

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ **PROPULSEUR ÉLECTROMAGNÉTIQUE ET PROCÉDÉ DE CONCEPTION D'UN TEL PROPULSEUR ÉLECTROMAGNÉTIQUE.**

②② **Date de dépôt :** 06.12.18.

③③ **Priorité :**

⑥⑥ **Références à d'autres documents nationaux
apparentés :**

☐ **Demande(s) d'extension :**

⑦① **Demandeur(s) :** ANYWAVES SAS — FR.

④③ **Date de mise à la disposition du public
de la demande :** 12.06.20 Bulletin 20/24.

④⑤ **Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention :** 25.12.20 Bulletin 20/52.

⑤⑥ **Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :**

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② **Inventeur(s) :** CAPET NICOLAS.

⑦③ **Titulaire(s) :** ANYWAVES SAS.

⑦④ **Mandataire(s) :** CABINET BARRE LAFORGUE ET
ASSOCIES.



Description

Titre de l'invention : PROPULSEUR ÉLECTROMAGNÉTIQUE ET PROCÉDÉ DE CONCEPTION D'UN TEL PROPULSEUR ÉLECTROMAGNÉTIQUE

- [0001] L'invention concerne un propulseur électromagnétique.
- [0002] Un propulseur électromagnétique est un dispositif comprenant une cavité résonnante délimitée par une interface, dite interface solide, entre la cavité résonnante et au moins un milieu solide extérieur à ladite cavité résonnante, et un dispositif d'injection d'une onde électromagnétique à l'intérieur de chaque cavité résonnante, ce dispositif d'injection étant adapté pour pouvoir établir une onde électromagnétique stationnaire dans la cavité résonnante, la nature de l'interface, la forme de la cavité résonnante et ladite onde électromagnétique stationnaire étant adaptées pour que la moyenne temporelle de la résultante des forces de Lorentz s'exerçant sur ladite interface soit non nulle et orientée selon un axe, dit axe de propulsion, et un sens, dit sens de propulsion, selon l'axe de propulsion.
- [0003] Le principe de la propulsion électromagnétique a été décrit en 1988 par Roger J. Shawyer (GB 2229865). GB 2334761 et GB 2399601 décrivent certains perfectionnements apportés par Monsieur Shawyer.
- [0004] La propulsion électromagnétique suscite un intérêt considérable du point de vue des différentes applications envisageables (notamment dans le domaine spatial dans lequel la propulsion électromagnétique permettrait de s'affranchir de carburant embarqué). Cependant, il n'existe pas encore à ce jour de propulseur électromagnétique produisant une force de propulsion nette suffisante dans des conditions compatibles avec son exploitation à l'échelle industrielle et commerciale.
- [0005] Par exemple, des essais pratiques réalisés et publiés dans la publication « *Measurement of Impulsive Thrust, from a Closed Radio-Frequency Cavity in Vacuum* », H. White et al., JOURNAL OF PROPULSION AND POWER, VOL.33, N°4, July-August 2017, ont permis de détecter une force de propulsion à partir d'une cavité résonnante tronconique. Néanmoins, la force de propulsion détectée lors de ces essais pratiques était minime.
- [0006] Par ailleurs, l'inventeur a remarqué que la puissance pouvant être injectée dans une telle cavité résonnante était limitée du fait de l'apparition d'effets néfastes liés à des densités de puissance trop importantes à proximité de ladite interface délimitant la cavité résonnante (résultant notamment de l'effet multipactor).
- [0007] Les procédés de conception connus de propulseurs électromagnétiques actuels ne permettent pas de résoudre ces inconvénients.

- [0008] L'invention vise à pallier ces inconvénients.
- [0009] L'invention vise donc à proposer un procédé de conception d'un propulseur électromagnétique permettant d'augmenter les forces de propulsion de ce propulseur électromagnétique par rapport aux propulseurs électromagnétiques connus.
- [0010] L'invention vise en particulier à proposer un procédé de conception et un procédé de fabrication d'un propulseur électromagnétique permettant d'obtenir un propulseur électromagnétique produisant une force de propulsion nette suffisante pour permettre son exploitation à l'échelle industrielle et commerciale.
- [0011] L'invention vise en particulier un tel procédé de conception et de fabrication qui soit simple à mettre en œuvre.
- [0012] L'invention vise également à proposer un propulseur électromagnétique conçu et fabriqué selon de tels procédés.
- [0013] L'invention concerne donc un procédé de conception d'un propulseur électromagnétique comprenant :
- une cavité résonnante délimitée par une interface, dite interface solide, et
 - au moins un dispositif d'injection d'une onde électromagnétique à l'intérieur de la cavité résonnante adapté pour pouvoir établir une onde électromagnétique stationnaire dans la cavité résonnante,
- caractérisé en ce que la cavité résonnante est définie à partir d'une répétition par juxtaposition d'au moins un même motif géométrique, la forme de ce motif étant identique à la forme d'une cavité d'une cellule, dite cellule initiale, cette cavité de ladite cellule initiale étant délimitée par des parois, la nature de chaque paroi de la cellule initiale et la forme de la cellule initiale étant adaptées pour contenir une onde électromagnétique stationnaire et pour que la moyenne temporelle de la résultante des forces de Lorentz s'exerçant sur lesdites parois de la cellule initiale soit non nulle et orientée selon un axe, dit axe de propulsion, et un sens, dit sens de propulsion, selon l'axe de propulsion,
- et en ce que les motifs juxtaposés présentent chacun au moins un bord, dit profil de communication, commun avec un profil de communication d'au moins un autre motif desdits motifs juxtaposés, ledit profil de communication comprenant un passage diélectrique de sorte qu'une onde électromagnétique stationnaire puisse être établie dans l'ensemble de ces motifs juxtaposés –notamment dans l'ensemble de ladite cavité résonnante– à partir d'au moins un dispositif d'injection. L'invention s'étend à un procédé de fabrication d'un propulseur électromagnétique conçu selon un procédé de conception selon l'invention.
- [0014] L'invention s'étend également à un propulseur électromagnétique comprenant :
- une cavité résonnante délimitée par une interface, dite interface solide, et
 - au moins un dispositif d'injection d'une onde électromagnétique à l'intérieur de la

cavité résonnante adapté pour pouvoir établir une onde électromagnétique stationnaire dans la cavité résonnante,

caractérisé en ce que la cavité résonnante est définie à partir d'une répétition par juxtaposition d'au moins un même motif géométrique, la forme de ce motif étant identique à la forme d'une cavité d'une cellule, dite cellule initiale, cette cavité de ladite cellule initiale étant délimitée par des parois, la nature de chaque paroi de la cellule initiale et la forme de la cellule initiale étant adaptées pour contenir une onde électromagnétique stationnaire et pour que la moyenne temporelle de la résultante des forces de Lorentz s'exerçant sur lesdites parois de la cellule initiale soit non nulle et orientée selon un axe, dit axe de propulsion, et un sens, dit sens de propulsion, selon l'axe de propulsion, et en ce que les motifs juxtaposés présentent chacun au moins un bord, dit profil de communication, commun avec un profil de communication d'au moins un autre motif desdits motifs juxtaposés, ledit profil de communication comprenant un passage diélectrique de sorte qu'une onde électromagnétique stationnaire puisse être établie dans l'ensemble de ces motifs juxtaposés –notamment dans l'ensemble de ladite cavité résonnante– à partir d'au moins un dispositif d'injection.

[0015] Ladite cellule initiale définit le motif représentant le plus petit volume qui par juxtaposition de ce même motif permet de définir la forme de ladite cavité résonnante du propulseur électromagnétique.

[0016] Ladite interface solide est une surface délimitant deux milieux, un premier milieu, dit milieu intérieur, constituant au moins pour partie ladite cavité résonnante du propulseur électromagnétique et un deuxième milieu, dit milieu extérieur, délimitant ladite cavité résonnante du propulseur électromagnétique. En particulier, de préférence ladite cavité résonnante est constituée d'un unique milieu intérieur. Néanmoins, rien n'empêche de prévoir une cavité résonnante constituée de plusieurs milieux. Par ailleurs, rien n'empêche de prévoir plusieurs milieux autour de ladite cavité résonnante du propulseur électromagnétique.

[0017] Ladite interface solide est adaptée pour réfléchir des ondes électromagnétiques dans la cavité résonnante du propulseur électromagnétique de façon à permettre une installation d'une onde stationnaire dans la cavité résonnante.

[0018] Plus particulièrement, ladite cellule initiale peut être conçue à l'aide d'un logiciel de simulation 3D solveur électromagnétique. En particulier, les dimensions optimales de ladite cellule initiale peuvent être déterminées par optimisation logicielle à l'aide d'un logiciel de simulation 3D solveur électromagnétique pour optimiser la valeur de la moyenne temporelle de la résultante des forces de Lorentz s'exerçant sur les parois de la cavité de la cellule initiale.

[0019] Ladite interface solide est choisie parmi une interface solide-solide, une interface solide-liquide, une interface solide-gazeux et une interface solide-vide.

