(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

**INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** ***3 110 552***

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

(21) **N° d'enregistrement national :** **20 05135**

(51) Int Cl[8] : ***B 64 G 1/24*** *(2019.12), B 64 G 1/22, 1/36*

# (12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 20.05.20.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 26.11.21 Bulletin 21/47.

(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) :** *THALES Société anonyme* — FR et *CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES Etablissement public* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** GIOVANNINI Anne, VEZAIN Stéphane, GARUS Alexandre, PEREZ GONZALEZ Jose-Alvaro et RAFFIER Bertrand.

(73) **Titulaire(s) :** THALES Société anonyme, CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES Etablissement public.

(74) **Mandataire(s) :** Marks & Clerk France.

## (54) Véhicule en orbite avec membrane enroulable et déployable pour le contrôle d'attitude et d'orbite.

(57) L'invention concerne un véhicule (100) en orbite ayant une position instantanée et une attitude instantanée, ledit véhicule (100) étant destiné à prendre une position de consigne et une attitude de consigne sur son orbite, comprenant:

une caisse (101) ; N rouleaux de stockage (R1, R2) reliés à la caisse (101), N étant un entier supérieur ou égal à 1, chacun des N rouleaux de stockage (R1, R2) supportant une membrane (M1, M2), ladite membrane étant apte à passer d'une configuration enroulée autour d'un premier axe principal (X1, X2) à une configuration déployée selon un premier axe secondaire (Y1, Y2) sensiblement perpendiculaire au premier axe principal (X1, X2), et vice versa ; un ensemble de capteurs (103) de la position instantanée et l'attitude instantanée du véhicule (100); un dispositif d'actionnement (104) d'au moins un parmi les N rouleaux de stockage (R1, R2) entre la configuration enroulée et la configuration déployée de la membrane (M1, M2) pour placer le véhicule (100) à une nouvelle position instantanée et une nouvelle attitude instantanée; un asservissement (105) du dispositif d'actionnement (104) selon la nouvelle position instantanée et la nouvelle attitude instantanée par rapport à la position de consigne et l'attitude de consigne.

Figure pour l'abrégé : Fig. 4

FR 3 110 552 - A1

# Description

## Titre de l'invention : Véhicule en orbite avec membrane enroulable et déployable pour le contrôle d'attitude et d'orbite

[0001] La présente invention se rapporte à un dispositif de contrôle d'attitude et d'orbite des satellites. L'invention s'applique notamment, et de façon non-limitative, aux satellites en orbite basse autour de la Terre ou de toute planète avec atmosphère en utilisant la pression aérodynamique, et plus particulièrement :

a. à la mise à poste de satellites géostationnaires (télécommunications). L'invention est alors utilisée avantageusement lors des passages à altitude basse, lors des premières orbites ;

b. à la désorbitation de satellites en orbite basse (en application de la loi relative aux opérations spatiales, pour tous types de plateformes, notamment les nano-satellites). L'invention est utilisée avantageusement lors des passages à altitude basse, lors de la rentrée.

[0002] L'invention est décrite avec l'exemple d'un satellite en orbite basse, mais elle s'applique également à tous types de véhicules en orbites géostationnaires ou en orbites interplanétaires en utilisant la pression de radiation solaire.

[0003] Pour permettre l'utilisation des divers instruments pour la mission d'un satellite, tels que des systèmes de télécommunications, il convient de pouvoir contrôler la position et l'orientation du satellite en orbite. En plus de l'attraction gravitationnelle de la terre, un satellite subit plusieurs forces de plus faibles ampleurs, ainsi que la pression aéro-dynamique qui perturbent progressivement sa position et son orientation. L'attraction gravitationnelle du soleil et de la lune, la déformation de la terre au niveau de l'équateur, ou encore la pression radiative solaire génèrent des dérives qu'il convient de corriger. En particulier, à basse altitude, la pression aérodynamique présente un impact prépondérant sur l'attitude du satellite. Des systèmes de contrôle sont mis en œuvre pour maintenir d'une part l'orientation du satellite par rapport à la terre, c'est le contrôle d'attitude, et d'autre part sa position en orbite par rapport à une position idéale souhaitée, c'est le contrôle d'orbite.

[0004] Un satellite est mis en orbite par la combinaison d'un véhicule spatial lanceur et de ses propres systèmes de propulsion. Le lanceur transporte et libère le satellite sur une première orbite terrestre dite de transfert, dont le périgée est généralement bas ; une fois sur cette première orbite, un système de propulsion du satellite prend le relais pour transporter le satellite jusqu'à son orbite finale. Généralement, ce transfert est réalisé au moyen d'un propulseur satellite principal PSP consommant un carburant chimique de type ergol ou propergol, délivrant une poussée de forte puissance permettant

d'atteindre rapidement l'orbite finale. Ce transfert peut également être réalisé au moyen de propulseurs électriques, délivrant de faibles poussées, l'orbite finale étant atteinte au bout de plusieurs mois.

[0005] On peut noter l'aspect critique des premières orbites après la séparation du lanceur. Souvent le périgée est très bas et cela cause une plus grande interaction avec l'atmosphère. Dans cette situation, le besoin en couple pour maintenir l'attitude du satellite est élevé et nécessite l'utilisation d'actionneurs (roues, propulseurs, ...).

[0006] Une fois mis en station, plusieurs propulseurs secondaires de plus faibles puissances assurent le maintien en position du satellite sur l'orbite. Pour cela, des propulseurs chimiques à ergol ou des propulseurs électriques peuvent être utilisés. Dans un propulseur électrique, de type propulseur à plasma, ou propulseur à ions, des atomes de xénon sont ionisés par collision avec des électrons, créant des ions xénons. La poussée est générée lorsque les ions xénons chargés sont accélérés hors du propulseur par un champ électromagnétique. Bien que coûteux et de masse initiale importante, l'efficacité du propulseur électrique, ou sa capacité à générer de la force par éjection de masse, aussi appelée impulsion spécifique, est sensiblement plus importante que celle des propulseurs chimiques.

[0007] Dans les systèmes connus, des propulseurs chimiques et des propulseurs électriques sont positionnés en plusieurs emplacements sur la structure du satellite pour répondre à l'ensemble des besoins de la mission, du transport de l'orbite de transfert au maintien en orbite tout au long de la vie du satellite. Les systèmes de propulsion ainsi mis en œuvre ont pour inconvénient un coût élevé et une masse élevée, des différents propulseurs et du carburant. Ces inconvénients limitent la capacité d'embarquement de charge utile du satellite.

[0008] Selon l'état connu de la technique, un système de contrôle d'orbite cherche à piloter la position du satellite au travers de six paramètres orbitaux. La [fig.1] représente un satellite 10 en orbite 11 autour de la Terre 12. L'orbite 11 est inclinée d'un angle $\theta$ par rapport au plan équatorial 13 qui contient l'orbite objective idéale 14. L'orbite 11 du satellite coupe le plan équatorial 13 en deux points 15 et 16, couramment appelés nœuds orbitaux. Le contrôle d'orbite consiste à quantifier ces paramètres orbitaux et à réaliser les opérations nécessaires au moyen des systèmes de propulsion embarqués, pour maintenir le satellite dans une zone prédéfinie dans une position de consigne.

[0009] Une architecture courante d'un satellite 10, telle que représentée sur la [fig.2], comprend une structure parallélépipédique 20 sur laquelle sont fixés divers dispositifs utiles au pilotage du satellite 10 et à sa mission. Des instruments de télécommunications ou d'observation 21 sont installés sur une face 22 dont l'orientation est maintenue en direction de la planète. Sur deux faces latérales opposées 24 et 25 en raison de leur orientation par rapport au plan équatorial, sont positionnés deux jeux de

panneaux solaires 26 et 27 permettant l'alimentation en énergie électrique des systèmes embarqués. Divers dispositifs peuvent être embarqués sur les faces latérales 28 et 29. Le maintien d'une orientation constante du satellite par rapport à la planète est nécessaire au bon déroulement de la mission du satellite, par exemple pour l'orientation des panneaux solaires 26 et 27 ou le pointage des systèmes de télécommunications ou d'observation 21 vers la planète. Cela est réalisé au moyen d'un système de contrôle d'attitude. On connaît plusieurs systèmes de contrôle d'attitude aptes à détecter et corriger les erreurs d'orientation. Ainsi, la mesure de l'orientation du satellite peut être réalisée au moyen d'un ensemble de capteurs. A partir de ces mesures, des corrections d'orientation du satellite autour de son centre de gravité peuvent être réalisées, par exemple au moyen d'un ensemble de roues à inertie 31, d'actionneurs gyroscopiques, de magnéto-coupleurs, de propulseurs.

