



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(21) Numéro de dépôt : **94400622.0**

(51) Int. Cl.<sup>5</sup> : **H01Q 9/04, H01Q 21/06**

(22) Date de dépôt : **23.03.94**

(30) Priorité : **26.03.93 FR 9303502**

(43) Date de publication de la demande :  
**28.09.94 Bulletin 94/39**

(84) Etats contractants désignés :  
**CH DE ES FR GB IT LI NL SE**

(71) Demandeur : **ALCATEL ESPACE**  
**5, rue Noel Pons**  
**F-92737 Nanterre Cédex (FR)**  
(84) **FR**

(71) Demandeur : **ALCATEL N.V.**  
**Strawinskylaan 341,**  
**NL-1077 XX Amsterdam (NL)**  
(84) **CH DE ES GB IT LI NL SE**

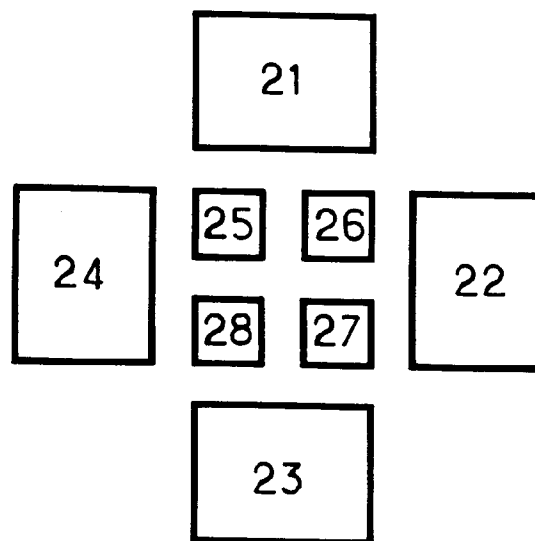
(72) Inventeur : **Raguenet, Gérard**  
**1710, Chemin de Tucaut**  
**F-31600 Eaunes (FR)**  
Inventeur : **Gomez-Henry, Michel**  
**11, rue de l'Antan Noir**  
**F-31240 L'Union (FR)**

(74) Mandataire : **Pothet, Jean Rémy Emile Ludovic**  
**et al**  
**c/o SOSPI**  
**14-16 rue de la Baume**  
**F-75008 Paris (FR)**

(54) **Structure rayonnante à directivité variable.**

(57) L'invention concerne une structure rayonnante à technologie microruban pour antenne réseau, comprenant une pluralité d'éléments rayonnants disjoints et non obligatoirement identiques, distribués sur une surface isolante et comprenant des moyens d'excitation électromagnétique de ces éléments rayonnants. Ces éléments sont excités par une répartition de l'énergie électromagnétique d'excitation, et la structure de l'invention est caractérisée en ce que la répartition est effectuée par un couplage des courants magnétiques engendrés par chaque élément lors de son excitation. Selon une réalisation avantageuse, les éléments sont disposés de manière à obtenir une condition de phase et d'amplitude sur la surface ; en effet, la meilleure directivité est obtenue quand l'illumination est équi-phase et équi-amplitude sur la surface. L'invention concerne également une antenne incorporant la structure rayonnante, quand installée sur une surface plane ou conformée en trois dimensions.

**FIG.4**



Le domaine de l'invention est celui des antennes réseau, et plus spécifiquement des antennes réseau imprimées dont les éléments rayonnants sont réalisés par la technique microruban. De telles antennes sont réalisées par gravure de pistes et de pavés conducteurs sur des substrats diélectriques, qui sont généralement mais non-exclusivement plans. Des configurations plus élaborées existent ayant plusieurs substrats diélectriques, plans de masse, cavités résonateurs, et cetera, dont quelques exemples seront décrits plus en détail ci-après.

Ces antennes planes ou de faibles épaisseurs sont largement utilisées sous de nombreuses formes depuis une quinzaine d'années. Elles se sont même largement imposées dans bon nombre de domaines, en égard à leurs qualités intrinsèques: masse, volume, coût de réalisation faibles.

Il est largement connu de l'homme de l'art que les réalisations les plus simples d'éléments rayonnants, à savoir la piste microruban gravée sur un substrat, souffrent de limitations fondamentales radioélectriques, et en particulier au niveau de la bande passante, de la directivité et de la qualité de rayonnement. Ce dernier présente, d'une part, des asymétries importantes pour un élément fonctionnant en polarisation linéaire selon les différents plans de coupes, et d'autre part, des niveaux de polarisation croisée bien souvent incompatibles avec les spécifications de missions spatiales.

Les caractéristiques principales des dispositifs simples qui sont les pastilles imprimées rondes ou carrées sont décrites dans le papier de Keith Carver et Joseph Mink, publié par - IEEE - A.P., vol. 29 (n° 1), Janvier 1981.

A partir de ces structures simples, les radioélectriciens ont donc effectué des améliorations en construisant des solutions plus élaborées. L'amélioration de la bande passante du radiateur élémentaire peut être obtenue en insérant des pôles de résonance supplémentaires sur la structure. De nombreux moyens sont envisageables tels, la superposition de pastilles; des structures à double ou multi-résonances, ou l'insertion de ces pôles dans le circuit d'alimentation, soit par des dispositifs de couplage, soit par des circuits R.L.C. équivalents.

Ces techniques déjà largement pratiquées dans le domaine permettent d'obtenir des bandes passantes de plusieurs dizaines de pour cent et ont en général un impact favorable sur les diagrammes de rayonnement, puisqu'elles symétrisent les signaux copolaires et font significativement baisser les composantes de polarisation croisées.

En revanche, la directivité de l'antenne reste cloisonnée entre 5dB à 8 ou 9 dB, selon la technologie de réalisation, et il n'est guère possible de faire évoluer ce paramètre par les techniques connues.

L'obtention d'antennes ou d'éléments directifs passe donc de façon quasi incontournable par la mise en sous-réseaux de radiateurs élémentaires. Cette méthode, connue sous le nom anglophone "sub-arraying", pose un certain nombre de difficultés et présente ses limites. La principale difficulté concerne la nécessaire réalisation d'un dispositif de distribution ou répartiteur, dont la fonction est de répartir un signal d'excitation parmi les éléments de chaque sous-réseau. Plusieurs technologies peuvent être employées, à choisir en fonction de l'application. Quelques exemples : cavité à mode radial et couplages multiples ; répartiteur en chandelier répartiteur semi-résonant ou progressif.

La conception, la mise au point, et la définition technologique du répartiteur constituent ensemble un poste d'accroissement de complexité majeur dans la réalisation d'un réseau ou sous-réseau d'antennes élémentaires. De plus, avec les conceptions actuelles, des problèmes subsistent car il y a des performances souhaitables, en termes de directivité et/ou de qualité de rayonnement qui ne peuvent être obtenues.

Une limitation importante de cette technique est la discrétisation des situations réalisables de directivité qui s'incrémentent en raison de  $10 \log_{10}(N)$  (N étant le nombre de sources individuelles participant au réseau); ce qui veut dire qu'à partir d'un concept d'élément rayonnant seules les valeurs discrètes de directivité pourront être obtenues :

|    | élément de base<br>ou sous-réseau | directivité       |
|----|-----------------------------------|-------------------|
| 5  | N = 1 radiateur de base           | (X dB)            |
|    | N = 2 couple de radiateurs        | (X + 3)dB         |
|    | N = 3 triplet de radiateurs       | (X + 4,77)dB      |
|    | N = 4 quadruplet de radiateurs    | (X + 6)dB         |
| 10 |                                   |                   |
|    |                                   |                   |
|    | N = N N-tuplet de radiateurs      | (X + 10 log N)dB. |

15 Une autre grandeur limite les performances qui peuvent être obtenues, la capacité des grands sous-réseaux apparaît comme le gain effectif réalisé par l'antenne directive et traduit le rendement en puissance de la solution. Le gain sera limité par deux facteurs principaux:

- les pertes du répartiteur, dues principalement à la technologie utilisée pour réaliser celui-ci.
- 20 - l'efficacité de l'échantillonnage en surface des radiateurs rapportés à la maille choisie pour la mise en réseau.