- [0020] En particulier, lorsque ladite interface solide est une interface solide-solide, la cavité résonnante du propulseur est délimitée par un milieu extérieur solide et la cavité résonnante présente un milieu intérieur solide également contre ce milieu extérieur solide. De préférence, la cavité présente un milieu diélectrique solide.
- [0021] Lorsque ladite interface solide est une interface solide-liquide, la cavité résonnante du propulseur est délimitée par un milieu extérieur solide et la cavité résonnante présente un milieu intérieur liquide contre ce milieu extérieur solide.
- [0022] Lorsque ladite interface solide est une interface solide-gazeuse, la cavité résonnante du propulseur est délimitée par un milieu extérieur solide et la cavité résonnante présente un milieu intérieur gazeux contre ce milieu extérieur solide.
- [0023] Lorsque ladite interface solide est une interface solide-vide, la cavité résonnante du propulseur est délimitée par un milieu extérieur solide et la cavité résonnante présente un milieu intérieur vide contre ce milieu extérieur solide.
- [0024] La nature de l'interface solide, la nature desdits milieux intérieurs et desdits milieux extérieurs, la forme de la cavité résonnante du propulseur électromagnétique et l'onde électromagnétique stationnaire dans cette cavité résonnante sont adaptées pour que la moyenne temporelle de la résultante des forces de Lorentz s'exerçant sur ladite interface solide de l'intérieur de la cavité résonnante soit non nulle et orientée selon un axe, dit axe de propulsion, et un sens, dit sens de propulsion, selon l'axe de propulsion.
- [0025] En particulier, ledit axe de propulsion de la cavité résonnante du propulseur électromagnétique et ledit sens de propulsion de cette cavité résonnante sont les mêmes que ceux de la cellule initiale.
- [0026] En outre, la nature des milieux intérieurs de la cavité résonnante du propulseur électromagnétique est la même que la nature de la cavité de la cellule initiale. De même, la nature des milieux extérieurs du propulseur électromagnétique est la même que celle des parois de la cellule initiale.
- [0027] Ladite cavité résonnante du propulseur électromagnétique peut être excitée non seulement selon le mode fondamental de la cellule initiale, mais également selon l'un quelconque des modes propres de la cellule initiale. Il est à noter à ce titre que la cavité résonnante présente une pluralité de modes propres.
- [0028] Dans un propulseur électromagnétique selon l'invention, la répartition du champ électromagnétique dans chaque motif définissant la cavité résonnante du propulseur électromagnétique est la même que la répartition du champ électromagnétique dans ladite cellule initiale.
- [0029] En particulier, la cavité résonnante d'un propulseur électromagnétique selon l'invention comprend un mode de résonance dont la répartition des champs électromagnétiques dans chaque motif est identique par rapport à celle des autres motifs et déphasée de 180° par rapport à un motif adjacent à ce motif. Cette répartition du

champ électromagnétique dans chaque motif est identique à celle d'un mode propre de ladite cellule initiale. Ainsi, des forces de Lorentz sont présentes dans l'ensemble de la cavité résonnante du propulseur électromagnétique.

[0030] Avec un propulseur électromagnétique selon l'invention, pour une quantité d'énergie électromagnétique donnée présente dans la cavité résonnante du propulseur électromagnétique, la résultante des forces de Lorentz exercées dans cette cavité résonnante est identique à la résultante des forces de Lorentz exercées dans ladite cellule initiale. Néanmoins, le facteur de qualité de la cavité résonnante est meilleur que celui de ladite cellule initiale. En outre, l'installation des ondes électromagnétiques dans l'ensemble des motifs de ladite cavité résonnante permet de réduire la densité locale d'énergie dans cette cavité résonnante. En particulier, la densité locale d'énergie dans lesdits motifs est divisée par le nombre de motifs formant ladite cavité résonnante par rapport à ladite cellule initiale.

[0031] Ainsi, ladite cavité résonnante du propulseur électromagnétique peut recevoir une plus grande quantité d'énergie de façon à augmenter les forces de Lorentz exercées dans la cavité résonnante du propulseur électromagnétique. En outre, il est également possible d'injecter une puissance supérieure avant l'apparition d'effets néfastes liés à des densités de puissance trop importantes à proximité de ladite interface solide délimitant la cavité résonnante du propulseur électromagnétique, notamment résultant d'un effet multipactor.

[0032] Ainsi, un propulseur électromagnétique selon l'invention, en comprenant une cavité résonnante définie par plusieurs motifs juxtaposés en communication les uns aux autres, permet d'augmenter la force de propulsion par rapport à un propulseur électromagnétique dans lequel des motifs seraient juxtaposés les uns à côtés des autres sans aucune communication d'ondes électromagnétiques entre ces différents motifs, un tel propulseur comprenant également une pluralité de dispositifs d'injection d'onde électromagnétique permettant d'alimenter les différents motifs.

[0033] En outre, un procédé de conception selon l'invention nécessite peu de calculs pour définir la forme de ladite cavité résonnante du propulseur électromagnétique de façon à réaliser un propulseur électromagnétique performant.

[0034] La cavité résonnante du propulseur électromagnétique est, de préférence, globalement close, c'est-à-dire délimite une enceinte interne sans communication avec l'environnement extérieur (à l'exception du dispositif d'injection de l'onde électromagnétique stationnaire). Cela permet notamment de maîtriser avec précision les caractéristiques électromagnétiques (permittivité diélectrique relative et perméabilité magnétique relative) dans la cavité résonnante lorsque cette dernière contient un fluide (gazeux et/ou liquide). Néanmoins, rien n'empêche de prévoir une cavité résonnante non close.

- [0035] De préférence, ledit milieu extérieur est formé par des parois dont une face en regard de la cavité résonnante forme ladite interface solide.
- [0036] Tout matériau approprié peut être utilisé pour former les parois (et plus généralement le milieu extérieur) d'une cavité résonnante d'un propulseur selon l'invention. On peut utiliser en particulier une combinaison de plusieurs matériaux optimisés non seulement du point de vue électromagnétique, mais également du point de vue mécanique et/ou thermique. Dans certains modes de réalisation avantageux, lesdites parois sont choisies dans le groupe des parois comprenant au moins une couche en matériau électriquement conducteur, des parois comprenant au moins une couche en matériau supraconducteur, des parois comprenant au moins une couche en matériau diélectrique, des parois comprenant au moins une couche en matériau magnétique, des parois comprenant au moins une couche formée d'une combinaison de tels matériaux, et de leurs combinaisons. De préférence, ladite interface solide délimitant la cavité résonnante du propulseur électromagnétique est formée de parois électriquement conductrices.
- [0037] Dans certains modes de réalisation avantageux et selon l'invention, le procédé de conception comprend :
- une étape de conception de ladite cellule initiale présentant au moins une paroi délimitant une cavité, la nature de chaque paroi de la cellule initiale et la forme de la cellule initiale étant adaptées :
 - pour contenir une onde électromagnétique stationnaire et
 - pour que la moyenne temporelle de la résultante des forces de Lorentz s'exerçant sur lesdites parois de la cellule initiale soit non nulle et orientée selon un axe, dit axe de propulsion et un sens, dit sens de propulsion, selon l'axe de propulsion,
 - pour permettre la juxtaposition d'une cellule identique à ladite cellule initiale contre ladite cellule initiale,
 - puis une étape de conception de ladite cavité résonnante par une répétition par juxtaposition d'un même motif géométrique, la forme de ce motif correspondant à la forme de ladite cavité de la cellule initiale, les motifs juxtaposés présentant chacun au moins un bord, dit profil de communication, commun avec un profil de communication d'au moins un autre motif desdits motifs juxtaposés, ledit profil de communication comprenant un passage diélectrique de sorte qu'une onde électromagnétique stationnaire puisse être établie dans l'ensemble de ces motifs juxtaposés –notamment dans l'ensemble de ladite cavité résonnante– à partir d'au moins un dispositif d'injection,
 - puis une étape de conception et de positionnement de chaque dispositif d'injection de façon à pouvoir injecter une onde électromagnétique à l'intérieur de la cavité résonnante pour pouvoir établir une onde électromagnétique stationnaire dans la cavité résonnante.

- [0038] De préférence, lors de l'étape de conception et de positionnement de chaque dispositif d'injection, la position optimale de chaque dispositif d'injection est déterminée à l'aide d'un logiciel de simulation 3D solveur électromagnétique.
- [0039] Plus particulièrement, chaque dispositif d'injection est choisi et positionné en fonction d'un mode de couplage retenu. En effet, on sait qu'il est possible d'injecter une onde électromagnétique d'excitation dans une cavité résonnante par un couplage par champ électrique ou par un couplage par champ magnétique. En fonction du mode de couplage retenu, un type de dispositif d'injection est choisi. Par exemple, dans le cas d'un couplage par champ électrique, un dispositif d'injection coaxial peut être utilisé. Connaissant la géométrie de la cavité résonnante, la fréquence de l'onde stationnaire du mode propre recherché et la répartition du champ électromagnétique pour ce mode propre, chaque dispositif d'injection est placé sur ladite interface solide délimitant la cavité résonnante en regard d'un maximum du champ électromagnétique du mode de couplage retenu.
- [0040] De préférence, la cavité résonnante est formée à partir d'une répétition par juxtaposition d'un même motif dans au moins une et au plus deux directions, dites directions de juxtaposition, non parallèles –notamment orthogonales- audit axe de propulsion.
- [0041] En particulier, les motifs sont juxtaposés sur un plan théorique non parallèle audit axe de propulsion.
- [0042] La forme de la cavité résonnante du propulseur électromagnétique est définie pour chaque motif par les portions de surface délimitant ce motif qui ne sont pas juxtaposées à un autre motif.
- [0043] Dans certains modes de réalisation avantageux, la forme de la cavité résonnante du propulseur électromagnétique est uniquement définie par des motifs entiers, c'est-à-dire présentant la forme de la cavité de ladite cellule initiale. Néanmoins, dans certains autres modes de réalisation, la forme de la cavité résonnante du propulseur électromagnétique peut être définie à partir de motifs entiers et de motifs partiels. En particulier, un motif partiel est défini par une portion de la cellule initiale délimitée par un plan parallèle à l'axe de propulsion de la cellule initiale.
- [0044] Avantageusement, la forme de ladite cellule initiale est choisie dans le groupe des formes non symétriques par rapport à tout plan orthogonal à un même axe et présentant un plan de symétrie contenant cet axe -qui constitue ledit axe de propulsion-, des formes non symétriques par rapport à tout plan orthogonal à un même axe et présentant deux plans de symétrie contenant chacun cet axe -qui constitue ledit axe de propulsion-, et des formes non symétriques par rapport à tout plan orthogonal à un même axe et présentant une symétrie de révolution autour de cet axe -qui constitue ledit axe de propulsion-.