[0010] Un satellite équipé d'un tel système permettant le contrôle d'attitude est dit stabilisé sur trois axes. Typiquement, en contrôlant la vitesse de rotation et l'orientation des roues à inertie, on sait corriger une erreur d'orientation dans un trièdre de référence lié au satellite. Dans la suite, on appelle Z un axe dirigé vers la planète, aussi appelé axe de lacet, Y un axe perpendiculaire à l'orbite et orienté dans le sens opposé au moment cinétique de l'orbite, aussi appelé axe de tangage, et X un axe formant avec Y et Z un repère orthogonal direct, aussi appelé axe de roulis qui se trouve orienté selon la vitesse dans le cas des orbites circulaires.

[0011] Pour le contrôle d'orbite, un certain nombre de propulseurs autour de la caisse du satellite sont présents pour effectuer les diverses manœuvres d'orbite.

[0012] Ainsi, au cours de son orbite, l'attitude, ou orientation en rotation, du satellite doit être modifiée et contrôlée en permanence pour que son pointage reste dans la direction désirée, selon les besoins de la mission. De plus, l'attitude des satellites est perturbée par des effets environnementaux, tels que la pression solaire en haute altitude, des forces aérodynamiques en basse altitude, les effets électromagnétiques avec le champ magnétique terrestre, l'effet de gradient de gravité tendant à modifier leur orientation. Ces perturbations d'attitude doivent être également contrôlées.

[0013] Des capteurs et actionneurs, par exemple des roues à inertie, magnétocoupleurs, tuyères, et des algorithmes d'automatique sont utilisés pour effectuer ce contrôle.

[0014] Dans le cas particulier d'un passage à une altitude relativement faible (désorbitation ou passage au périgée en LEOP, acronyme du terme anglo-saxon Launch and Early Orbit phase, signifiant phase de lancement et de mise sur orbite), les couples aérodynamiques deviennent les couples majoritaires exercés sur le satellite. Ces couples dépendent directement de la forme du satellite qui n'est pas optimisée pour cette phase particulière car elle ne fait pas partie de la mission du satellite. Ainsi, la forme nominale du satellite pour sa mission peut être naturellement instable et/ou non adaptée

au passage à basse altitude, rendant le satellite aérodynamiquement instable ou créant des couples trop importants ne pouvant pas être compensés avec les roues à inertie habituellement disponibles à bord.

[0015] L'utilisation de surfaces additionnelles pour faciliter le contrôle d'attitude d'un satellite est connue depuis plusieurs décennies. Toutefois, les surfaces additionnelles de l'art antérieur sont souvent fixes et sont utilisées pour une stabilisation passive, ou exclusivement pour une désorbitation.

[0016] Une autre solution de l'art antérieur propose des surfaces orientables, mais ces dernières sont d'aire fixe et ne présente donc aucune adaptation dans leur déploiement.

[0017] Enfin, il existe des solutions dans lesquelles les surfaces déployées sont repliables complètement. Il s'agit d'une solution dite « tout ou rien » : la surface est soit entièrement déployée, soit entièrement repliée. Une telle solution n'offre pas d'adaptation dans son déploiement.

[0018] L'invention vise à pallier tout ou partie des problèmes cités plus haut en proposant un dispositif de contrôle d'attitude et d'orbite pour un véhicule en orbite comprenant au moins une membrane apte à évoluer entre une position enroulée et une position déployée, permettant de créer à volonté sur le véhicule un couple et une force continûment paramétrables dans un large domaine, tout en étant réversible et d'encombrement très faible. Le déploiement et enroulement, total ou partiel, de la ou les membranes permet le contrôle d'attitude et d'orbite du véhicule tout en garantissant sa stabilité dans la position adoptée. L'invention permet en outre de faciliter les premiers passages au périgée après la séparation du lanceur.

[0019] A cet effet, l'invention a pour objet un véhicule en orbite ayant une position instantanée et une attitude instantanée, ledit véhicule étant destiné à prendre une position de consigne et une attitude de consigne sur son orbite, comprenant :

a. une caisse ;
b. N rouleaux de stockage reliés à la caisse, N étant un entier supérieur ou égal à 1, chacun des N rouleaux de stockage supportant une membrane, ladite membrane étant apte à passer d'une configuration enroulée autour d'un premier axe principal à une configuration déployée selon un premier axe secondaire sensiblement perpendiculaire au premier axe principal, et vice versa ;
c. un ensemble de capteurs de la position instantanée et l'attitude instantanée du véhicule;
d. un dispositif d'actionnement d'au moins un parmi les N rouleaux de stockage entre la configuration enroulée et la configuration déployée de la membrane pour placer le véhicule à une nouvelle position instantanée et une nouvelle attitude instantanée;
e. un asservissement du dispositif d'actionnement selon la nouvelle position ins-

tantanée et la nouvelle attitude instantanée par rapport à la position de consigne et l'attitude de consigne.

[0020] Dans un mode de réalisation, le premier axe principal est sensiblement parallèle à une arête de la caisse, préférentiellement sensiblement confondu avec une arête de la caisse.

[0021] Dans un autre mode de réalisation, le véhicule peut comprendre un mât ayant une première extrémité appelée base et une deuxième extrémité, opposée à la base, la base étant reliée à la caisse, le mât supportant au moins un des N rouleaux de stockage.

[0022] Dans un autre mode de réalisation, au moins un des N rouleaux de stockage est mobile en rotation par rapport à la caisse selon le premier axe principal qui lui est associé.

[0023] Dans un autre mode de réalisation, au moins un des N rouleaux de stockage est mobile en rotation par rapport à la caisse selon le premier axe secondaire qui lui est associé.

[0024] Dans un autre mode de réalisation, la membrane d'au moins un des N rouleaux de stockage peut être recouverte au moins partiellement sur une face d'un revêtement optimisé pour l'utilisation de la pression de radiation solaire.

[0025] Dans un autre mode de réalisation, la membrane d'au moins un des N rouleaux de stockage peut être recouverte au moins partiellement sur une face d'un revêtement adapté à l'utilisation de la traînée aérodynamique.

[0026] Dans un autre mode de réalisation, au moins un des N rouleaux de stockage comprend en outre au moins deux mètre-rubans, chacun étant apte à passer d'une configuration enroulée autour du premier axe principal à une configuration déployée selon le premier axe secondaire, et vice versa, la membrane s'étendant entre les au moins deux mètre-rubans.

[0027] Dans un autre mode de réalisation, la membrane d'au moins un des N rouleaux de stockage comprend une extrémité finale rigidement attachée à un ancrage fixe par rapport au rouleau de stockage qui lui est associé.

[0028] Dans un mode particulier de réalisation de l'invention, le véhicule est un satellite.

[0029] L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront à la lecture de la description détaillée d'un mode de réalisation donné à titre d'exemple, description illustrée par le dessin joint dans lequel :

[0030] [fig.1] La [fig.1] représente schématiquement un satellite en orbite autour de la Terre;

[0031] [fig.2] La [fig.2] représente schématiquement une architecture courante d'un satellite comprenant une structure sur laquelle sont fixés divers dispositifs utiles au pilotage du satellite et à sa mission;

[0032] [fig.3] La [fig.3] représente schématiquement un satellite en orbite avec membrane enroulable et déployable pour le contrôle d'attitude et d'orbite, en configuration

enroulée selon l'invention;

[0033] [fig.4] La [fig.4] représente schématiquement un satellite en orbite avec membrane enroulable et déployable pour le contrôle d'attitude et d'orbite, en configuration déployée selon l'invention;

[0034] [fig.5] La [fig.5] représente schématiquement une membrane enroulable et déployable avec une extrémité libre selon l'invention;

[0035] [fig.6] La [fig.6] représente schématiquement une membrane enroulable et déployable avec une extrémité fixe selon l'invention;

[0036] [fig.7] La [fig.7] représente schématiquement une variante comprenant un mât de support des membranes selon l'invention.

[0037] Par souci de clarté, les mêmes éléments porteront les mêmes repères dans les différentes figures. Dans cette demande, l'invention est présentée avec l'exemple non limitatif d'un satellite. En effet, l'invention ne s'applique pas uniquement à un satellite, mais elle peut s'appliquer à tout véhicule en orbite géostationnaire ou en orbite interplanétaire.

[0038] La [fig.1] représente schématiquement un satellite en orbite autour de la Terre ou en orbite autour de toute autre planète. Elle a déjà été décrite dans l'introduction.

[0039] La [fig.2] représente schématiquement une architecture courante d'un satellite comprenant une structure sur laquelle sont fixés divers dispositifs utiles au pilotage du satellite et à sa mission. Elle a déjà été décrite dans l'introduction.