L'invention a pour but de pallier ces inconvénients de l'art antérieur : les difficultés de conception et de réalisation du répartiteur et ses pertes associées, la discrétisation de la directivité, et le plafonnement du gain.

La nouvelle réalisation d'une antenne plane ou conformée selon l'invention permet une gestion effective de la directivité du radiateur et donne de ce fait aux solutions planaires ou conformées la souplesse et la capacité de dimensionnement telles qu'elles existent dans le cadre de solutions plus classiques à cornets où à ouvertures rayonnantes.

A ces fins, l'invention propose une structure rayonnante à technologie microruban pour antenne réseau, cette structure comprenant une pluralité d'éléments rayonnants distribués sur une surface isolante, ces éléments étant excités par une répartition de l'énergie électromagnétique d'excitation entre lesdits éléments, caractérisée en ce que ladite répartition est effectuée par un couplage des courants magnétiques engendrés par chaque élément lors de son excitation.

Cette structure est un sous-réseau d'éléments rayonnants, comparable à un sous-réseau de l'art antérieur, à cette différence près qu'il n'y a point de répartiteur ; la répartition se fait par le couplage des courants magnétiques des éléments rayonnants entre eux.

La structure selon l'invention est réalisée en "fractionnant" le patch imprimé en plusieurs petits patches conducteurs disjoints et non obligatoirement identiques, et en les disposant sur une surface isolante de manière à optimiser les couplages entre les petits patches en vue de la mission de l'antenne.

Le fonctionnement de base d'une antenne selon l'invention consiste à exciter par un moyen approprié des courants (électriques et magnétiques) sur un pavé métallique (le "patch" imprimé) dont la définition géométrique précise dépend de l'application requise. Selon différentes variantes de l'invention, la distribution initiale de courant peut être obtenue par une excitation véhiculée par une ligne de transmission coaxiale, microruban, ou stripline, ou encore par couplage électromagnétique, ces techniques étant connues de l'homme de l'art.

Avantageusement, par une autre technique connue de l'art antérieur, le radiateur simple peut être disposé dans un environnement ayant des conditions électriques particulières, par exemple il peut être entouré d'un mur électrique ou magnétique de façon à sécuriser sa mise en réseau. Une telle démarche élaborée par la Demanderesse est décrite dans le brevet Français n° 89.11829 du 11 septembre 1989 de Dusseux, Raguenet et al. qui fait partie intégrante de la présente demande pour sa description de l'art antérieur.

Les principes de l'invention, ainsi que quelques réalisations et les avantages acquis par l'utilisation de l'invention seront compris plus en détail par la description qui suit, ainsi que ses dessins annexes, dont :

- la figure 1 montre schématiquement et en coupe partielle un élément rayonnant imprimé de l'art antérieur, comprenant un premier résonateur qui consiste en un patch conducteur disposé au fond d'une cavité métallique ;
- la figure 2 montre schématiquement et en coupe partielle un élément rayonnant imprimé de l'art antérieur, comprenant un premier résonateur qui consiste en un patch conducteur disposé au fond d'une cavité métallique, ainsi qu'un second résonateur disposé devant le premier résonateur (dans le sens du rayonnement) ;
- la figure 3 montre schématiquement et en vue de dessus, un élément rayonnant imprimé de l'art antérieur.

rieur, conforme à la géométrie commune aux figures 1 et 2 ;

- la figure 4 montre un exemple d'un élément rayonnant selon l'invention, dont le deuxième résonateur a une structure fragmentée multi-éléments ;
- la figure 5 montre schématiquement un modèle théorique du rayonnement d'un patch rectangulaire simple selon l'art antérieur, comme étant engendré par des courants magnétiques ;
- la figure 6 montre une vue schématique d'un élément rayonnant selon l'invention montré sur la figure 4, montrant les courants magnétiques équivalents principaux ;
- la figure 7 montre un exemple des mesures de diagramme de rayonnement effectuées sur un élément rayonnant selon l'art antérieur telle que montrée sur la figure 2 ;
- la figure 8 montre un exemple des mesures de diagramme de rayonnement effectuées sur un élément rayonnant selon l'invention, qui consiste en quatre patches carrés de 31x31mm<sup>2</sup> avec une séparation de 10 mm entre patches adjacents ;
- la figure 9 montre un exemple des mesures de diagramme de rayonnement effectuées sur un élément rayonnant selon l'invention, qui consiste en quatre patches carrés de 39x39mm<sup>2</sup> avec une séparation de 32 mm entre patches adjacents ;
- la figure 10 montre un exemple des mesures de diagramme de rayonnement effectuées sur un élément rayonnant selon l'invention, qui consiste en quatre patches carrés de 40x40mm<sup>2</sup>.

Ainsi les radiateurs de faible épaisseur de l'art antérieur se présentent-ils bien souvent comme des structures telles que schématisées sur les figures 1, 2 et 3, et décrites plus en détail dans la demande de brevet français no. 92 13744 du 16 novembre 1992 au nom de la Demanderesse.

Sur la figure 1, l'on voit un exemple de réalisation d'un élément rayonnant selon l'art antérieur. A titre d'exemple, on suppose que cet élément comprend un patch gravé conducteur 2 sur un substrat diélectrique 1 recouvert sur sa face arrière par un plan de masse 6. Le patch 2 est alimenté par le microruban 4b, qui est une piste gravée conductrice, généralement du même matériau que le patch. Selon cet exemple, le patch 2 est placé au fond d'un système fermé qui consiste par exemple en une cavité 7 définie par des parois conductrices 8 délimitant l'étendue radiale de la cavité 7 autour du patch 2. Les dimensions de cette cavité 7 déterminent ses caractéristiques radioélectriques selon des règles connues de l'homme de l'art ; en conséquence, ces dimensions peuvent être choisies par le concepteur afin de procurer la bande passante voulue à la fréquence de fonctionnement de l'élément rayonnant, et ceci sans augmentation de l'épaisseur de diélectrique 1 derrière le patch 2. Le dimensionnement de telles structures est bien connu et les paramètres principaux sont conditionnés par les critères de la fréquence centrale de fonctionnement et de la bande passante autour de cette fréquence centrale.

Un deuxième exemple d'une réalisation d'antenne utilisant un élément très large bande selon l'art antérieur est montré sur la figure 2. La figure 2 illustre la méthode de cette réalisation, qui consiste à adjoindre à un radiateur patch 2 de base, un deuxième résonateur 12 positionné au dessus du premier résonateur 2. La configuration est donc celle de la figure 2, à ceci près que la cavité résonante 7 est partiellement fermée sur sa face avant par un deuxième résonateur 12 qui peut être par exemple un patch imprimé sur un support diélectrique 11. Dans ce cas précis, le deuxième élément est implanté au ras de la cavité 7, mais on pourrait le placer, moyennant des constructions plus élaborées, soit à une hauteur plus grande ou soit à une hauteur plus petite que la hauteur des parois conductrices 8 de la cavité 7.

L'approche, toutefois, qui consiste à rendre identique la distance interpatch et la hauteur de la cavité en rend la réalisation technologique fort simple. Le deuxième résonateur 12 peut être gravé sur un substrat porteur 11 de faible épaisseur et masse et son montage peut se faire par simple collage ou vissage.

Sur la figure 3, on voit la géométrie commune aux figures 1 et 2, d'un patch circulaire 2 imprimé sur un substrat 1, et entouré d'une masse métallique 8 pour former une cavité résonante 7, de façon à élargir la bande de fonctionnement. Le patch 2 est excité via une ligne d'alimentation 4b.

La démarche élaborée pour réaliser un dispositif à directivité variable selon l'invention consiste à fragmenter l'élément rayonnant en une multitude de petits sous-éléments disjoints et non obligatoirement identiques tel que montré sur la figure 4.

