



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
03.12.2014 Bulletin 2014/49

(51) Int Cl.:
H01Q 1/28 (2006.01) H01Q 15/14 (2006.01)
H01Q 15/16 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **14169359.8**

(22) Date de dépôt: **21.05.2014**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME

- **Lepeltier, Philippe**
31037 Toulouse Cedex 1 (FR)
- **Faro, Isabelle**
31037 Toulouse Cedex 1 (FR)
- **Depeyre, Serge**
31700 Blagnac (FR)
- **Taisant, Jean-Philippe**
75001 Paris (FR)

(30) Priorité: **31.05.2013 FR 1301239**

(71) Demandeurs:

- **Thales**
92200 Neuilly Sur Seine (FR)
- **CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES**
75001 Paris (FR)

(74) Mandataire: **Nguyen, Dominique et al**
Marks & Clerk France
Immeuble Visium
22, avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cedex (FR)

(72) Inventeurs:

- **Schreinder, Ludovic**
31037 Toulouse Cedex 1 (FR)

(54) **Procédé de réalisation d'un réflecteur d'antenne à surface formée, réflecteur à surface formée obtenu par ce procédé et antenne comportant un tel réflecteur**

(57) Le procédé consiste :
- à définir (100) au moins un objectif de performances de rayonnement à réaliser sur une zone de couverture au sol choisie,
- à réaliser (200) une coque rigide (11) ayant un profil de forme prédéfinie
- à réaliser la membrane flexible (12),
- à déterminer (300), par itérations successives, à partir d'un modèle mécanique du réflecteur et d'un modèle de rayonnement radiofréquence de l'antenne, N déformations locales (14) optimales à appliquer en N points différents de la membrane flexible,
- à réaliser (400) N barres de maintien (13) rigides de longueurs fixes différentes correspondant aux déformations locales optimales à appliquer à la membrane flexible,
- à positionner et fixer (500) rigidement la membrane flexible (12) sur la coque rigide (11) par l'intermédiaire des N barres de maintien (13).

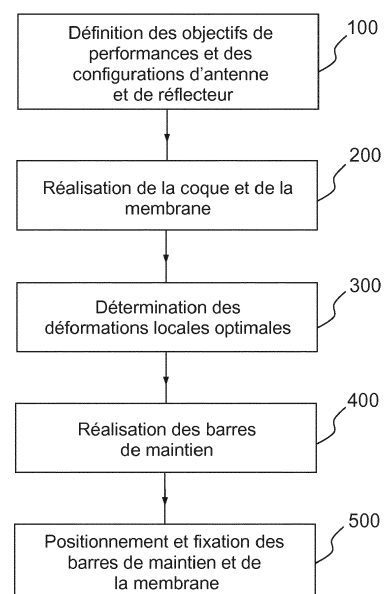


FIG.1

Description

[0001] La présente invention concerne un procédé de réalisation d'un réflecteur à surface formée, un réflecteur à surface formée obtenu par ce procédé et une antenne comportant un tel réflecteur à surface formée. Elle s'applique au domaine des antennes passives de télécommunications par satellite et plus particulièrement au domaine des télécommunications en bande Ku ou en bande C.

[0002] Pour obtenir un diagramme de rayonnement ayant un contour prédéfini, il est connu d'utiliser une source unique associée à un système de réflecteur(s) simple ou double à surface formée, c'est-à-dire une surface ayant une géométrie spécifique définissant au sol une zone de couverture spécifique ayant un contour non circulaire, par exemple un pays ou un groupe de pays. Les variations de chemin optique entre la source et différents points du réflecteur permettent de générer des faisceaux ayant un diagramme de phase et d'amplitude correspondant aux caractéristiques du diagramme de rayonnement souhaité.

[0003] Il est également possible, avec un même réflecteur et en utilisant deux sources placées au plus proche du foyer du réflecteur, d'obtenir deux diagrammes de rayonnement différents permettant de couvrir deux zones de couvertures géographiques différentes.

[0004] Un réflecteur à surface formée est généralement réalisé en utilisant un moule dédié dont la forme correspond à une couverture d'antenne prédéterminée. A chaque changement de couverture, il est donc nécessaire de refaire un nouveau moule différent. Pour que le moule ne se déforme pas en température lors de la cuisson et permette de réaliser un réflecteur ayant le profil spécifié, les moules utilisés sont réalisés dans un matériau à faible coefficient d'expansion thermique CTE, par exemple un matériau comportant des fibres de carbone ou un matériau constitué d'un alliage d'acier tel que l'Invar (marque déposée) constitué de fibres en alliage de fer et de nickel. Le problème est que pour un fonctionnement en bande Ku, il est nécessaire d'atteindre une précision de fabrication très fine ce qui entraîne un grand nombre d'itérations pendant lesquelles le profil du moule est repris et affiné. Ainsi, pour un réflecteur de deux mètres de diamètre, le temps de fabrication du moule est environ de l'ordre de quatre à six mois. Pour ne pas retarder l'avancement d'un nouveau programme de satellite, la définition précise de la zone de couverture à réaliser est donc définie très en amont dans le déroulement des phases du programme de façon à lancer la fabrication du moule au plus tôt. Le temps de fabrication du moule est donc une contrainte très importante pour l'avancement d'un programme et après le lancement de la fabrication du moule, il n'existe plus aucune flexibilité pour redéfinir ultérieurement la zone de couverture à réaliser.

[0005] Pour résoudre ce problème de flexibilité, Il est connu de s'affranchir de la fabrication d'un moule et de

réaliser une antenne à réflecteur reconfigurable en utilisant une surface réfléchissante flexible déformable. Il existe différents types de surfaces réfléchissantes flexibles déformables telles que par exemple une surface flexible formée d'un tricot ou d'un tissu en maille (en anglais : mesh) comme décrit notamment dans le document FR 2 678 111 ou une surface flexible utilisant des fibres de carbone liées par un silicone ou une surface flexible utilisant une grille de fils raides orthogonaux dont les bords sont libres, la grille étant maintenue et contrainte à une forme prédéterminée seulement par des points de contrôle.

[0006] Il est également connu du document EP 2 362 489 de réaliser une membrane réfléchissante déformable à réflectivité radiofréquence élevée comportant une superposition alternée de couches en élastomère conducteur et au moins deux couches de renfort discontinues. Cette membrane permet des déformations importantes dans des directions multiples dans le plan et hors du plan de la surface de la membrane, présente une raideur de flexion et un faible coefficient de dilatation thermique permettant une stabilité dimensionnelle de la membrane sur une gamme de température compatible d'une application spatiale, et une bonne homogénéité électrique pour ne pas créer des niveaux importants de produits d'intermodulation. La membrane peut être reconfigurée en service au moyen d'actuateurs mécaniques.