[0040] L'invention concerne le contrôle d'attitude et d'orbite des satellites en orbite. L'attitude des satellites est perturbée par des effets environnementaux, par exemple la pression solaire en haute altitude et les forces aérodynamiques en basse altitude si la planète est entourée d'une atmosphère, tendant à modifier leur orientation. Ces perturbations d'orientation doivent être contrôlées. L'invention porte sur ce contrôle par utilisation de surface(s) additionnelle(s) déployées autour du satellite pour créer volontairement un couple, par mise à profit des effets environnementaux sur ces surfaces. En d'autres termes, l'invention utilise les effets environnementaux subis par le satellite et qui ont pour conséquence de l'éloigner de sa position et attitude de consigne, pour le maintenir et/ou faire revenir dans sa position et attitude de consigne. Le principe de l'invention repose sur l'évolution continue des surface(s) additionnelle(s) déployées autour du satellite qui peuvent se déployer, s'enrouler, se redéployer, s'orienter à volonté et de façon continue et réversible, en fonction de la position et l'attitude du satellite, et des contraintes extérieures qu'il subit.

[0041] La [fig.3] représente schématiquement un satellite 100 en orbite avec membrane enroulable et déployable pour le contrôle d'attitude et d'orbite, en configuration enroulée selon l'invention. Le véhicule 100 en orbite a une position instantanée et une attitude instantanée. Le véhicule 100 est destiné à prendre une position de consigne et une

attitude de consigne sur son orbite. Selon l'invention, le véhicule 100 comprend :

a. une caisse 101 ;

b. N rouleaux de stockage $R_1$, $R_2$, …, $R_N$ reliés à la caisse 101, N étant un entier supérieur ou égal à 1, chacun des N rouleaux de stockage $R_1$, $R_2$, …, $R_N$ supportant une membrane $M_1$, $M_2$, …, $M_N$, ladite membrane étant apte à passer d'une configuration enroulée autour d'un premier axe principal $X_1$, $X_2$, …, $X_N$ à une configuration déployée selon un premier axe secondaire $Y_1$, $Y_2$, …, $Y_N$ sensiblement perpendiculaire au premier axe principal $X_1$, $X_2$, …, $X_N$, et vice versa ;

c. un ensemble de capteurs 103 de la position instantanée et de l'attitude instantanée du véhicule 100;

d. un dispositif d'actionnement 104 d'au moins un parmi les N rouleaux de stockage $R_1$, $R_2$, …, $R_N$ entre la configuration enroulée et la configuration déployée de la membrane $M_1$, $M_2$, …, $M_N$ pour placer le véhicule 100 à une nouvelle position instantanée et une nouvelle attitude instantanée;

e. un asservissement 105 du dispositif d'actionnement 104 selon la nouvelle position instantanée et la nouvelle attitude instantanée par rapport à la position de consigne et l'attitude de consigne.

[0042] La caisse 101 est à comprendre comme n'importe quel support dans le véhicule.

[0043] Dans ce qui précède, la nouvelle position instantanée est la nouvelle position prise par le véhicule 100 et la nouvelle attitude instantanée est la nouvelle attitude, c'est-à-dire orientation dans l'espace, prise par le véhicule 100 grâce à l'actionnement des N rouleaux de stockage, c'est-à-dire suite à la combinaison de déploiements et/ou enroulements de 1 à N membranes. En outre, pour chaque position et attitude instantanée, une à N membranes peut être également déployée/enroulée de sorte à assurer au véhicule 100 la stabilité requise.

[0044] Il est à noter que l'invention se met en œuvre sur un satellite comprenant des actuateurs traditionnels (propulseurs, roues à réactions…) permettant un contrôle d'attitude standard. La mise en œuvre de l'invention permet de sous-dimensionner ces actuateurs, voire d'en supprimer certains.

[0045] En outre, le satellite 100 comprend de manière traditionnelle des générateurs solaires 40 permettant l'alimentation en énergie électrique des systèmes embarqués (notamment, entre autres, les capteurs 103, le dispositif d'actionnement 104 des rouleaux et l'asservissement 105). Il peut aussi comprendre des éléments 30, par exemple de télécommunication ou tout autre appendice.

[0046] Sur la [fig.3], le véhicule 100 comprend deux rouleaux de stockage R1, R2. Ces deux rouleaux supportent deux membranes M1, M2, chacune étant associée à son rouleau de stockage. Chacune de ces deux membranes est représentée en configuration enroulée

autour de son premier axe principal (X1, X2) et peut se dérouler selon le premier axe secondaire (Y1 pour la membrane M1 et Y2 pour la membrane M2) sensiblement perpendiculaire au premier axe principal (X1, X2), et vice versa. Cela signifie que chaque membrane peut passer de la configuration enroulée à la configuration déployée et ensuite de la configuration déployée à la configuration enroulée. Chaque membrane peut s'enrouler et se déployer entièrement, c'est-à-dire que toute la surface de la membrane peut être soit complètement enroulée, soit complètement déployée. Mais aussi chaque membrane peut se déployer et s'enrouler partiellement, c'est-à-dire que seule une portion de la membrane est déployée et l'autre portion est enroulée, indépendamment de l'état d'enroulement/déploiement d'une autre membrane. Le passage d'une configuration (enroulée, déployée ou intermédiaire) à une configuration suivante quelle qu'elle soit peut se faire par à-coups, pas-à-pas, ou bien continûment selon un mouvement quasiment non-interrompu. L'invention s'applique de manière similaire avec un seul rouleau de stockage et donc une seule membrane, ou bien deux, trois, ou préférentiellement quatre, voire plus.

[0047] Grâce aux mécanismes de déploiement et enroulement de la ou des membranes, l'aire des différentes surfaces de membrane(s) déployée(s) est modifiable indépendamment les unes des autres, permettant de créer des couples d'amplitude et de direction différentes si besoin, en utilisant les effets environnementaux de traînée aérodynamique et/ou de pression de radiation solaire. L'évolution du couple ainsi créé est continue et paramétrable dans un large domaine.

[0048] L'ensemble de capteurs 103, le dispositif d'actionnement 104 des rouleaux de stockage et l'asservissement 105 du dispositif d'actionnement 104 sont représentés schématiquement mais ne sont pas détaillés davantage puisqu'il s'agit de capteurs, de dispositif d'actionnement et d'asservissement traditionnels connus de l'Homme du métier.

[0049] La [fig.4] représente schématiquement un satellite en orbite avec membrane enroulable et déployable pour le contrôle d'attitude et d'orbite, en configuration déployée selon l'invention. Plus précisément, la membrane M1 est entièrement déployée le long de son axe secondaire Y1, et la membrane M2 est semi-déployée le long de son axe secondaire Y2. La longueur de déploiement de chacune des membranes est déterminée par l'asservissement 105, à partir de la position et attitude instantanées, elles-mêmes impactées par les effets environnementaux, par rapport à la position et attitude de consigne que le satellite 100 doit tenir.

[0050] Dans un mode de réalisation, le premier axe principal $X_1$, $X_2$ (mais aussi $X_3$, …, $X_N$ en cas de N rouleaux) est sensiblement parallèle à une arête de la caisse 101, préférentiellement sensiblement confondu avec une arête de la caisse 101. Ce mode de réalisation présente un avantage en termes d'encombrement et de stabilité en confi-

guration déployée.

[0051] Dans un autre mode de réalisation (non représenté), le premier axe principal $X_1$, $X_2$ (mais aussi $X_3$, …, $X_N$ en cas de N rouleaux) peut être sécant à une arête de la caisse 101.

[0052] Comme on peut le voir sur la [fig.4], au moins un des N rouleaux de stockage R1, R2, …, RN peut être mobile en rotation par rapport à la caisse 101 selon le premier axe principal X1, X2, …, XN qui lui est associé. Autrement dit, dans le cas de deux rouleaux de stockage R1 et R2 comme dans notre exemple non limitatif, le rouleau de stockage R1 est mobile en rotation autour de son axe principal X1 et le rouleau de stockage R2 est mobile en rotation autour de son axe principal X2 par rapport à la caisse 101. Cela permet une orientation de la membrane M1 déployée (ou partiellement déployée) autour de l'axe X1, et de la membrane M2 déployée (ou partiellement déployée) autour de l'axe X2.

[0053] En outre, dans un autre mode de réalisation, au moins un des N rouleaux de stockage $R_1$, $R_2$, …, $R_N$ peut être mobile en rotation par rapport à la caisse selon le premier axe secondaire $Y_1$, $Y_2$, …, $Y_N$ qui lui est associé. Autrement dit, dans le cas de deux rouleaux de stockage $R_1$ et $R_2$ comme dans notre exemple non limitatif, le rouleau de stockage $R_1$ est mobile en rotation autour de son axe secondaire $Y_1$ et le rouleau de stockage $R_2$ est mobile en rotation autour de son axe secondaire $Y_2$ par rapport à la caisse 101. Cela permet une orientation de la membrane $M_1$ déployée (ou partiellement déployée) autour de l'axe $Y_1$, et de la membrane $M_2$ déployée (ou partiellement déployée) autour de l'axe $Y_2$. Il peut s'agir de l'unique rotation possible du rouleau de stockage, mais avantageusement, cette rotation est à coupler avec la rotation autour de l'axe principal mentionnée ci-dessus. Ainsi, cela permet une orientation de la membrane $M_1$ déployée (ou partiellement déployée) autour de l'axe $X_1$ et de l'axe $Y_1$, et de la membrane $M_2$ déployée (ou partiellement déployée) autour de l'axe $X_2$ et de l'axe $Y_2$. Grâce à ces degrés de liberté, chacune des membranes déployées ou partiellement déployées pourra être orientée suivant deux axes de rotation au moyen de mécanismes situés à la base du rouleau de stockage associé. Il en résulte que la direction du couple créé est paramétrable dans un large domaine.

