



(11) **EP 3 335 267 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
13.03.2019 Bulletin 2019/11

(51) Int Cl.:
H01Q 1/04 (2006.01) **H01Q 9/42** (2006.01)
H01Q 9/44 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **16748340.3**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2016/051917

(22) Date de dépôt: **22.07.2016**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2017/025675 (16.02.2017 Gazette 2017/07)

(54) **ANTENNE À ONDES DE SURFACE, RÉSEAU D'ANTENNES ET UTILISATION D'UNE ANTENNE
OU D'UN RÉSEAU D'ANTENNES**

OBERFLÄCHENWELLENANTENNE, ANTENNENANORDNUNG UND VERWENDUNG EINER
ANTENNE ODER EINES ANTENNENARRAYS

SURFACE-WAVE ANTENNA, ANTENNA ARRAY AND USE OF AN ANTENNA OR AN ANTENNA
ARRAY

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

(30) Priorité: **10.08.2015 FR 1557654**

(43) Date de publication de la demande:
20.06.2018 Bulletin 2018/25

(73) Titulaires:
• **TDF**
92120 Montrouge (FR)
• **Université de Rennes 1**
35065 Rennes (FR)

(72) Inventeurs:
• **BELLEEC, Mathilde**
35520 La Chapelle Des Fougeretz (FR)

- **LAURENT, Jean-Yves**
35200 Rennes (FR)
- **PALUD, Sébastien**
35000 Rennes (FR)
- **JEZEQUEL, Pierre-Yves**
35235 Thorigne-fouillard (FR)
- **COLOMBEL, Franck**
35160 Monfort-sur-meu (FR)
- **AVRILLON, Stéphane**
35700 Rennes (FR)

(74) Mandataire: **Gevers & Orès**
9 rue St Antoine du T
31000 Toulouse (FR)

(56) Documents cités:
GB-A- 233 346 GB-A- 665 736
US-A- 1 790 646 US-A- 3 253 279

EP 3 335 267 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

1. Domaine technique de l'invention

[0001] L'invention concerne une antenne, un réseau d'antennes et une utilisation d'antenne ou d'un réseau d'antennes. En particulier, l'invention concerne une antenne ou un réseau d'antennes à polarisation verticale et/ou elliptique adaptée pour émettre et/ou recevoir des ondes de surface dans une large bande de fréquence incluant notamment tout ou partie des fréquences basses, moyennes et hautes comprises entre 30 kHz environ et 30 MHz environ, soit des ondes kilométriques, hectométriques et décamétriques.

2. Arrière-plan technologique

[0002] Actuellement, des pylônes rayonnants de grandes dimensions sont utilisés pour émettre de fortes puissances dans les bandes hectométriques. Ces pylônes présentent l'inconvénient d'être coûteux, de nécessiter un important terrain de sécurité pour leur installation, et d'être peu esthétiques et discrets. Ils ne sont pas optimisés pour une diffusion essentiellement par ondes de surface.

[0003] Les antennes utilisant uniquement une onde de surface comme vecteur de propagation sont très peu nombreuses. Les antennes à ondes de surface actuelles sont des antennes de type fouet ou biconiques qui sont mal adaptées pour de telles applications.

[0004] Les pylônes rayonnants et en général toutes les antennes à polarisation verticale par exemple de type fouet ou biconique génèrent essentiellement un champ d'onde d'espace (aussi appelé rayonnement ionosphérique) et sont coûteux et très peu discrets.

[0005] Des solutions ont été proposées pour résoudre ces problèmes. La demande de brevet français FR2965978, déposée par le demandeur, propose une solution permettant de réduire de façon importante l'encombrement vertical de l'antenne, permettant ainsi une réduction des coûts d'implantation et une amélioration de la discrétion de l'antenne. En outre, l'antenne permet une amélioration de la propagation par ondes de surface et une diminution du rayonnement ionosphérique. Néanmoins, le rayonnement ionosphérique reste toutefois important, notamment pour des angles compris entre $\pm[20^\circ ; 80^\circ]$ autour de la normale au plan de sol sur lequel est disposée l'antenne. Ce rayonnement ionosphérique restant peut, dans certaines bandes de fréquences, engendrer des phénomènes d'atténuation (*fading* en anglais), notamment lorsque les ondes de surface et les ondes d'espace interfèrent, au niveau de la surface de la Terre, après propagation dans des milieux et par des chemins différents. Le document de l'art antérieur GB233346 décrit une antenne comportant 2 brins horizontaux et de part et d'autre de ceux-ci en leurs extrémités 2 brins verticaux.