[0007] Cependant, les réflecteurs reconfigurables nécessitent la présence d'un grand nombre d'actuateurs mécaniques, fixés sur la surface inférieure de la membrane à des positions choisies, qui poussent ou tirent sur la membrane pour la déformer et lui donner la forme souhaitée. Ces actuateurs mécaniques comportent souvent des moteurs électriques d'entraînement rotatif pouvant être couplés soit avec une rotule, soit avec un système d'écrou associé à une vis sans fin, l'écrou étant fixé sur la membrane. Le problème est que la présence d'un grand nombre d'actuateurs augmente beaucoup le coût de fabrication du réflecteur et son poids ce qui est préjudiciable dans le cas d'une application spatiale.

[0008] Le but de l'invention est de réaliser un procédé de réalisation d'un réflecteur à surface formée qui ne peut pas être reconfiguré en service et qui ne présente pas les inconvénients des procédés de fabrication existants, qui ne nécessite pas la réalisation d'un moule spécifique pour chaque zone de couverture d'antenne souhaitée, qui ne comporte pas d'actuateurs, qui permette de diminuer de façon très importante le temps de fabrication du réflecteur et de retarder, lors du démarrage d'un programme de satellite, le moment où le choix de la zone de couverture géographique au sol doit être figé.

[0009] Pour cela, l'invention concerne un procédé de réalisation d'un réflecteur d'antenne à surface formée, consistant à réaliser une coque rigide, une membrane flexible et à positionner et fixer la membrane flexible sur la coque rigide par l'intermédiaire de N barres de maintien rigides en N points de maintien différents de la membrane

flexible, où N est un nombre entier supérieur à 1, de façon à appliquer N déformations locales sur la membrane flexible par rapport à la surface du réflecteur. Le procédé consiste :

- à définir au moins un objectif de performances de rayonnement à réaliser sur une zone de couverture géographique au sol choisie,
- à choisir une coque rigide ayant un profil de forme prédéfinie et à choisir une forme initiale de la surface de la membrane flexible,
- à partir de la forme de la coque rigide et de la forme initiale de la surface de la membrane flexible, à déterminer, par itérations successives, à l'aide d'un modèle mécanique du réflecteur et d'un modèle du rayonnement radiofréquence de l'antenne, N déformations locales optimales à appliquer aux N points de maintien différents de la membrane flexible, les N déformations locales optimales étant déterminées par minimisation des écarts de performances de rayonnement délivrés à chaque itération, par le modèle du rayonnement radiofréquence de l'antenne, par rapport aux objectifs de performances de rayonnement à réaliser sur la zone de couverture géographique choisie,
- à réaliser N barres de maintien rigides de longueurs différentes, les valeurs des longueurs des N barres de maintien étant figées et correspondant respectivement aux N déformations locales optimales.

[0010] Avantageusement, les N barres de maintien sont espacées les unes des autres et fixées sur une face arrière de la membrane flexible en N points de maintien différents de la membrane flexible.

[0011] Avantageusement, les N barres de maintien ont en outre des angles d'inclinaison différents par rapport à la surface de la membrane flexible.

[0012] Avantageusement, à chaque itération, le modèle mécanique détermine une surface déformée de la membrane flexible, et le modèle radiofréquence détermine et analyse les performances de rayonnement sur la couverture géographique réalisée au sol correspondant à la surface déformée élaborée par le modèle mécanique à l'itération correspondante.

[0013] Avantageusement, dans le cas où des objectifs de performance de rayonnement doivent être réalisés sur deux zones géographiques différentes, le procédé consiste à déterminer les N déformations locales optimales à appliquer en N points différents de la membrane flexible par minimisation des écarts de performances de rayonnement obtenus à chaque itération par rapport aux objectifs de performances de rayonnement à réaliser sur les deux zones de couverture géographiques choisies.

[0014] L'invention concerne aussi un réflecteur d'antenne à surface formée obtenu par ce procédé de réalisation, le réflecteur comportant une coque rigide ayant un profil de forme prédéfinie, une membrane flexible à surface déformable et à face avant réfléchissant les on-

des radiofréquence, N barres de maintien rigides de longueurs fixes différentes et prédéterminées, espacées les unes des autres et fixées directement sur la coque rigide et sur la membrane flexible en N points de maintien différents de la membrane flexible, les longueurs des N barres de maintien correspondant à N déformations optimales à appliquer à la membrane flexible aux N points de maintien.

[0015] Avantageusement, les N barres de maintien peuvent avoir une section de forme carrée ou circulaire.

[0016] Avantageusement, les N barres de maintien peuvent être réparties selon une maille régulière carrée ou hexagonale ou triangulaire

[0017] Alternativement, les N barres de maintien peuvent être réparties selon une maille irrégulière.

[0018] Avantageusement, la membrane flexible peut comporter en épaisseur selon une direction Z, au moins une couche interne constituée d'un tissu de fibres de carbone, les fibres de carbone étant disposées parallèlement à un plan XY de la membrane flexible et s'étendant selon deux directions orthogonales, et une couche externe réfléchissante constituée d'un matériau élastomère conducteur, le matériau élastomère conducteur étant constitué d'un matériau en silicone chargé de particules de métal ou de carbone.

[0019] L'invention concerne également une antenne comportant au moins un tel réflecteur à surface formée.

[0020] D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront clairement dans la suite de la description donnée à titre d'exemple purement illustratif et non limitatif, en référence aux dessins schématiques annexés qui représentent :

- figure 1 : un schéma synoptique du procédé de réalisation du réflecteur, selon l'invention ;
- figure 2 : un schéma synoptique du procédé d'optimisation de la forme de la surface de la membrane du réflecteur, selon l'invention ;
- figure 3 : une vue, en coupe transversale, d'un exemple de portion de réflecteur d'antenne, selon l'invention ;
- figures 4a et 4b : deux schémas, en perspective, d'un réflecteur d'antenne à surface formée, selon l'invention ;
- figure 5a : un exemple d'antenne simple offset à un seul réflecteur avec une membrane réfléchissante montée sur le réflecteur, selon l'invention ;
- figure 5b : un exemple d'antenne Grégorienne à double réflecteur avec une membrane réfléchissante montée sur le réflecteur principal, selon l'invention

[0021] Comme représenté sur le synoptique de la figure 1, l'invention consiste dans une première étape 100, à définir des objectifs de performances de rayonnement à réaliser sur une zone de couverture géographique au sol choisie et à sélectionner une architecture d'antenne et une structure de réflecteur. Pour diminuer de façon très importante le temps de fabrication du réflecteur à

surface formée, l'invention consiste à définir une nouvelle structure de réflecteur à surface formée qui peut être réalisée à partir d'une préforme rigide à surface de forme prédéfinie, par exemple de forme parabolique, obtenue par moulage dans un moule de réflecteur standard et formant un support rigide sur lequel va être fixée une membrane flexible par l'intermédiaire de barres de maintien rigides.