[0054] Les axes principaux $X_1$, $X_2$, …, $X_N$ ne sont pas nécessairement parallèles entre eux. Ils peuvent être, selon les configurations considérées, parallèles, perpendiculaires ou sécants entre eux. Il en est de même pour les axes secondaires $Y_1$, $Y_2$, …, $Y_N$. Ils peuvent être, selon les configurations considérées, parallèles, perpendiculaires ou sécants entre eux.

[0055] La ou les membranes déployées permettent la création d'un couple avantageusement utilisé dans la boucle de contrôle de l'attitude du satellite. Ce couple peut par exemple être calibré pour diminuer les couples perturbateurs totaux (et donc diminuer la

capacité des actuateurs nécessaires, voire en supprimer). Ce couple peut être utilisé pour désaturer des roues à réaction et/ou réorienter le satellite sans activation des autres actuateurs conventionnels; et/ou stabiliser l'attitude du satellite. Ce couple peut être utilisé pour tourner le satellite dans une direction désirée sans nécessiter l'actionnement des autres actuateurs (roues à réaction, tuyères d'attitude...).

[0056] L'invention permet de créer à volonté sur les satellites un couple continûment paramétrable dans un large domaine, notamment autour des trois axes du satellite X, Y et Z. Ce couple créé peut être utilisé avantageusement dans la boucle de contrôle de l'attitude du satellite. A titre d'exemple, il peut être calibré pour diminuer les couples perturbateurs totaux et donc diminuer la capacité des actuateurs nécessaires, voire en supprimer. Ce couple peut être utilisé pour désaturer des roues à réaction, et donc diminuer la capacité des actuateurs nécessaires à la désaturation, voire en supprimer. Ce couple peut être utilisé pour tourner le satellite dans une direction désirée sans nécessiter l'actionnement d'autres actuateurs (roues à réaction, tuyères d'attitude...).

[0057] L'invention permet également de créer sur le satellite une force continûment paramétrable qui s'oppose au sens de la vitesse aérodynamique et qui pourrait entraîner aussi une certaine portance dans la direction perpendiculaire de la vitesse aérodynamique. Cette force créée peut être utilisée en support des manœuvres de contrôle orbital, voire les remplacer.

[0058] L'invention permet enfin d'annuler un couple de pression aérodynamique ou de pression de radiation solaire lorsqu'il n'est pas utile au contrôle. Ainsi, l'invention permet de maîtriser des perturbations non désirées.

[0059] La [fig.5] représente schématiquement une membrane M1 enroulable et déployable avec une extrémité libre 120 selon l'invention. Selon l'invention, au moins un des N rouleaux de stockage R1, R2, ..., RN peut comprendre en outre au moins deux mètre-rubans 121, 122, chacun étant apte à passer d'une configuration enroulée autour du premier axe principal X1, X2, ..., XN à une configuration déployée selon le premier axe secondaire Y1, Y2, ..., YN, et vice versa, la membrane M1, M2, ..., MN s'étendant entre les au moins deux mètre-rubans 121, 122.

[0060] Dans le domaine spatial, les mètre-rubans sont fréquemment utilisés dans le déploiement. En position stockée (ou enroulée), les mètre-rubans sont enroulés autour d'un mandrin. Le déploiement des mètre-rubans est assuré de manière autonome par leur déroulement spontané lorsque le mandrin est libre en rotation. Les mètre-rubans sont connus dans le domaine spatial comme étant des rubans flexibles ayant une section en arc de cercle dont le rayon de courbure est convexe sur une première face et concave sur une deuxième face, ces rubans étant aptes à passer de l'état enroulé à l'état déployé essentiellement grâce à leur énergie élastique propre. Il existe différents types de ruban ayant des propriétés propres. Les rubans monostables possèdent une position

naturelle déployée et nécessitent un maintien en position stockée. Les mètre-rubans monostables ont donc une tendance naturelle à se déployer pour se retrouver dans leur état déroulé. Le déploiement des rubans monostables est souvent anarchique et incontrôlé. Les rubans bistables possèdent deux positions naturelles (position enroulée et position déployée). Leur déploiement est linéaire et contrôlé. Dans l'invention, c'est le dispositif d'actionnement 104 qui contrôle le déploiement et l'enroulement de chaque mètre-ruban en fonction du besoin d'aire déployée et de l'orientation requise de la membrane supportée par les deux mètre-rubans.

[0061] Sur la [fig.5], seule la membrane M1 est représentée. Elle est supportée par le rouleau de stockage R1. Deux mètre-rubans 121, 122 sont chacun aptes à passer d'une configuration enroulée autour du premier axe principal X1 à une configuration déployée selon le premier axe secondaire Y1, et vice versa. La membrane M1 est enroulée autour de son axe principal X1 et se déploie le long de son axe secondaire Y1. La membrane M1 s'étend entre les deux mètres-rubans 121, 122, et présente une extrémité libre 120. C'est donc le déploiement et l'enroulement des mètre-rubans 121, 122 qui permettent le déploiement et l'enroulement de la membrane M1.

[0062] De manière traditionnelle, des éléments de guidage peuvent être ajoutés pour venir en contact des mètres-rubans. De tels éléments de guidage peuvent prendre la forme d'appuis ponctuels ou linéaires sur le mètre-ruban afin d'assurer son déploiement dans la bonne direction et pour éviter qu'ils « gonflent » autour du mandrin, c'est-à-dire qu'ils se relâchent de leur enroulement en configuration enroulée. Ces éléments de guidage peuvent être reliés au dispositif d'actionnement 104 pour contrôler le déploiement et l'enroulement de chaque mètre-ruban.

[0063] Comme on peut le voir, la liaison 80 permet la rotation du rouleau de stockage $R_1$, et donc de la membrane $M_1$, autour de l'axe $Y_1$, et la liaison 81 permet la rotation du rouleau de stockage $R_1$, et donc de la membrane $M_1$, autour d'un axe parallèle à l'axe $X_1$. Il s'agit d'un exemple non-limitatif de réalisation des mouvements de rotations du rouleau de stockage et donc de l'orientation de la membrane. L'invention s'applique bien entendu à d'autres mécanismes de mise en rotation.

[0064] La [fig.6] représente schématiquement une membrane M1 enroulable et déployable avec une extrémité fixe 130 selon l'invention. Selon l'invention, la membrane M1, M2, …, MN d'au moins un des N rouleaux de stockage R1, R2, …, RN peut comprendre une extrémité finale 130 rigidement attachée à un ancrage 131 fixe par rapport au rouleau de stockage R1, R2, …, RN qui lui est associé. Sur la [fig.6], seule la membrane M1 est représentée. Elle est supportée par le rouleau de stockage R1. La membrane peut présenter à son extrémité finale 130 un point d'attache à l'ancrage 131 fixe par rapport au rouleau de stockage R1. Alternativement, la membrane M1 peut s'étendre entre deux mètres-rubans 121, 122, comme énoncé précédemment, et ce sont

les extrémités finales de chaque mètre-ruban qui sont reliées au point d'ancrage 131 fixe. Comme l'extrémité finale 130 se trouve fixée au rouleau de stockage, on parle aussi de déploiement en aller-retour car la membrane M1 se déploie selon l'axe Y1 et sa première portion dépliée passe sous la membrane dépliée jusqu'au point d'ancrage 131.

[0065] De même que précédemment, il est avantageux d'ajouter des appuis ponctuels sur les mètres-rubans afin d'éviter qu'ils « gonflent » autour du mandrin, c'est-à-dire qu'ils se relâchent de leur enroulement en configuration enroulée.

[0066] Les membranes $M_1$, $M_2$, …, $M_N$ peuvent être en matériau éligible au domaine spatial. Elles peuvent être en film de polyimide, aussi connu sous la dénomination de Kapton. Il peut s'agir de toile à base de fibres de carbone ou de verre. Les membranes $M_1$, $M_2$, …, $M_N$ peuvent aussi être en polymère thermoplastique poly(p-phénylènetéréphtalamide) (PPD-T) (aussi connu sous la dénomination Kevlar). Un matériau utilisable peut aussi être une fine couche de revêtement en aluminium sur une feuille de polymère (plastique), telle qu'un film Kapton aluminisé de 2 µm (micromètres). Le polymère fournit un support mécanique ainsi qu'une flexibilité, tandis que la fine couche métallique fournit la réflectivité. Un tel matériau résiste à la chaleur et reste encore raisonnablement solide. Le film réfléchissant en aluminium est du côté Soleil. Un exemple est le film PET (abréviation du poly(téréphtalate d'éthylène)) aluminisé (Mylar).