- [0045] Ainsi, le propulseur électromagnétique comprend :
- une cavité résonnante délimitée par une interface, dite interface solide, et
 - au moins un dispositif d'injection d'une onde électromagnétique à l'intérieur de la cavité résonnante adapté pour pouvoir établir une onde électromagnétique stationnaire dans la cavité résonnante,
- ladite cavité résonnante étant définie à partir d'une répétition par juxtaposition d'au moins un même motif géométrique, la forme de ce motif étant choisie dans le groupe des formes non symétriques par rapport à tout plan orthogonal à un même axe et présentant un plan de symétrie contenant cet axe -qui constitue ledit axe de propulsion-, des formes non symétriques par rapport à tout plan orthogonal à un même axe et présentant deux plans de symétrie contenant chacun cet axe -qui constitue ledit axe de propulsion-, et des formes non symétriques par rapport à tout plan orthogonal à un même axe et présentant une symétrie de révolution autour de cet axe -qui constitue ledit axe de propulsion-, et
- les motifs juxtaposés présentant chacun au moins un bord, dit profil de communication, commun avec un profil de communication d'au moins un autre motif desdits motifs juxtaposés, ledit profil de communication comprenant un passage diélectrique de sorte qu'une onde électromagnétique stationnaire puisse être établie dans l'ensemble de ces motifs juxtaposés –notamment dans l'ensemble de ladite cavité résonnante– à partir d'au moins un dispositif d'injection.
- [0046] Ainsi, lesdits motifs géométriques présentent une forme tridimensionnelle. En particulier, les motifs peuvent être distingués dans la cavité résonnante du propulseur électromagnétique grâce à leur forme non symétrique par rapport à tout plan orthogonal audit axe de propulsion.
- [0047] Par exemple, chaque motif présente une section transversale selon un plan contenant chaque direction de juxtaposition, cette section transversale présentant une forme choisie parmi une forme de quadrilatère, une forme triangulaire et une forme hexagonale.
- [0048] Par ailleurs, ledit profil de communication de chaque motif est une portion de la surface délimitant ce motif. En particulier, ledit profil de communication de chaque motif s'étend au moins pour partie selon ledit axe de propulsion.
- [0049] Dans certains modes de réalisation avantageux et selon l'invention, au moins un motif est séparé d'un motif juxtaposé à ce motif par une paroi entre ces deux motifs et en ce que ledit passage diélectrique dudit profil de communication de ces deux motifs est formé dans ladite paroi entre ces deux motifs.
- [0050] En particulier, l'épaisseur des parois disposées entre les motifs juxtaposés est choisie pour être inférieure à 5mm, de préférence inférieure à 1mm.
- [0051] En outre, lorsque le propulseur comprend des parois entre des motifs juxtaposés, ces

parois sont choisies dans le groupe des parois comprenant au moins une couche en matériau électriquement conducteur, des parois comprenant au moins une couche en matériau supraconducteur, des parois comprenant au moins une couche en matériau diélectrique, des parois comprenant au moins une couche en matériau magnétique, des parois comprenant au moins une couche formée d'une combinaison de tels matériaux, et de leurs combinaisons.

- [0052] En particulier, ladite cellule initiale présente dans sa cavité un redan cylindrique de révolution autour dudit axe de propulsion de la cellule initiale. Ainsi, ladite interface définit dans la cavité résonnante pour chaque motif, un redan cylindrique de révolution autour dudit axe de propulsion.
- [0053] L'utilisation de parois entre les motifs permet d'améliorer la tenue mécanique de l'ensemble des parois du propulseur électromagnétique.
- [0054] Par ailleurs, ladite cavité résonnante peut être alimentée par plusieurs dispositifs d'injection. Cela permet une redondance de l'alimentation en puissance mais aussi d'augmenter la puissance injectée dans la cavité en injectant de la puissance en parallèle par les différents dispositifs d'injection. Il est également possible d'exciter la cavité selon plusieurs fréquences de façon à pouvoir modifier la direction de poussée en fonction de la fréquence choisie pour alimenter la cavité. De plus, certains motifs peuvent présenter des dimensions proportionnellement inférieures ou supérieures à ladite cellule initiale selon au moins un axe, notamment ledit axe de propulsion. Les motifs présentant des dimensions différentes présentent une fréquence fondamentale différente de la fréquence fondamentale des motifs présentant les dimensions de la cellule initiale.
- [0055] L'invention concerne également un procédé de conception d'un propulseur électromagnétique, un procédé de fabrication d'un propulseur électromagnétique et un propulseur électromagnétique caractérisés, en combinaison ou non, par tout ou partie des caractéristiques mentionnées ci-dessus ou ci-après. Quelle que soit la présentation formelle qui en est donnée, sauf indication contraire explicite, les différentes caractéristiques mentionnées ci-dessus ou ci-après ne doivent pas être considérées comme étroitement ou inextricablement liées entre elles, l'invention pouvant concerner l'une seulement de ces caractéristiques structurelles ou fonctionnelles, ou une partie seulement de ces caractéristiques structurelles ou fonctionnelles, ou une partie seulement de l'une de ces caractéristiques structurelles ou fonctionnelles, ou encore tout groupement, combinaison ou juxtaposition de tout ou partie de ces caractéristiques structurelles ou fonctionnelles.
- [0056] D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante donnée à titre non limitatif de certains de ses modes de réalisation possibles et qui se réfère aux figures annexées dans lesquelles :

- les figures 1 à 3 sont des schémas en perspective de différents modes de réalisation d'un propulseur électromagnétique conforme à l'invention.
- la figure 4 est un schéma en perspective d'une cellule initiale,
- la figure 5 est un schéma en coupe longitudinale d'une cavité résonnante formée d'un unique motif dans laquelle le champ électrique est représenté,
- la figure 6 est un schéma en coupe longitudinale d'une cavité résonnante formée d'un unique motif dans laquelle le champ magnétique est représenté,
- la figure 7 est une coupe longitudinale du propulseur électromagnétique de la figure 1 dans laquelle le champ électrique est représenté,
- la figure 8 est une coupe longitudinale du propulseur électromagnétique de la figure 1 dans laquelle le champ magnétique est représenté,
- les figures 9 à 12 sont des schémas selon une coupe transversale d'autres modes de réalisation d'un propulseur électromagnétique conforme à l'invention.

[0057] Un propulseur 20 électromagnétique représenté aux figures 1 à 3 selon différents modes de réalisation comprend une cavité 21 résonnante et au moins un dispositif 22 d'injection d'une onde électromagnétique à l'intérieur de la cavité 21 résonnante. Ce dispositif 22 d'injection est adapté pour pouvoir établir une onde électromagnétique stationnaire dans la cavité 21 résonnante.

[0058] La cavité 21 résonnante est délimitée par une paroi 23. Cette paroi 23 présente une face délimitant la cavité 21 et formant une interface, dite interface 24 solide. Ainsi, cette interface 24 solide est une surface délimitant deux milieux. Un premier milieu, dit milieu 25 intérieur, constitue au moins pour partie ladite cavité 21 résonnante du propulseur 20 électromagnétique et un deuxième milieu, dit milieu 26 extérieur, distinct du premier milieu constitue la paroi 23 délimitant la cavité 21 résonnante du propulseur 20 électromagnétique.

[0059] De préférence, ladite cavité 21 résonnante est constituée d'un unique milieu 25 intérieur. En variante, il est possible de prévoir une cavité 21 résonnante constituée de plusieurs milieux. Par ailleurs, plusieurs milieux peuvent être utilisés conjointement pour former différentes parties de la paroi 23 délimitant ladite cavité 21 résonnante du propulseur 20 électromagnétique.

[0060] Ladite interface 24 solide, c'est-à-dire la paroi 23, est adaptée pour réfléchir des ondes électromagnétiques dans la cavité 21 résonnante du propulseur 20 électromagnétique de façon à permettre une installation d'une onde stationnaire dans la cavité 21 résonnante.

[0061] Ladite interface 24 solide est choisie parmi une interface solide-solide, une interface solide-liquide, une interface solide-gazeux et une interface solide-vide.