[0022] Dans une étape 200, la préforme rigide et la membrane flexible sont réalisées. La préforme rigide est de préférence constituée d'une coque rigide épaisse dont la face avant a un profil de forme prédéfinie, par exemple un profil de forme parabolique.

[0023] Dans une étape 300, l'invention consiste, à partir des propriétés mécaniques de la membrane flexible et d'au moins un objectif de performances de rayonnement à respecter en chaque point de la zone de couverture géographique à réaliser au sol, à choisir le nombre et les positions des points de maintien à appliquer sur la surface arrière de la membrane flexible et à définir, par itérations successives, des déformations locales optimales à appliquer à la membrane flexible aux différents points de maintien pour obtenir un diagramme de rayonnement de l'antenne ayant des performances correspondant aux objectifs fixés sur la zone de couverture au sol choisie. Les déformations locales appliquées à la membrane, en chaque point de maintien, dépendent directement des différentes longueurs de chaque barre de maintien correspondante. Les déformations locales à appliquer à la membrane sont optimisées par le procédé d'optimisation représenté sur le schéma synoptique de la figure 2.

[0024] Dans une étape 400, à partir de la surface déformée obtenue à l'étape 300 et aux paramètres des barres de maintien correspondants, les barres de maintien sont réalisées, chaque barre de maintien étant coupée à la longueur correspondant aux déformations locales optimales à appliquer à la membrane.

[0025] Dans une étape 500, l'emplacement de chaque barre de maintien est repéré sur la surface de la coque du réflecteur. Par exemple, les barres de maintien peuvent être réparties régulièrement sur la surface de la coque du réflecteur et selon une maille carrée ou hexagonale ou triangulaire. Alternativement, les barres de maintien peuvent également être réparties selon une maille irrégulière qui permet d'améliorer les performances radiofréquence de l'antenne. Il est également possible d'utiliser un gabarit de positionnement en mousse pour aider au positionnement précis des barres de maintien. Le gabarit en mousse peut être réalisé par usinage et comporter des trous facilitant l'accès aux liaisons des barres. Le gabarit en mousse est positionné sur la surface de la coque du réflecteur et peut comporter une empreinte repérant les emplacements des secondes extrémités des barres de maintien sur la membrane flexible. Une première extrémité de chaque barre de maintien est alors positionnée et collée sur la surface de la coque du réflecteur, aux emplacements préalablement repérés.

Par exemple, les barres de maintien peuvent comporter une section de forme carrée ou circulaire pour faciliter leur positionnement. La membrane flexible est ensuite collée à chaque seconde extrémité des barres de maintien. Le montage est réalisé sans contrainte grâce à l'orientation et à la longueur adéquate des barres de maintien.

[0026] Comme représenté sur la figure 2, le procédé d'optimisation utilisé à l'étape 300 comporte une étape 320 d'initialisation dans laquelle sont définis les paramètres initiaux des barres de maintien. Ces paramètres choisis initialement pour chaque point de maintien de la membrane flexible sont le nombre, l'emplacement, les longueurs et éventuellement l'angle d'inclinaison des barres de maintien. Des boucles itératives successives permettent ensuite, à partir de la forme initiale de la surface de la membrane définie par les paramètres initiaux des barres de maintien en chaque point de maintien, d'optimiser les paramètres des barres de maintien, et en particulier leurs longueurs respectives aux différents points de maintien de la membrane, pour atteindre les performances de rayonnement fixées.

[0027] A chaque itération k, le procédé d'optimisation utilise un modèle mécanique 321 du réflecteur qui détermine une surface déformée 322 de la membrane et un modèle radiofréquence RF 323 qui détermine et analyse les performances de rayonnement 326 sur la zone de couverture géographique réalisée au sol correspondant à la surface déformée 322 élaborée par le modèle mécanique 321.

[0028] Le modèle mécanique 321 est un modèle d'éléments finis comportant N points de maintien, où N est un nombre entier supérieur à un, et tient compte de la géométrie du réflecteur sélectionné, du matériau choisi pour la membrane et des propriétés de déformations de la membrane. Le modèle mécanique 321 permet, à chaque itération k considérée, à partir d'une hypothèse concernant des valeurs de déformations appliquées localement aux différents points de maintien de la membrane, de déterminer la forme de la surface de la membrane correspondant aux déformations appliquées localement. A partir de la forme de la surface de la membrane délivrée par le modèle mécanique 321 à l'itération k considérée, le modèle radiofréquence 323 détermine ensuite les performances 326 du diagramme de rayonnement de l'antenne obtenues sur la zone de couverture géographique au sol à réaliser. Des écarts 327 entre les performances de rayonnement obtenues et l'objectif de performances fixé 324 sont alors calculés en différents points de la zone de couverture au sol et comparés à un seuil maximal. Lorsque les écarts sont supérieurs au seuil maximal, un algorithme 328 de minimisation des écarts est utilisé pour définir une nouvelle hypothèse de valeurs des paramètres des barres de maintien 329, correspondant à des nouvelles valeurs de déformations locales à appliquer à la membrane, permettant de minimiser, à l'itération suivante k+1, les écarts obtenus et de se rapprocher de l'objectif fixé. Les valeurs des paramètres des barres de

maintien sont validées à l'étape 330 lorsque les écarts de performances obtenus à la dernière itération considérée sont inférieurs au seuil maximal.

[0029] L'objectif fixé peut concerner des niveaux de performances d'un ou de plusieurs paramètres du diagramme de rayonnement de l'antenne tel que par exemple, dans le cas d'une antenne fonctionnant en double polarisation linéaire, un objectif concernant un niveau maximal et un niveau minimal de co-polarisation et un objectif concernant un niveau maximal de polarisation croisée. Lorsque les niveaux de performances à réaliser concernent plusieurs paramètres différents, les objectifs de niveaux de performances correspondant aux différents paramètres peuvent être pondérés par des poids différents. L'optimisation peut en outre être réalisée pour plusieurs fréquences différentes.