3. Objectifs de l'invention

[0006] L'invention vise à pallier au moins certains des inconvénients des antennes connus.

[0007] En particulier, l'invention vise à fournir, dans au moins un mode de réalisation de l'invention, une antenne dont le rayonnement préférentiel est un rayonnement d'ondes de surface.

[0008] L'invention vise aussi à fournir, dans au moins un mode de réalisation, une antenne dont le rayonnement ionosphérique est diminué.

[0009] L'invention vise aussi à fournir, dans au moins un mode de réalisation de l'invention, une antenne simple à réaliser.

[0010] L'invention vise aussi à fournir, dans au moins un mode de réalisation, une antenne discrète et dont l'encombrement vertical est faible.

[0011] L'invention vise aussi à fournir, dans au moins un mode de réalisation, une antenne dont la bande passante peut être facilement modifiée.

[0012] L'invention vise aussi à fournir un réseau d'antennes à ondes de surface. L'invention vise aussi à fournir une utilisation d'antenne ou de réseau d'antennes pour le rayonnement d'ondes de surface.

4. Exposé de l'invention

[0013] Pour ce faire, l'invention concerne une antenne destinée à émettre et/ou recevoir des ondes de surface de longueur d'onde centrale λ_0 décamétrique, hectométrique ou kilométrique, caractérisée en ce qu'elle comprend :

- au moins un élément rayonnant filaire horizontal de longueur comprise entre $0,5 \lambda_0$ et λ_0 ,
- au moins trois éléments rayonnants filaires verticaux de même longueur comprise entre $0,03 \lambda_0$ et $0,1 \lambda_0$, disposés dans un même plan et comprenant chacun une extrémité supérieure et une extrémité inférieure, lesdites extrémités supérieures étant reliées à l'élément rayonnant filaire horizontal, lesdites extrémités inférieures étant adaptées pour être reliées à un milieu conducteur présentant une surface sensiblement horizontale,

et en ce que les extrémités supérieures d'au moins deux éléments rayonnants filaires verticaux sont respectivement reliées à une première extrémité et à une deuxième extrémité de l'élément rayonnant filaire horizontal, et l'extrémité supérieure d'un élément rayonnant filaire vertical, dit élément central, est reliée à l'élément rayonnant filaire horizontal en son centre, l'élément central étant en outre relié à un dispositif d'alimentation de l'antenne.

[0014] Une antenne selon l'invention permet donc l'émission/réception d'ondes de surfaces directives à polarisation verticale et une réduction du rayonnement ionosphérique par rapport aux antennes classiques grâce à l'utilisation d'une forme d'antenne particulière, de façon

à émettre/recevoir des ondes de surface. Relier l'antenne à un milieu conducteur, comme par exemple un milieu terrestre ou aquatique, permet le rayonnement d'ondes de surface se propageant le long de ce milieu. Notamment, l'onde de surface est adaptée pour suivre la courbure terrestre, permettant ainsi une propagation sur de longues distances.

[0015] En outre, l'antenne a une hauteur égale à la longueur des éléments rayonnants filaires verticaux, autrement dit une hauteur comprise entre $0,03 \lambda_0$ et $0,1 \lambda_0$, ce qui en fait une antenne électriquement courte dans le plan vertical, et présentant un encombrement vertical réduit. Une telle antenne est donc discrète. En outre, elle est moins sensible au vent, au souffle, à la foudre, aux séismes, etc.

[0016] La longueur d'onde λ_0 centrale correspond à la longueur d'onde associée à la fréquence de fonctionnement si l'antenne rayonne dans une seule fréquence, ou, si l'antenne rayonne dans une bande de fréquence, à la longueur d'onde associée à la fréquence centrale de ladite bande de fréquence.

[0017] Les éléments rayonnants forment deux boucles symétriques par rapport à l'élément central, permettant le rayonnement d'ondes de surfaces directives.

[0018] Avantageusement, une antenne selon l'invention comprend au moins deux éléments rayonnants filaires horizontaux reliés chacun à au moins deux éléments rayonnants filaires verticaux et à l'élément central.

[0019] Avantageusement et selon l'invention, au moins deux éléments rayonnants filaires horizontaux sont de même longueur, disposés côte à côte et à une même distance du milieu conducteur.

[0020] Les éléments rayonnants filaires horizontaux côte à côte permettent d'augmenter la largeur de l'antenne et ainsi d'élargir la bande de fréquence de rayonnement de l'antenne.

[0021] Avantageusement et selon l'invention, au moins deux éléments filaires horizontaux sont parallèles, de longueurs différentes, disposés l'un au-dessus de l'autre à une distance différente du milieu conducteur.