[0062] En particulier, lorsque ladite interface 24 solide est une interface solide-solide, la cavité 21 résonnante du propulseur est délimitée par un milieu 26 extérieur solide et la

- cavité 21 résonnante présente un milieu 25 intérieur solide également contre ce milieu 26 extérieur solide. De préférence, la cavité 21 présente un milieu diélectrique solide.
- [0063] Lorsque ladite interface 24 solide est une interface solide-liquide, la cavité 21 résonnante du propulseur est délimitée par un milieu 26 extérieur solide et la cavité 21 résonnante présente un milieu 25 intérieur liquide contre ce milieu 26 extérieur solide.
- [0064] Lorsque ladite interface 24 solide est une interface solide-gazeuse, la cavité 21 résonnante du propulseur est délimitée par un milieu 26 extérieur solide et la cavité 21 résonnante présente un milieu 25 intérieur gazeux contre ce milieu 26 extérieur solide.
- [0065] Lorsque ladite interface 24 solide est une interface solide-vide, la cavité 21 résonnante du propulseur est délimitée par un milieu 26 extérieur solide et la cavité 21 résonnante présente un milieu 25 intérieur vide contre ce milieu 26 extérieur solide.
- [0066] La nature de l'interface 24 solide, la nature du milieu 25 intérieur et du milieu 26 extérieur, la forme de la cavité 21 résonnante du propulseur 20 électromagnétique et de l'onde électromagnétique stationnaire dans cette cavité 21 résonnante sont adaptées pour que la moyenne temporelle de la résultante des forces de Lorentz s'exerçant sur ladite interface 24 solide de l'intérieur de la cavité 21 résonnante soit non nulle et orientée selon un axe, dit axe (Z) de propulsion, et un sens, dit sens de propulsion, selon l'axe de propulsion.
- [0067] La cavité 21 résonnante du propulseur 20 électromagnétique est close. La paroi 23 permet de délimiter une enceinte interne sans communication avec l'environnement extérieur (à l'exception du dispositif 22 d'injection de l'onde électromagnétique stationnaire). Cela permet notamment de maîtriser avec précision les caractéristiques électromagnétiques (permittivité diélectrique relative et perméabilité magnétique relative) dans la cavité 21 résonnante lorsque cette dernière contient un fluide (gazeux et/ou liquide). En variante, il est possible de prévoir une cavité 21 résonnante non close.
- [0068] La paroi 23 peut être formée par tout matériau approprié. On peut utiliser en particulier une combinaison de plusieurs matériaux optimisés non seulement du point de vue électromagnétique, mais également du point de vue mécanique et/ou thermique.
- [0069] De préférence, la cavité 21 résonnante est formée à partir d'une répétition par juxtaposition d'un même motif 27 géométrique dans au moins une et au plus deux directions, dites directions de juxtaposition, non parallèles –notamment orthogonales– audit axe de propulsion. Ce motif 27 représente le plus petit volume qui par juxtaposition de ce même motif 27 permet de définir la forme de ladite cavité 21 résonnante du propulseur 20 électromagnétique. Ces motifs 27 géométriques présentent une forme tridimensionnelle. En particulier, les motifs 27 peuvent être distingués dans la cavité 21 résonnante du propulseur 20 électromagnétique grâce à leur forme non symétrique par rapport à tout plan orthogonal audit axe de propulsion. La forme de la cavité 21 résonnante du propulseur 20 électromagnétique est définie pour chaque motif 27 par les

portions de surface délimitant ce motif 27 qui ne sont pas juxtaposées à un autre motif 27. En particulier, les motifs 27 sont juxtaposés de façon à s'étendre selon un plan théorique non parallèle audit axe de propulsion, notamment selon un plan théorique orthogonal audit axe de propulsion.

- [0070] Par exemple, chaque motif 27 présente une section transversale selon un plan contenant chaque direction de juxtaposition, cette section transversale présentant une forme choisie parmi une forme de quadrilatère (figures 1 à 3 et 11), une forme triangulaire (figure 10) et une forme hexagonale (figure 9).
- [0071] Dans certains modes de réalisation non représentés sur les figures, certains motifs 27 peuvent présenter des dimensions proportionnellement inférieures ou supérieures à ladite cellule 32 initiale selon au moins un axe, notamment selon ledit axe de propulsion. Les motifs 27 de dimensions différentes que celles de la cellule 32 initiale présentent une fréquence fondamentale différente de la fréquence fondamentale des motifs 27 de dimensions égales à celles de la cellule 32 initiale.
- [0072] Dans les modes de réalisation représentés sur les figures 1 à 3, chaque motif 27 présente globalement une forme de parallélépipède rectangle dans lequel est ménagé un redan 28 cylindrique de révolution s'étendant à l'intérieur de la cavité 21 à partir d'une face du parallélépipède rectangle. En particulier, le redan 28 est cylindrique de révolution autour dudit axe de propulsion. Le redan 28 est formé par la paroi 23 délimitant la cavité 21 résonnante. Ce redan 28 forme l'asymétrie de la cavité 21 par rapport à tout plan orthogonal audit axe de propulsion. Ainsi, dans le mode de réalisation représenté à la figure 1, la cavité 21 résonnante est formée de deux motifs 27 identiques juxtaposés ; dans celui représenté à la figure 2, la cavité 21 résonnante est formée par une juxtaposition de quatre motifs 27 dans deux directions orthogonales l'une à l'autre ; dans celui représenté à la figure 3, la cavité 21 résonnante est formée par une juxtaposition de trois motifs 27 dans une unique direction.
- [0073] Dans les modes de réalisation représentés sur les figures, la forme de la cavité 21 résonnante du propulseur 20 électromagnétique est uniquement définie par des motifs 27 entiers, c'est-à-dire présentant la forme de la cavité 33 de ladite cellule 32 initiale. Néanmoins, rien n'empêche de prévoir une cavité 21 résonnante dont la forme est définie à partir de motifs 27 entiers et de motifs 27 partiels. En particulier, un motif 27 partiel est défini par une portion de la cellule 32 initiale délimitée par un plan parallèle à l'axe de propulsion de la cellule 32 initiale. Chaque motif 27 partiel est alors délimité au moins en partie par ladite interface 24 solide délimitant la cavité 21 résonnante.
- [0074] Comme représenté aux figures 9 à 11, les motifs 27 peuvent être séparés les uns des autres par des parois 29 délimitant au moins pour partie ces motifs 27. Néanmoins, chaque motif 27 présente au moins un bord, dit profil 30 de communication, commun avec un profil 30 de communication d'au moins un autre motif 27 desdits motifs 27

juxtaposés. Ce profil 30 de communication comprend un passage 31 diélectrique de sorte qu'une onde électromagnétique stationnaire puisse être établie dans l'ensemble de ces motifs 27 juxtaposés –notamment dans l'ensemble de ladite cavité 21 résonnante–. Ledit profil 30 de communication de chaque motif 27 est une portion de la surface délimitant ce motif 27. En particulier, ledit profil 30 de communication de chaque motif 27 s'étend au moins pour partie selon ledit axe de propulsion. Le passage 31 diélectrique d'un profil 30 de communication peut être ménagé dans une paroi 29 entre les deux motifs 27 partageant ce profil 30 de communication.

- [0075] Les parois 29 entre des motifs 27 juxtaposés et délimitant au moins pour partie ces motifs 27 permettent d'améliorer la tenue mécanique des parois 23 formant ladite interface 24 solide de la cavité 21 résonnante. En particulier, l'épaisseur des parois 29 disposées entre les motifs 27 juxtaposés est choisie pour être inférieure à 5mm, de préférence inférieure à 1mm.
- [0076] Les parois 29 entre des motifs 27 juxtaposés et les parois 23 délimitant la cavité résonnante du propulseur électromagnétique sont choisies dans le groupe des parois comprenant au moins une couche en matériau électriquement conducteur, des parois comprenant au moins une couche en matériau supraconducteur, des parois comprenant au moins une couche en matériau diélectrique, des parois comprenant au moins une couche en matériau magnétique, des parois comprenant au moins une couche formée d'une combinaison de tels matériaux, et de leurs combinaisons. De préférence, ladite interface solide délimitant la cavité résonnante du propulseur 20 électromagnétique est formée de parois 23 électriquement conductrices.
- [0077] La forme du motif 27 répété de façon à définir la cavité 21 résonnante du propulseur 20 électromagnétique peut être déterminée à l'aide d'un logiciel de simulation 3D solveur électromagnétique. Le logiciel de simulation 3D solveur électromagnétique peut par exemple être le logiciel ANSYS HFSS®, commercialisé par la société ANSYS, Inc., Canonsburg, Pennsylvania, U.S.A.. D'autres logiciels de simulation tels que CST STUDIO SUITE®, commercialisé par la société CST of America®, Inc, Framingham, Massachussets, USA, ou COMSOL Multiphysics®, commercialisé par la société COMSOL, Inc., Burlington, Massachussets, USA, ou autres, peuvent être utilisés.
- [0078] En particulier, la forme du motif 27 répété est identique à la forme d'une cavité 33 d'une cellule, dite cellule 32 initiale. Cette cavité 33 de ladite cellule 32 initiale est délimitée par des parois 34. La nature de chaque paroi 34 de la cellule 32 initiale et la forme de la cellule 32 initiale étant adaptées pour contenir une onde électromagnétique stationnaire et pour que la moyenne temporelle de la résultante des forces de Lorentz s'exerçant sur lesdites parois 34 de la cellule 32 initiale soit non nulle et orientée selon un axe, dit axe de propulsion, et un sens, dit sens de propulsion, selon l'axe de

propulsion. Chaque paroi 34 de la cellule 32 initiale présente une face délimitant la cavité 33 et formant une interface, dite interface 41 solide. Ainsi, cette interface 41 solide est une surface délimitant deux milieux 35, 36. Un premier milieu, dit milieu 35 intérieur, constitue au moins pour partie ladite cavité 33 de la cellule 32 initiale et un deuxième milieu, dit milieu 36 extérieur, distinct du premier milieu constitue une paroi 34 délimitant la cavité 33 de la cellule 32 initiale. La forme de la cavité 33 résonnante de la cellule 32 initiale est également choisie pour permettre une juxtaposition de cette même forme de façon à pouvoir obtenir un propulseur 20 électromagnétique comprenant une cavité 33 résonnante de forme définie par une juxtaposition de motifs 27 de forme identique à la forme de la cavité 33 résonnante de la cellule 32 initiale.

[0079] Plus particulièrement, cette cellule 32 initiale peut être conçue à l'aide d'un logiciel de simulation 3D solveur électromagnétique tel que ceux susmentionnés. Les dimensions optimales de ladite cellule 32 initiale peuvent être déterminées par optimisation logicielle à l'aide du logiciel de simulation 3D solveur électromagnétique pour optimiser la valeur de la moyenne temporelle de la résultante des forces de Lorentz s'exerçant sur les parois 34 de la cavité 33 de la cellule 32 initiale.