[0030] Dans le cas où le réflecteur doit couvrir deux zones de couvertures géographiques différentes en utilisant deux sources placées au plus proche du foyer du réflecteur, les objectifs de performances à réaliser sur les deux zones de couverture géographiques sont pris en compte et l'optimisation est réalisée en suivant les mêmes étapes pour chaque zone de couverture. Dans ce cas, le procédé consiste à définir des objectifs de performance à réaliser sur les deux zones géographiques différentes et à déterminer les N déformations locales 14 optimales à appliquer en N points différents de la membrane flexible par minimisation des écarts de performances de rayonnement obtenus à chaque itération k par rapport aux objectifs de performances de rayonnement à réaliser sur les deux zones de couverture géographiques choisies.

[0031] Différents algorithmes de minimisation des écarts de performances peuvent être utilisés. Par exemple, il est possible d'utiliser l'algorithme d'optimisation, appelé algorithme MiniMax, consistant à minimiser la valeur maximale de m fonctions d'écarts $f_i(x)$ différentes, où chaque fonction f_i est un écart de performance obtenu par rapport à un objectif fixé, m est le nombre total d'objectifs fixés, i est un nombre entier variant entre 1 et m, x est un vecteur contenant n variables correspondant aux longueurs respectives des n barres de maintien, m étant supérieur ou égal à n. Au lieu de l'algorithme MiniMax, il est également possible d'utiliser l'algorithme d'optimisation, appelé algorithme des moindres carrés (en anglais the least-square algorithm), qui consiste à minimiser la somme des carrés des m fonctions d'écarts $f_i(x)$ différentes.

[0032] La forme initiale de la membrane peut, par exemple, être choisie comme une forme parabolique identique à la forme de la coque épaisse du réflecteur, ce qui correspond à des barres de maintien de longueurs identiques.

[0033] L'architecture d'antenne choisie peut par exemple être une architecture d'antenne simple offset et comporter un seul réflecteur 10 comme représenté par exemple sur la figure 5a, ou une architecture d'antenne Grégorienne, comme représenté par exemple sur la figure

5b, et comporter un réflecteur principal 10 et un sous-réflecteur 15. Dans le cas de l'utilisation d'une antenne Grégorienne, le réflecteur principal 10 est à surface formée et est défini et fabriqué conformément au procédé de fabrication de l'invention. Il est également possible d'utiliser un sous-réflecteur 15 à surface formée.

[0034] Les figures 3, 4a et 4b représentent un exemple de structure de réflecteur d'antenne à surface formée, réalisé conformément au procédé de réalisation de l'invention. Le réflecteur 10 comporte un support rigide constitué d'une coque rigide 11 épaisse ayant une face avant de forme prédéfinie, par exemple parabolique, et une membrane flexible 12, déformable et comportant une face avant réfléchissante, la face arrière de la membrane flexible étant fixée rigidement sur la coque rigide 11 par N barres de maintien 13 transversales de différentes longueurs prédéterminées, où N est un nombre entier supérieur à un. La coque rigide du réflecteur est, de préférence, réalisée par moulage dans un moule de réflecteur standard. Les N barres de maintien peuvent également être positionnées selon des angles d'inclinaison différents par rapport à la surface de la membrane flexible 12. Chaque barre de maintien 13 comporte deux extrémités opposées fixées rigidement respectivement sur la face avant de la coque rigide 11 et sur la face arrière de la membrane flexible 12, par tout moyen de fixation rigide connu, par exemple par collage ou rivetage. Les barres de maintien 13 sont espacées les unes des autres et positionnées en des points de maintien différents prédéterminés. Les points de maintien peuvent être localisés sur toute la surface de la face arrière de la membrane flexible 12 comme représenté sur la figure 4b, à l'exception d'une région périphérique de la membrane flexible qui n'est pas reliée à la coque rigide 11 et reste libre sur les bords périphériques du réflecteur 10. La membrane flexible 12 étant libre sur les bords périphériques du réflecteur 10, les barres de maintien les plus proches des bords du réflecteur définissent les déformations sur les bords de la membrane flexible 12 et permettent d'optimiser la discrimination de la polarisation croisée et les lobes secondaires du diagramme de rayonnement de l'antenne. A titre d'exemple, une répartition hexagonale des barres de maintien permet de mieux contrôler les déformations sur les bords de la membrane flexible qu'une répartition carrée. Il est également possible d'ajouter quelques barres de maintien sur les bords périphériques du réflecteur pour améliorer le contrôle de la région périphérique de la membrane. Chaque barre de maintien 13 applique, au point de fixation sur la membrane flexible 12 réfléchissante, une déformation locale 14 dépendant de la longueur de la barre de maintien 13 correspondante. La face avant réfléchissante de la membrane flexible 12 épouse donc une forme qui dépend de la longueur de chaque barre de maintien 13. Les longueurs de chaque barre de maintien 13 sont prédéterminées, en chaque point de maintien, et définies en fonction de l'architecture et des dimensions de l'antenne choisie pour accomplir la mission du satellite et en fonction

des performances de rayonnement souhaitées de manière à optimiser le diagramme de rayonnement de l'antenne sur une zone de couverture au sol correspondant à celle souhaitée. Après fixation des barres de maintien 13 sur la coque rigide 11 du réflecteur 10 et sur la membrane flexible 12, leurs longueurs respectives ne peuvent plus être modifiées et il n'est donc plus possible de modifier la forme de la membrane flexible en vol après la mise en service du satellite sur lequel est montée l'antenne équipée du réflecteur conforme à l'invention.

[0035] La membrane flexible 12 peut être fixée directement aux barres de maintien 13 ou par l'intermédiaire de liaisons à double rotules à doigt ou à fibres sèches. L'utilisation de liaisons à double rotules présente l'avantage d'autoriser des mouvements locaux de la membrane dans son plan local et de minimiser l'impact des effets thermo-élastiques sur la membrane déformée et les contraintes correspondantes dans le matériau de la membrane.