[0022] Les éléments rayonnants filaires horizontaux l'un au-dessus de l'autre et de longueurs différentes permettent un rayonnement de l'antenne à une fréquence centrale supplémentaire, par duplication des éléments de l'antenne à des longueurs adaptées de façon à former une antenne à double résonance.

[0023] Avantageusement, une antenne selon l'invention comprend des éléments localisés de type résistif, capacitif et/ou inductif adaptés pour former des pièges de courant sur l'antenne.

[0024] Selon cet aspect de l'invention, les éléments localisés permettent de former des pièges de courants sur l'antenne, c'est-à-dire de former des circuits ouverts à certaines fréquences et fermés à d'autres fréquences, de façon à créer de multiples résonances de l'antenne.

[0025] L'invention concerne également un réseau d'antennes caractérisé en ce qu'il comprend au moins deux antennes selon l'invention, lesdites antennes for-

mant un alignement d'antennes de façon à ce que les éléments rayonnant filaires horizontaux desdites antennes soient perpendiculaires à un même plan d'alignement.

[0026] Le réseau formé est un réseau linéaire d'antennes, dans lequel toutes les antennes sont alignées.

[0027] La formation d'un réseau d'antennes à partir des antennes selon l'invention permet d'accentuer les avantages apportés par ces antennes : en particulier, le rayonnement du réseau d'antennes a une meilleure directivité, le gain des ondes de surfaces est amélioré et le rayonnement ionosphérique est fortement réduit. Le réseau d'antennes a le même encombrement vertical que l'antenne selon l'invention pour des performances améliorées. L'antenne selon l'invention reste toutefois intéressante pour des situations nécessitant d'occuper une faible surface au sol.

[0028] Avantageusement, un réseau d'antennes selon l'invention comprend au moins deux alignements d'antennes dont les plans d'alignement sont parallèles, chaque élément rayonnant horizontal d'une antenne d'un alignement étant aligné avec un élément rayonnant horizontal d'une antenne d'au moins un autre alignement.

[0029] Le réseau formé est un réseau planaire d'antennes, comprenant une pluralité de réseaux linéaires.

[0030] L'invention concerne également une utilisation d'au moins une antenne selon l'invention, ladite antenne étant reliée à un milieu conducteur terrestre ou aquatique, pour l'émission/réception d'ondes de surfaces de façon à ce que lesdites ondes de surface se propagent le long dudit milieu.

[0031] L'invention concerne également une utilisation d'au moins un réseau d'antennes selon l'invention, chaque antenne dudit réseau d'antennes étant reliée à un milieu conducteur terrestre ou aquatique, pour l'émission/réception d'ondes de surfaces de façon à ce que lesdites ondes de surface se propagent le long dudit milieu.

[0032] L'utilisation d'une antenne selon l'invention ou d'un réseau d'antennes selon l'invention sur un milieu conducteur terrestre ou aquatique tel que la terre, la mer, un lac ou un marais salant, permet un rayonnement d'ondes de surface le long dudit milieu. Le milieu conducteur est de grandes dimensions par rapport à l'antenne ou au réseau d'antennes (lesdites grandes dimensions sont considérées comme infinies par rapport aux dimensions de l'antenne ou du réseau d'antennes) et permet ainsi la propagation d'ondes de surfaces sur de longues distances. De plus, les grandes dimensions du milieu conducteur permettent une réduction du rayonnement ionosphérique.

[0033] L'invention concerne également une antenne, un réseau d'antennes et une utilisation d'antenne ou de réseau d'antennes caractérisés en combinaison par tout ou partie des caractéristiques mentionnées ci-dessus ou ci-après.

5. Liste des figures

[0034] D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante donnée à titre uniquement non limitatif et qui se réfère aux figures annexées dans lesquelles :