[0067] Dans un autre mode de réalisation, la membrane $M_1$, $M_2$, …, $M_N$ d'au moins un des N rouleaux de stockage $R_1$, $R_2$, …, $R_N$ peut être recouverte au moins partiellement sur une face 111, 112 d'un revêtement optimisé pour l'utilisation de la pression de radiation solaire. Un exemple de mise en œuvre peut être obtenu par un revêtement en polymère de Mylar et de Kapton. Un tel revêtement a un fort pouvoir de réflexion de la lumière.

[0068] Dans un autre mode de réalisation, la membrane $M_1$, $M_2$, …, $M_N$ d'au moins un des N rouleaux de stockage $R_1$, $R_2$, …, $R_N$ peut être recouverte au moins partiellement sur une face 112, 111 d'un revêtement adapté à l'utilisation de la traînée aérodynamique. Le revêtement est adapté à l'utilisation de la traînée aérodynamique, i.e. résistant à un flux particulaire et aux contraintes thermiques. Il peut par exemple s'agir de PEEK (abréviation pour polyetheretherketone), PET (abréviation de poly(téréphtalate d'éthylène)), Kapton, FEP (abréviation de Fluorinated ethylen propylene pour éthylène propylène fluoré).

[0069] Le revêtement adapté à l'utilisation de la traînée aérodynamique peut être sur la même face que le revêtement optimisé pour l'utilisation de la pression de radiation solaire. Par exemple, une portion distale de la face (vers l'extrémité de la membrane en configuration déployée) peut être recouverte du revêtement adapté à l'utilisation de la traînée aérodynamique et une portion proximale (à proximité du rouleau de stockage)

peut être recouverte du revêtement optimisé pour l'utilisation de la pression de radiation solaire. Cette combinaison est envisageable notamment sur les membranes en aller-retour. Une variante sur les membranes à extrémité libre est de recouvrir une face de la membrane du revêtement adapté à l'utilisation de la traînée aérodynamique et la face opposée du revêtement optimisé pour l'utilisation de la pression de radiation solaire. Dans ce dernier cas, une rotation de la membrane autour de l'axe secondaire $Y_1$ , $Y_2$ permet d'orienter la face adaptée de la membrane considérée selon les effets auxquels est soumis le véhicule 100.

[0070] La [fig.7] représente schématiquement une variante comprenant un mât 106 de support des membranes M1, M2, …, MN selon l'invention. Selon une variante de l'invention, le satellite 100 peut comprendre un mât 106 ayant une première extrémité 107 appelée base et une deuxième extrémité 108, opposée à la base, la base étant reliée à la caisse 101, le mât 106 supportant au moins un des N rouleaux de stockage R1, R2, …, RN. Sur la [fig.7], le mât 106 supporte deux rouleaux de stockage R1, R2. Un tel mât présente l'avantage de pouvoir déporter le déploiement des membranes. En outre, le mât 106 peut comprendre plusieurs liaisons pivot permettant de nombreuses autres rotations, et ainsi résulter dans diverses orientations des surfaces déployées de membranes. La configuration représentée à la [fig.7] l'est à titre d'exemple et ne limite pas la portée de l'invention. D'autres liaisons peuvent être mises en œuvre sans sortir du cadre de l'invention.

[0071] La liaison 90 permet la rotation de l'ensemble du mât 106 selon un axe sensiblement parallèle à une surface de la caisse 101 du satellite. Le mât 106 peut comprendre une autre liaison 93 permettant une rotation de l'extrémité du mât 106 selon un axe sensiblement parallèle à ladite surface de la caisse 101. Enfin, le mât 106 peut se prolonger par deux bras d'éloignement 94, 95, chacun des bras d'éloignement 94, 95 supportant un rouleau de stockage. L'angle formé entre ces deux bras 94, 95 peut être fixe ou bien il peut être rendu variable par une liaison pivot (non présente sur la [fig.7] ). L'extrémité de chaque bras d'éloignement peut comprendre une liaison pivot 91, 92 reliée à un des rouleaux de stockage. Les liaisons pivot 91, 92 permettant la mise en rotation des rouleaux de stockage R1, R2, chacun selon un axe S1, S2, sensiblement perpendiculaire à leur axe principal X1, X2. Par combinaison de toutes les rotations possibles, on peut orienter les membranes comme on le souhaite en fonction des effets environnementaux. Les rotations sont mises en œuvre par le dispositif d'actionnement 104, de manière connue de l'Homme du métier, en fonction des commandes qu'il reçoit, basées sur l'asservissement 105. On peut noter que les mobilités en rotation indiquées le sont à titre d'exemple, et que d'autres rotations peuvent être implémentées. Il est également envisageable de prévoir des mouvements de translations, par exemple par le biais de portions de mât télescopiques. L'invention n'est pas limitée

aux modes de réalisation décrits ci-avant à titre d'exemple non limitatif. Elle englobe toutes les variantes de réalisation qui pourront être envisagées par l'homme du métier. En particulier, l'homme du métier comprendra que l'invention n'est pas limitée à des rotations spécifiques telles que décrites, ni à un type de véhicule particulier.

[0072] Sur la [fig.7], les membranes sont représentées avec un déploiement en aller-retour. L'invention s'applique aussi avec un mât 106 et des membranes au déploiement avec extrémité libre.

[0073] L'invention propose une solution de contrôle de position et d'attitude sur l'orbite d'un véhicule par le déploiement et l'orientation de surfaces d'aire variable dans le temps selon les besoins du contrôle. Cette solution est réversible et paramétrable. Les membranes peuvent être complètement repliées lors des phases de la mission où elles ne sont pas utiles, évitant ainsi toute perturbation dans ces phases. En configuration enroulée, l'encombrement des membranes est faible et la forme des rouleaux de stockage permet une optimisation de l'utilisation de l'espace disponible sous la coiffe du lanceur. L'invention présente l'avantage d'être générique et utilisable pour tout type de plateforme. En adaptant la taille les rouleaux et des membranes à la taille du satellite, et donc au couple que l'on veut générer, la solution proposée peut être utilisée sur différents types de satellite, par exemple des nanosatellites jusqu'aux gros satellites de télécommunications. Le contrôle de position et d'attitude, ainsi que de stabilité du véhicule est obtenu en utilisant les effets environnementaux de traînée aérodynamique et/ou de pression de radiation solaire. L'ensemble du dispositif de contrôle est commandé afin de produire un couple variable au niveau du véhicule, ce couple étant créé par les effets environnementaux sur les surfaces déployées et orientées à bon escient. Ce couple est utilisé dans la boucle de contrôle de l'attitude du véhicule pour une diminution de couples perturbateurs, mise en mouvement du véhicule, désaturation de roues à réaction. Le domaine du couple ainsi créé est large et continu. En outre, l'utilisation des effets environnementaux permettant de réduire la masse embarquée, à la fois en carburant et aussi en actuateurs qui peuvent être de plus petites dimensions et/ou en plus petit nombre.

# Revendications

[Revendication 1] Véhicule (100) en orbite ayant une position instantanée et une attitude instantanée, ledit véhicule (100) étant destiné à prendre une position de consigne et une attitude de consigne sur son orbite, caractérisé en ce qu'il comprend :

a. une caisse (101) ;
b. N rouleaux de stockage (R1, R2, …, RN) reliés à la caisse (101), N étant un entier supérieur ou égal à 1, chacun des N rouleaux de stockage (R1, R2, …, RN) supportant une membrane (M1, M2, …, MN), ladite membrane étant apte à passer d'une configuration enroulée autour d'un premier axe principal (X1, X2, …, XN) à une configuration déployée selon un premier axe secondaire (Y1, Y2, …, YN) sensiblement perpendiculaire au premier axe principal (X1, X2, …, XN), et vice versa ;
c. un ensemble de capteurs (103) de la position instantanée et l'attitude instantanée du véhicule (100);
d. un dispositif d'actionnement (104) d'au moins un parmi les N rouleaux de stockage (R1, R2, …, RN) entre la configuration enroulée et la configuration déployée de la membrane (M1, M2, …, MN) pour placer le véhicule (100) à une nouvelle position instantanée et une nouvelle attitude instantanée;
e. un asservissement (105) du dispositif d'actionnement (104) selon la nouvelle position instantanée et la nouvelle attitude instantanée par rapport à la position de consigne et l'attitude de consigne.

[Revendication 2] Véhicule (100) selon la revendication 1, dans lequel le premier axe principal ($X_1$, $X_2$, …, $X_N$) est sensiblement parallèle à une arête de la caisse (101), préférentiellement sensiblement confondu avec une arête de la caisse (101).

[Revendication 3] Véhicule (100) selon la revendication 1, comprenant un mât (106) ayant une première extrémité (107) appelée base et une deuxième extrémité (108), opposée à la base, la base étant reliée à la caisse (101), le mât (106) supportant au moins un des N rouleaux de stockage ($R_1$, $R_2$, …, $R_N$ ).

[Revendication 4] Véhicule (100) selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel au moins un des N rouleaux de stockage ($R_1$, $R_2$, …, $R_N$) est mobile en rotation par rapport à la caisse (101) selon le premier axe principal ($X_1$, $X_2$, …, $X_N$) qui lui est associé.

[Revendication 5] Véhicule (100) selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel au moins un des N rouleaux de stockage ($R_1$, $R_2$, …, $R_N$) est mobile en rotation par rapport à la caisse selon le premier axe secondaire ($Y_1$, $Y_2$, …, $Y_N$) qui lui est associé.

[Revendication 6] Véhicule (100) selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel la membrane ($M_1$, $M_2$, …, $M_N$) d'au moins un des N rouleaux de stockage ($R_1$, $R_2$, …, $R_N$) est recouverte au moins partiellement sur une face (111, 112) d'un revêtement optimisé pour l'utilisation de la pression de radiation solaire.

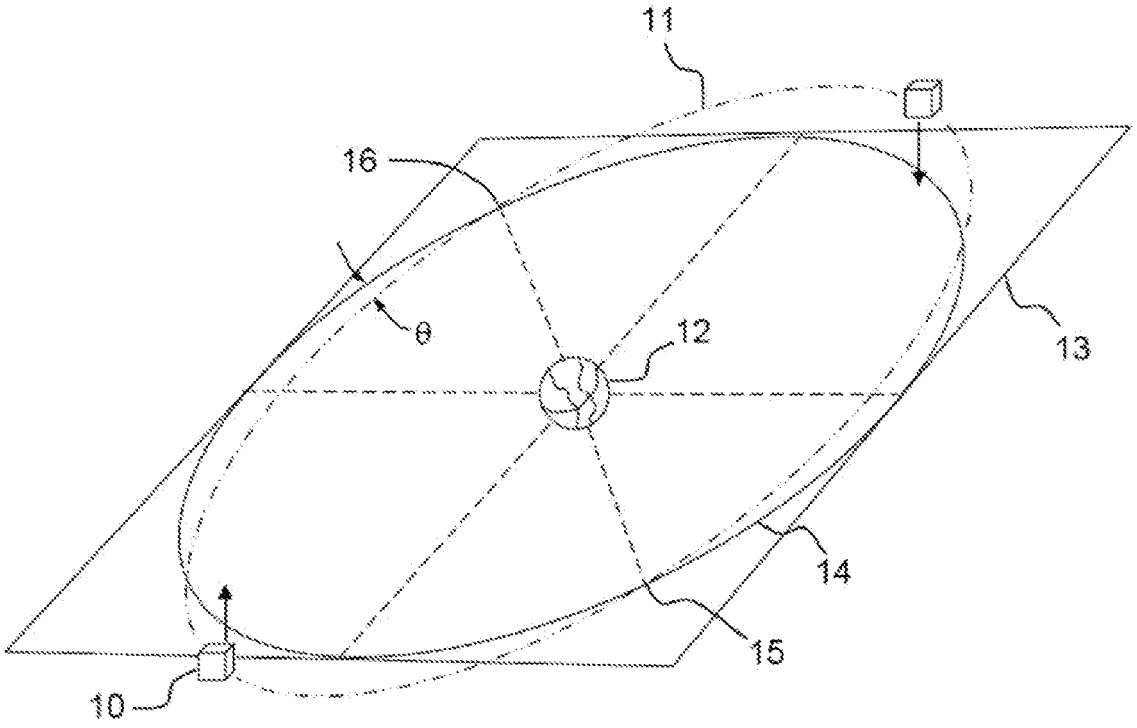
[Revendication 7] Véhicule (100) selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel la membrane ($M_1$, $M_2$, …, $M_N$) d'au moins un des N rouleaux de stockage ($R_1$, $R_2$, …, $R_N$) est recouverte au moins partiellement sur une face (112, 111) d'un revêtement adapté à l'utilisation de la traînée aérodynamique.

[Revendication 8] Véhicule (100) selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel au moins un des N rouleaux de stockage ($R_1$, $R_2$, …, $R_N$) comprend en outre au moins deux mètre-rubans (121, 122), chacun étant apte à passer d'une configuration enroulée autour du premier axe principal ($X_1$, $X_2$, …, $X_N$) à une configuration déployée selon le premier axe secondaire ($Y_1$, $Y_2$, …, $Y_N$), et vice versa, la membrane ($M_1$, $M_2$, …, $M_N$) s'étendant entre les au moins deux mètre-rubans (121, 122).

[Revendication 9] Véhicule (100) selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel la membrane ($M_1$, $M_2$, …, $M_N$) d'au moins un des N rouleaux de stockage ($R_1$, $R_2$, …, $R_N$) comprend une extrémité finale (130) rigidement attachée à un ancrage (131) fixe par rapport au rouleau de stockage ($R_1$, $R_2$, …, $R_N$) qui lui est associé.

[Revendication 10] Véhicule (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, ledit véhicule étant un satellite.

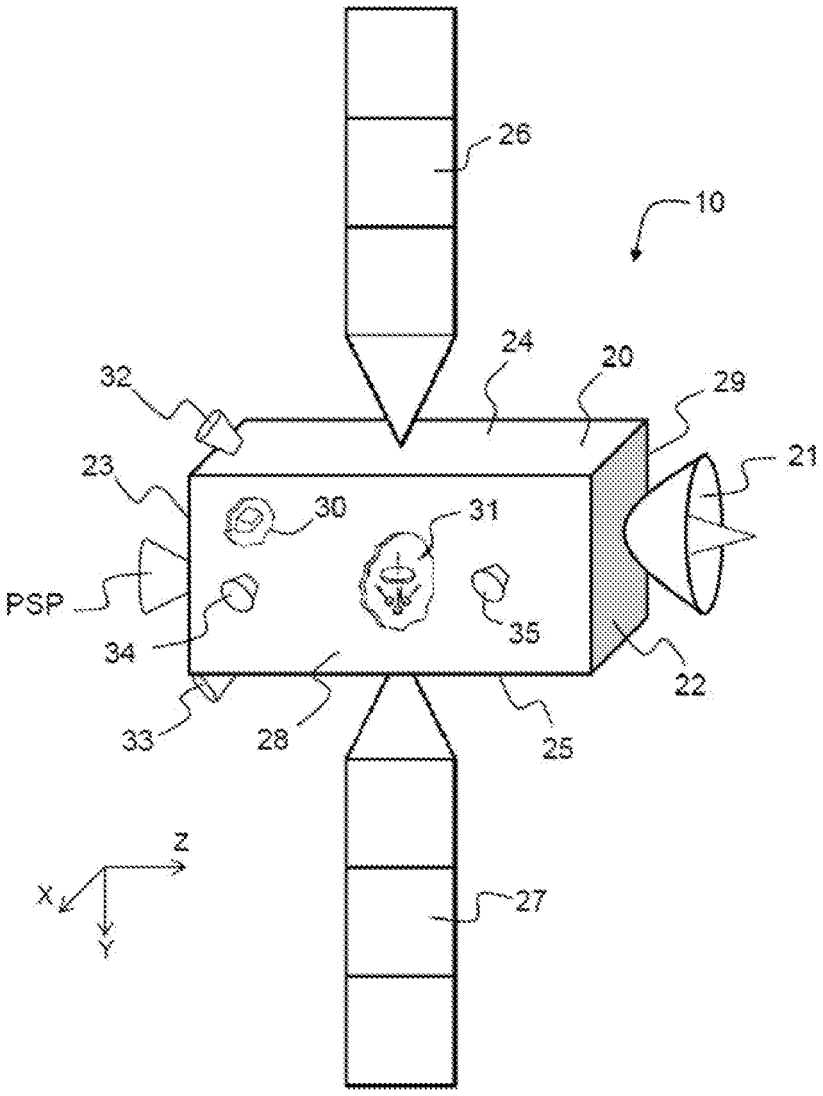
[Fig. 1]




(ART ANTERIEUR)

FIG. 1

[Fig. 2]




(ART ANTERIEUR)
FIG. 2

[Fig. 3]