[0080] La forme de la cavité 33 de la cellule 32 initiale étant identique à celle du motif 27 est asymétrique par rapport à tout plan orthogonal à l'axe de propulsion.

[0081] En particulier, ledit axe de propulsion de la cavité 21 résonnante du propulseur 20 électromagnétique et ledit sens de propulsion de cette cavité 21 résonnante sont les mêmes que ceux de la cellule 32 initiale.

[0082] En outre, la nature des milieux intérieurs de la cavité 21 résonnante du propulseur 20 électromagnétique est la même que la nature de la cavité 33 de la cellule 32 initiale. De même, la nature des milieux extérieurs du propulseur 20 électromagnétique est la même que celle des parois 34 de la cellule 32 initiale.

[0083] La cavité 21 résonnante peut être alimentée par un unique dispositif 22 d'injection comme représenté sur les figures 1 à 3 et 9 à 11 ou bien par plusieurs dispositifs d'injection comme représenté à la figure 12. Le fait d'alimenter la cavité 21 résonnante par plusieurs dispositifs d'injection permet une redondance de l'alimentation en puissance mais permet aussi d'augmenter la puissance injectée dans la cavité 21 en injectant de la puissance en parallèle par les différents dispositifs d'injection. Il est également possible d'exciter la cavité 21 selon plusieurs fréquences de façon à pouvoir modifier la direction de poussée en fonction de la fréquence choisie pour alimenter la cavité 21.

[0084] La cavité 21 résonnante peut être excitée non seulement selon le mode fondamental de la cellule 32 initiale, mais également selon l'un quelconque des modes propres de la cellule 32 initiale.

[0085] Chaque dispositif 22 d'injection est choisi et positionné en fonction d'un mode de

couplage retenu. En effet, on sait qu'il est possible d'injecter une onde électromagnétique d'excitation dans une cavité 21 résonnante par un couplage par champ électrique ou par un couplage par champ magnétique. En fonction du mode de couplage retenu, un type de dispositif 22 d'injection est choisi. Par exemple, dans le cas d'un couplage par champ électrique, un dispositif 22 d'injection coaxial peut être utilisé. Connaissant la géométrie de la cavité 21 résonnante, la fréquence de l'onde stationnaire du mode propre recherché et la répartition du champ électromagnétique pour ce mode propre, chaque dispositif 22 d'injection est placé sur ladite interface 24 solide délimitant la cavité 21 résonnante en regard d'un maximum du champ électromagnétique du mode de couplage retenu. En particulier, le dispositif 22 d'injection coaxial est placé au centre d'une extrémité 39 distale du redan 28 d'au moins un motif 27 de la cavité 21 résonnante.

- [0086] Un procédé de conception d'une cavité 21 résonnante conforme à l'invention comprend une étape de conception de ladite cellule 32 initiale dans laquelle ladite cellule 32 initiale est déterminée à l'aide d'un logiciel de simulation 3D solveur électromagnétique.
- [0087] Le procédé de conception comprend également une étape de conception de ladite cavité 21 résonnante par une répétition par juxtaposition d'un même motif 27 géométrique, la forme de ce motif 27 correspondant à la forme de ladite cavité 33 de la cellule 32 initiale, comme vu précédemment. Les motifs 27 juxtaposés présentent chacun au moins un bord, dit profil 30 de communication, commun avec un profil 30 de communication d'au moins un autre motif 27 desdits motifs 27 juxtaposés. Chaque profil 30 de communication comprend un passage 31 diélectrique de sorte qu'une onde électromagnétique stationnaire puisse être établie dans l'ensemble des motifs 27 juxtaposés –notamment dans l'ensemble de ladite cavité 21 résonnante– à partir d'au moins un dispositif 22 d'injection.
- [0088] Le procédé de conception comprend également une étape de conception et de positionnement de chaque dispositif 22 d'injection de façon à pouvoir injecter une onde électromagnétique à l'intérieur de la cavité 21 résonnante pour établir une onde électromagnétique stationnaire dans la cavité 21 résonnante. Lors de cette étape, la position optimale de chaque dispositif 22 d'injection est déterminée à l'aide d'un logiciel de simulation 3D solveur électromagnétique.
- [0089] Dans un propulseur 20 électromagnétique selon l'invention, la répartition du champ électromagnétique dans chaque motif 27 définissant la cavité 21 résonnante du propulseur 20 électromagnétique est la même que la répartition du champ électromagnétique dans ladite cellule 32 initiale.
- [0090] Comme représenté à la figure 5 pour une cellule 32 initiale telle que celle représentée à la figure 4 avec un dispositif 22 d'injection centré sur le redan 28, l'intensité du

champ 37 électrique présente un maximum d'intensité concentré dans une région centrale de la cavité 33 au niveau d'une extrémité 39 distale du redan 28. Le champ 37 électrique produit une force de Lorentz sur la paroi 34 délimitant l'extrémité 39 distale du redan 28, cette force de Lorentz étant orientée vers le redan 28. En outre, le champ 38 magnétique présente un maximum d'intensité concentré autour du redan 28 jusqu'à la paroi 34 de la cavité 33 formant une base 40 du redan 28 à partir de laquelle le redan 28 s'étend jusqu'à son extrémité 39 distale.

[0091] Plus particulièrement, pour une paroi 23 formée d'un conducteur électrique parfait, la moyenne temporelle de la force de Lorentz est donnée par la formule :

[0092] [Math.1]

$$\overrightarrow{F_{\text{Lorentz}}} = \frac{1}{4} \left(\mu |\vec{H}|^2 - \varepsilon |\vec{E}|^2 \right) \cdot \vec{n}$$

où μ est la perméabilité magnétique du milieu dans la cavité 21 résonnante, ε étant la permittivité électrique du milieu dans la cavité 21 résonnante, $\vec{n}$ est le vecteur normal à la surface de la paroi 23 dirigé vers le matériau conducteur de cette dernière, $\vec{E}$ est le champ électrique et $\vec{H}$ est le champ magnétique.

[0093] La publication « *Radiation pressure and linear momentum of the electromagnetic field* » Masud Mansuripur, Optics Express, Vol. 12, No.22., Nov. 1, 2004, pp 5375-5401 donne aussi d'autres expressions de la moyenne temporelle de la force de Lorentz dans différents cas.

[0094] Comme représenté à la figure 7 pour le champ 37 électrique et à la figure 8 pour le champ 38 magnétique, la cavité 21 résonnante d'un propulseur 20 électromagnétique selon l'invention comprend un mode de résonance dont la répartition des champs électromagnétiques dans chaque motif 27 est identique par rapport à celle des autres motifs 27 et déphasée de 180° par rapport à un motif 27 adjacent à ce motif 27. Cette répartition du champ électromagnétique dans chaque motif 27 est identique à celle d'un mode propre de ladite cellule 32 initiale. Ainsi, des forces de Lorentz sont présentes dans l'ensemble de la cavité 21 résonnante du propulseur 20 électromagnétique.

[0095] EXEMPLE 1

[0096] On réalise une simulation d'un propulseur 20 électromagnétique comprenant une cavité 21 résonnante de forme définie à partir d'une cellule 32 initiale conforme à la figure 4 avec un logiciel de simulation comme décrit ci-dessus.

[0097] Chaque motif 27 de la cavité 21 résonnante présente une base 40 carrée de 100 mm de longueur et une hauteur de 30 mm. Le redan 28 cylindrique de révolution présente un diamètre de 50 mm et une hauteur de 30 mm. La cavité 21 est présumée remplie d'air ou de vide ($\varepsilon_r = \mu_r = 1$) et ses parois 23 sont en matériau présumé électriquement

conducteur parfait. Le propulseur 20 électromagnétique est simulé sans dispositif 22 d'injection.

[0098] Le tableau 1 suivant donne les résultats obtenus pour la résultante des forces de Lorentz F_z , F_x , F_y selon les différents axes X, Y, Z, et pour différentes cavités 21 résonnantes et pour 1 Joule d'énergie stockée dans chaque cavité 21 résonnante.

[0099] Les cavités 21 résonnantes sont définies en fonction du nombre de motifs 27 qui les composent. En particulier, les cavités 21 résonnantes sont définies par l'expression $n \times m$, où n est le nombre de motif 27 que comprend la cavité 21 selon l'axe X et m est le nombre de motif 27 que comprend la cavité 21 selon l'axe Y, n étant compris entre 1 et 4 et m étant compris entre 1 et 2 dans les exemples. Ainsi, la cavité 21 résonnante 1x1 est la cellule 32 initiale.

[0100] [Tableaux1]

Cavité résonnante	Matériau des parois	Fréquence mode [GHz]	Q factor	F_z [Newtons]	F_x [Newtons]	F_y [Newtons]
1x1	Cuivre	1,3748	10723	-2,564	0,023	0,027
1x1	Aluminium	1,3748	8680	-2,293	0,075	0,025
2x1	Aluminium	1,3748	9344	-2,61	0,0046	-0,0072
3x1	Aluminium	1,3748	9589	-2,61	0,0046	-0,0072
4x1	Aluminium	1,3748	9716	-2,72	0,0234	-0,0146
2x2	Aluminium	1,3748	10120	-2,81	-0,0006	-0,0018
3x2	Aluminium	1,3747	10410	-2,919	0,0192	0,0195
4x2	Aluminium	1,3747	10559	-2,872	0,0179	-0,0165
4x3	Aluminium	1,3747	10875	-2,93	0,0034	-0,0096

[0101] Comme on le voit, le terme prédominant est F_z (force de propulsion suivant l'axe Z de symétrie de la cavité 21). Les valeurs F_x et F_y sont non nulles mais d'un ordre de grandeur (facteur 100) inférieures à la valeur F_z . En théorie, F_x et/ou F_y sont nulles du fait des propriétés de symétrie de la répartition d'énergie électromagnétique du mode propre (liées aux propriétés de symétrie de la cavité 21). Les valeurs de F_x et F_y correspondent donc à du bruit numérique. On constate que les valeurs de F_z sont d'un ordre de grandeur (facteur 100) supérieures à celles du bruit numérique.