Sur la figure 4, qui est à comparer avec la figure 3 déjà décrite, le patch imprimé (repère 2 de la figure 3) est fractionné en plusieurs sous éléments (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28). Le patch 2 de l'art antérieur peut être considéré selon le modèle de courants magnétiques, comme générateur de courants sur sa périphérie 20. Les sous-éléments de l'invention, en revanche, génèrent des courants magnétiques équivalents sur toutes les périphéries de tous les éléments. Ces courants génèrent des couplages entre les éléments, qui ont pour effet d'accroître la surface captrice équivalente de l'élément rayonnant. L'alimentation des sous éléments est effectué comme dans l'art antérieur pour un résonateur simple, et la répartition est effectuée passivement grâce au couplages entre les éléments, donc il n'y a pas besoin de répartiteur.

Nous allons décrire le principe de fonctionnement dans le cas simple d'une structure mononiveau, à l'aide

de la figure 5.

Sur la figure 5, on voit dans la partie supérieure un patch imprimé rectangulaire 1 sur un substrat isolant 2, avec une vue instantannée des champs électriques engendrés sur la périphérie du patch lorsqu'il est excité par un signal véhiculé sur une ligne de transmission non-montrée. On voit sur la partie au milieu de la figure que ces champs électriques sont équivalents à ceux qui seraient excités dans une fente rectangulaire 33 formée par un patch rectangulaire conducteur 32 entouré d'un plan de masse 31 étendu autour du patch 32, quand ce dernier est excité par le même signal que précédemment. La partie inférieure de la figure 5 montre les courants magnétiques équivalents aux champs électriques dans les deux autres parties, selon les équations de Maxwell sur la propagation électromagnétique.

On peut assimiler le comportement en rayonnement d'un patch (voir rapport interne de l'université de Louvain octobre 1988 - UDC -421.394.47) à celui de 2 courants magnétiques de surfaces correspondant aux terminaisons abruptes de la ligne microruban. La géométrie du patch est avantageusement de dimensions de  $\lambda_c/2$  environ de façon à ce que les deux courants magnétiques principaux rayonnent en phase (voir la figure 5). Le côté résonnant d'un tel dispositif est donc dérivé de la condition précédente :

$$a = q \lambda_c \text{ avec } q \approx 0.49$$

Ainsi les dimensions de la pastille, pour fonctionner correctement, sont figées par cette condition de résonance. Et pour un élément fonctionnant en polarisation circulaire, il n'y a aucun moyen de faire évoluer la surface caprice, donc la directivité se trouve figée à son tour.

Le fonctionnement de la structure fragmentée offre une extension des paramètres disponibles de façon à rendre possible, d'une part la maîtrise de la fréquence centrale de fonctionnement, et d'autre part de faire évoluer la surface "équivalente" rayonnante de l'ensemble, ainsi que la distribution sur les différentes pastilles et, par la même, le diagramme rayonné.

Pour mieux comprendre comment ces effets sont obtenus, on peut considérer le dispositif de l'invention comme un ensemble de lignes microrubans fixées et couplées entre elles. Ainsi, le dispositif exciteur initial (sonde, fente de couplage, patch à un niveau inférieur), induit directement des courants sur chaque pastille selon une distribution initiale. Dans une première approximation grossière ces courants peuvent être considérés sans interactions. Selon une analyse plus fine, qui révèle le principe de l'invention, la disposition relative des différents motifs imprimés les uns par rapport aux autres modifie cette distribution initiale de courants en raison des forts couplages interactifs. On peut ainsi procéder à la réalisation de nombreuses possibilités envisageables dans le cadre d'une structure simple.

Un but de l'invention est de gérer la fragmentation de l'élément rayonnant de façon à augmenter la surface équivalente rayonnante de l'ensemble comparativement à une structure à pastille pleine et non fragmentée.

Dans ce cas, on peut considérer, qu'en son rayonnement, chaque pastille fragmentée est équivalente à 2 lignes de courant magnétique (voir la figure 6) pour une antenne en polarisation linéaire. Le comportement en rayonnement de chacune de ces fentes équivalentes est dépendant d'une part de l'excitation initiale induite par le système d'alimentation d'excitation, et d'autre part de l'influence de l'ensemble des couplages mutuels de toutes les fentes, les unes par rapport aux autres.

En raison des nouveaux mécanismes mis en jeu dans le dispositif selon l'invention, la structure doit être correctement dimensionnée et disposée selon une géométrie (qui comprend les tailles des pastilles, leur espacement, leur forme et leur disposition relative....), conçue de manière à assurer la mise en phase de toutes les sources de courant. La mise en phase des sources crée un rayonnement maximal normal au plan des fentes élémentaires. La deuxième condition à satisfaire en vu de maximiser la directivité de la surface consiste à réaliser une distribution équi-amplitude des sources de courant. Obtenir l'équi-phase et l'équi-amplitude sur toute une surface, assure le rendement maximal par rapport à celle-ci.

Réaliser un élément à directivité variable selon l'invention consiste donc à gérer des géométries multi-motifs couplées réalisant les conditions ci-dessus dont on fera varier la surface équivalente. Toutes conditions égales par ailleurs le fait de modifier la surface caprice équivalente se traduit par une évolution simultanée de la directivité. C'est ainsi que la directivité variable est obtenue par l'invention. Ainsi, la mise en jeu de nouveaux paramètres rend donc possible des solutions qui ne peuvent être proposées à l'aide de dispositifs conventionnels.

L'invention proposée concerne donc l'utilisation d'une surface terminale de rayonnement composée d'une multitude de motifs imprimés métalliques, non forcément identiques lesquels étant disposés de manière à ce que quand ils sont éclairés par une onde électromagnétique, ils se couplent entre eux de façon à créer une distribution de courant en amplitude et phase contribuant au rayonnement de la structure. L'excitation du motif global ainsi élaborée n'est pas en soi une difficulté majeure et on peut considérer que l'illumination primaire peut se faire de façon très classique, par exemple :

- à l'aide d'un premier résonateur de type patch couplé à la structure multi-motif fragmentée,
- à l'aide d'une fente couplée, celle-ci pouvant être linéaire ou circulaire,

- ou même directement à l'aide d'une sonde connectée à l'un des motifs.

Les techniques ci-dessus sont largement connues et maîtrisées dans le domaine de l'alimentation d'antennes imprimées ou planes.

## 5 Exemples de réalisations

Le principe fondamental de la fragmentation couplée a été appliqué sur une série de radiateurs dont les diagrammes de rayonnement ont été mesurés en rayonnement. Ainsi à partir d'une réalisation de référence selon l'art antérieur, est-il possible d'apprécier l'impact de la fragmentation selon l'invention sur la directivité.

10 L'antenne de référence est une structure à double résonateur telle que décrite dans le brevet français précité de DUSSEUX, RAGUENET et al. : antenne plane, N° 89 11 829.

Le deuxième résonateur est une pastille pleine circulaire de diamètre  $\varnothing = 80\text{mm}$ . L'excitation est effectuée à l'aide d'un premier résonateur patch circulaire de diamètre  $\varnothing = 63\text{mm}$  implanté dans une cavité cylindrique de 100mm de diamètre, réalisant une fente annulaire d'une largeur de 19mm environ.

15 La distance entre les deux résonateurs est typiquement de 13 à 14mm. Le diagramme de rayonnement de cette structure de référence est présenté sur la figure 7.