- la figure 1 est une vue schématique selon un plan xOz d'une antenne selon un premier mode de réalisation de l'invention,
- la figure 2 est un diagramme de rayonnement selon le plan xOy de l'antenne selon le premier mode de réalisation de l'invention,
- la figure 3 est un diagramme de rayonnement selon le plan yOz de l'antenne selon le premier mode de réalisation de l'invention,
- la figure 4 est une vue schématique selon un plan xOz d'une antenne selon un deuxième mode de réalisation de l'invention,
- la figure 5 est une vue schématique selon un plan xOz d'une antenne selon un troisième mode de réalisation de l'invention,
- la figure 6 est une vue schématique en perspective d'une antenne selon un quatrième mode de réalisation de l'invention,
- la figure 7 est une vue schématique en perspective d'une antenne selon un cinquième mode de réalisation de l'invention,
- la figure 8 est une vue schématique selon un plan xOz d'une antenne selon un sixième mode de réalisation de l'invention,
- la figure 9 est une vue schématique en perspective d'un réseau d'antennes selon un premier mode de réalisation de l'invention,
- la figure 10 est un diagramme de rayonnement selon le plan yOz du réseau d'antenne selon le premier mode de réalisation de l'invention,
- la figure 11 est un diagramme de rayonnement selon le plan xOy du réseau d'antenne selon le premier mode de réalisation de l'invention,
- la figure 12 est une vue schématique en perspective d'un réseau d'antennes selon un deuxième mode de réalisation de l'invention,
- la figure 13 est un diagramme de rayonnement selon le plan yOz du réseau d'antenne selon le deuxième mode de réalisation de l'invention,
- la figure 14 est un diagramme de rayonnement selon le plan xOy du réseau d'antenne selon le deuxième mode de réalisation de l'invention.

6. Description détaillée d'un mode de réalisation de l'invention

[0035] Les réalisations suivantes sont des exemples. Bien que la description se réfère à un ou plusieurs modes de réalisation, ceci ne signifie pas nécessairement que chaque référence concerne le même mode de réalisation, ou que les caractéristiques s'appliquent seulement

à un seul mode de réalisation. De simples caractéristiques de différents modes de réalisation peuvent également être combinées pour fournir d'autres réalisations. Sur les figures, les échelles et les proportions ne sont pas strictement respectées et ce, à des fins d'illustration et de clarté.

[0036] Un repère orthogonal Oxyz est utilisé sur chaque figure représentant les antennes ou réseaux d'antennes selon les différents modes de réalisation de l'invention.

[0037] Les notions de « horizontal » et « vertical » sont utilisées en correspondance avec une antenne une fois installée, en situation opérationnelle, comme représenté figure 1. En outre, un élément est horizontal si sa direction principale est parallèle au plan xOy et est vertical si sa direction principale est parallèle à l'axe Oz.

[0038] La figure 1 représente schématiquement selon un plan xOz une antenne 20 selon un premier mode de réalisation de l'invention.

[0039] L'antenne 20 comprend un élément 22 rayonnant filaire horizontal, dit élément 22 horizontal, relié à trois éléments 24a, 24b, 24c rayonnants filaires verticaux, dits éléments 24a, 24b, 24c verticaux. Les éléments 24a, 24b, 24c verticaux comprennent chacun une extrémité supérieure reliée à l'élément 22 horizontal, et une extrémité inférieure reliée à un milieu 26 conducteur. Selon les modes de réalisation, les éléments rayonnants peuvent être réalisés en tubes ou en fils métalliques multibrins ou monobrins, de préférence de faible section.

[0040] Le milieu 26 conducteur est un milieu conducteur imparfait adapté à la propagation d'ondes de surface. Le milieu 26 conducteur peut être un milieu à forte conductivité électrique comme la mer, un marais salant, un lac salé, etc., ou bien un milieu à plus faible conductivité comme la terre, le sable, etc. Dans le cas où le milieu 26 conducteur a une conductivité faible, typiquement inférieure à 1S/m, un plan de masse est intégré dans le milieu 26 conducteur et est relié aux éléments 24 verticaux. Le plan de masse peut prendre différentes formes (cercle, rectangle, polygone irrégulier, etc.) et couvre une surface sensiblement égale ou supérieure à la projection de l'antenne sur la surface du milieu conducteur.

[0041] Dans ce mode de réalisation, deux éléments 24a et 24c verticaux sont respectivement reliés à une première extrémité et à une deuxième extrémité de l'élément 22 horizontal. Un troisième élément 24b vertical, dit élément 24b vertical central est relié à l'élément 22 horizontal en son centre. En outre, l'élément 24b vertical central est relié à un dispositif 28 d'alimentation de l'antenne.

[0042] L'élément 22 horizontal a une longueur comprise entre $0,5 \lambda_0$ et λ_0 , qui correspond à la longueur de l'antenne, et les éléments 24a, 24b, 24c verticaux ont une longueur comprise entre $0,03 \lambda_0$ et $0,1 \lambda_0$, qui correspond à une hauteur h de l'antenne par rapport au milieu conducteur. L'antenne 20 est ainsi électriquement courte dans le plan vertical et présente un encombrement

vertical réduit.

[0043] Du fait de la longueur et de la disposition particulière de l'élément 22 horizontal et des éléments 24a, 24b, 24c verticaux, et du fait de l'utilisation de l'antenne sur un milieu conducteur terrestre ou aquatique, de préférence de grandes dimensions tel que la terre ou la mer (pouvant être considérées comme de dimensions infinies par rapport aux dimensions de l'antenne), l'antenne est particulièrement adaptée à l'émission et/ou la réception d'ondes de surfaces directives qui se propagent le long du milieu conducteur, permettant ainsi la propagation des ondes à longue distance en suivant la courbure terrestre. Cette propagation est favorisée par la discontinuité entre l'air dans lequel se propagent les ondes de surface et le milieu conducteur.

[0044] Les figures 2 et 3 représentent des diagrammes de rayonnement respectivement selon le plan xOy et selon le plan yOz de l'antenne selon le premier mode de réalisation de l'invention, dans laquelle l'élément horizontal a une longueur de $0,7 \lambda_0$ et les éléments verticaux ont une longueur de $0,06 \lambda_0$. Sur les deux diagrammes, les droites correspondant aux angles -90° et 90° représentent l'axe Oy.

[0045] L'antenne présente ainsi un rayonnement directif dans une direction perpendiculaire à l'élément 22 horizontal (c'est-à-dire selon l'axe Oy), et ayant un gain important pour un rayonnement d'ondes de surface proche du milieu conducteur, c'est-à-dire pour des angles zénithaux proches de -90° et 90° .

[0046] Les modes de réalisation décrits ci-après sont tous basés sur ce premier mode de réalisation auquel des modifications supplémentaires sont apportées.

[0047] La figure 4 représente schématiquement selon le plan xOz une antenne 20 selon un deuxième mode de réalisation de l'invention.

[0048] L'antenne comprend des éléments 24d, 24e, 24f, 24g verticaux supplémentaires, permettant de créer des boucles de résonance supplémentaires de tailles variables. Ces éléments verticaux supplémentaires sont disposés entre les éléments verticaux décrits précédemment et sont reliés à l'élément 22 horizontal de façon à former une pluralité de sections 30a, 30b, 30c, 30d, 30e, 30f de longueurs différentes sur l'élément 22 horizontal. Par exemple, deux premières sections 30a et 30b présentent une longueur de l'ordre de $0,175 \lambda_0$, deux deuxième sections 30c et 30d présentent une longueur de l'ordre de $0,35 \lambda_0$, et deux troisième sections 30e et 30f présentent une longueur de l'ordre de $0,5 \lambda_0$. Ces sections 30a, 30b, 30c, 30d, 30e, 30f permettent une multiple résonance de l'antenne à plusieurs fréquences.

[0049] La figure 5 représente schématiquement selon le plan xOz une antenne 20 selon un troisième mode de réalisation de l'invention.

[0050] L'antenne comprend deux éléments 24d, 24e verticaux supplémentaires comme dans le deuxième mode de réalisation de l'invention, ainsi que des éléments localisés, ici deux premiers éléments localisés 32a et 32b disposés sur l'élément 22 horizontal, et deux

deuxièmes éléments localisés 32c et 32d disposés chacun sur un des deux éléments 24d, 24e supplémentaires.

[0051] Les éléments localisés peuvent être des éléments résistifs, capacitifs (condensateurs) ou inductifs (bobines). Ces éléments localisés sont couramment appelés « *load* » en anglais. Les éléments localisés peuvent permettre de reproduire la résonance RLC des éléments rayonnants avec une longueur physique (ou encombrement) réduite mais une longueur électrique équivalente.

[0052] Les éléments localisés peuvent aussi permettre de créer, sur les éléments rayonnants, des circuits ouverts (ou haute impédance) à certaines fréquences de fonctionnement et fermés à d'autres fréquences de fonctionnement, permettant ainsi une variation de la résonance des éléments rayonnants selon la fréquence de fonctionnement. Ces éléments localisés créent ainsi de multiples résonances à l'aide de pièges de courant.

[0053] La figure 6 représente schématiquement en perspective une antenne 20 selon un quatrième mode de réalisation de l'invention.

[0054] L'antenne comprend une pluralité d'éléments horizontaux, ici trois éléments 22a, 22b, 22c horizontaux, parallèles les uns aux autres. Chaque élément horizontal a chacune de ses extrémités reliées à un élément vertical, et les trois éléments horizontaux sont reliés en leur centre à un unique élément vertical. Des fils conducteurs relient les premières extrémités des éléments horizontaux entre elles et les deuxième extrémités des éléments horizontaux entre elles.

[0055] La présence d'une pluralité d'éléments horizontaux augmente la largeur L_r de l'antenne, augmentant ainsi la bande passante de l'antenne, notamment par amélioration du rapport d'onde stationnaire (ROS).

[0056] La figure 7 représente schématiquement en perspective une antenne 20 selon un cinquième mode de réalisation de l'invention. L'antenne comprend une pluralité d'éléments horizontaux, ici trois éléments 22a, 22b, 22c horizontaux, sécants en leur centre. Comme pour le quatrième mode de réalisation, la bande passante de l'antenne est augmentée notamment par amélioration du ROS. En outre, la connexion des trois éléments horizontaux en leur milieu permet de diminuer les parties réactives de l'impédance de l'antenne.

[0057] La figure 8 représente schématiquement selon le plan xOz une antenne 20 selon un sixième mode de réalisation de l'invention.

[0058] L'antenne 20 comprend, outre l'élément 22 horizontal et les trois éléments 24a, 24b, 24c verticaux du premier mode de réalisation, un deuxième élément 122 horizontal et deux deuxième éléments 124a, 124c verticaux de taille réduite, permettant de former l'équivalent d'une deuxième antenne résonnant à une fréquence f_{bis} différente de f_0 (la fréquence f_{bis} étant associée à une longueur d'onde λ_{bis}). L'élément horizontal 122 a une longueur comprise entre $0,5 \lambda_{bis}$ et λ_{bis} et les deux éléments 124a, 124c verticaux ont une longueur comprise entre $0,03 \lambda_{bis}$ et $0,1 \lambda_{bis}$. Le deuxième élément 122 ho-

horizontal est relié en son centre à l'élément 24b vertical central, permettant ainsi une alimentation commune par le dispositif 28 d'alimentation. L'antenne 20 est ainsi une antenne à double résonance en dupliquant la structure de base de l'antenne avec des dimensions différentes, adaptées à deux fréquences f_0 et f_{bis} différentes.

[0059] La figure 9 représente schématiquement en perspective un réseau 34 d'antennes selon un premier mode de réalisation de l'invention.

[0060] Le réseau d'antenne est composé d'une pluralité d'antennes selon l'un des modes de réalisation de l'invention, par exemple ici de N antennes référencées $A_1, A_2, \dots, A_{N-1}, A_N$ selon le premier mode de réalisation de l'invention. Les antennes sont alignées de façon à ce que tous les éléments horizontaux soient perpendiculaires à un même plan d'alignement. Les antennes ainsi alignées forment un alignement d'antennes, aussi appelé réseau linéaire d'antennes. Les antennes sont alimentées par des sources équiamplitude et équiphase. Dans ce mode de réalisation, chaque antenne est espacée des autres antennes d'une distance d égale à $0,93 \lambda_0$. Afin de clarifier la lecture de la figure, les antennes sont représentées avec des proportions longueur-largeur différentes des modes de réalisation décrits précédemment, mais leurs dimensions sont comprises entre $0,5 \lambda_0$ et λ_0 pour la longueur et $0,03 \lambda_0$ et $0,1 \lambda_0$ pour la hauteur, comme décrit précédemment.

[0061] Les figures 10 et 11 représentent des diagrammes de rayonnement respectivement selon le plan yOz et selon le plan xOy du réseau 34 d'antennes selon le premier mode de réalisation de l'invention. Sur les deux diagrammes, les droites correspondant aux angles -90° et 90° représentent l'axe Oy. Les courbes 36a et 36b représentent le rayonnement d'un réseau d'antennes comprenant N=2 antennes et les courbes 38a et 38b représentent le rayonnement d'un réseau d'antennes comprenant N=6 antennes.

[0062] Le rayonnement en onde de surface de l'antenne décrit précédemment est ainsi amélioré par la mise en réseau de plusieurs de ces antennes pour former un réseau d'antennes. Le rayonnement selon le plan yOz du réseau d'antennes est très proche des angles -90° et 90° qui correspondent à des ondes de surfaces très proches de la surface du milieu conducteur, et le rayonnement ionosphérique est très fortement réduit. Cette amélioration des performances est visible dès la mise en réseau de deux antennes, et est accentuée en ajoutant davantage d'antennes, notamment avec six antennes. Le ratio onde de surface sur ondes ionosphériques (ondes de ciel) peut être optimisé davantage en utilisant une pondération d'amplitude et/ou une pondération de phase appropriée.

[0063] En outre, le rayonnement selon le plan xOy montre que la directivité de l'antenne est aussi fortement améliorée dans une direction perpendiculaire aux éléments horizontaux des antennes.

[0064] La figure 12 représente schématiquement en perspective un réseau 34 d'antennes selon un deuxième

mode de réalisation de l'invention.

[0065] Le réseau 34 d'antennes est composé d'une pluralité d'alignements d'antennes tels que décrits en référence au premier mode de réalisation du réseau d'antennes. Le réseau d'antennes forme ainsi un réseau planaire d'antennes, selon deux dimensions. Le réseau comprend ainsi X alignements de Y antennes référencées $A_{1,1}, A_{2,1}, \dots, A_{X,1}, A_{1,2}, A_{2,2}, \dots, A_{X,2}, \dots, A_{1,Y-1}, A_{2,Y-1}, A_{X,Y-1}, A_{1,Y}, A_{2,Y}, A_{X,Y}$. La distance d_x entre deux alignements est inférieure à λ_0 . Si la distance d_x est inférieure à la longueur de l'élément rayonnant horizontal de l'antenne, les antennes d'alignements différents sont disposées de sorte à ce que leurs éléments rayonnants horizontaux ne soient pas en contact. Par exemple, deux antennes situées côte à côte (comme par exemple $A_{1,1}$ et $A_{2,1}$) sont décalées sur l'axe Oy de façon à ne pas être en contact.

[0066] Cette configuration permet, grâce aux déphasages appliqués aux antennes, de modifier la direction de rayonnement du réseau d'antennes. En particulier, les alignements présentent un déphasage $\Delta\phi$ les uns par rapport aux autres. Par exemple, avec $\Delta\phi$ le déphasage de l'antenne $A_{1,1}$ du premier alignement comprenant les antennes $A_{1,1}, A_{1,2}, \dots, A_{1,Y-1}, A_{1,Y}$, l'antenne $A_{2,1}$ du deuxième alignement comprenant les antennes $A_{2,1}, A_{2,2}, \dots, A_{2,Y-1}, A_{2,Y}$, a un déphasage égal à $2\Delta\phi$ et l'antenne $A_{X,1}$ du Xème alignement comprenant les antennes $A_{X,1}, A_{X,2}, \dots, A_{X,Y-1}, A_{X,Y}$ a un déphasage égal à $X\Delta\phi$.

[0067] De plus, les antennes d'un même alignement peuvent présenter des phases différentes : par exemple, les deux antennes $A_{1,1}$ et $A_{1,2}$ représentées forment un sous-réseau R_1 alimenté avec la même amplitude et la même phase, et les deux antennes $A_{1,Y-1}$ et $A_{1,Y}$ représentées forment un sous-réseau R_2 alimenté avec la même amplitude et la même phase mais avec un déphasage de 90° par rapport aux antennes du sous-réseau R_1 . Ce décalage dans chaque alignement permet d'obtenir un rayonnement unidirectionnel.

[0068] Les figures 13 et 14 représentent des diagrammes de rayonnement respectivement selon le plan yOz et selon le plan xOy du réseau d'antennes selon le deuxième mode de réalisation de l'invention. Sur les deux diagrammes, les droites correspondant aux angles -90° et 90° représentent l'axe Oy. Le réseau d'antennes comprend trois alignements de quatre antennes, soit douze antennes. La longueur d'onde λ_0 centrale est égale à 28 m, les éléments rayonnants horizontaux des antennes ont une longueur de 18 m (soit environ $0,64 \lambda_0$), les antennes ont une hauteur de 1,8 m (soit environ $0,064 \lambda_0$). La distance d_x entre deux alignements est égale à 10m. Pour éviter que les antennes de deux alignements soient en contacts, celles-ci sont décalées d'une distance de 2 m selon l'axe Oy. La distance d_y entre deux antennes d'un même alignement est égale à 20,2 m pour des antennes de même phase (d'un même sous-réseau), et égale à 27 m pour des antennes déphasées de 90° (d'un sous-réseau différent).

[0069] Les courbes représentent des rayonnements selon plusieurs valeurs de $\Delta\phi$, respectivement 0° pour les courbes 40a et 40b, $22,5^\circ$ pour les courbes 42a et 42b, 44° pour les courbes 44a et 44b, 65° pour les courbes 46a et 46b, 85° pour les courbes 48a et 48b.