[0102] On constate que pour une même quantité d'énergie électromagnétique donnée présente dans une cavité 21 résonnante formée par une juxtaposition de motifs 27 définis par la cellule 32 initiale, la résultante des forces de Lorentz exercées dans cette cavité 21 résonnante est identique à la résultante des forces de Lorentz exercées dans

ladite cellule 32 initiale. Néanmoins, le facteur de qualité des cavités 21 résonnantes formées à partir d'une juxtaposition de motifs 27 identiques à la cellule 32 initiale est meilleur que celui de ladite cellule 32 initiale. En particulier, le facteur de qualité croît lorsqu'on augmente le nombre de motifs 27 juxtaposés formant la cavité 21 résonnante.

[0103] On constate également que l'utilisation de parois 23 en cuivre permet d'améliorer le facteur de qualité par rapport aux parois 23 en aluminium du fait de la meilleure conductivité électrique du cuivre. Cette utilisation de parois 23 en cuivre permet alors de conserver l'énergie dans la cavité 21 résonnante plus longtemps avant qu'elle ne soit dissipée.

[0104] EXEMPLE 2

[0105] On réalise une simulation similaire à celle de l'exemple 1, mais avec des cavités 21 résonnantes alimentées par un câble coaxial pour une puissance d'alimentation égale à 1W.

[0106] Le tableau 2 suivant donne les résultats obtenus pour la résultante des forces de Lorentz F_z , F_x , F_y selon les différents axes X, Y, Z, et pour des cavités 21 résonnantes de dimensions différentes.

[0107] [Tableaux2]

Cavité	Matériau des parois	Fréquence résonance [GHz]	F_z [Newtons]	F_x [Newtons]	F_y [Newtons]
1x1	Aluminium	1,3735	$-2,4 \cdot 10^{-6}$	$8,1 \cdot 10^{-10}$	$-3,5 \cdot 10^{-8}$
2x1	Aluminium	1,3735	$-3,1 \cdot 10^{-6}$	$3,9 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-9}$
2x2	Aluminium	1,3737	$-3,4 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$4,1 \cdot 10^{-8}$

[0108] On constate également que le terme prédominant est F_z (force de propulsion suivant l'axe Z de symétrie de la cavité 21) et que les valeurs F_x et F_y sont non nulles mais d'un ordre de grandeur (facteur 100) inférieures à la valeur F_z . On constate de nouveau que pour une même quantité d'énergie électromagnétique donnée présente dans une cavité 21 résonnante formée par une juxtaposition de motifs 27 définis par la cellule 32 initiale, la résultante des forces de Lorentz exercées dans cette cavité 21 résonnante est identique à la résultante des forces de Lorentz exercées dans ladite cellule 32 initiale.

[0109] Une cavité 21 résonnante d'un propulseur 20 électromagnétique selon l'invention peut recevoir une plus grande quantité d'énergie de façon à augmenter les forces de Lorentz exercées dans la cavité 21 résonnante du propulseur 20 électromagnétique. Il est également possible d'injecter une puissance supérieure avant l'apparition d'effets néfastes liés à des densités de puissance trop importantes à proximité de ladite

interface 24 solide délimitant la cavité 21 résonnante du propulseur 20 électromagnétique, notamment résultant d'un effet multipactor.

- [0110] Ainsi, un propulseur 20 électromagnétique selon l'invention, en comprenant une cavité 21 résonnante définie par plusieurs motifs 27 juxtaposés en communication les uns aux autres, permet d'augmenter la force de propulsion par rapport à un propulseur 20 électromagnétique dans lequel des motifs 27 seraient juxtaposés les uns à côtés des autres sans aucune communication d'ondes électromagnétiques entre ces différents motifs 27, un tel propulseur comprenant également une pluralité de dispositifs d'injection d'onde électromagnétique permettant d'alimenter les différents motifs 27.
- [0111] En outre, un procédé de conception d'une cavité 21 résonnante selon l'invention nécessite peu de calculs pour définir la forme de ladite cavité 21 résonnante du propulseur 20 électromagnétique de façon à réaliser un propulseur 20 électromagnétique performant.
- [0112] L'invention peut faire l'objet de nombreuses variantes et applications autres que celles décrites ci-dessus. En particulier, il va de soi que sauf indication contraire les différentes caractéristiques structurelles et fonctionnelles de chacun des modes de réalisation décrits ci-dessus ne doivent pas être considérées comme combinées et/ou étroitement et/ou inextricablement liées les uns aux autres, mais au contraire comme de simples juxtapositions. En outre, les caractéristiques structurelles et/ou fonctionnelles des différents modes de réalisation décrits ci-dessus peuvent faire l'objet en tout ou partie de toute juxtaposition différente ou de toute combinaison différente.
- [0113] Un propulseur électromagnétique selon l'invention fournit de l'énergie mécanique de propulsion et peut faire l'objet d'applications non seulement pour la propulsion d'engins spatiaux, mais également à titre d'actionneur dans toute application où un tel actionneur présente un intérêt.

Revendications

[Revendication 1]

Procédé de conception d'un propulseur (20) électromagnétique comprenant :

- une étape de fourniture d'une cavité (21) résonnante délimitée par une interface, dite interface (24) solide, et
- une étape de fourniture d'au moins un dispositif (22) d'injection d'une onde électromagnétique à l'intérieur de la cavité (21) résonnante adapté pour pouvoir établir une onde électromagnétique stationnaire dans la cavité (21) résonnante,

caractérisé en ce que le procédé comprend une étape de définition dans laquelle on définit la cavité (21) résonnante à partir d'une répétition par juxtaposition d'au moins un même motif (27) géométrique, la forme de ce motif (27) étant identique à la forme d'une cavité (33) d'une cellule, dite cellule (32) initiale, cette cavité (33) de ladite cellule (32) initiale étant délimitée par des parois (34), la nature de chaque paroi (34) de la cellule (32) initiale et la forme de la cellule (32) initiale étant adaptées pour contenir une onde électromagnétique stationnaire et pour que la moyenne temporelle de la résultante des forces de Lorentz s'exerçant sur lesdites parois (34) de la cellule (32) initiale soit non nulle et orientée selon un axe, dit axe (Z) de propulsion, et un sens, dit sens de propulsion, selon l'axe de propulsion,

et en ce que les motifs (27) juxtaposés présentent chacun au moins un bord, dit profil (30) de communication, commun avec un profil (30) de communication d'au moins un autre motif (27) desdits motifs (27) juxtaposés, ledit profil (30) de communication comprenant un passage (31) diélectrique de sorte qu'une onde électromagnétique stationnaire puisse être établie dans l'ensemble de ces motifs (27) juxtaposés à partir d'au moins un dispositif (22) d'injection.

[Revendication 2]

Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'il comprend :

- une étape de conception de ladite cellule (32) initiale présentant au moins une paroi (34) délimitant une cavité (33), la nature de chaque paroi (34) de la cellule (32) initiale et la forme de la cellule (32) initiale étant adaptées :
 - pour contenir une onde électromagnétique stationnaire et
 - pour que la moyenne temporelle de la résultante des forces de Lorentz s'exerçant sur lesdites parois (34) de la cellule (32) initiale soit non nulle et orientée selon un axe, dit axe (Z) de propulsion, et un sens, dit

sens de propulsion, selon l'axe de propulsion,

○ pour permettre la juxtaposition d'une cellule identique à ladite cellule (32) initiale contre ladite cellule (32) initiale,

- puis une étape de conception de ladite cavité (21) résonnante par une répétition par juxtaposition d'un même motif (27) géométrique, la forme de ce motif (27) correspondant à la forme de ladite cavité (33) de la cellule (32) initiale, les motifs (27) juxtaposés présentant chacun au moins un bord, dit profil (30) de communication, commun avec un profil (30) de communication d'au moins un autre motif (27) desdits motifs (27) juxtaposés, ledit profil (30) de communication comprenant un passage (31) diélectrique de sorte qu'une onde électromagnétique stationnaire puisse être établie dans l'ensemble de ces motifs (27) juxtaposés à partir d'au moins un dispositif (22) d'injection,

- puis une étape de conception et de positionnement de chaque dispositif (22) d'injection de façon à pouvoir injecter une onde électromagnétique à l'intérieur de la cavité (21) résonnante pour pouvoir établir une onde électromagnétique stationnaire dans la cavité (21) résonnante.

[Revendication 3]

Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2 caractérisé en ce que le procédé comprend une étape de choix de la forme de ladite cellule (32) initiale dans le groupe des formes non symétriques par rapport à tout plan orthogonal à un même axe et présentant un plan de symétrie contenant cet axe, des formes non symétriques par rapport à tout plan orthogonal à un même axe et présentant deux plans de symétrie contenant chacun cet axe, et des formes non symétriques par rapport à tout plan orthogonal à un même axe et présentant une symétrie de révolution autour de cet axe.