La directivité intégrée est de 8.6dB/8.7dB selon les différents plans de coupes étudiés. Les résultats sont portés sur le tableau suivant

| 20 | AMPLITUDE MAXIMUM (dB/ISO) | MERIDIEN (Azimut) | POLARISATION |
|----|----------------------------|-------------------|--------------|
|    | 8.6                        | .00               | VERTICALE    |
|    | -11.4                      | .00               | HORIZONTALE  |
| 25 | 8.7                        | 90.00             | VERTICALE    |
|    | -15.4                      | 90.00             | HORIZONTALE  |
|    | 8.7                        | 45.00             | VERTICALE    |
| 30 | -10.6                      | 45.00             | HORIZONTALE  |
|    | 8.7                        | 135.00            | VERTICALE    |
|    | -11.2                      | 135.00            | HORIZONTALE  |
| 35 | 8.6                        | 22.50             | VERTICALE    |
|    | -11.3                      | 22.50             | HORIZONTALE  |

40 Un premier exemple de réalisation a été mesuré selon l'invention. Une fragmentation simple du deuxième résonateur a été réalisée et consiste à éclater en 4 parties carrées égales ledit résonateur supérieur. Ainsi a-t-on fait évoluer paramétriquement la géométrie en taille et en position relative de façon à réaliser des structures à directivité variable. Le radiateur considéré est donc toujours un ensemble de faible épaisseur conservant constamment son dispositif d'excitation par un premier résonateur d'alimentation. L'invention concerne, par essence, la surface terminale qui, grâce à la fragmentation du deuxième résonateur en multiples éléments, 45 offre de nombreuses possibilités au concepteur, en égard à l'augmentation du nombre de degrés de liberté disponibles pour la conception en vue d'un résultat désiré.

La structure rayonnante fonctionnant sur le principe de couplages interposés, il faut toute l'adresse de l'homme de l'art pour optimiser l'accroissement de la directivité du dispositif ainsi que son adaptation d'impédance.

50 La figure 8 présente le diagramme de rayonnement d'une structure fragmenté à quatre patches carrés de taille 31x31mm<sup>2</sup>, séparés par une distance de 10mm entre des patches adjacents. Ces quatre patches carrés remplacent donc la pastille circulaire de diamètre 80mm de l'antenne de référence selon l'art antérieur. Une bonne disposition des pavés supérieurs fractionnés par rapport au dispositif de couplage inférieur permet:

- d'obtenir une excellente adaptation d'impédance dans la même bande de fonctionnement que l'antenne de référence.
- d'engager le processus d'augmentation de surface rayonnante équivalente donc d'évolution de directivité qui passe de 8.6/8.7 dB sur l'antenne de référence d'un diamètre  $\varnothing = 80\text{mm}$ , à 9.10 dB sur l'antenne à quatre patches carrés de 31x31mm<sup>2</sup>. Les résultats sont portés sur le tableau suivant :

|    | AMPLITUDE MAXIMUM (dB/ISO) | MERIDIEN (Azimut) | POLARISATION |
|----|----------------------------|-------------------|--------------|
| 5  | 9.1                        | .00               | VERTICALE    |
|    | -10.3                      | .00               | HORIZONTALE  |
|    | 9.1                        | 45.00             | VERTICALE    |
|    | -9.8                       | 45.00             | HORIZONTALE  |
| 10 | 9.1                        | 90.00             | VERTICALE    |
|    | 19.1                       | 90.00             | HORIZONTALE  |
|    | 9.1                        | 135.00            | VERTICALE    |
| 15 | -11.5                      | 135.00            | HORIZONTALE  |

La figure 9 présente le diagramme de rayonnement d'une structure identique à la précédente, hormis la fragmentation du deuxième radiateur en quatre pavés de 39x39mm<sup>2</sup>, séparés de 32mm. Les résultats des mesures sont portés sur le tableau suivant :

|    | AMPLITUDE MAXIMUM<br>(dB/ISO) | MERIDIEN<br>(Azimut) | POLARISATION |
|----|-------------------------------|----------------------|--------------|
| 20 | 9.9                           | .00                  | VERTICALE    |
|    | -5.1                          | .00                  | HORIZONTALE  |
| 25 | 10.0                          | 45.00                | VERTICALE    |
|    | -19.2                         | 45.00                | HORIZONTALE  |
|    | -5.2                          | 90.00                | VERTICALE    |
| 30 | 10.0                          | 90.00                | HORIZONTALE  |
|    | -10.0                         | 135.00               | VERTICALE    |
|    | -7.4                          | 135.00               | HORIZONTALE  |

La figure 10 montre les résultats des mesures pour une structure fragmentée en quatre patches carrés de 40x40mm<sup>2</sup>. Les valeurs mesurées sont reportées sur le tableau suivant :

|    | AMPLITUDE MAXIMUM (dB/ISO) | MERIDIEN (Azimut) | POLARISATION |
|----|----------------------------|-------------------|--------------|
| 40 | 10.1                       | .00               | VERTICALE    |
|    | -11.0                      | .00               | HORIZONTALE  |
|    | 10.3                       | 90.00             | VERTICALE    |
| 45 | -23.2                      | 90.00             | HORIZONTALE  |
|    | 10.2                       | 45.00             | VERTICALE    |
|    | -9.2                       | 45.00             | HORIZONTALE  |
| 50 | 10.3                       | 135.00            | VERTICALE    |
|    | -8.9                       | 135.00            | HORIZONTALE  |
|    | 10.3                       | 22.50             | VERTICALE    |
| 55 | -9.2                       | 22.50             | HORIZONTALE  |

Le tableau suivant résume les différentes situations de directivité pour les cas étudiés expérimentalement.

5

| toutes valeurs:<br>dB | Antenne de<br>référence | Fragmentée<br>4x31x31mm <sup>2</sup> | Fragmentée<br>4x39x39mm <sup>2</sup> | Fragmentée<br>4x40x40mm <sup>2</sup> |
|-----------------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Directivité           | 8.60                    | 9.10                                 | 10.0                                 | 10.30                                |
| écart référence       | -                       | +0.50                                | +1.40                                | +1.70                                |

10

Entre ces quatre configurations, la seule modification concerne la réalisation du deuxième résonateur final qui est donc une pastille pleine classique dans le cas de l'antenne de référence selon l'art antérieur, et qui prend une géométrie fragmentée dans les autres cas qui illustrent des exemples de réalisations selon l'invention.

Cette technique permet d'accroître la directivité mesurée expérimentalement de près de 2dB sur l'ensemble des maquettes réalisées et décrites.

15

De nombreuses applications de l'invention peuvent être proposées, sans sortir du cadre de l'invention qui a été décrite ci-dessus. On peut citer quelques exemples non-limitatifs parmi l'ensemble des variantes imaginables.

20

Une variante de l'invention concerne l'utilisation de la technique de fragmentation en vue d'obtenir un diagramme de rayonnement donné. Par exemple, on peut désirer obtenir des caractéristiques particulières en rayonnement : qualité des lobes latéraux, largeur de lobe principal à 3dB, niveau des diffus. En reprenant la représentation de la figure 6, on peut considérer que l'on a réalisé un réseau de sources élémentaires eu égard à la représentation des pastilles comme des courants magnétiques équivalents.

25

En raison de la création de ces multiples sources on peut gérer les couplages ainsi que les géométries de ces éléments de façon à créer une distribution de courant primaire donnée. Il est évident que la condition équi-phase et équi-amplitude sur l'ensemble des sources élémentaires n'est qu'un cas particulier des possibilités de l'approche fragmentée.

Ainsi n'est-il pas illusoire, de penser à des distributions de sources de rayonnement, à haut degré de pureté, ou à symétrie parfaite, etc....

Ces capacités nouvelles sont un résultat de la technique de fragmentation du deuxième résonateur selon l'invention.

30

Une deuxième variante concerne l'utilisation de la technique de fragmentation selon l'invention en vue d'obtenir des résonances multiples.

Les pastilles peuvent avoir des formes et des géométries dont les variantes ne sont limitées que par l'imagination du concepteur. Une autre variante de l'invention consiste à exploiter les aspects géométriques des résonateurs couplés de façon à obtenir:

35

- a) soit des comportements multifréquences
- b) soit une réponse large bande.

Une telle capacité est immédiate en raison des principes de structures couplées dégagés par la démarche de l'invention.

40

Une autre variante concerne l'utilisation d'antennes mono- ou multi-fréquence(s) ou large bande exploitant les principes énoncés ci-dessus, en configuration de réseaux ou de sous réseaux d'éléments fragmentés selon l'invention.

