



(11) **EP 4 401 239 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**17.07.2024 Bulletin 2024/29**

(21) Numéro de dépôt: **24151613.7**

(22) Date de dépôt: **12.01.2024**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):  
**H01Q 1/38** (2006.01)      **H01Q 1/42** (2006.01)  
**H01Q 13/02** (2006.01)    **H01Q 15/08** (2006.01)  
**H01Q 15/10** (2006.01)    **H01Q 19/06** (2006.01)  
**H01Q 19/08** (2006.01)    **H01Q 21/08** (2006.01)

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):  
**H01Q 21/08; H01Q 1/38; H01Q 1/42; H01Q 13/02;**  
**H01Q 15/08; H01Q 15/10; H01Q 19/06;**  
**H01Q 19/08**

(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 ME MK MT NL**  
**NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
 Etats d'extension désignés:  
**BA**  
 Etats de validation désignés:  
**KH MA MD TN**

(30) Priorité: **13.01.2023 FR 2300339**

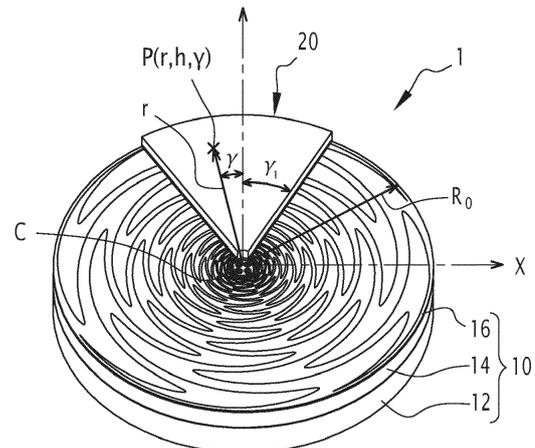
(71) Demandeur: **THALES**  
**92190 Meudon (FR)**

(72) Inventeurs:  
 • **MALLEGOL, Stéphane**  
**29238 Brest Cedex 3 (FR)**  
 • **RENARD, Christian**  
**78851 Elancourt Cedex (FR)**

(74) Mandataire: **Lavoix**  
**2, place d'Estienne d'Orves**  
**75441 Paris Cedex 09 (FR)**

(54) **SYSTÈME ANTENNAIRE COMPORTANT UNE ANTENNE ET UN DISPOSITIF PASSIF DE DÉVIATION ANGULAIRE D'UN LOBE PRINCIPAL DE RAYONNEMENT DE L'ANTENNE**

(57) Ce système antennaire (1) comporte une antenne (10) et un dispositif passif de déviation angulaire d'un lobe principal de rayonnement de l'antenne, caractérisé en ce que le dispositif est constitué par une lentille (20), ladite lentille ayant une épaisseur constante et présentant une permittivité relative progressive entre un bord interne de la lentille situé du côté du centre géométrique (C) de l'antenne et un bord externe de la lentille situé du côté d'une périphérie de l'antenne, le profil de la permittivité relative en fonction de la distance au centre géométrique de l'antenne étant adapté de manière à ce que la lentille dévie le lobe principal de rayonnement de l'antenne d'un angle de déviation prédéfini sur au moins une portion d'une bande de fréquence de fonctionnement de l'antenne.



**FIG. 2**

**EP 4 401 239 A1**

## Description

**[0001]** L'invention a pour domaine celui des systèmes antennaires pouvant opérer en émission ou en réception, et plus particulièrement celui des systèmes antennaires équipés d'un dispositif passif de déviation angulaire du lobe principal de rayonnement d'au moins l'une des antennes du système antenne.

**[0002]** Il est parfois nécessaire d'associer à une antenne un dispositif de déviation angulaire de son lobe principal, pour réaliser un découplage électromagnétique entre cette antenne et une antenne voisine du système antenne, pour réaliser un découplage électromagnétique entre cette antenne et la structure porteuse, ou encore pour répondre à un besoin d'atténuation locale du champ électrique afin d'améliorer la compatibilité électromagnétique entre cette antenne et une antenne voisine (en masquant par exemple un domaine de rayonnement qui n'est pas utile opérationnellement).

**[0003]** Le document FR073083 divulgue un système antenne comportant une antenne et un dispositif passif de déviation angulaire du lobe principal de rayonnement d'une antenne spirale.

**[0004]** Selon cet état de la technique, le dispositif de déviation est une lentille disposée au-dessus de l'élément rayonnant de l'antenne de manière à recouvrir un secteur angulaire de l'antenne. Cette lentille est constituée d'un matériau diélectrique partiellement absorbant. Elle présente une épaisseur qui varie en fonction de la distance au centre géométrique de l'élément rayonnant, afin d'obtenir un angle de déviation substantiellement constant sur la bande de fréquence de fonctionnement de l'antenne.

**[0005]** Cependant, la plage de fréquence sur laquelle l'angle de déviation du lobe principal est effectivement constant reste assez limitée. Typiquement, cette plage s'étend entre une fréquence minimale FMIN et une fréquence maximale FMAX telles que le rapport FMAX sur FMIN est d'environ deux, soit une octave maximum.

**[0006]** Ceci reste insuffisant lorsque l'antenne est une antenne à large bande de fréquence comme une antenne spirale et que l'on cherche à obtenir un comportement constant sur l'ensemble de la bande de fréquence de fonctionnement de cette antenne et pas seulement sur une plage limitée de fréquence.

**[0007]** De plus, même si l'angle de déviation est relativement constant sur cette plage de fréquence, une dégradation de la pureté de la polarisation est observable.

**[0008]** Mais surtout, le fait que l'épaisseur de la lentille varie et soit, à certains endroits, relativement importante (en particulier au voisinage du bord externe de la lentille qui correspond aux fréquences basses de la bande de fréquence de fonctionnement) ne facilite pas l'intégration d'un tel dispositif passif dans un système antenne, notamment si ce dernier comporte un radôme de protection. Compte tenu des fréquences de fonctionnement considérées (par exemple entre 3 GHz et 6 GHz dans le document FR073083), la distance entre l'élément rayonnant de l'antenne et la face inférieure du radôme est typiquement de 2 mm au maximum.

**[0009]** L'invention a donc pour but de proposer un dispositif passif amélioré de déviation angulaire du lobe principal d'une antenne à large bande de fréquence.

**[0010]** Pour cela, l'invention a pour objet un système antenne selon les revendications annexées.

**[0011]** L'invention et ses avantages seront mieux compris à la lecture de la description détaillée qui va suivre de deux modes de réalisation particuliers, donnés uniquement à titre d'exemples illustratifs et non limitatifs, cette description étant faite en se référant aux dessins annexés sur lesquels :

- [Fig.1] La figure 1 est une représentation schématique, en coupe, d'un premier mode de réalisation d'un système antenne selon l'invention comportant une unique antenne à large bande de fréquence du type sinueuse, et une lentille ;
- [Fig.2] La figure 2 est une représentation en perspective du système antenne de la figure 1 ;
- [Fig.3] La figure 3 est un graphe représentant l'évolution théorique de la permittivité relative de la lentille du système antenne de la figure 1 en fonction de la fréquence de fonctionnement de l'antenne ;
- [Fig.4] La figure 4 illustre une structure possible pour la lentille du système antenne de la figure 1, par association de sections élémentaires ayant chacune des permittivités relatives différentes ;
- [Fig.5] La figure 5 représente différents graphes illustrant, pour différentes fréquences de fonctionnement de l'antenne de la figure 1, l'évolution du gain pour, d'une part, un système antenne qui n'est pas équipé de la lentille selon l'invention et, d'autre part, d'un système antenne qui est équipé de la lentille selon l'invention ; et,
- [Fig.6] La figure 6 est une représentation schématique, en perspective, d'un second mode de réalisation d'un système antenne selon l'invention comportant plusieurs antennes à large bande de fréquence du type cornet, chaque antenne étant équipée d'une lentille.

**[0012]** Les figures 1 et 2 représentent un système antenne 1 selon un mode de réalisation préféré de l'invention.

**[0013]** Le système antenne 1 comporte une unique antenne à large bande de fréquence 10. L'antenne 10 est par exemple une antenne sinueuse (comme représentée sur la figure 2).

**[0014]** En variante, un autre type d'antenne plane à large bande de fréquence peut être utilisé, comme une antenne de type spirale d'Archimède, logarithmique, log-périodique. En variante, une antenne plane à bande de fréquence plus

réduite peut être utilisée, comme par exemple une antenne « patch ».

**[0015]** L'antenne 10 comporte un plan de masse 12, un circuit imprimé 16, et une cavité 14, ménagée entre le plan de masse 12 et le circuit imprimé 16.

5 **[0016]** La cavité 14 peut avantageusement être remplie d'un substrat adapté, notamment pour la tenue mécanique de l'antenne 10.

**[0017]** La surface supérieure du circuit 16 porte un élément rayonnant. Les brins métalliques constitutifs de l'élément rayonnant sont imprimés sur une surface supérieure du circuit imprimé 16.

**[0018]** L'antenne 10 forme de préférence un cylindre de rayon  $R_0$  et d'axe Z. En variante, l'antenne peut aussi être de forme carrée, par exemple pour un cas d'application à une antenne spirale carrée.

10 **[0019]** Un trièdre de référence est attaché au système antennaire 1, tel que son origine coïncide avec un centre géométrique C de l'élément rayonnant, les axes XY reposent dans le plan de rayonnement que définit la surface supérieure du circuit imprimé 16 et l'axe Z est normal à ce plan de rayonnement (orienté vers le demi-espace de rayonnement de l'antenne).

15 **[0020]** Le système antennaire 1 comporte une lentille 20 en tant que dispositif passif de déviation angulaire du lobe principal de l'antenne 10.

**[0021]** Dans le mode de réalisation de la figure 1, la lentille 20 est collée sur la surface supérieure du circuit imprimé 16. Le film de colle 30 constitue une couche d'épaisseur  $h_2$  constante et de permittivité relative  $\varepsilon_2$  constante, supérieure à l'unité.

20 **[0022]** En variante, la lentille 20 est positionnée en contact direct de l'élément rayonnant, par exemple par vissage sur le circuit imprimé 16.

**[0023]** Avantageusement, le système antennaire 1 comporte un radôme 40, destiné à protéger l'antenne 10 et la lentille 20 des agressions extérieures. Sur la figure 2, le radôme n'a pas été représenté pour ne pas masquer la lentille 20. De préférence, le radôme 40 présente une portion affinée 42 de manière à recevoir la partie supérieure de la lentille 20 et ainsi réduire l'épaisseur totale du système antennaire 1.

25 **[0024]** La lentille 20 est conçue et disposée par rapport à l'antenne 10 de manière à incliner, dans le plan YZ de la figure 1, la direction D du lobe principal de rayonnement de l'antenne 10 d'un angle d'inclinaison  $\theta_0$  (évalué par rapport à l'axe Z).

**[0025]** Géométriquement, la lentille 20 forme un secteur angulaire.

30 **[0026]** La lentille 20 est positionnée au-dessus de l'élément rayonnant, dans la zone de rayonnement champ proche de l'élément rayonnant. En variante, la lentille est positionnée en dessous de l'élément rayonnant, dans la cavité 14.

**[0027]** La lentille 20 est positionnée de sorte que son sommet (constituant son bord interne) coïncide sensiblement avec le centre géométrique C de l'élément rayonnant et que son bord externe coïncide avec la périphérie de l'antenne 10.

**[0028]** La lentille 20 est symétrique par rapport à sa bissectrice.

**[0029]** Elle est positionnée de sorte que sa bissectrice coïncide avec l'axe Y.

35 **[0030]** Le demi-angle d'ouverture du secteur angulaire que forme la lentille 20 est noté  $\gamma_1$ .

**[0031]** La lentille 20 présente une épaisseur constante  $h_1$ . L'épaisseur  $h_1$  de la lentille 20 est faible en regard de la longueur d'onde  $\lambda_0$  associée à la fréquence minimale FMIN (c'est-à-dire à la longueur d'onde maximale) de la bande de fréquence de fonctionnement de l'antenne 10.

40 **[0032]** Pour que la lentille 20 permette d'obtenir, à épaisseur constante, une déviation angulaire peu variante suivant la fréquence de fonctionnement de l'antenne 10 (tant au niveau de la zone champ proche qu'en rayonnement champ lointain), le matériau constitutif de la lentille présente des propriétés diélectriques progressives en fonction de la fréquence.

**[0033]** La permittivité relative suit un profil d'évolution entre un bord interne de la lentille situé du côté du centre géométrique (C) de l'antenne et un bord externe de la lentille situé du côté d'une périphérie de l'antenne.

45 **[0034]** La figure 3 représente trois courbes, respectivement C1, C2 et C3, pour trois valeurs de l'angles d'ouverture  $2\gamma_1$  de la lentille 20, respectivement  $7,5^\circ$ ,  $15^\circ$  et  $30^\circ$ . Chaque courbe donne le profil de la permittivité relative  $\varepsilon_1$  en fonction de la fréquence F afin d'obtenir, sur l'ensemble de la bande de fréquence, une déviation angulaire d'un angle d'inclinaison  $\theta_0$  égal à  $10^\circ$ .

50 **[0035]** Pour une antenne à large bande de fréquence, sinuose ou spirale (d'Archimède, logarithmique,...), il y a une relation directe entre la fréquence de fonctionnement et la distance r à l'axe Z de l'antenne. En effet, pour ce type d'antenne, la portion de l'élément rayonnant qui rayonne principalement à une fréquence est un anneau dont le rayon dépend de l'inverse de la fréquence. Ainsi, sur la figure 3, chaque courbe donne également la valeur de la permittivité relative  $\varepsilon_1$  en fonction de la distance r.

55 **[0036]** Du fait de cette relation, le matériau diélectrique constitutif de la lentille 20 présente un profil de permittivité relative tel que la valeur de cette permittivité décroît progressivement de la périphérie de l'antenne (correspondant aux fréquences de fonctionnement basses), vers le centre C de l'antenne (correspondant aux fréquences de fonctionnement élevées).

**[0037]** La lentille 20 est ainsi fabriquée de manière à présenter un gradient diélectrique selon la distance r au centre

C de l'antenne.

**[0038]** Dans la géométrie cylindrique de ce premier mode de réalisation, des coordonnées polaires sont adaptées. Un point P est décrit par trois coordonnées : la distance r à l'axe Z (ou rayon), entre 0 et R<sub>1</sub> ; l'épaisseur h par rapport à la surface inférieure de la lentille, entre 0 et h<sub>1</sub> ; et un angle polaire γ évalué par rapport à l'axe Y, entre -γ<sub>1</sub>/2 et +γ<sub>1</sub>/2.

**[0039]** En variante ou en combinaison, la lentille présente un gradient diélectrique suivant la direction Z, c'est-à-dire selon l'épaisseur h de la lentille. Cela peut s'avérer avantageux notamment pour éviter un saut de permittivité relative trop important au voisinage des interfaces, le film de colle et le circuit imprimé d'une part et le radôme d'autre part. Le fait de modifier la permittivité selon l'épaisseur permet ainsi d'offrir un degré de liberté pour créer une adaptation de permittivité aux interfaces.

**[0040]** Dans une autre variante ou en combinaison, la lentille présente un gradient diélectrique suivant l'angle polaire γ. Cela peut s'avérer avantageux notamment pour avoir une permittivité relative proche de l'unité au voisinage des bords latéraux de la lentille et assurer une certaine continuité de cette grandeur.

**[0041]** Dans ce qui suit, on présente succinctement une procédure pour déterminer le profil de la permittivité relative en fonction de la distance au centre de l'antenne. Il s'agit d'effectuer un pré-dimensionnement de la lentille en tenant compte d'une modélisation analytique théorique, puis de simuler électromagnétiquement le comportement de l'ensemble du système antennaire pour finalement affiner le dimensionnement.

**[0042]** Il est possible de formuler analytiquement la déviation angulaire du lobe en fonction de plusieurs paramètres. Une telle formulation analytique permet d'écrire une relation de la forme générale suivante :

$$\theta_0 = f(F, \alpha, \gamma_1, h_1, h_2, \epsilon_{\text{reff}}) \quad (\text{Eq. 1})$$

**[0043]** Selon l'équation 1, la déviation angulaire θ<sub>0</sub> est une fonction f de la fréquence de fonctionnement F, de l'angle α considéré dans le plan perpendiculaire au plan de déviation (par exemple, angle de gisement, si la déviation est suivant le plan site), de l'ouverture γ<sub>1</sub> du secteur angulaire formé par la lentille, de l'épaisseur h<sub>1</sub> de la lentille, de l'épaisseur h<sub>2</sub> de la couche de colle, et la permittivité relative effective ε<sub>reff</sub>.

**[0044]** La permittivité relative effective (complexe ou réelle) peut être exprimée via l'équation :

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{h_1 \cdot \epsilon_1 + h_2 \cdot \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2} \quad (\text{Eq. 2})$$

**[0045]** À partir des équations 1 et 2, il est possible d'obtenir l'équation 3 suivante :

$$\epsilon_1 = f'(F, \alpha, \gamma_1, h_1, h_2, \epsilon_2, \theta_0) \quad (\text{Eq. 3})$$

où la grandeur d'intérêt ε<sub>1</sub> s'exprime comme une fonction f des paramètres pertinents, notamment de la fréquence F.

**[0046]** Pour le cas d'une antenne à large bande de fréquence, un anneau de rayonnement champ proche de rayon r peut s'exprimer selon l'équation 4 :

$$r = \frac{Ac}{2\pi F} \quad (\text{Eq. 4})$$

où A est une constante et c est la vitesse de la lumière.

**[0047]** L'équation 4 réinjectée dans l'équation 3 permet d'obtenir l'équation 5 :

$$\epsilon_1 = f''(r, \alpha, \gamma_1, h_1, h_2, \epsilon_2, \theta_0) \quad (\text{Eq 5})$$

où la grandeur d'intérêt ε<sub>1</sub> s'exprime comme une fonction f'' des paramètres pertinents, notamment de la distance r à l'axe Z de l'antenne.

**[0048]** L'homme du métier connaît des formes possibles pour la fonction analytique f (et donc les fonctions f' et f'') déterminées à partir de modèles physiques et d'approximations particulières.

**[0049]** Le fait de disposer d'une expression analytique permet d'évaluer l'impact de la lentille sur la déviation angulaire du lobe principal, d'estimer la déviation théorique atteignable pour la permittivité relative d'un matériau diélectrique donné, et de déterminer le profil de permittivité relative nécessaire pour une déviation angulaire stable en fonction de

la fréquence.

**[0050]** D'autres procédures pourraient être mises en oeuvre pour pré-dimensionner la lentille, comme par exemple la théorie du milieu effectif, présentée par exemple dans l'ouvrage de Joseph W. Haus, « Fundamentals and Applications of Nanophotonics », Woodhead Publishing, 2016, notamment son chapitre 7, « Effective medium théories » par M.A. Vincenti et D. de Ceglia.

**[0051]** Suite à ce pré-dimensionnement théorique de la structure électromagnétique de la lentille, et puisque les équations analytiques ne prennent pas en compte l'interaction entre la lentille et l'antenne (ni non plus entre la lentille et l'éventuel radôme), il convient, dans un second temps, de simuler le fonctionnement du système antennaire dans son intégralité.

**[0052]** Cette simulation permet ensuite d'optimiser électromagnétiquement les différents composants du système antennaire, en particulier la lentille, dans le but d'obtenir rigoureusement la déviation angulaire souhaitée sur toute la bande de fréquence de fonctionnement de l'antenne.

**[0053]** Le matériau diélectrique utilisé pour réaliser la lentille 20 présente de préférence une permittivité non dispersive en fonction de la fréquence (c'est-à-dire que la partie réelle et la partie imaginaire de la permittivité relative sont invariantes par rapport à la fréquence).

**[0054]** De préférence encore, le matériau utilisé présente une permittivité relative non complexe.

**[0055]** La lentille est par exemple réalisée en un thermoplastique diélectrique (PLA, ABS, PEEK, PEKK,...).

**[0056]** Avantageusement, un matériau compatible d'une fabrication additive, par exemple par impression 3D est utilisé. Par exemple, la lentille est réalisée par dépôt d'un fil fondu - FDM (« Fused deposition modeling ») ou par frittage sélectif par laser - SLS (« Sélective Laser Sintering »).

**[0057]** Dans ce cas, la progressivité de la permittivité relative est obtenue par variation du taux de remplissage du matériau en chaque point P de la lentille 20. Sachant que le remplissage est réalisé par la répétition d'une pluralité de motifs, l'augmentation du taux de remplissage peut consister à diminuer la taille de ces motifs.

**[0058]** Une manière avantageuse de fabriquer la lentille consiste alors à prévoir une lentille qui résulte de l'assemblage de différentes sections, chaque section présentant une permittivité relative  $\epsilon_1$  constante, mais ajustée pour qu'ensemble les différentes sections permettent de retrouver le profil de permittivité relative prévu lors du dimensionnement.

**[0059]** Comme cela est par exemple représenté sur la figure 4, la lentille 20 résulte de l'assemblage de cinq sections annulaires subdivisant le secteur angulaire que forme la lentille assemblée : une section centrale 21, trois sections intermédiaires 22, 23 et 24 et une section périphérique 25.

**[0060]** Le rayon intérieur de la section 21 est noté  $R_1$ , le rayon interne de la section 22 (qui est égal au rayon externe de la section 21) est noté  $R_2$ , le rayon interne de la section 23 (qui est égal au rayon externe de la section 22) est noté  $R_3$ , le rayon interne de la section 24 (qui est égal au rayon externe de la section 23) est noté  $R_4$ , et le rayon interne de la section 25 (qui est égal au rayon externe de la section 24) est noté  $R_5$  (sachant que le rayon externe de la section 25 correspond au rayon  $R_0$  du système antennaire).

**[0061]** Le nombre de sections constitutives de la lentille 20 peut être multiplié en fonction de la précision recherchée dans la variation de la permittivité relative de manière à approximer au mieux le profil initialement calculé.

**[0062]** De préférence, pour faire varier la permittivité relative d'une section à l'autre, le taux de remplissage est modifié d'une section à l'autre. Par exemple sur la figure 4, le taux de remplissage s'échelonne entre 20% pour la section centrale 21 et 80% pour la section périphérique 25.

**[0063]** Dans le mode de réalisation de la figure 4, la modification du remplissage est effectuée en réduisant la taille des motifs. Dans le mode de réalisation de la figure 4, il s'agit de motifs évidés, en l'occurrence des triangles. En variante, d'autres motifs sont envisageables (gyroïde, croix, grille, hexagone, zigzag, etc.).

**[0064]** La paroi latérale d'une section est avantageusement renforcée de manière à assurer une tenue mécanique (rigidité et résistance à l'humidité).

**[0065]** En variante ou en combinaison, le matériau utilisé pour chaque section de la lentille peut être différent d'une section à l'autre. Par exemple, les sections 21 et 22 peuvent être réalisées avec un plastique ABS, tandis que les sections 3, 4 et 5 peuvent être réalisées avec un plastique PEEK.

**[0066]** Dans une autre variante, les évidements à l'intérieur des motifs, au lieu d'être laissés vides (et de présenter une permittivité relative égale à l'unité), sont comblés avec un second matériau diélectrique différent du premier matériau utilisé pour réaliser les motifs. Il s'agit alors de mettre en oeuvre un procédé de fabrication par impression 3D bi-matériau.

**[0067]** Ce second matériau est de préférence un matériau diélectrique à faibles pertes. En variante, un matériau diélectrique (ABS, PEEK, PEKK, etc.) est utilisé pour les motifs et il est enrichi carbone (ABS ESD, PEEK ESD, PEKK ESD, etc.) pour le remplissage des motifs.

**[0068]** Si l'on souhaite réaliser une lentille présentant un gradient orthoradial de la permittivité relative (c'est-à-dire une progressivité de  $\epsilon_1$  selon l'angle polaire  $\gamma$ ), une section annulaire peut être subdivisée en plusieurs sous-sections, chaque sous-section présentant un taux de remplissage adapté pour obtenir le gradient recherché.

**[0069]** De la même manière, si l'on souhaite réaliser une lentille présentant un gradient axial de la permittivité relative (c'est-à-dire une progressivité de  $\epsilon_1$  selon l'épaisseur h), une section peut résulter de la superposition de plusieurs sous-

sections, chaque sous-section présentant un taux de remplissage adapté à la valeur de la permittivité relative recherchée.

**[0070]** La figure 5 représente deux graphes montrant l'efficacité d'une lentille selon l'invention.

**[0071]** Pour obtenir ces résultats, un système antenneur comme celui de la figure 1 a été fabriqué de manière à ce que la lentille présente un angle d'ouverture  $2\gamma_1$  de  $30^\circ$  et une épaisseur  $h_1$  égale à 2 mm, et que le film de colle présente une épaisseur  $h_1$  égale à 0,5 mm.

**[0072]** Le graphe de gauche est obtenu pour une première fréquence F1 de la bande de fréquence de l'antenne. Par exemple F1 vaut deux fois FMIN. Le graphe de droite est obtenue pour une première fréquence F2 de la bande de fréquence de l'antenne. Par exemple F2 vaut six fois FMIN.

**[0073]** Chaque graphe illustre, pour une fréquence donnée de la bande de fréquence de fonctionnement de l'antenne de la figure 1, l'évolution du gain (exprimé en dBi) en fonction de l'angle  $\theta$  évalué dans le plan ZY par rapport à l'axe Z (exprimé en Deg).

**[0074]** Sur chaque graphe, le comportement d'un système antenneur qui n'est pas équipé de la lentille selon l'invention est représenté par la courbe L1, le comportement d'un système antenneur équipé de la lentille selon l'invention est représenté par la courbe L2 pour une déviation  $\theta_0$  de  $10^\circ$  et L3 pour une déviation  $\theta_0$  de  $20^\circ$ .

**[0075]** Ces graphes montrent une déviation angulaire qui est stable sur une plage de fréquence étendue, telle que le rapport entre la fréquence maximale FMAX et la fréquence minimale FMIN soit égal à environ 9.

**[0076]** Par stable, on entend que l'angle de déviation reste constant sur l'ensemble de la plage de fréquence considérée avec une précision inférieure à 15%, de préférence encore inférieure à 10%. Il est à souligner que les équations mentionnées ci-dessus permettent de définir un gradient diélectrique conduisant à un angle de déviation théorique qui est strictement constant sur l'intégralité de la plage de fréquence. C'est bien la réalisation pratique qui introduit une imprécision (approximation du gradient diélectrique par une pluralité de secteurs de permittivité constante, effet de couplage entre la lentille et l'antenne ou le radôme).

**[0077]** De plus, on montre que la pureté de polarisation est conservée sur l'ensemble de cette bande de fréquence.

**[0078]** Le principe de la lentille selon l'invention peut en fait s'appliquer à d'autres antennes à large bande de fréquence, comme les antennes cornet ou les antennes Vivaldi, c'est-à-dire même lorsque la zone active de rayonnement champ proche à la fréquence F n'est pas directement une fonction de la distance à l'axe de l'antenne. Mais structurer la lentille de manière à avoir une permittivité relative progressive d'un bord à l'autre de la lentille permet d'incliner la direction du lobe principal.

**[0079]** La figure 6 représente ainsi un second mode de réalisation d'un système antenneur selon l'invention.

**[0080]** Le système antenneur 101 comporte quatre antennes cornet, 110\_1, 110\_2, 110\_3 et 110\_4, identiques entre elles.

**[0081]** L'extrémité rayonnante de chaque antenne cornet est de forme pyramidale. Son embouchure rayonnante est rectangulaire, mais pourrait en variante adopter d'autres formes, notamment circulaire.

**[0082]** Un repère XYZ est attaché au système antenneur 101, de sorte que son origine coïncide par exemple avec le centre C de l'embouchure rayonnante de la seconde antenne 110\_2.

**[0083]** Les différentes antennes cornet sont disposés bord à bord, pour former une rangée selon l'axe X, de sorte que leurs embouchures reposent dans le plan XY commun.

**[0084]** Chaque antenne cornet est munie d'une lentille. Une lentille 120\_1, 120\_2, 120\_3 ou 120\_4 masque une portion de l'embouchure de l'antenne 110\_1, 110\_2, 110\_3 ou 110\_4 qu'elle équipe.

**[0085]** Une lentille, par exemple la lentille 120\_2, forme un secteur angulaire qui recouvre une fraction inférieure de l'embouchure de l'antenne 110\_2. Ce secteur angulaire s'étend depuis le centre géométrique C de l'embouchure rayonnante de l'antenne, jusqu'à un bord inférieur 118\_2 de l'embouchure rayonnante de l'antenne.

**[0086]** Une lentille a pour fonction de dévier l'axe D du lobe de l'antenne qu'elle équipe d'un angle  $\theta_0$  par rapport à la direction normale au plan de l'embouchure, i.e. l'axe Z. Dans le mode de réalisation de la figure 6, la déviation angulaire du lobe principal en présence de la lentille est similaire pour les différentes antennes du système 101.

**[0087]** La lentille 120\_2 a une épaisseur constante et présente un gradient de sa permittivité relative.

**[0088]** Dans le mode de réalisation de la figure 6, le gradient est orienté selon l'axe Y. Sur cette figure, des lignes d'iso-permittivité relative ont été représentées en pointillés. Elles sont disposées parallèlement au bord inférieur 118\_2.

**[0089]** Par exemple, pour un fonctionnement en bande X, la lentille présente une épaisseur d'un millimètre. Elle est par exemple réalisée en ABS ESD.

**[0090]** Pour le dimensionnement, il convient par exemple de définir les caractéristiques de la lentille permettant une déviation d'un angle de déviation  $\theta_0$  prédéfini pour une fréquence intermédiaire de la bande de fréquence de fonctionnement de l'antenne.

**[0091]** Puis, pour une fréquence proche de la fréquence maximale FMAX, de modifier la permittivité relative d'une partie de la lentille, par exemple proche du centre géométrique C du plan rayonnant de l'antenne. De manière similaire, pour une fréquence proche de la fréquence minimale FMIN, de modifier la permittivité relative de l'autre partie de la lentille, par exemple proche du bord périphérique du plan rayonnant de l'antenne.

**[0092]** Une antenne cornet n'est pas nécessairement à large bande de fréquence et peut avoir une bande de fréquence

de fonctionnement typique telle que FMAX/FMIN soit proche de deux.

[0093] De nombreuses variantes de réalisation sont envisageables.

[0094] Le matériau de la lentille peut être un matériau diélectrique avec pertes (permittivité complexe) ou sans pertes (permittivité réelle).

5 [0095] Le matériau diélectrique utilisé pour réaliser la lentille peut présenter une permittivité relative dispersive en fonction de la fréquence (c'est-à-dire que la partie réelle et/ou la partie imaginaire dépendent de la fréquence). Dans ce cas, il peut ne pas être nécessaire de faire varier le taux de remplissage ou la charge du matériau de base pour retrouver une évolution de la permittivité relative similaire à celle représentée sur la figure 3.

[0096] En variante, des matériaux diélectriques avec pertes et sans pertes sont combinés.

10 [0097] Il est également possible d'ajouter localement un matériau magnéto diélectrique, la partie magnétique du matériau permettant une amélioration de la compacité suivant l'épaisseur.

[0098] Plus généralement, différents paramètres de la lentille peuvent être utilisés en tant que degré de liberté pour adapter la réponse du système antennaire aux besoins de stabilité de la déviation angulaire du lobe principal : variation du taux de remplissage du matériau, utilisation d'un matériau de permittivité relative variant en fonction de la fréquence, ajout local de pertes diélectriques, etc.

15 [0099] La lentille ne couvre pas forcément l'intégralité de l'élément rayonnant selon la direction radiale, c'est-à-dire entre le centre de l'élément rayonnant et sa périphérie. Il pourra en effet être scindé en plusieurs anneaux espacés les uns des autres. Ceci permet de générer une déviation angulaire du lobe principal pour une ou plusieurs portions de la bande de fréquence associée à l'antenne utilisée.

20 [0100] Plusieurs lentilles pourraient être associées à une même antenne, notamment une lentille placée au-dessus et une lentille placée au-dessous de l'élément rayonnant, ces deux lentilles étant de préférence à l'aplomb l'une de l'autre. Cela permet de disposer d'un degré de liberté supplémentaire pour ajuster l'angle de déviation afin qu'il soit sensiblement constant sur l'ensemble de la plage de fonctionnement.

25 [0101] Dans le cas de l'utilisation d'un radôme de protection, la lentille peut être positionnée sous le radôme. Au lieu d'être fixée à l'élément rayonnant, la lentille peut alors être fixée sur la face inférieure du radôme. Par exemple, au moyen d'un film de colle. En variante, la lentille fait partie du radôme. C'est-à-dire que, lors de la fabrication du radôme une portion de ce dernier est conformée de manière à jouer le rôle d'une lentille. Les techniques d'impression 3D envisagées précédemment permettent de réaliser un tel radôme.

30 [0102] La lentille selon l'invention est compatible des technologies de fabrication des antennes existantes. L'ajout d'une lentille ne requiert aucune modification de l'antenne, ni dans sa conception ni dans sa structure. En conséquence, la lentille constitue un simple ajout ou insert à ces systèmes antennaires afin de dévier leur lobe principal.

[0103] La solution proposée présente un coût relativement faible, puisqu'elle est compatible d'une technologie de fabrication additive. Cela offre une grande reproductibilité d'une lentille à l'autre.

35 [0104] Mais surtout la lentille selon l'invention présente une épaisseur particulièrement faible (au maximum de quelques millimètres) compatible des contraintes d'intégration, notamment de la distance entre le plan rayonnant et le radôme de protection.

[0105] La solution proposée est purement passive.

## 40 Revendications

1. Système antennaire (1) comportant une antenne (10) et un dispositif passif de déviation angulaire d'un lobe principal de rayonnement de l'antenne, un trièdre de référence étant attaché au système antennaire (1), les axes XY reposant dans un plan de rayonnement de l'antenne et l'axe Z étant normal au plan de rayonnement, une origine du trièdre coïncidant avec un centre géométrique (C) du plan rayonnant de l'antenne, **caractérisé en ce que** le dispositif est constitué par une lentille (20), ladite lentille ayant une épaisseur (h1) constante et présentant une permittivité relative progressive entre un bord interne de la lentille situé du côté du centre géométrique (C) de l'antenne et un bord externe de la lentille situé du côté d'une périphérie de l'antenne, le profil de la permittivité relative en fonction de la distance au centre géométrique de l'antenne étant adapté de manière à ce que la lentille dévie le lobe principal de rayonnement de l'antenne d'un angle de déviation prédéfini sur au moins une portion d'une bande de fréquence de fonctionnement de l'antenne.

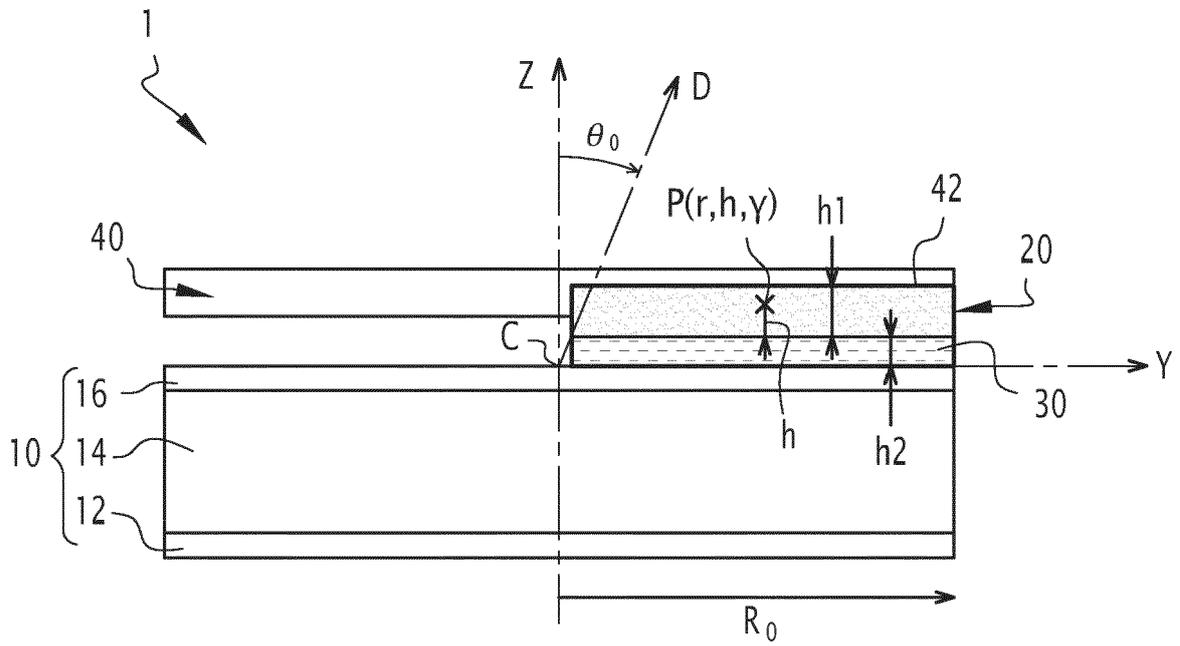
2. Système antennaire selon la revendication 1, dans lequel, l'antenne étant une antenne à large bande de fréquence, ladite au moins une portion de la bande de fréquence s'étend entre une fréquence minimale et une fréquence maximale, tel que le rapport de la fréquence maximale sur la fréquence minimale est supérieur à six, de préférence encore supérieur à neuf.

3. Système antennaire selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ladite au moins une portion

## EP 4 401 239 A1

de la bande de fréquence s'étend entre une fréquence minimale de fonctionnement de l'antenne et une fréquence maximale de fonctionnement de l'antenne.

- 5 4. Système antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'angle de déviation est constant sur ladite au moins une portion de la bande de fréquence de fonctionnement de l'antenne.
5. Système antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant en outre un radôme, le radôme protégeant l'antenne et la lentille des agressions extérieures.
- 10 6. Système antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la lentille est fixée par un film de colle ou par vissage, à l'antenne ou à un radôme.
- 15 7. Système antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'antenne comporte un plan de masse, un circuit imprimé portant un élément rayonnant et disposé au-dessus du plan de masse, et une cavité entre le plan de masse et le circuit imprimé, la lentille étant disposée parallèlement à l'élément rayonnant, au-dessus de l'élément rayonnant ou au-dessous de l'élément rayonnant, à l'intérieur de la cavité.
- 20 8. Système antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'antenne est une antenne spirale, une antenne logarithmique, une antenne log-périodique, une antenne sinueuse ou une antenne Vivaldi.
- 25 9. Système antenne selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel l'antenne est une antenne cornet.
10. Système antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la lentille présente, en outre, une permittivité relative progressive selon une épaisseur de ladite lentille et/ou selon un angle polaire de ladite lentille évalué par rapport à un axe de symétrie de ladite lentille.
- 30 11. Système antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la lentille est inscrite dans un secteur angulaire.
- 35 12. Système antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la lentille résulte de l'assemblage d'une pluralité de sections élémentaires, chaque section élémentaire étant **caractérisée par** une valeur de permittivité relative constante.
- 40 13. Système antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la lentille est fabriquée par mise en oeuvre d'une technique additive, une structure de la lentille comportant une pluralité de motifs.
- 45 14. Système antenne selon la revendication 13, dans lequel un premier matériau diélectrique est utilisé pour réaliser les motifs et un second matériau diélectrique est utilisé pour combler des évidements dans les motifs, le second matériau diélectrique étant à faibles pertes ou à pertes.
- 50 15. Système antenne selon la revendication 13 ou la revendication 14, dans lequel une taille des motifs est ajustée pour que la lentille présente localement la permittivité relative souhaitée.
- 55