[Revendication 4]

Propulseur électromagnétique comprenant :

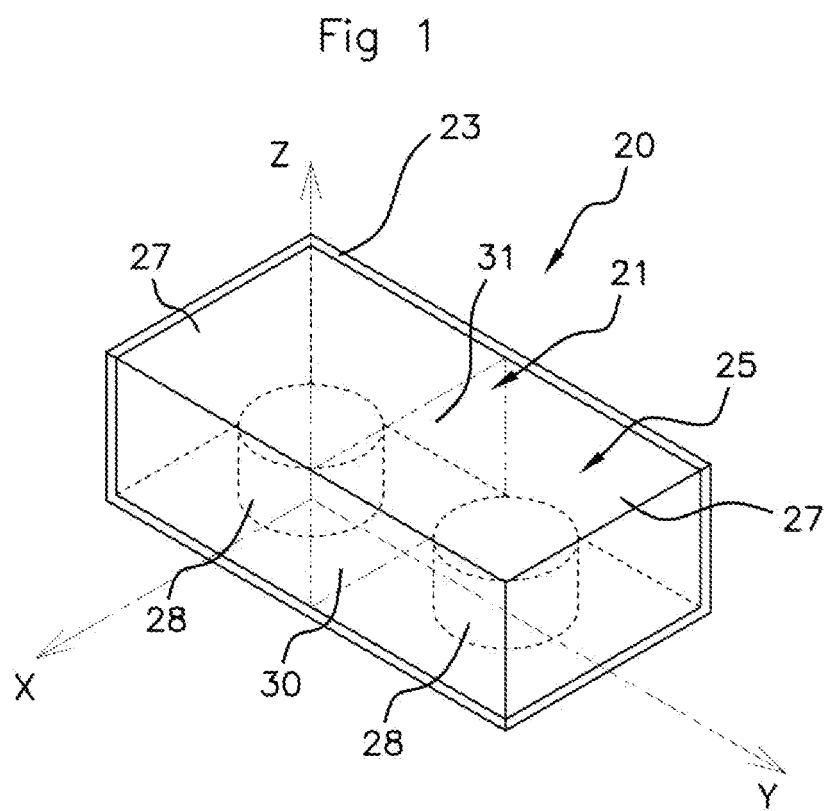
- une cavité (21) résonnante délimitée par une interface, dite interface (24) solide, et

- au moins un dispositif (22) d'injection d'une onde électromagnétique à l'intérieur de la cavité (21) résonnante adapté pour pouvoir établir une onde électromagnétique stationnaire dans la cavité (21) résonnante, caractérisé en ce que la cavité (21) résonnante est définie à partir d'une répétition par juxtaposition d'au moins un même motif (27) géométrique, la forme de ce motif (27) étant identique à la forme d'une cavité (33) d'une cellule, dite cellule (32) initiale, cette cavité (33) de ladite cellule (32) initiale étant délimitée par des parois (34), la nature de chaque paroi (34) de la cellule (32) initiale et la forme de la cellule (32)

initiale étant adaptées pour contenir une onde électromagnétique stationnaire et pour que la moyenne temporelle de la résultante des forces de Lorentz s'exerçant sur lesdites parois (34) de la cellule (32) initiale soit non nulle et orientée selon un axe, dit axe (z) de propulsion, et un sens, dit sens de propulsion, selon l'axe de propulsion, et en ce que les motifs (27) juxtaposés présentent chacun au moins un bord, dit profil (30) de communication, commun avec un profil (30) de communication d'au moins un autre motif (27) desdits motifs (27) juxtaposés, ledit profil (30) de communication comprenant un passage (31) diélectrique de sorte qu'une onde électromagnétique stationnaire puisse être établie dans l'ensemble de ces motifs (27) juxtaposés à partir d'au moins un dispositif (22) d'injection.

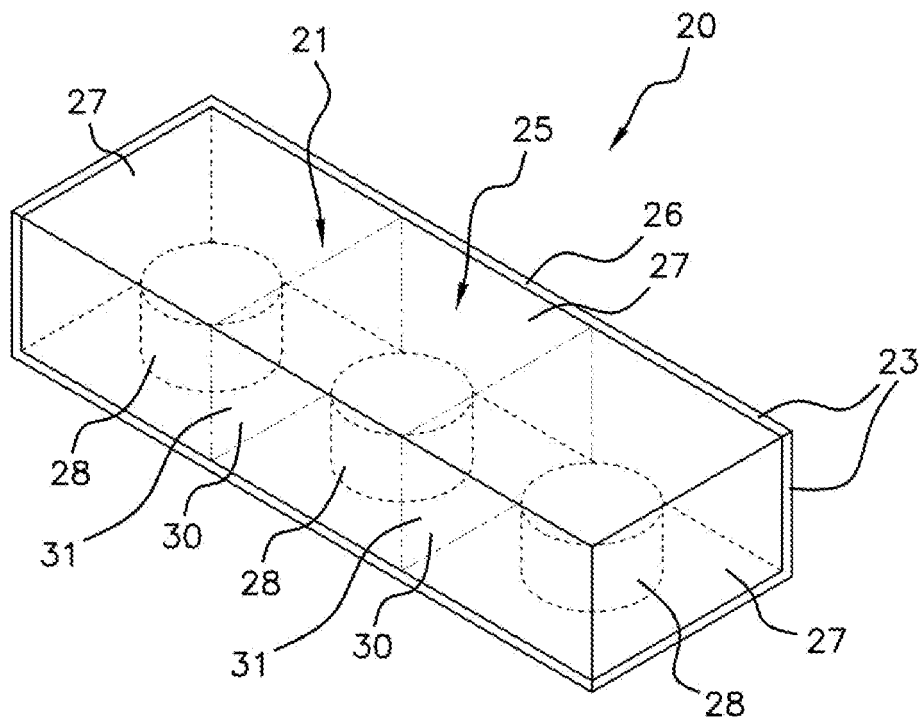
- [Revendication 5] Propulseur selon la revendication 4 caractérisé en ce que ladite interface (24) solide délimitant la cavité (21) résonnante du propulseur (20) électromagnétique est formée de parois (23) électriquement conductrices.
- [Revendication 6] Propulseur selon l'une quelconque des revendications 4 ou 5 caractérisé en ce qu'au moins un motif (27) est séparé d'un motif (27) juxtaposé à ce motif (27) par une paroi (29) entre ces deux motifs (27) et en ce que ledit passage (31) diélectrique dudit profil (30) de communication de ces deux motifs (27) est formé dans ladite paroi (29) entre ces deux motifs (27).
- [Revendication 7] Propulseur selon l'une des revendications 4 à 6 caractérisé en ce que la cavité (21) résonnante est formée à partir d'une répétition par juxtaposition d'un même motif (27) dans au moins une et au plus deux directions, dites directions de juxtaposition, non parallèles audit axe de propulsion.
- [Revendication 8] Propulseur selon l'une des revendications 4 à 7 caractérisé en ce que chaque motif (27) présente une section transversale selon un plan contenant chaque direction de juxtaposition présentant une forme choisie parmi une forme de quadrilatère, une forme triangulaire et une forme hexagonale.
- [Revendication 9] Propulseur selon l'une des revendications 4 à 8 caractérisé en ce que ladite cellule (32) initiale présente dans sa cavité (21) un redan (28) cylindrique de révolution autour dudit axe de propulsion de la cellule (32) initiale.

[Fig. 1]

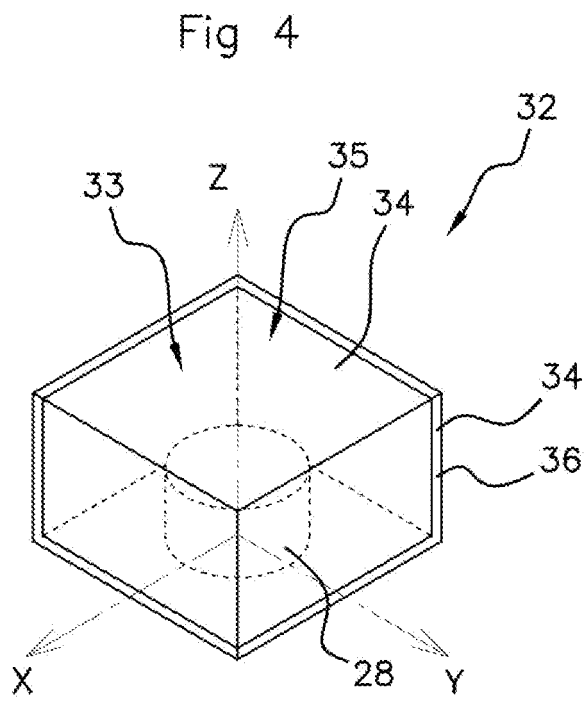


[Fig. 3]