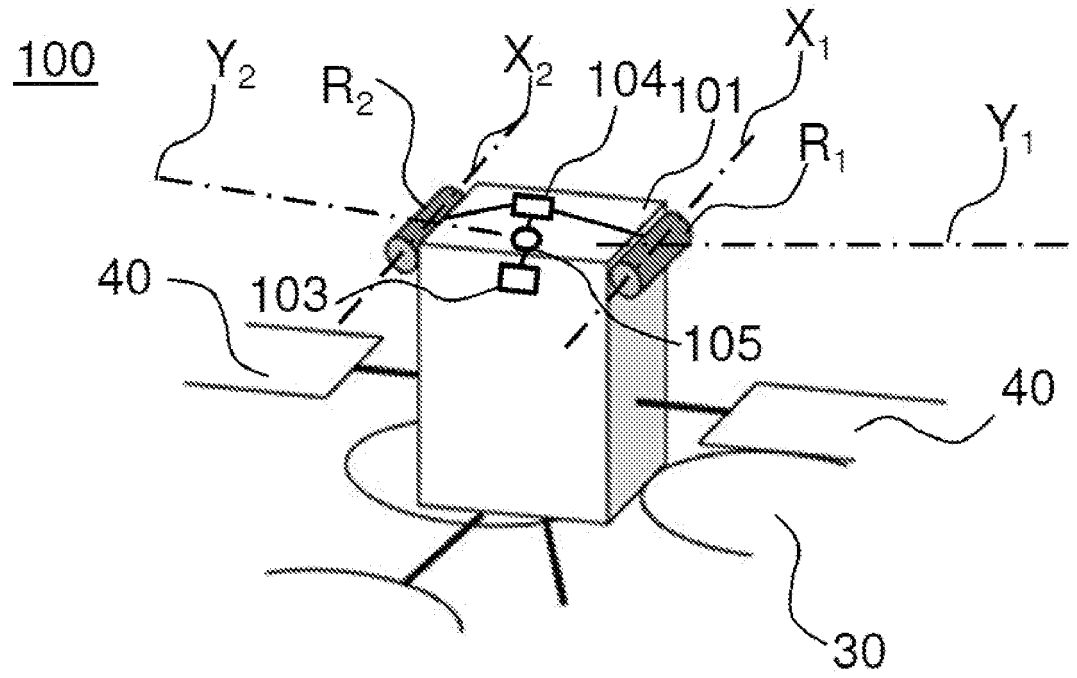



FIG. 3

[Fig. 4]

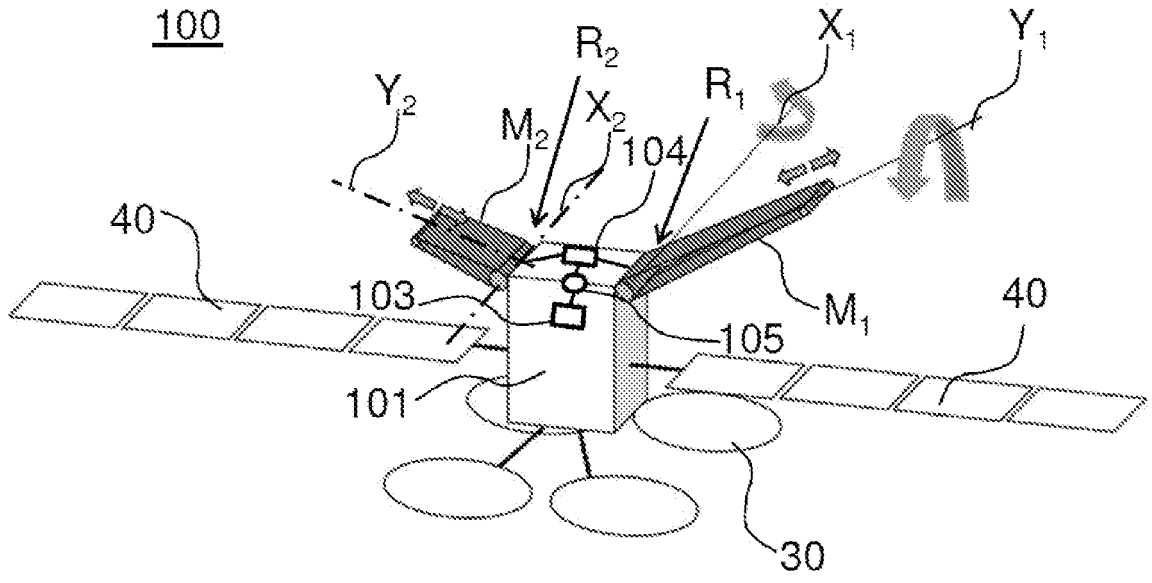



FIG. 4

[Fig. 5]

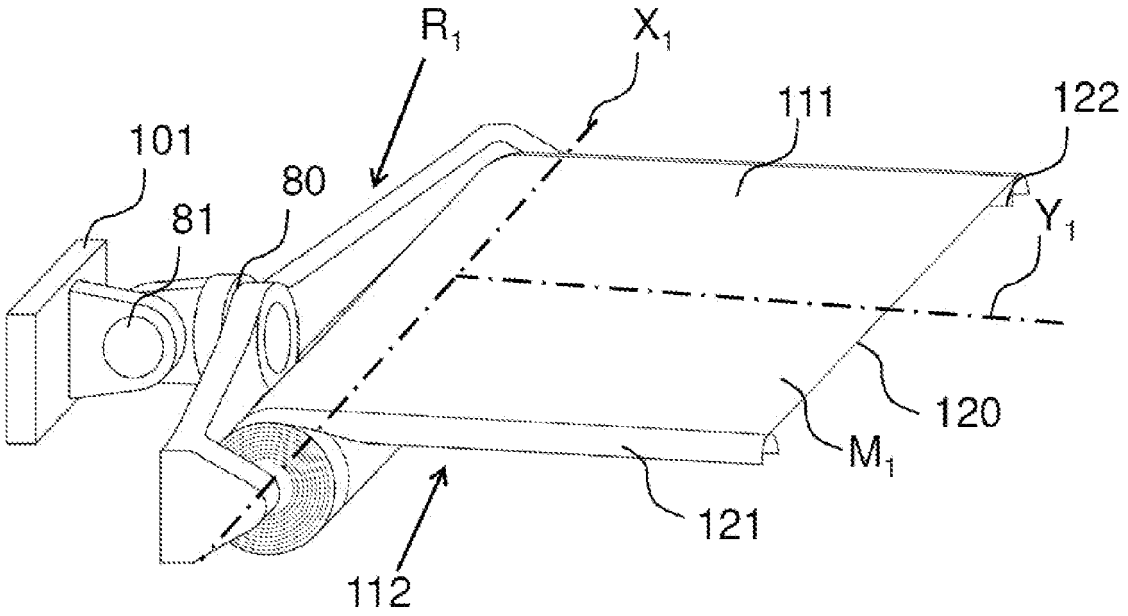



FIG. 5

[Fig. 6]

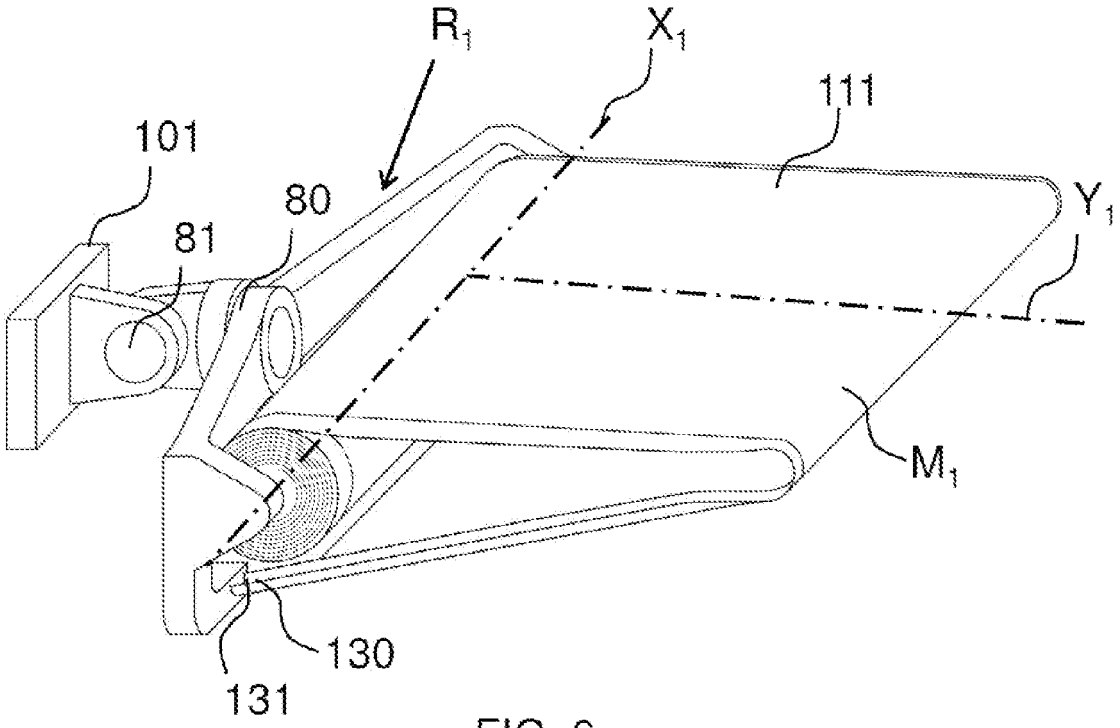



FIG. 6

[Fig. 7]