45

Une variante importante concerne l'utilisation de ce type d'antennes sur des surfaces non planes ou conformées en 3 dimensions. Il est entendu que la disposition des éléments fragmentés sur une surface conformée va introduire encore des paramètres nouveaux qui se prêteront à une optimisation de la part du concepteur, en vue de la mission de l'antenne.

50

Une autre variante concerne l'utilisation de la géométrie des patches fragmentés de façon à générer des ondes polarisées. Par exemple, on peut utiliser une géométrie rectiligne, réalisée de barres couplées, pour obtenir la polarisation linéaire. Une autre possibilité serait l'utilisation d'une géométrie à défauts, qui agit alors comme motif polariseur pour les ondes polarisées circulairement.

Une dernière variante proposée concerne l'utilisation de l'invention pour réaliser une surface dichroïque à directivité variable.

Selon cette idée, un ensemble fragmenté selon l'invention est disposé de manière à absorber un rayonnement incident à une certaine fréquence, alors qu'un rayonnement de toute autre fréquence sera reflété.

55

## Revendications

1. Structure rayonnante à technologie microruban pour antenne réseau, cette structure comprenant une plu-

- ralité d'éléments rayonnants (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28) distribués sur une surface isolante (1) et des moyens d'excitation électromagnétique de ces éléments rayonnants, ces éléments étant excités par une répartition de l'énergie électromagnétique d'excitation entre lesdits éléments, caractérisée en ce que ladite répartition est effectuée par un couplage des courants magnétiques  $[J_1^m, J_2^m, J_3^m, J_4^m]$  engendrés par chaque élément (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28) lors de son excitation.
2. Structure rayonnante selon la revendication 1, caractérisée en ce que ladite pluralité d'éléments rayonnants consiste en plusieurs petits patches conducteurs imprimés (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28), disjoints et non obligatoirement identiques, disposés sur une surface isolante (1) de manière à optimiser les couplages entre lesdits patches.
  3. Structure rayonnante selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce qu'elle ne comprend pas de moyens spécifiques de répartition de l'énergie électromagnétique d'excitation entre lesdits éléments, cette répartition étant effectuée uniquement par un couplage des courants magnétiques  $[J_1^m, J_2^m, J_3^m, J_4^m]$  engendrés par chaque élément lors de son excitation.
  4. Structure rayonnante selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que lesdits éléments rayonnants sont disposés de manière à obtenir leur mise en phase sur toute ladite surface isolante.
  5. Structure rayonnante selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que lesdits éléments rayonnants sont disposés de manière à obtenir une distribution équi-amplitude desdits courants magnétiques  $[J_1^m, J_2^m, J_3^m, J_4^m]$  sur ladite surface isolante.
  6. Structure rayonnante selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisée en ce que ladite structure comprend en outre des moyens autour de ladite pluralité d'éléments rayonnants pour imposer des conditions électriques et magnétiques particulières.
  7. Structure rayonnante selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que lesdits moyens d'excitation sont alimentés par une ligne de transmission.
  8. Structure rayonnante selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisée en ce que ladite excitation desdits éléments rayonnants est effectuée à l'aide d'un premier résonateur de type patch couplé à la structure multi-éléments (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28).
  9. Structure rayonnante selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisée en ce que ladite excitation desdits éléments rayonnants est effectuée à l'aide d'une fente couplée, linéaire ou circulaire.
  10. Structure rayonnante selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisée en ce que ladite excitation desdits éléments rayonnants est effectuée à l'aide d'une sonde connectée à l'un desdits éléments rayonnants.
  11. Structure rayonnante selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisée en ce que ladite surface isolante est sensiblement plane.
  12. Structure rayonnante selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisée en ce que ladite surface isolante est conformée en 3 dimensions.
  13. Antenne électromagnétique à directivité variable comprenant au moins une pluralité d'éléments rayonnants organisés dans une structure rayonnante selon l'une quelconque des revendications 1 à 12.

FIG.1

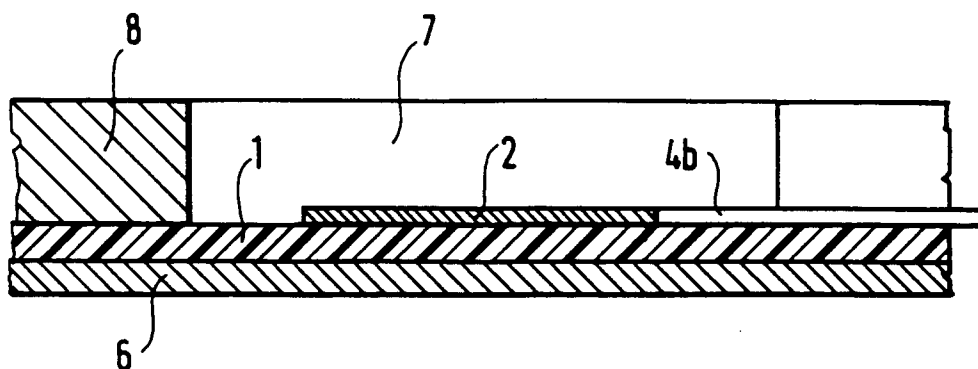


FIG.2

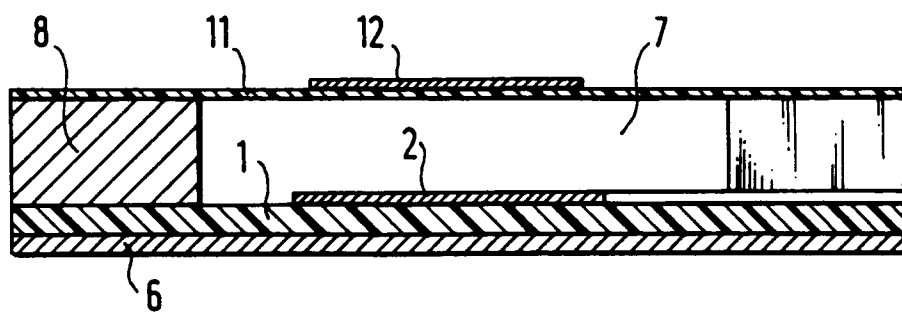


FIG.3

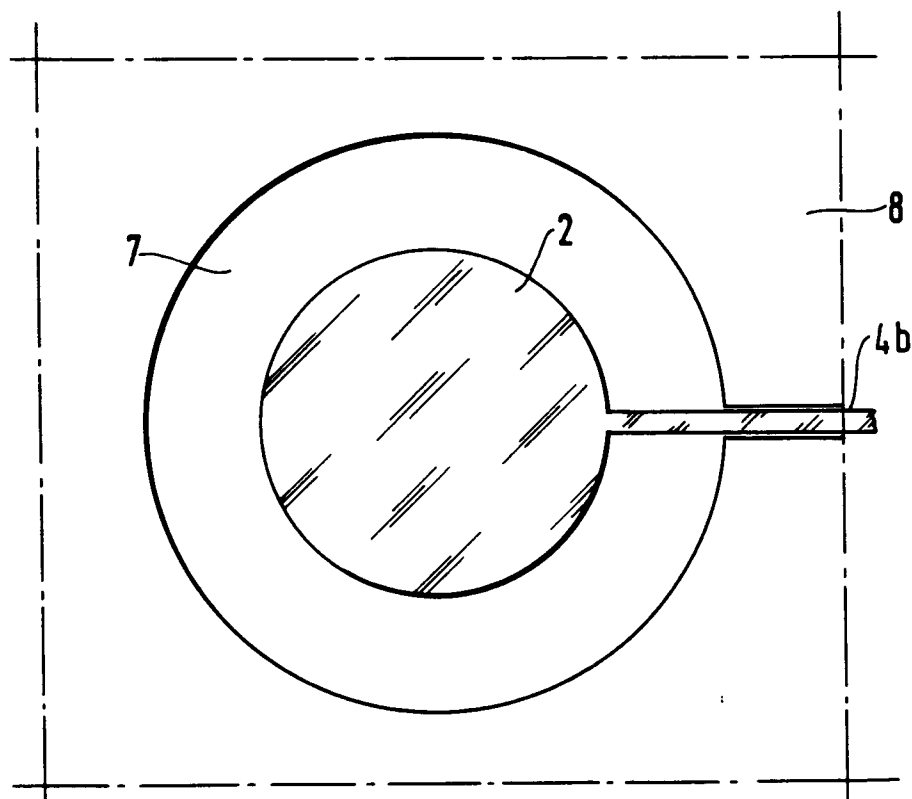


FIG.4

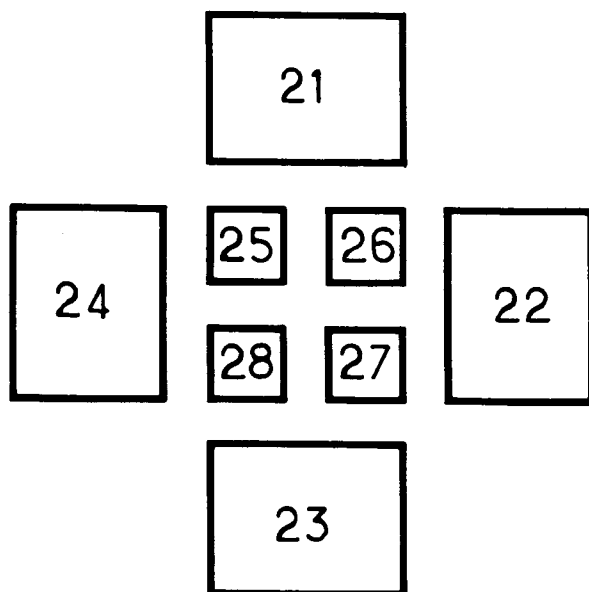


FIG.6

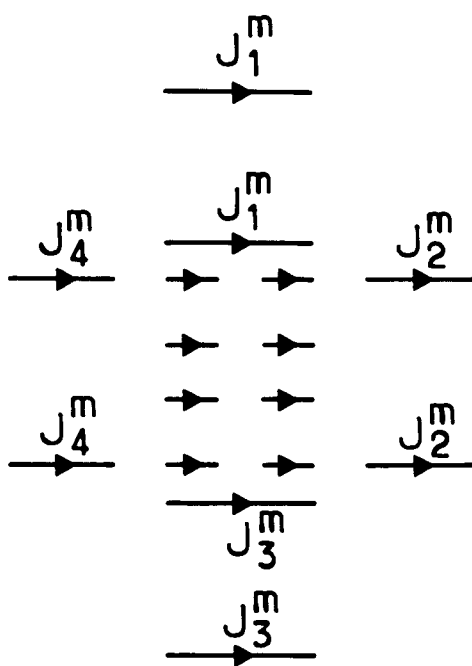


FIG.5

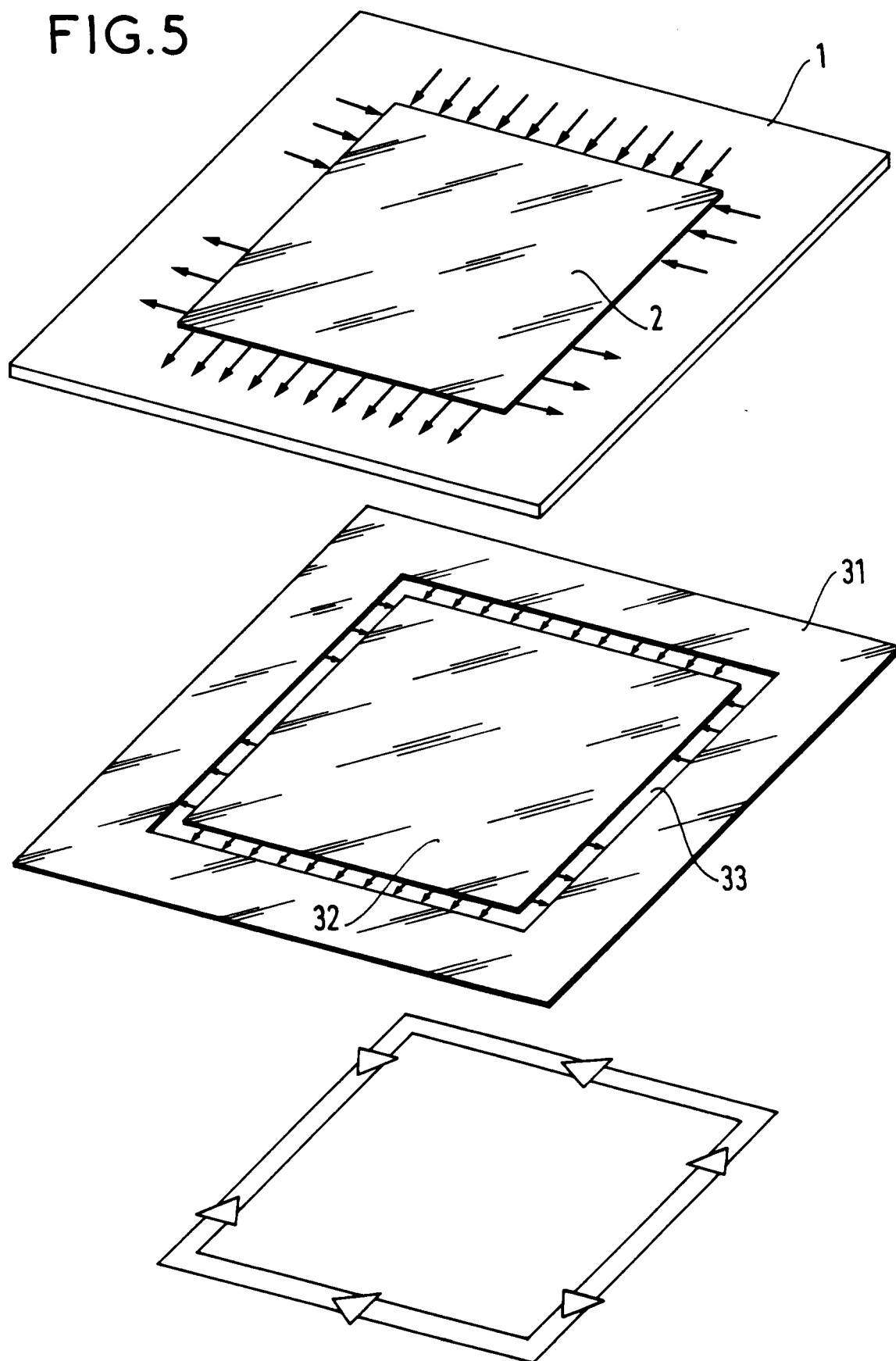


FIG.7

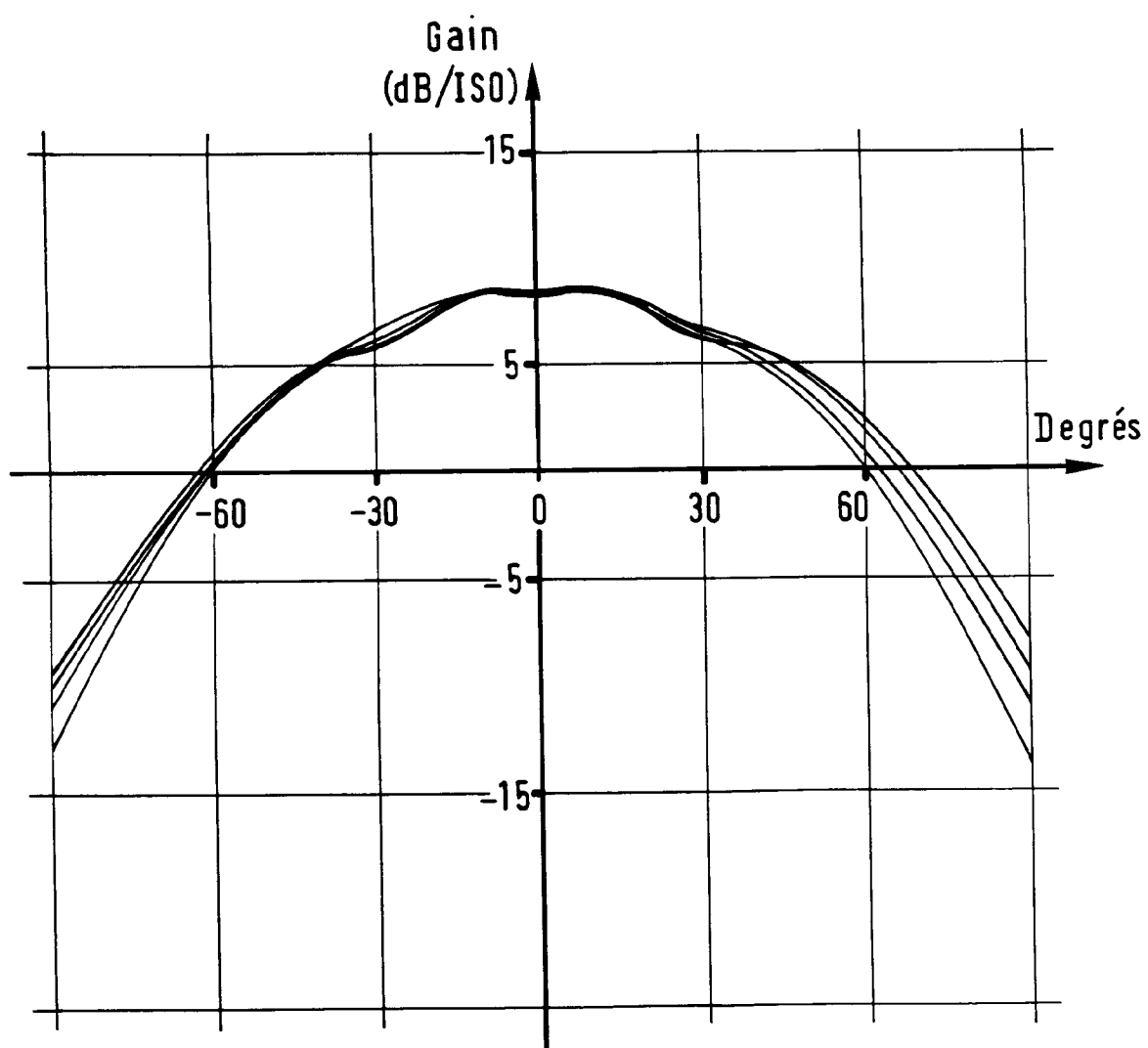


FIG.8

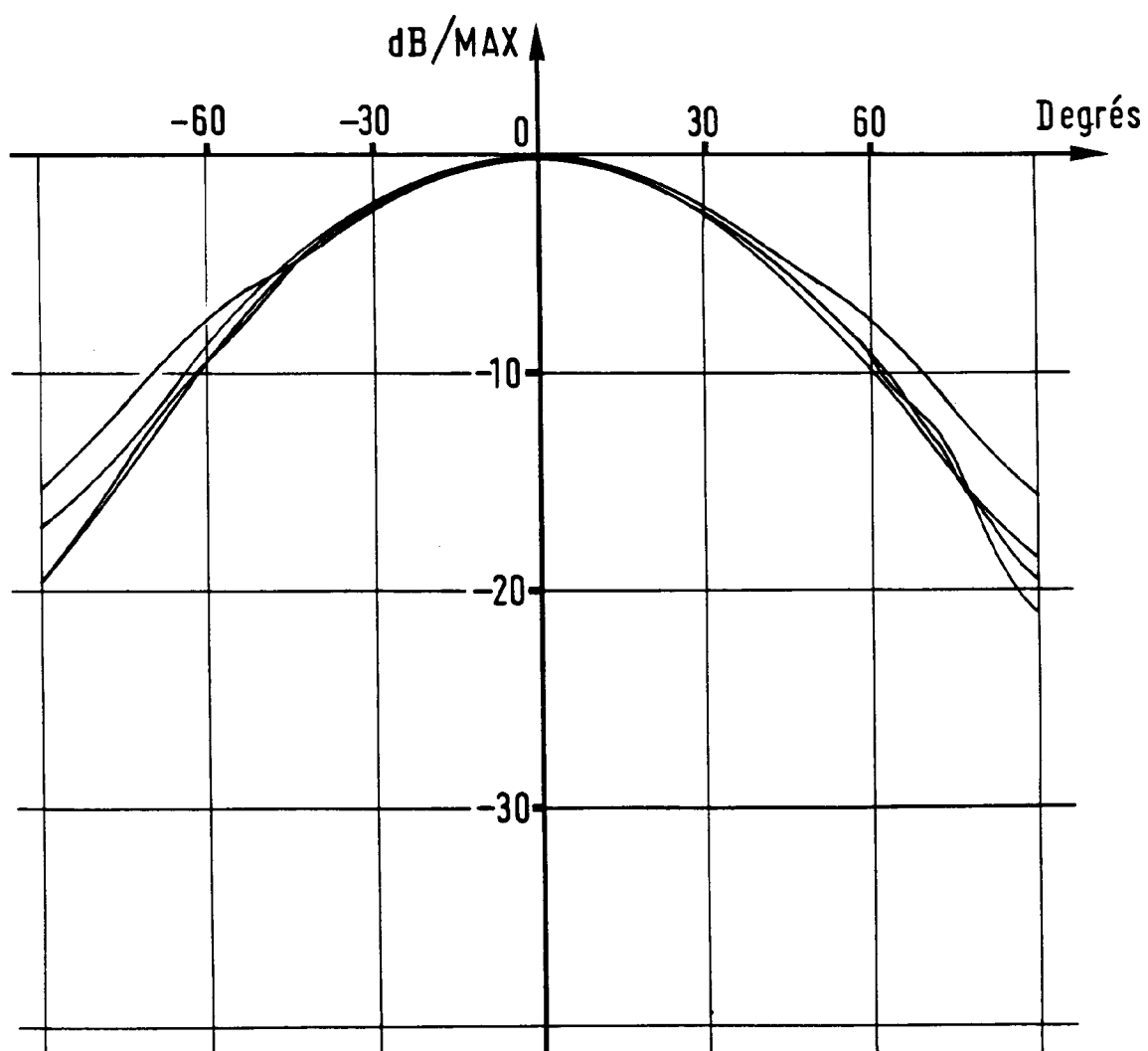


FIG. 9

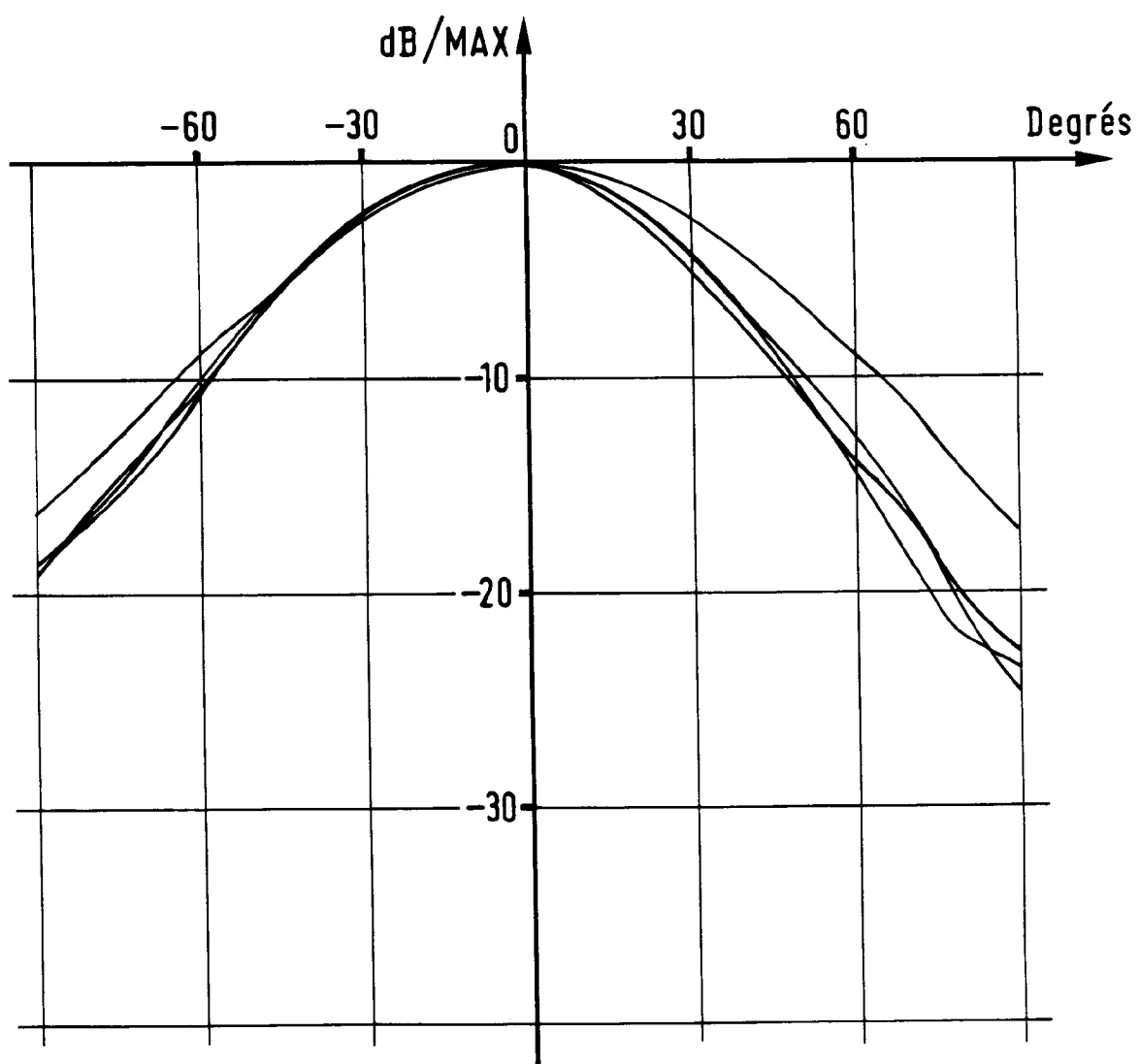
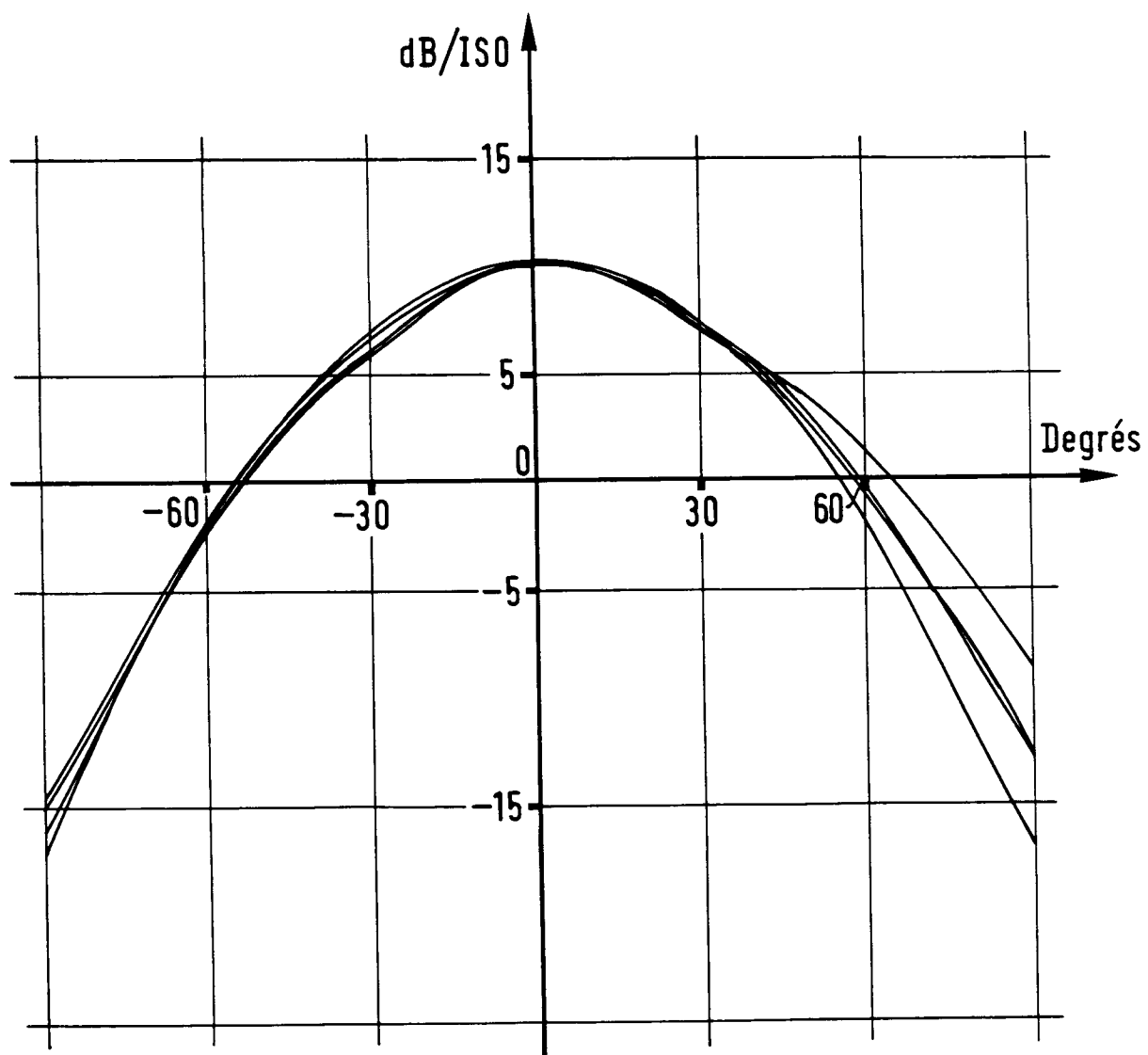


FIG.10





Office européen  
des brevets

# RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande  
EP 94 40 0622

| DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                              |                                                  |                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Catégorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes                              | Revendication concernée                          | CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.5)       |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | EP-A-0 342 175 (COMMUNICATIONS SATELLITE)<br>* colonne 7, ligne 5 - colonne 8, ligne 