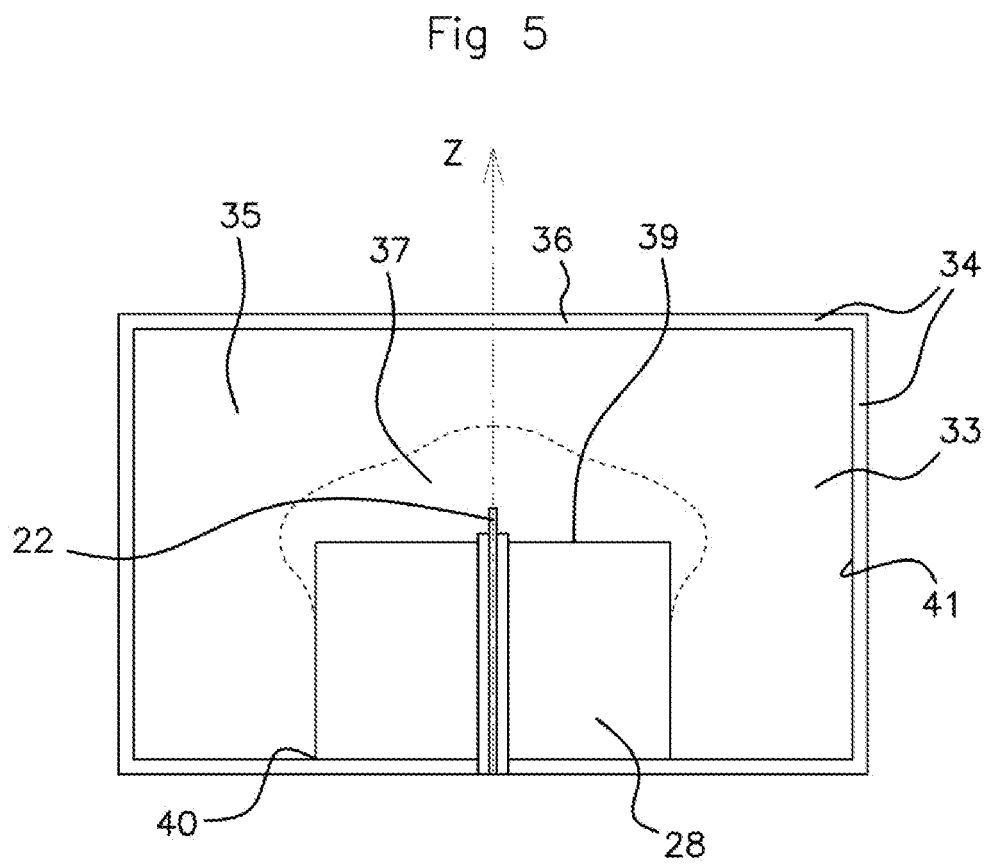
Fig 3



[Fig. 4]

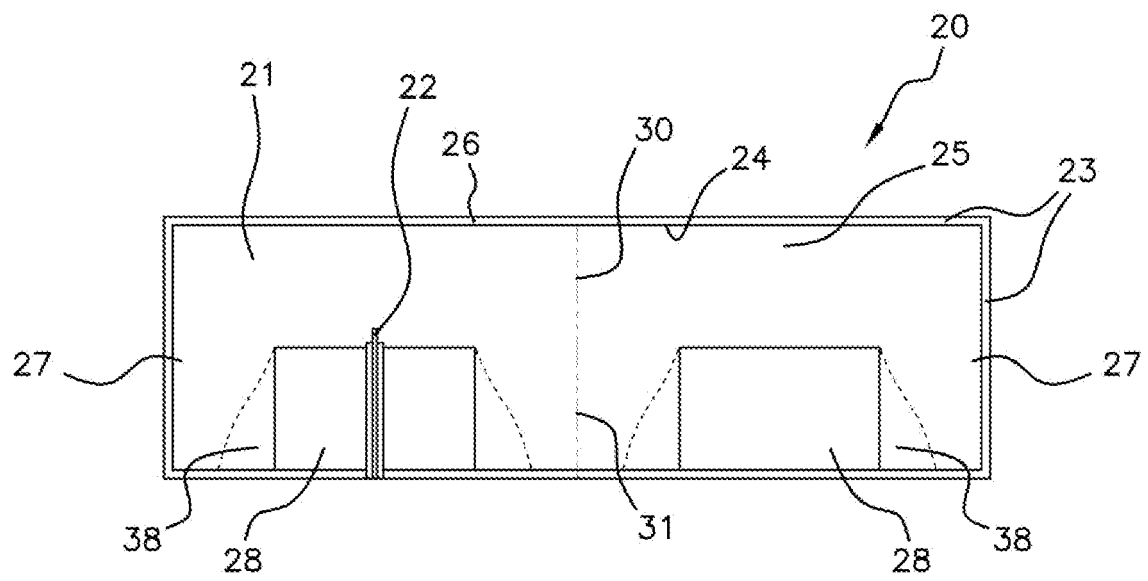


[Fig. 5]

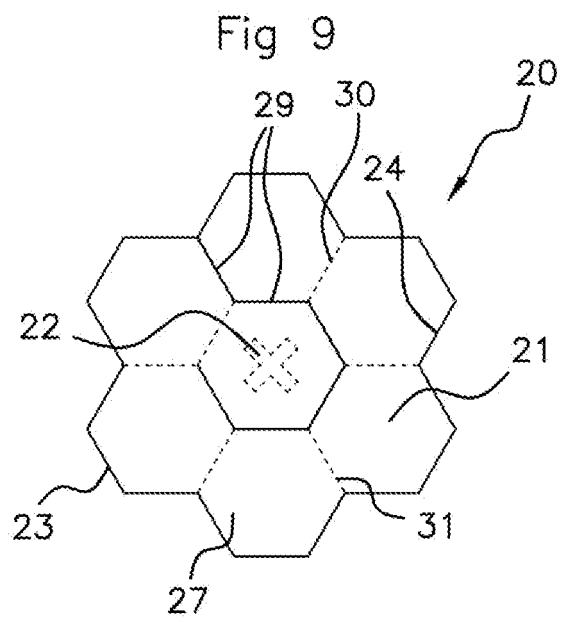


[Fig. 8]

Fig 8

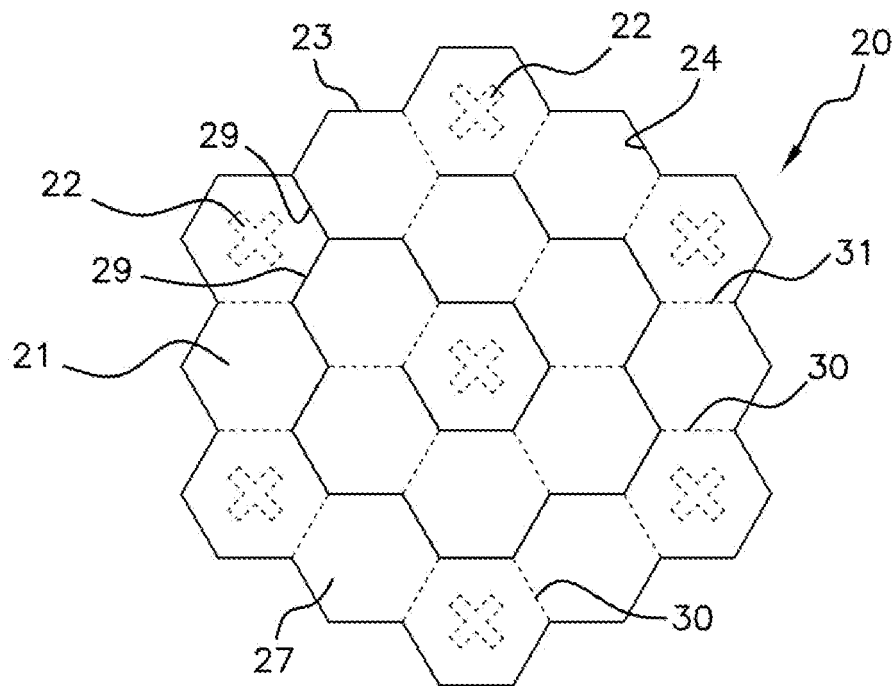


[Fig. 9]



[Fig. 12]

Fig 12



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☐ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☒ Le demandeur a maintenu les revendications.

☐ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

NEANT

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

WO 2016/162676 A1 (SATELLITE PROPULSION
RES LTD [GB]; SHAWYER ROGER JOHN [GB] ET
AL.) 13 octobre 2016 (2016-10-13)

US 5 220 300 A (SNYDER RICHARD V [US])
15 juin 1993 (1993-06-15)

HAROLD WHITE ET AL: "Measurement of
Impulsive Thrust from a Closed
Radio-Frequency Cavity in Vacuum",
JOURNAL OF PROPULSION AND POWER.,
vol. 33, no. 4,
17 novembre 2016 (2016-11-17), pages
830-841, XP055648074,
US
ISSN: 0748-4658, DOI: 10.2514/1.B36120

"Conservation of momentum",
INTERNET CITATION,
1 janvier 2007 (2007-01-01), XP002447082,
Extrait de l'Internet:
URL: <http://www.britannica.com/eb/article-9053290>
[extrait le 2007-01-01]

"Mechanics (Page: Conservation of
momentum)",
INTERNET CITATION,
1 janvier 2007 (2007-01-01), XP002447083,
Extrait de l'Internet:
URL: <http://www.britannica.com/eb/article-77548>
[extrait le 2007-01-01]

C.-W. WU: "Comments on theoretical
foundation of "EM Drive"",
ACTA ASTRONAUTICA,
vol. 144, 4 janvier 2018 (2018-01-04),
pages 214-215, XP055648114,
GB
ISSN: 0094-5765, DOI:
10.1016/j.actaastro.2018.01.006

MARTIN TAJMAR ET AL: "Direct Thrust Measurements of an EMDrive and Evaluation of Possible Side-Effects",
51ST AIAA/SAE/ASEE JOINT PROPULSION CONFERENCE,
27 juillet 2015 (2015-07-27), XP055299731,
Reston, Virginia
DOI: 10.2514/6.2015-4083
ISBN: 978-1-62410-321-6

Martin Tajmar ET AL: "The SpaceDrive Project - First Results on EMDrive and Mach-Effect Thrusters",
Space Propulsion Conference, Seville, Spain, 14-18 May 2018,
16 mai 2018 (2018-05-16), XP055648071,
Extrait de l'Internet:
URL: https://www.researchgate.net/profile/Martin_Tajmar/publication/325177082_The_SpaceDrive_Project_-_First_Results_on_EMDrive_and_Mach-Effect_Thrusters/links/5afc3b400f7e9b3b0bf38a8e/The-SpaceDrive-Project-First-Results-on-EMDrive-and-Mach-Effect-Thrusters.pdf
[extrait le 2019-12-02]

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT