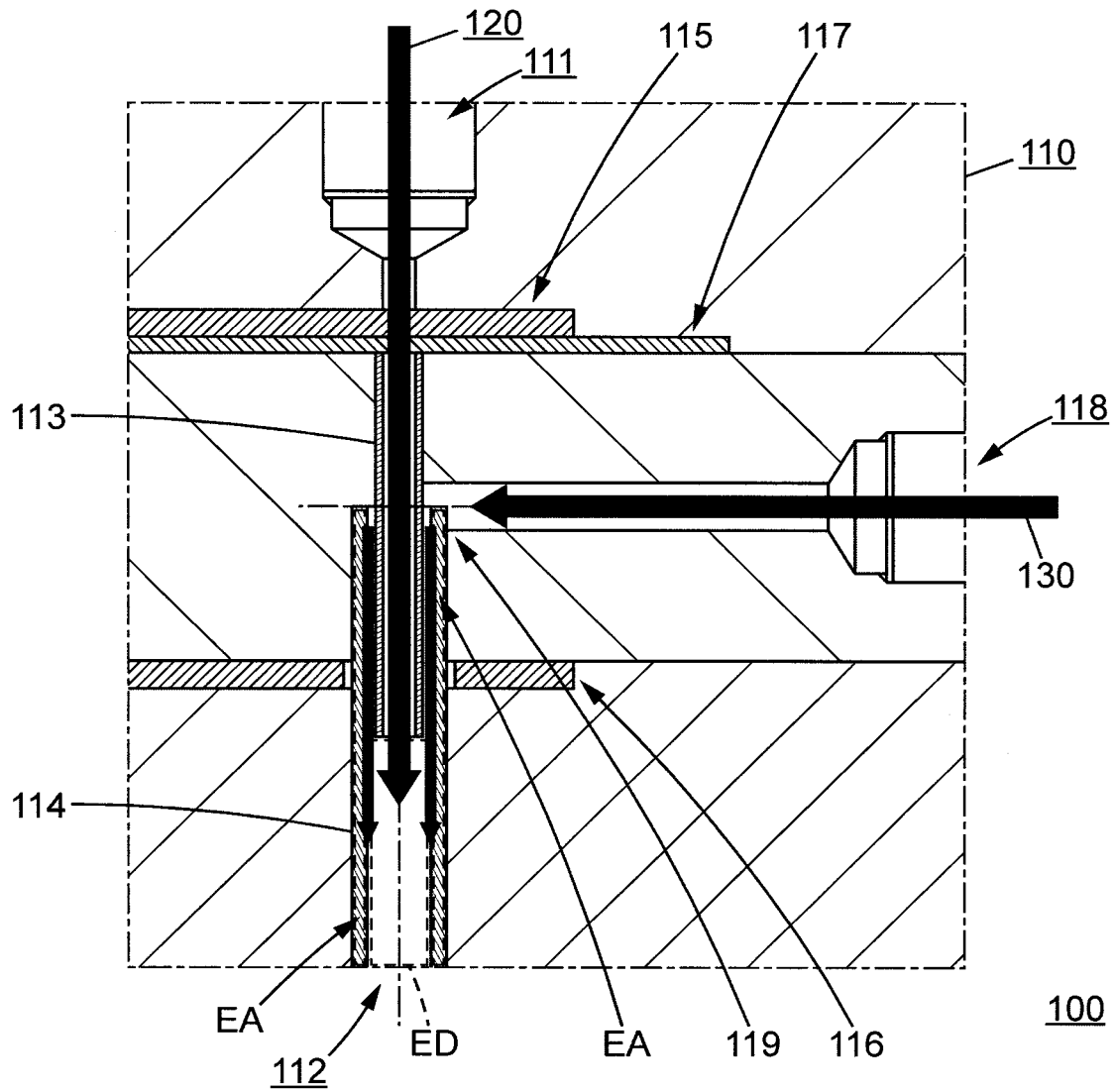
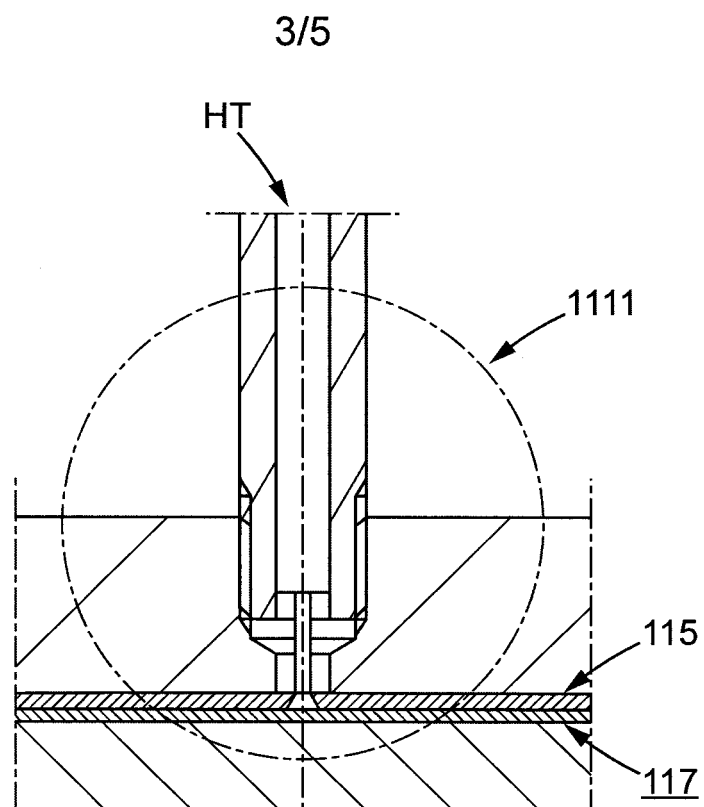
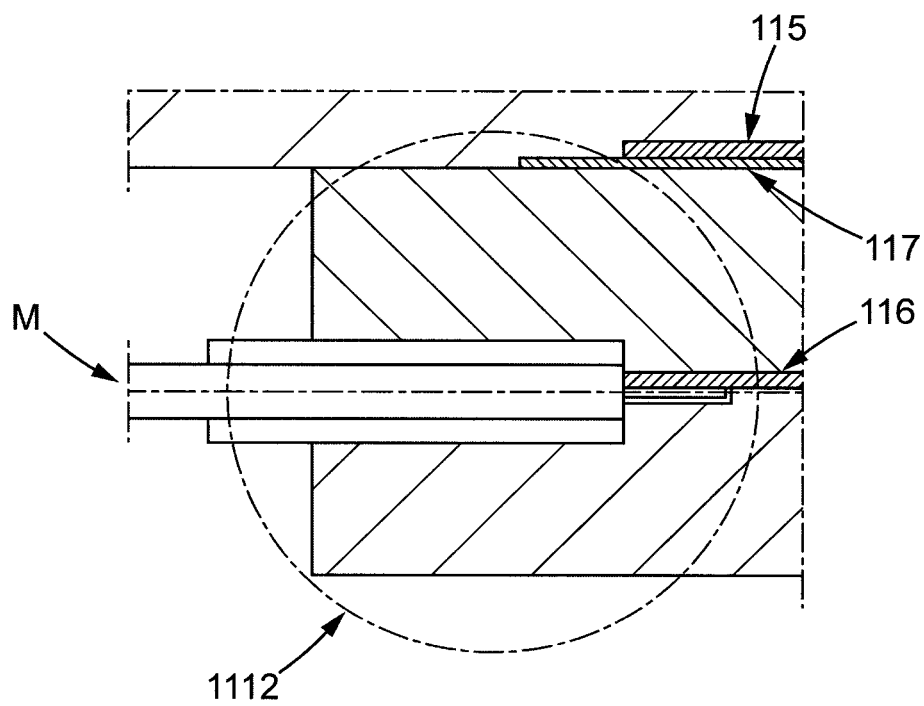