[0036] Selon un exemple de réalisation, la coque 11 du réflecteur 10 peut être réalisée en matériau composite et comporter une structure multicouches, symétrique en épaisseur, telle qu'une couche interne en nid d'abeille prise en sandwich entre deux dépôts externes en carbone. Les barres de maintien 13 peuvent être réalisées en carbone et ont des longueurs différentes comprises typiquement entre 50mm et 100mm. La membrane flexible 12 peut comporter, en épaisseur selon une direction Z, une, ou plusieurs, couche interne pouvant être constituée par exemple d'un tissu de fibres de carbone, les fibres de carbone étant disposées parallèlement au plan XY de la membrane et s'étendant selon deux directions orthogonales, et une couche externe réfléchissante placée en face avant de la membrane, la couche externe pouvant être constituée par exemple d'un matériau élastomère conducteur, le matériau élastomère conducteur pouvant être constitué d'un matériau en silicone résistant aux radiations électromagnétiques et chargé de particules de métal ou de carbone. Un matériau élastomère conducteur a l'avantage de comporter des propriétés élastiques qui autorisent des déformations de la membrane hors de son plan XY contrairement à un matériau en métal pur qui peut, sous l'effet des déformées thermo-élastiques, engendrer des micro-fissures et devenir source potentielle de signaux d'intermodulation. En outre, une membrane en élastomère conducteur ou comportant des couches en tissu de fibres de carbone biaxe et une couche externe en matériau élastomère conducteur a de très bonnes performances en réflectivité radiofréquence et engendre peu de signaux parasites d'intermodulation dans la bande de réception. Cependant, l'utilisation d'un matériau en silicone chargé en face avant de la membrane n'est pas obligatoire. Cette utilisation est fonction du niveau de signaux d'intermodulation spécifié. Tout autre type de membrane déformable ou de tissu déformable peut être utilisé comme surface réfléchissante du réflecteur.

[0037] Bien que l'invention ait été décrite en liaison

avec des modes de réalisation particuliers, il est bien évident qu'elle n'y est nullement limitée et qu'elle comprend tous les équivalents techniques des moyens décrits ainsi que leurs combinaisons si celles-ci entrent dans le cadre de l'invention. En particulier, toute membrane réfléchissante flexible répondant aux exigences radiofréquences souhaitées peut être utilisée. Les déformations ou les surfaces accessibles par la membrane flexible dépendent des propriétés mécaniques de ladite membrane, c'est à dire, que deux technologies différentes de membrane flexible peuvent aboutir à des surfaces différentes mais à des niveaux de performances comparables. De même, la coque rigide du réflecteur peut être réalisée en un autre matériau que celui précisément décrit dès lors qu'il possède les propriétés mécaniques requises par la mission à réaliser et peut avoir une forme prédéfinie qui n'est pas parabolique. Les performances radiofréquence obtenues avec le réflecteur à membrane flexible sont comparables aux performances obtenues avec les technologies des réflecteurs formés classiques.

Revendications

1. Procédé de réalisation d'un réflecteur d'antenne à surface formée, consistant à réaliser une coque rigide (11), une membrane flexible (12) et à positionner et fixer (500) la membrane flexible (12) sur la coque rigide (11) par l'intermédiaire de N barres de maintien (13) rigides en N points de maintien différents de la membrane flexible, où N est un nombre entier supérieur à 1, de façon à appliquer N déformations locales sur la membrane flexible par rapport à la surface du réflecteur, **caractérisé en ce qu'il** consiste :

- à définir (100) au moins un objectif de performances de rayonnement à réaliser sur une zone de couverture géographique au sol choisie,
- à choisir une coque rigide (11) ayant un profil de forme prédéfinie et à choisir une forme initiale de la surface de la membrane flexible (12),
- à partir de la forme de la coque rigide (11) et de la forme initiale de la surface de la membrane flexible (12), à déterminer (300), par itérations successives, à l'aide d'un modèle mécanique (321) du réflecteur (10) et d'un modèle du rayonnement radiofréquence (323) de l'antenne, N déformations locales (14) optimales à appliquer aux N points de maintien différents de la membrane flexible, les N déformations locales optimales (14) étant déterminées par minimisation des écarts de performances de rayonnement délivrés à chaque itération (k) par le modèle du rayonnement radiofréquence de l'antenne, par rapport aux objectifs de performances de rayonnement à réaliser sur la zone de couverture géographique choisie,

- à réaliser N barres de maintien (13) rigides de longueurs différentes, les valeurs des longueurs des N barres de maintien étant figées et correspondant respectivement aux N déformations locales optimales (14).
2. Procédé de réalisation selon l'une des revendications 1, **caractérisé en ce que** les N barres de maintien (13) sont espacées les unes des autres et fixées sur une face arrière de la membrane flexible en N points de maintien différents de la membrane flexible (12).
 3. Procédé de réalisation d'un réflecteur d'antenne selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** les N barres de maintien (13) ont en outre des angles d'inclinaison différents par rapport à la surface de la membrane flexible (12).
 4. Procédé de réalisation d'un réflecteur d'antenne selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'à** chaque itération (k), le modèle mécanique (321) détermine une surface déformée (322) de la membrane flexible, et **en ce que** le modèle radiofréquence (323) détermine et analyse les performances de rayonnement (326) sur la couverture géographique réalisée au sol correspondant à la surface déformée élaborée par le modèle mécanique (321) à l'itération (k) correspondante.
 5. Procédé de réalisation d'un réflecteur d'antenne selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'il** consiste à définir des objectifs de performance de rayonnement à réaliser sur deux zones géographiques différentes et à déterminer les N déformations locales (14) optimales à appliquer en N points différents de la membrane flexible par minimisation des écarts de performances de rayonnement obtenus à chaque itération (k) par rapport aux objectifs de performances de rayonnement à réaliser sur les deux zones de couverture géographiques choisies.
 6. Réflecteur d'antenne à surface formée obtenu par le procédé de fabrication selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comporte une coque rigide (11) ayant un profil de forme prédéfinie, une membrane flexible (12) à surface déformable et à face avant réfléchissant les ondes radiofréquence, N barres de maintien (13) rigides de longueurs fixes différentes et prédéterminées, espacées les unes des autres et fixées directement sur la coque rigide et sur la membrane flexible en N points de maintien différents de la membrane flexible (12), les longueurs des N barres de maintien correspondant à N déformations optimales à appliquer à la membrane flexible (12) aux N points de maintien (13).
 7. Réflecteur d'antenne à surface formée selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** les N barres de maintien ont une section de forme carrée ou circulaire.
 8. Réflecteur d'antenne à surface formée selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** les N barres de maintien sont réparties selon une maille régulière carrée ou hexagonale ou triangulaire.
 9. Réflecteur d'antenne à surface formée selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** les N barres de maintien sont réparties selon une maille irrégulière.
 10. Réflecteur d'antenne à surface formée selon l'une des revendications 6 à 9, **caractérisé en ce que** la membrane flexible (12) comporte en épaisseur selon une direction Z, au moins une couche interne constituée d'un tissu de fibres de carbone, les fibres de carbone étant disposées parallèlement à un plan XY de la membrane flexible (12) et s'étendant selon deux directions orthogonales, et une couche externe réfléchissante constituée d'un matériau élastomère conducteur, le matériau élastomère conducteur étant constitué d'un matériau en silicone chargé de particules de métal ou de carbone.
 11. Antenne, **caractérisée en ce qu'elle** comporte au moins un réflecteur (10) selon l'une des revendications 6 à 10.