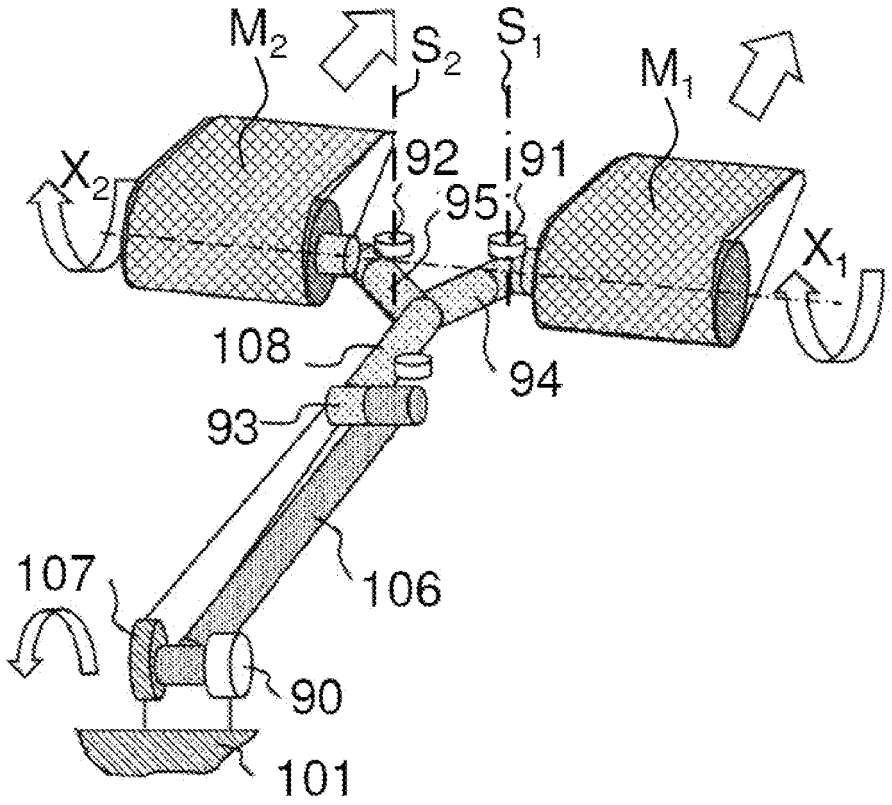



FIG. 7

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

# RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 883580
FR 2005135

| 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<br>Y | US 2012/138749 A1 (ELLINGHAUS FRANK WERNER [DE]) 7 juin 2012 (2012-06-07)<br>* alinéas [0001] - [0004] *<br>* alinéas [0037] - [0053] *<br>* alinéas [0067] - [0077] *<br>* alinéas [0089] - [0117] *<br>* figures *<br>----- | 1-7,9,10<br>8 | B64G1/24<br>B64G1/22<br>B64G1/36 |
| X | BONG WIE: "Solar Sail Attitude Control and Dynamics, Part 2",<br>AIAA GUIDANCE, NAVIGATION, AND CONTROL CONFERENCE AND EXHIBIT,<br>vol. 27, no. 4,<br>1 juillet 2004 (2004-07-01), pages 536-544, XP55770755,<br>Reston, Virigina<br>DOI: 10.2514/6.2002-4572<br>ISBN: 978-1-62410-108-3<br>* page 537, colonne de gauche, alinéa 1 - colonne de droite, alinéa 2 *<br>* page 540, colonne de droite, alinéa 4-l *<br>* figure 7 *<br>----- | 1,2,4,6,7,10 | DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)<br>B64G |
| X | FU BO ET AL: "Solar sail technology-A state of the art review",<br>PROGRESS IN AEROSPACE SCIENCES,<br>vol. 86, 1 octobre 2016 (2016-10-01), pages 1-19, XP029733296,<br>ISSN: 0376-0421, DOI: 10.1016/J.PAEROSCI.2016.07.001<br>* page 2, colonne de gauche, alinéa 1 - page 3, colonne de gauche, alinéa 1 *<br>* page 7, colonne de droite, alinéa 5 - page 11, colonne de droite, alinéa 1 *<br>-----<br>-/-- | 1,2,4,6,7,10 | |

| Date d'achèvement de la recherche | Examinateur |
|---|---|
| 1 février 2021 | Weber, Carlos |

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

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

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

2

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

# RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 883580
FR 2005135

| 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 | | |
| Y | EP 2 740 669 A1 (THALES SA [FR]; CENTRE NAT ETD SPATIALES [FR])<br>11 juin 2014 (2014-06-11)<br>* alinéas [0023] - [0024] *<br>* alinéa [0039] *<br>* figure 8a *<br>----- | 8 | |
| A | WO 2017/218696 A1 (BLOMQUIST RICHARD [US])<br>21 décembre 2017 (2017-12-21)<br>* le document en entier *<br>----- | 1-10 | |
| A | EP 3 176 095 A1 (THALES SA [FR])<br>7 juin 2017 (2017-06-07)<br>* le document en entier *<br>----- | 1-10 | |
| A | EP 3 023 333 A1 (THALES SA [FR])<br>25 mai 2016 (2016-05-25)<br>* le document en entier *<br>----- | 1-10 | |
| A | EP 2 977 323 A1 (THALES SA [FR])<br>27 janvier 2016 (2016-01-27)<br>* le document en entier *<br>----- | 1-10 | DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) |
| A | FR 2 897 843 A1 (EADS SPACE TRANSP SAS SOC PAR [FR]) 31 août 2007 (2007-08-31)<br>* le document en entier *<br>----- | 7 | |

| Date d'achèvement de la recherche | Examinateur |
|---|---|
| 1 février 2021 | Weber, Carlos |

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

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

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

2

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

## ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2005135 FA 883580

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 01-02-2021
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 |
|---|---|---|---|
| US 2012138749 A1 | 07-06-2012 | AU 2012205275 A1 | 31-01-2013 |
| | | DE 102011107208 A1 | 17-01-2013 |
| | | GB 2492879 A | 16-01-2013 |
| | | US 2012138749 A1 | 07-06-2012 |
| EP 2740669 A1 | 11-06-2014 | CA 2834593 A1 | 05-06-2014 |
| | | CN 103847983 A | 11-06-2014 |
| | | EP 2740669 A1 | 11-06-2014 |
| | | ES 2717249 T3 | 20-06-2019 |
| | | FR 2998876 A1 | 06-06-2014 |
| | | JP 6494907 B2 | 03-04-2019 |
| | | JP 2014114011 A | 26-06-2014 |
| | | RU 2013153944 A | 10-06-2015 |
| | | US 2014151485 A1 | 05-06-2014 |
| WO 2017218696 A1 | 21-12-2017 | EP 3468868 A1 | 17-04-2019 |
| | | JP 6817341 B2 | 20-01-2021 |
| | | JP 2019517955 A | 27-06-2019 |
| | | US 2019315497 A1 | 17-10-2019 |
| | | WO 2017218696 A1 | 21-12-2017 |
| EP 3176095 A1 | 07-06-2017 | CA 2950105 A1 | 02-06-2017 |
| | | EP 3176095 A1 | 07-06-2017 |
| | | FR 3044639 A1 | 09-06-2017 |
| | | JP 2017100714 A | 08-06-2017 |
| | | US 2017158358 A1 | 08-06-2017 |
| EP 3023333 A1 | 25-05-2016 | CA 2913018 A1 | 21-05-2016 |
| | | EP 3023333 A1 | 25-05-2016 |
| | | ES 2624262 T3 | 13-07-2017 |
| | | FR 3028842 A1 | 27-05-2016 |
| | | JP 6762705 B2 | 30-09-2020 |
| | | JP 2016120904 A | 07-07-2016 |
| | | US 2016144984 A1 | 26-05-2016 |
| EP 2977323 A1 | 27-01-2016 | CA 2897024 A1 | 25-01-2016 |
| | | EP 2977323 A1 | 27-01-2016 |
| | | ES 2799423 T3 | 17-12-2020 |
| | | FR 3024228 A1 | 29-01-2016 |
| | | JP 6669445 B2 | 18-03-2020 |
| | | JP 2016030595 A | 07-03-2016 |
| | | US 2016023781 A1 | 28-01-2016 |
| FR 2897843 A1 | 31-08-2007 | EP 1989112 A1 | 12-11-2008 |
| | | ES 2689088 T3 | 08-11-2018 |
| | | FR 2897843 A1 | 31-08-2007 |

EPO FORM P0465

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

## ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2005135 FA 883580

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 01-02-2021
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 |
|---|---|---|---|
| | | RU 2008138539 A | 10-04-2010 |
| | | US 2009218448 A1 | 03-09-2009 |
| | | WO 2007096289 A1 | 30-08-2007 |

EPO FORM P0465

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82