**FIG.1**

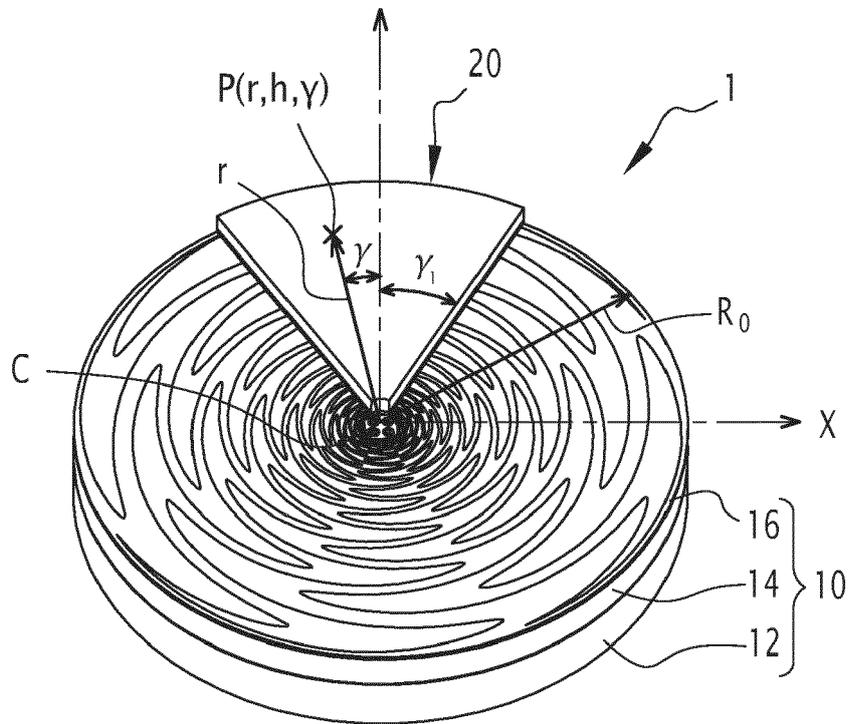


FIG.2

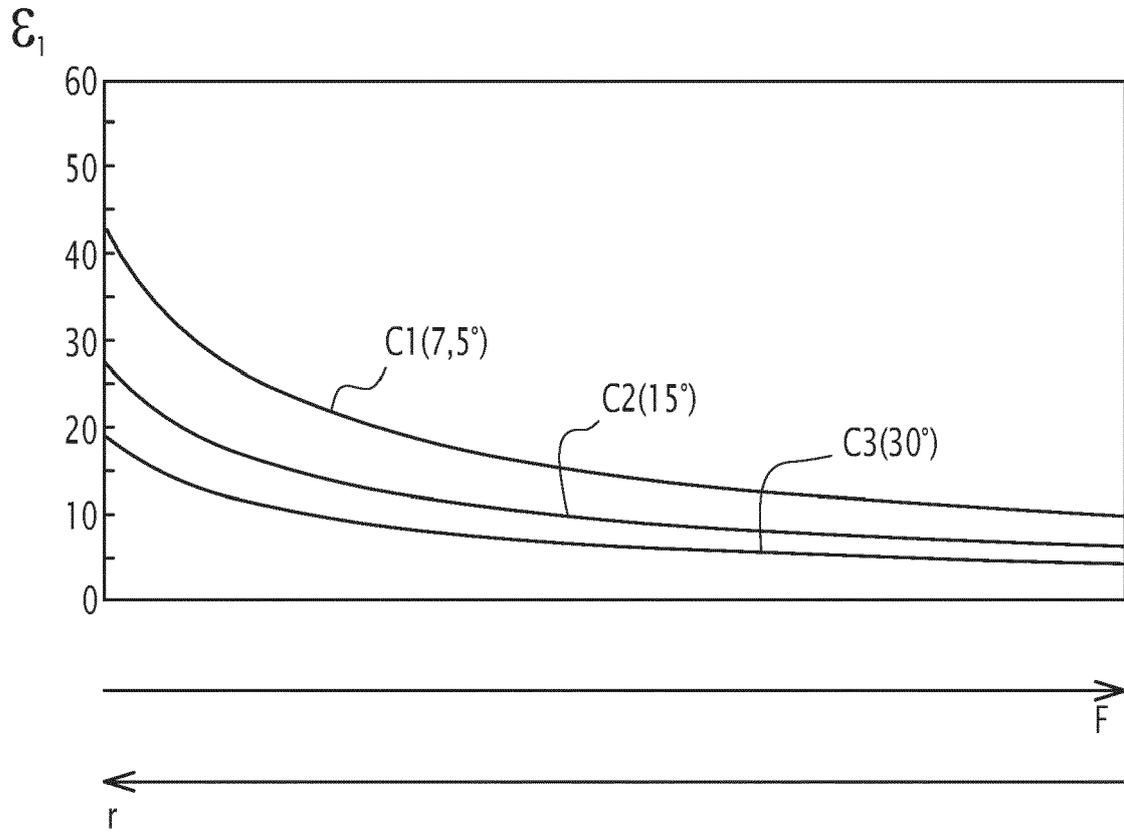
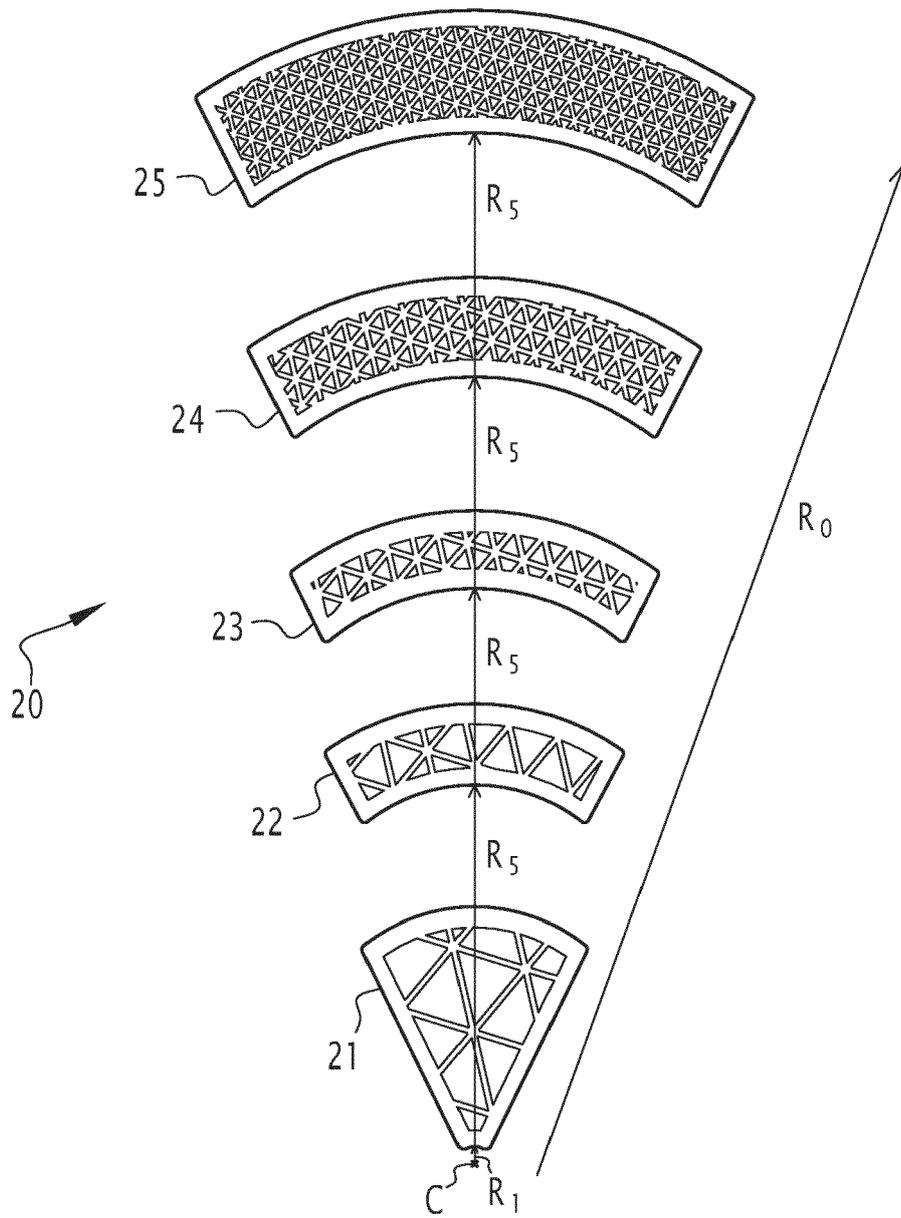


FIG.3



**FIG.4**

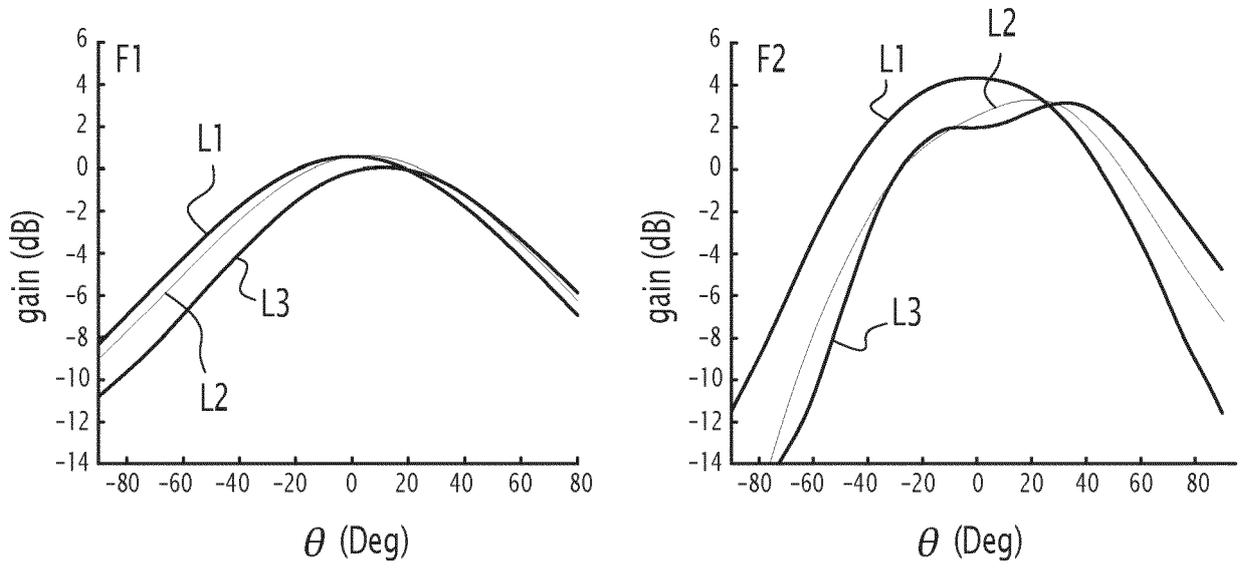
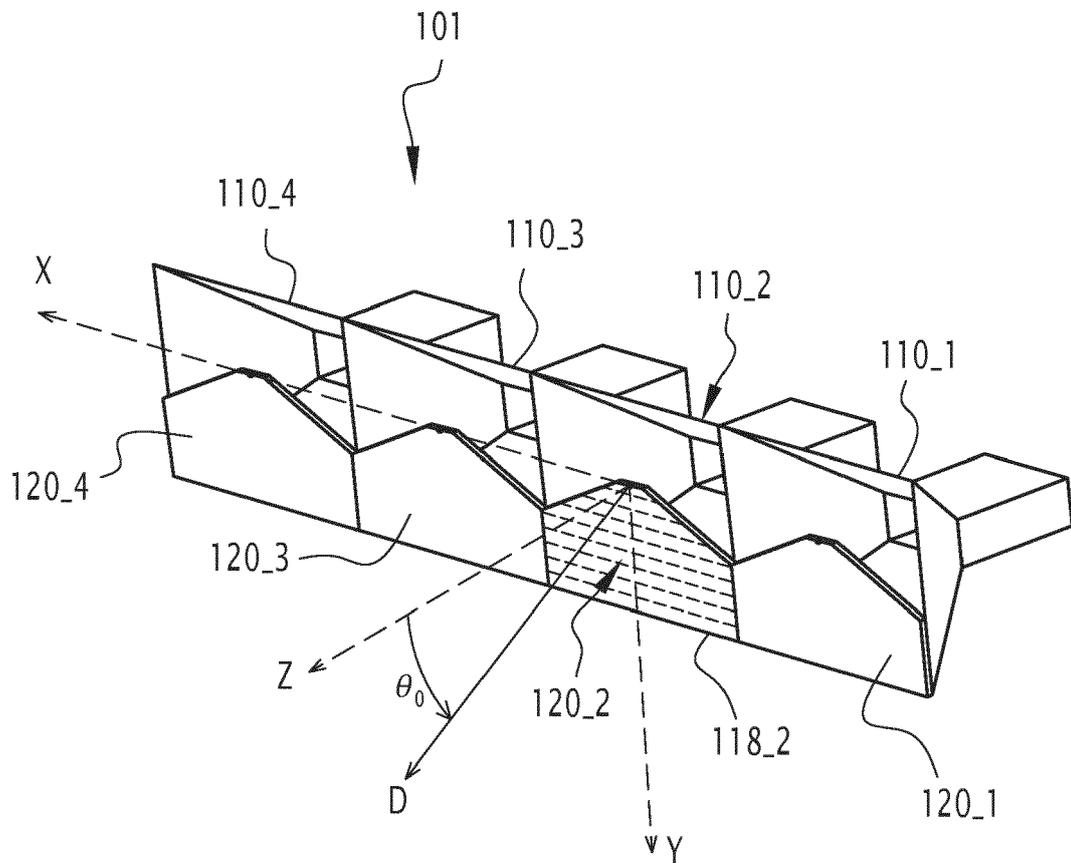


FIG.5



**FIG.6**



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande  
EP 24 15 1613

5

10

15

20

25

30

35

40

45

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	CN 103 682 665 B (SHENZHEN GUANGQI INNOVATIVE TECHNOLOGY CO LTD) 22 mai 2018 (2018-05-22) * pages 3-7; figures 1-4 * -----	1-15	INV. H01Q1/38 H01Q1/42 H01Q13/02 H01Q15/08
A	KIM YEONJU ET AL: "Lightweight 3D-Printed Fractal Gradient-Index Lens Antenna with Stable Gain Performance", FRACTAL AND FRACTIONAL, vol. 6, no. 10, 29 septembre 2022 (2022-09-29), page 551, XP093084106, DOI: 10.3390/fractalfract6100551 * pages 1-12; figures 1-10 * -----	1-15	H01Q15/10 H01Q19/06 H01Q19/08 H01Q21/08
A	POYANCO JOSÉ-MANUEL ET AL: "Cost-effective wideband dielectric planar lens antenna for millimeter wave applications", SCIENTIFIC REPORTS , vol. 12, no. 1 10 mars 2022 (2022-03-10), 2 mai 2023 (2023-05-02), XP093043400, DOI: 10.1038/s41598-022-07911-z Extrait de l'Internet: URL:https://www.nature.com/articles/s41598-022-07911-z * pages 1-10; figures 1-12 * -----	1-15	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)  H01Q
A	FR 3 003 702 A1 (THALES SA [FR]) 26 septembre 2014 (2014-09-26) * pages 1-17; figures 1-14 * -----	1-15	
A	US 2022/109245 A1 (YANG FAN [CN]) 7 avril 2022 (2022-04-07) * alinéas [0024] - [0131]; figures 1-15 * -----	1-15	
	- / - -		
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche <b>La Haye</b>		Date d'achèvement de la recherche <b>21 mai 2024</b>	Examineur <b>El-Shaarawy, Heba</b>
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)

50

55



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande  
EP 24 15 1613

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	US 2018/294561 A1 (HAYES GERARD JAMES [US] ET AL) 11 octobre 2018 (2018-10-11) * alinéas [0021] - [0060]; figures 1-12 * -----	1-15	
A	WO 2021/181872 A1 (OMRON TATEISI ELECTRONICS CO [JP]) 16 septembre 2021 (2021-09-16) * pages 1-21; figures 1-17 * -----	1-15	
A	JP 2002 171122 A (ASAHI GLASS CO LTD) 14 juin 2002 (2002-06-14) * alinéas [0001] - [0051]; figures 1-9 * -----	1-15	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche <b>La Haye</b>		Date d'achèvement de la recherche <b>21 mai 2024</b>	Examineur <b>El-Shaarawy, Heba</b>
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 24 15 1613

5 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.

21 - 05 - 2024

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CN 103682665 B	22-05-2018	AUCUN	
FR 3003702 A1	26-09-2014	AUCUN	
US 2022109245 A1	07-04-2022	CN 112103662 A EP 3979422 A1 US 2022109245 A1 WO 2020253554 A1	18-12-2020 06-04-2022 07-04-2022 24-12-2020
US 2018294561 A1	11-10-2018	US 2018294561 A1 US 2020365982 A1 WO 2018187084 A1	11-10-2018 19-11-2020 11-10-2018
WO 2021181872 A1	16-09-2021	CN 115210955 A EP 4120478 A1 JP 2021141547 A US 2023086514 A1 WO 2021181872 A1	18-10-2022 18-01-2023 16-09-2021 23-03-2023 16-09-2021
JP 2002171122 A	14-06-2002	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 073083 [0003] [0008]

**Littérature non-brevet citée dans la description**

- **JOSEPH W. HAUS.** Fundamentals and Applications of Nanophotonics. Woodhead Publishing, 2016 [0050]