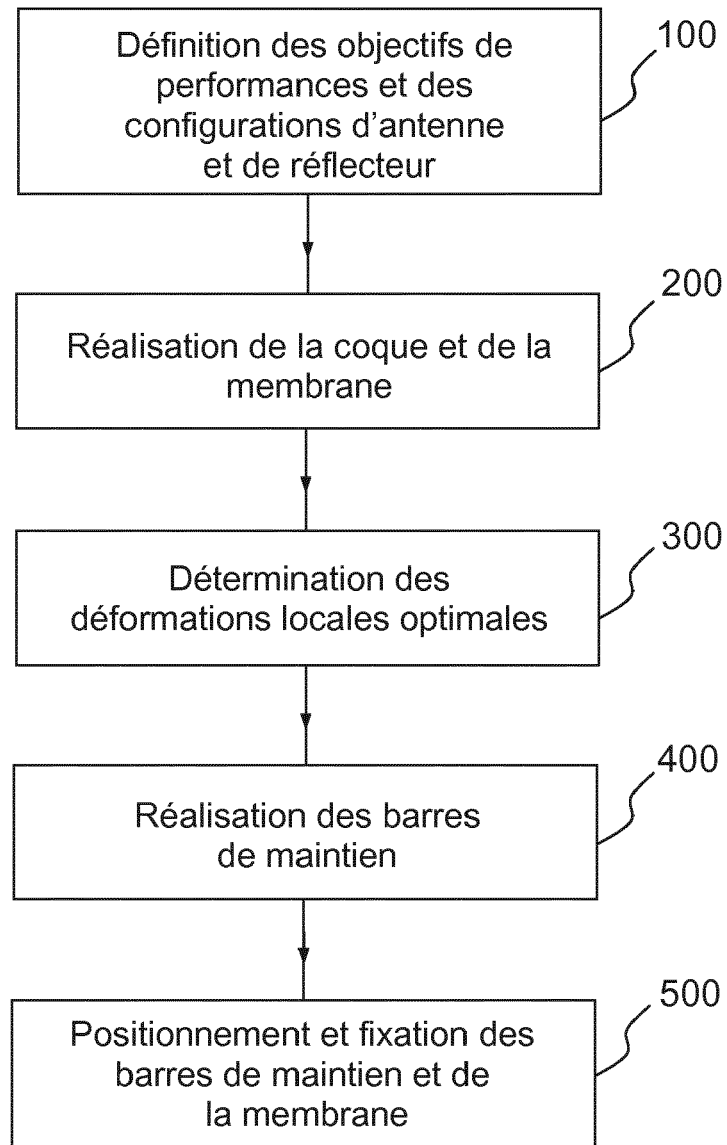


FIG.1

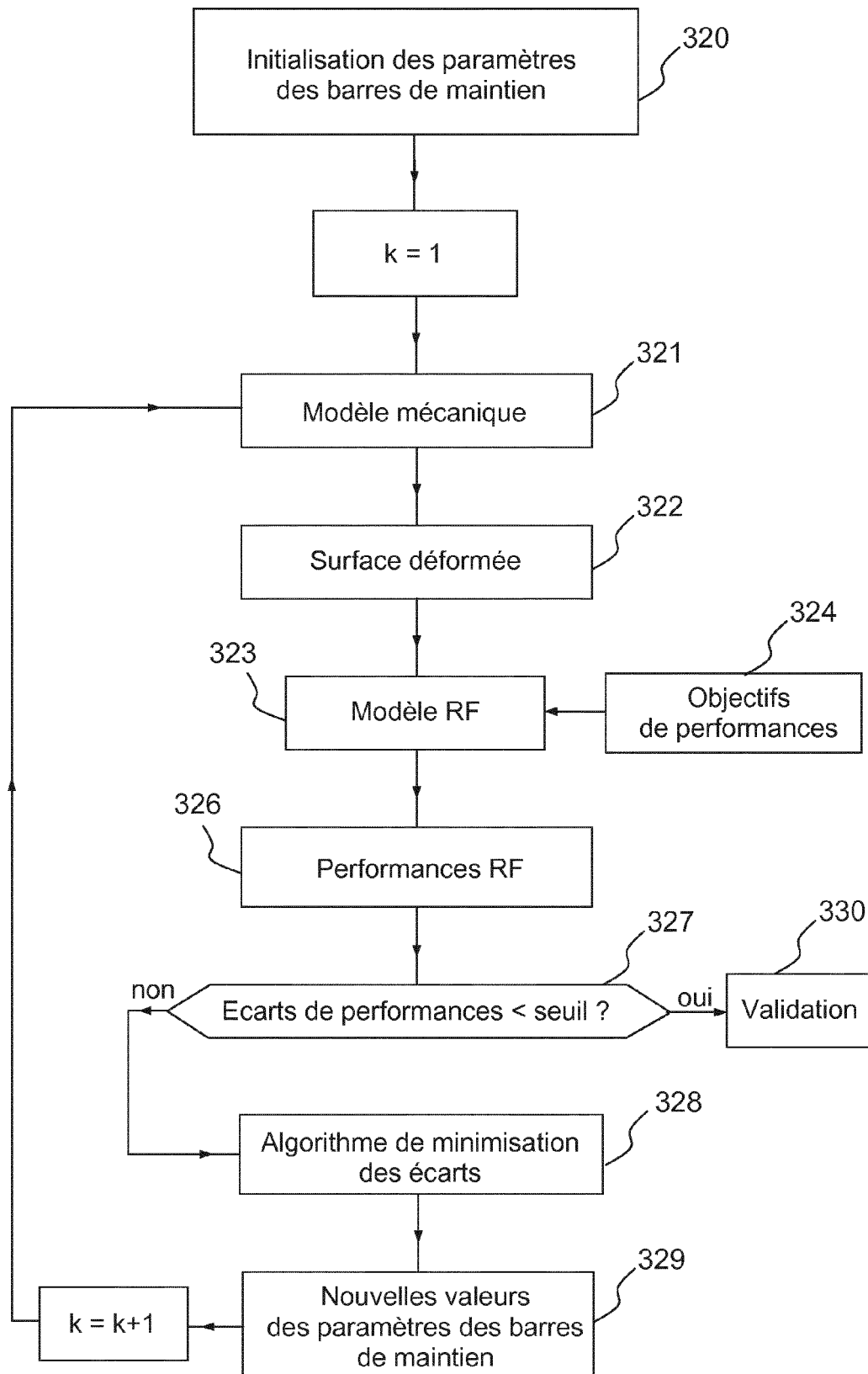