FIG. 1

**FIG. 3A****FIG. 3B**

4/5

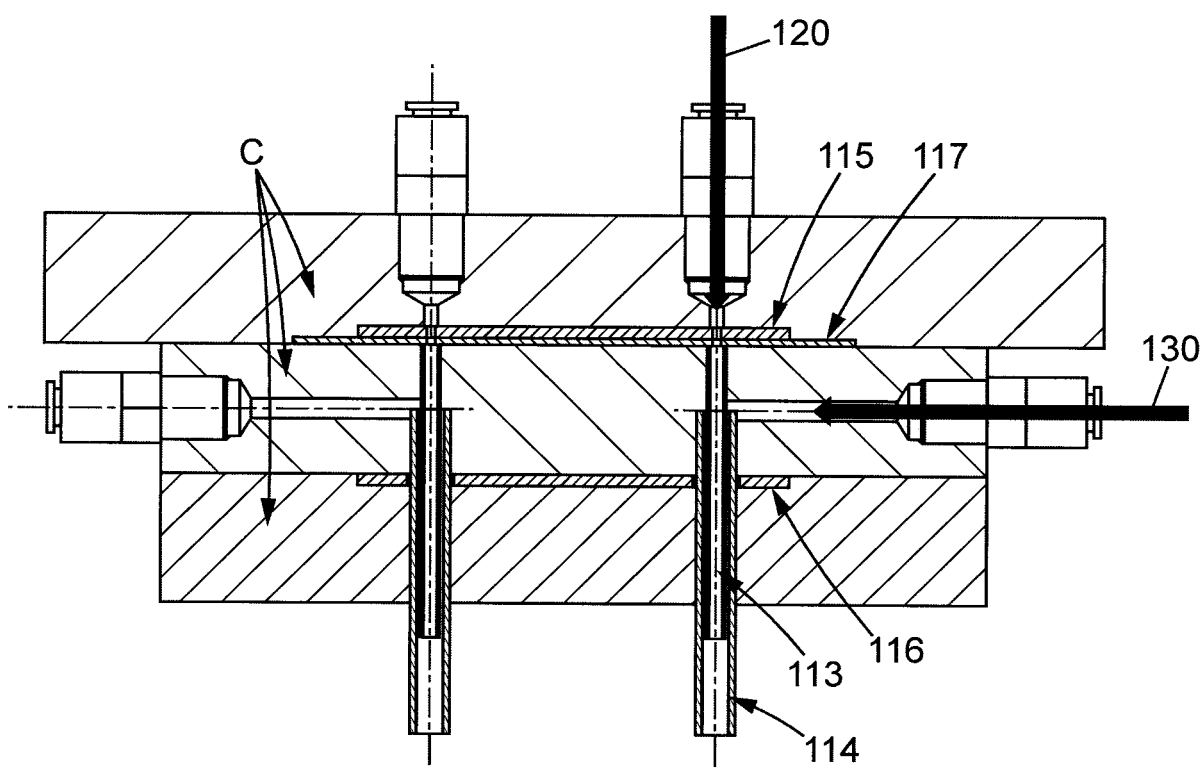


FIG. 4

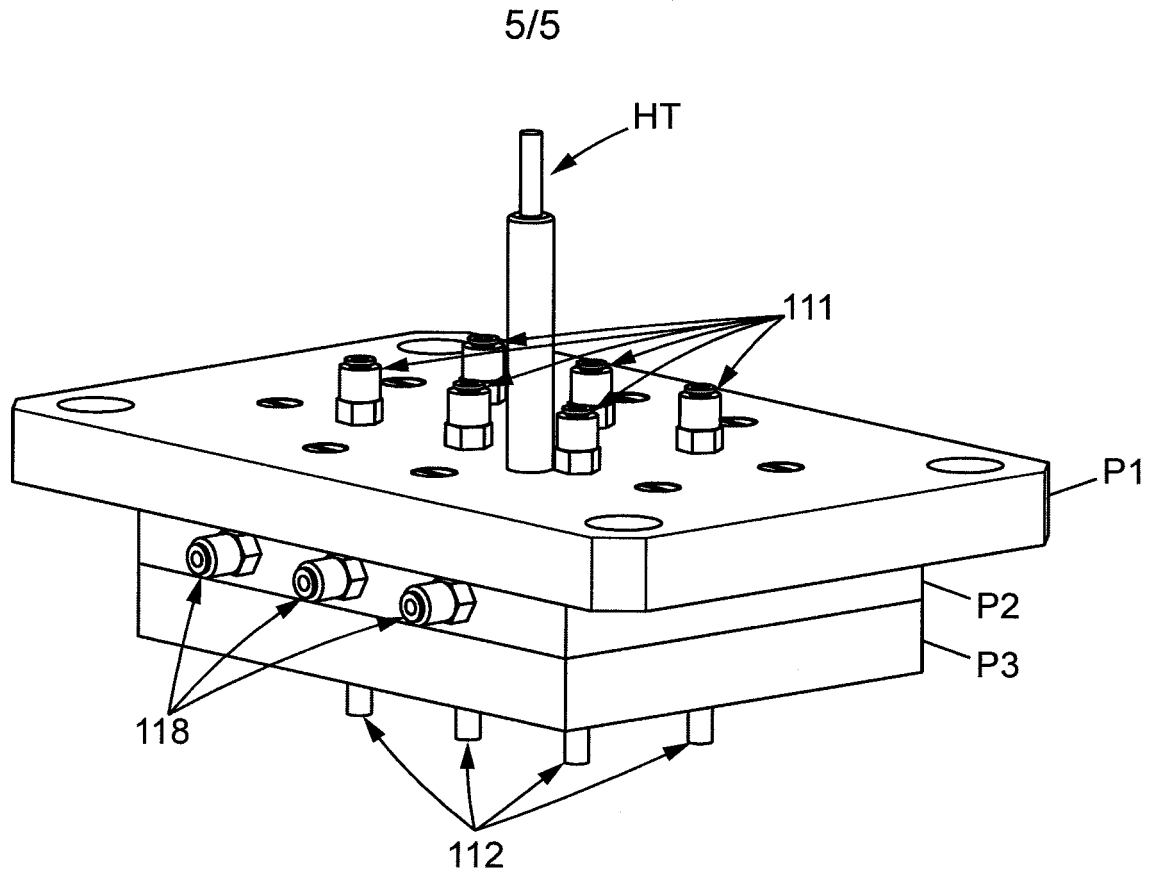


FIG. 5

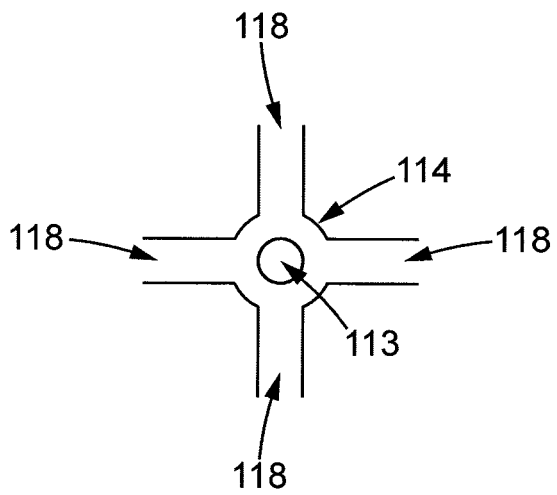


FIG. 6A

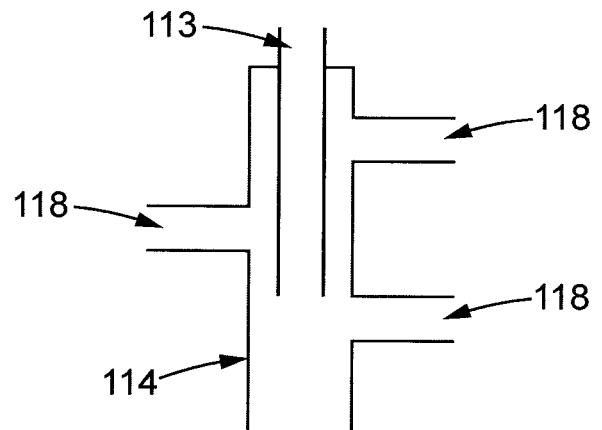


FIG. 6B


**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**
N° d'enregistrement
nationalétabli sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la rechercheFA 835181
FR 1663220

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	WO 2005/125286 A2 (JE PLASMACONSULT GMBH [DE]; ENGEMANN JUERGEN [DE]; KORZEC DARIUS [DE];) 29 décembre 2005 (2005-12-29) * page 1, ligne 5 - page 37, ligne 10 * * figures 1,2 * -----	1-15	H05H1/46
X	WO 2007/105428 A1 (UNIV GUNMA NAT UNIV CORP [JP]; DAIKYO SEIKO LTD [JP]; KURODA SHIN-ICHI) 20 septembre 2007 (2007-09-20) * page 8 - page 21, ligne 3 * * figure 2 * -----	1,4,5	
A	US 2014/162338 A1 (SCHAEFER JAN [DE] ET AL) 12 juin 2014 (2014-06-12) * alinéa [0019] - alinéa [0048] * * figures 1-5 * -----	1-15	
A	US 2002/187066 A1 (YU DONG WOO [US] ET AL) 12 décembre 2002 (2002-12-12) * figures 5,6 * * alinéa [0031] - alinéa [0049] * -----	1-15	