9;<br>figures 5A-D, 8 * | 1-13                                             | H01Q9/04<br>H01Q21/06                     |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | EP-A-0 484 241 (FRANCE TELECOM)<br>* colonne 4, ligne 2 - colonne 5, ligne 50; figures 5-8 *                 | 1-13                                             |                                           |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | EP-A-0 403 910 (ALCATEL ESPACE)<br>* revendications 1-10; figure 7 *                                         | 1                                                |                                           |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | WO-A-89 07838 (BRITISH TELECOMMUNICATIONS)<br>* revendication 1; figures 1-5 *                               | 1                                                |                                           |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                              |                                                  | DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.5) |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                              |                                                  | H01Q                                      |
| Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                              |                                                  |                                           |
| Lieu de la recherche<br>LA HAYE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                              | Date d'achèvement de la recherche<br>9 Juin 1994 | Examineur<br>Angrabeit, F                 |
| <p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul<br/>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie<br/>A : arrière-plan technologique<br/>O : divulgation non-écrite<br/>P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention<br/>E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date<br/>D : cité dans la demande<br/>L : cité pour d'autres raisons<br/>&amp; : membre de la même famille, document correspondant</p> |                                                                                                              |                                                  |                                           |

EPO FORM 1503 01.82 (P44C02)