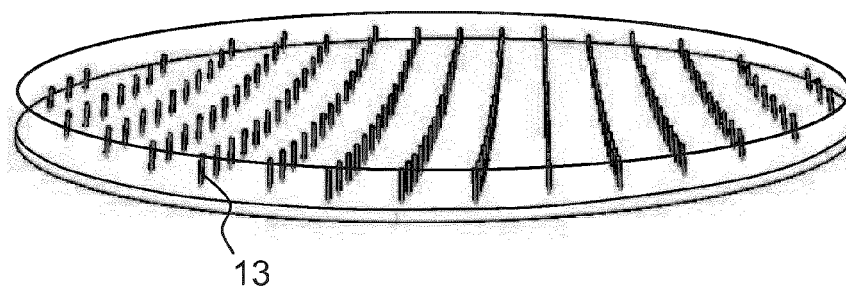
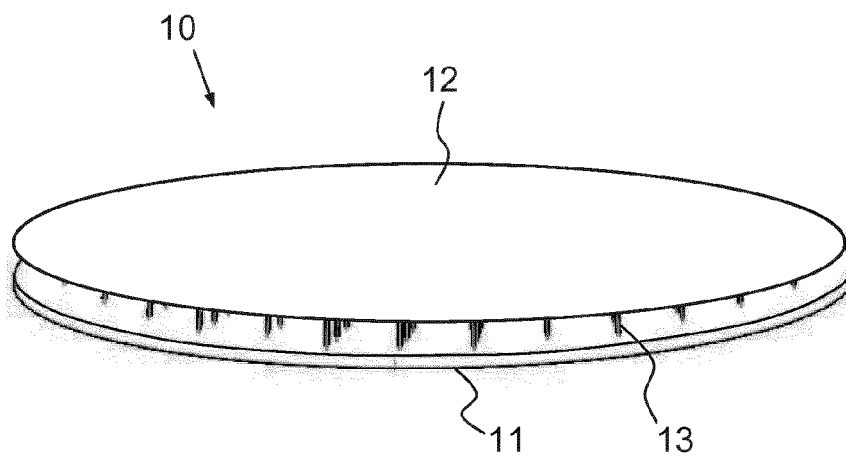
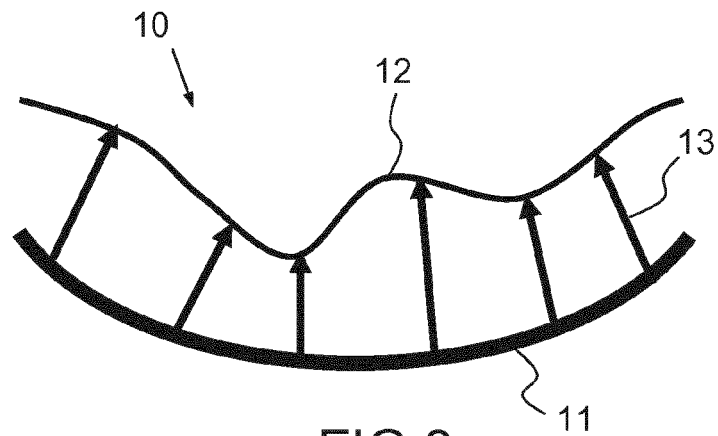