A	US 2012/063966 A1 (LIAO JIUNN-DER [TW] ET AL) 15 mars 2012 (2012-03-15) * alinéa [0008] - alinéa [0035] * * figure 1 * -----	1-15	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H05H
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
10 août 2017		Clemente, Gianluigi	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		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.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1663220 FA 835181**

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 **10-08-2017**

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
WO 2005125286 A2	29-12-2005	DE 102004029081 A1	05-01-2006
		EP 1767068 A2	28-03-2007
		WO 2005125286 A2	29-12-2005

WO 2007105428 A1	20-09-2007	JP 4953255 B2	13-06-2012
		JP W02007105428 A1	30-07-2009
		WO 2007105428 A1	20-09-2007

US 2014162338 A1	12-06-2014	DE 102011076806 A1	06-12-2012
		EP 2716139 A1	09-04-2014
		US 2014162338 A1	12-06-2014
		WO 2012163876 A1	06-12-2012

US 2002187066 A1	12-12-2002	US 2002187066 A1	12-12-2002
		WO 02099836 A1	12-12-2002

US 2012063966 A1	15-03-2012	CN 102404927 A	04-04-2012
		DE 102011053371 A1	08-03-2012
		TW 201210640 A	16-03-2012
		US 2012063966 A1	15-03-2012