FIG.2



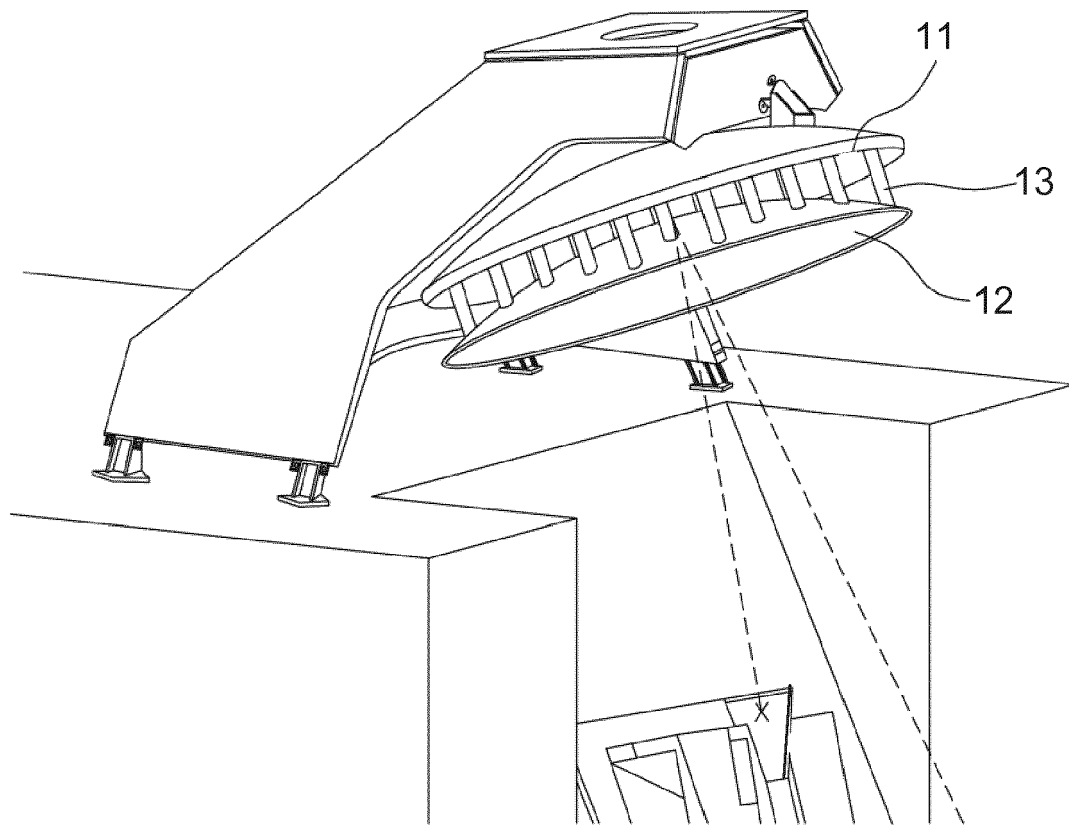


FIG.5a

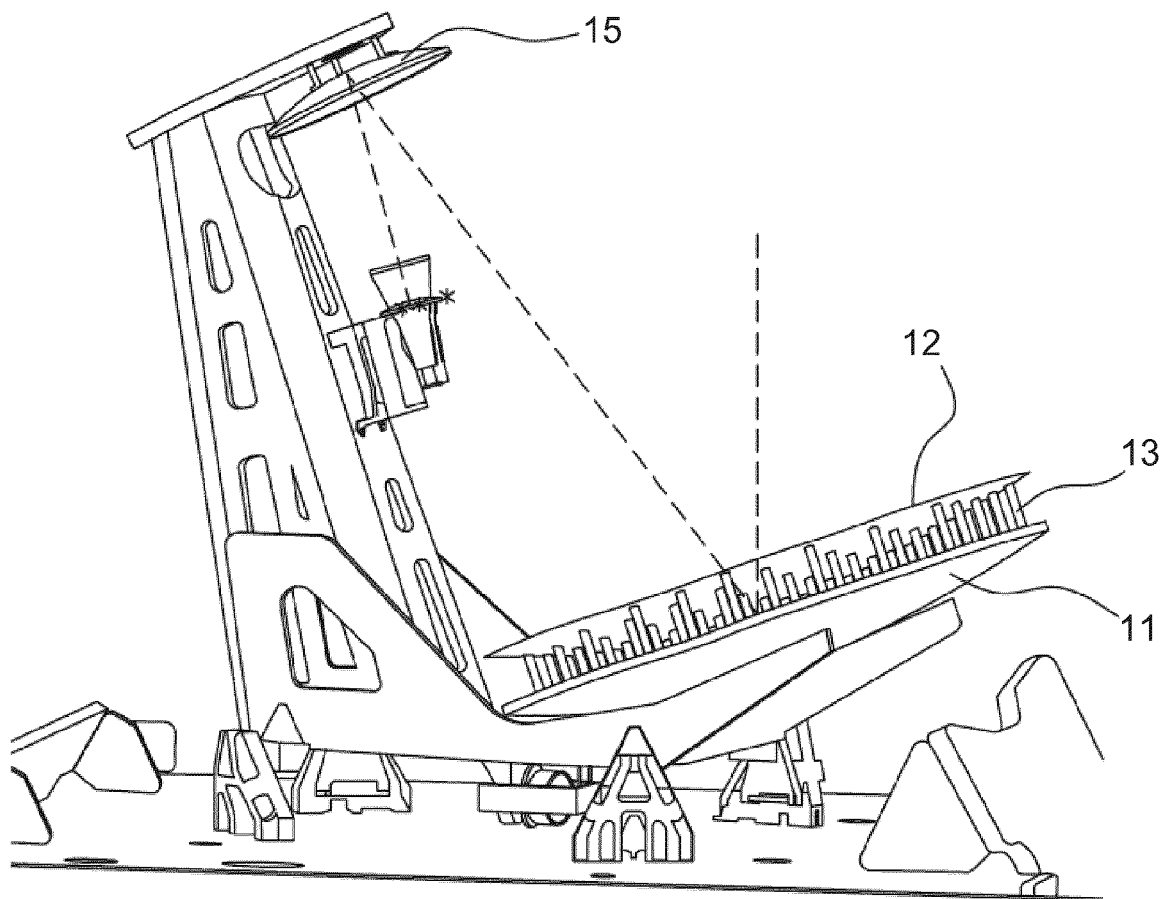


FIG.5b



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 14 16 9359

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	EP 2 362 489 A1 (THALES SA [FR]; CENTRE NAT ETD SPATIALES [FR]) 31 août 2011 (2011-08-31) * alinéas [0012], [0017] - [0019], [0022] - [0026]; figures 2, 4 *	1-11	INV. H01Q1/28 H01Q15/14 H01Q15/16
X	EP 2 503 641 A1 (THALES SA [FR]) 26 septembre 2012 (2012-09-26) * alinéa [0015]; figure 1 *	1-11	
X	US 4 750 002 A (KOMMINENI PRASAD R [US]) 7 juin 1988 (1988-06-07) * colonne 1, ligne 13 - colonne 4, ligne 31; figure 1 *	1-11	
X	SHIMIZU M: "STUDY OF SHAPE CONTROL FOR MODULAR MESH ANTENNA", ELECTRONICS & COMMUNICATIONS IN JAPAN, PART I - COMMUNICATIONS, WILEY, HOBOKEN, NJ, US, vol. 79, no. 12, 1 décembre 1996 (1996-12-01), pages 75-83, XP000679207, ISSN: 8756-6621 * le document en entier *	1-11	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) H01Q
A	US 3 184 210 A (CHARLES FASSNACHT ET AL) 18 mai 1965 (1965-05-18) * colonne 5, ligne 3 - ligne 32; figure 7 *	4-6	
A	JP 2006 080578 A (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 23 mars 2006 (2006-03-23) * le document en entier *	1,6	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 24 septembre 2014	Examineur Fredj, Aziz
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES 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 antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03/82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 14 16 9359

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

24-09-2014

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 2362489 A1	31-08-2011	CA 2732481 A1	26-08-2011
		CN 102170046 A	31-08-2011
		EP 2362489 A1	31-08-2011
		ES 2398210 T3	14-03-2013
		FR 2956927 A1	02-09-2011
		US 2012092225 A1	19-04-2012

EP 2503641 A1	26-09-2012	CN 102694273 A	26-09-2012
		EP 2503641 A1	26-09-2012
		ES 2433007 T3	05-12-2013
		FR 2973168 A1	28-09-2012
		JP 2012205306 A	22-10-2012
		US 2013076590 A1	28-03-2013

US 4750002 A	07-06-1988	AUCUN	

US 3184210 A	18-05-1965	AUCUN	

JP 2006080578 A	23-03-2006	AUCUN	

EPO FORM P0460

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

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- FR 2678111 [0005]
- EP 2362489 A [0006]