[0070] Le rayonnement selon xOz est relativement identique pour toutes les valeurs de $\Delta\phi$. En revanche, le rayonnement dans le plan xOy a une forme différente selon la valeur de $\Delta\phi$, et notamment la direction de rayonnement préférentielle du réseau d'antennes est variable. Le réseau d'antennes peut être ainsi reconfiguré pour modifier son rayonnement sans nécessité d'intervenir physiquement sur la disposition des antennes, mais uniquement en modifiant la valeur $\Delta\phi$ de déphasage de chaque alignement par rapport aux autres alignements. Dans ce mode de réalisation, le réseau d'antennes peut ainsi être reconfiguré sur une plage angulaire de 60° , comme visible sur la figure 11 : seules des configurations entre 90° et 120° étant représentées, des configurations avec des valeurs de $\Delta\phi$ négatives permettent d'obtenir des rayonnements symétriques par rapport à l'axe Oy, la plage angulaire étant alors entre 60° et 120° . En outre, les amplitudes de l'alimentation des antennes peuvent être pondérées pour optimiser les diagrammes de rayonnement, notamment de façon à éviter l'apparition de lobes secondaires importants en cas de forts dépointages des antennes.

[0071] L'invention ne se limite pas aux seuls modes de réalisation décrits. En particulier, les caractéristiques des différents modes de réalisation des antennes peuvent être combinées, et les réseaux d'antennes peuvent être formés d'antennes selon l'un quelconque des modes de réalisation d'antenne.

Revendications

1. Antenne destinée à émettre et/ou recevoir des ondes de surface de longueur d'onde centrale λ_0 décimétrique, hectométrique ou kilométrique, **caractérisée en ce qu'elle comprend :**

- au moins un élément (22, 122) rayonnant filaire horizontal de longueur comprise entre $0,5 \lambda_0$ et λ_0 ,
- au moins trois éléments (24a-24g, 124a-124c) rayonnants filaires verticaux de même longueur comprise entre $0,03 \lambda_0$ et $0,1 \lambda_0$, disposés dans un même plan et comprenant chacun une extrémité supérieure et une extrémité inférieure, lesdites extrémités supérieures étant reliées à l'élément (22, 122) rayonnant filaire horizontal, lesdites extrémités inférieures étant adaptées pour être reliées à un milieu (26) conducteur présentant une surface sensiblement horizontale.

et en ce que les extrémités supérieures d'au moins deux éléments (24a-24g, 124a-124c) rayonnants fi-

lares verticaux sont respectivement reliées à une première extrémité et à une deuxième extrémité de l'élément rayonnant filaire horizontal, et en ce que l'extrémité supérieure d'un élément rayonnant filaire vertical, dit élément (24b) central, est reliée à l'élément (22, 122) rayonnant filaire horizontal en son centre, l'élément central étant en outre relié à un dispositif (28) d'alimentation de l'antenne.

2. Antenne selon la revendication 1, **caractérisée en ce qu'elle** comprend au moins deux éléments (22, 122) rayonnants filaires horizontaux reliés chacun à au moins deux éléments (24a-24g, 124a-124c) rayonnants filaires verticaux et à l'élément central (24b).
3. Antenne selon la revendication 2, **caractérisée en ce qu'au** moins deux éléments (22a-22c) rayonnants filaires horizontaux sont de même longueur, disposés côte à côte et à une même distance du milieu (26) conducteur.
4. Antenne selon l'une des revendications 2 ou 3, **caractérisée en ce qu'au** moins deux éléments (22, 122) filaires horizontaux sont parallèles, de longueurs différentes, disposés l'un au-dessus de l'autre à une distance différente du milieu (26) conducteur.
5. Antenne selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisée en ce qu'elle** comprend des éléments (32a-32d) localisés de type résistif, capacitif et/ou inductif adaptés pour former des pièges de courant sur l'antenne.
6. Réseau d'antennes, **caractérisé en ce qu'il** comprend au moins deux antennes (A_1-A_N) selon l'une des revendications 1 à 5, lesdites antennes formant un alignement d'antennes de façon à ce qu'au moins un élément rayonnant filaire horizontal de chaque antenne soit perpendiculaire à un plan d'alignement.
7. Réseau d'antennes selon la revendication 6, **caractérisé en ce qu'il** comprend au moins deux alignements d'antennes dont les plans d'alignement sont parallèles, un élément rayonnant horizontal de chaque antenne d'un alignement étant aligné avec un élément rayonnant horizontal d'une antenne d'au moins un autre alignement.
8. Utilisation d'au moins une antenne (20) selon l'une des revendications 1 à 5, ladite antenne (20) étant reliée à un milieu (26) conducteur terrestre ou aquatique, pour l'émission/réception d'ondes de surfaces de façon à ce que lesdites ondes de surface se propagent le long dudit milieu (26).
9. Utilisation d'au moins un réseau d'antennes (34) se-

lon l'une des revendications 6 ou 7, chaque antenne (A_1-A_N , $A_{1,1}-A_{X,Y}$) dudit réseau d'antennes étant reliée à un milieu (26) conducteur terrestre ou aquatique, pour l'émission/réception d'ondes de surfaces de façon à ce que lesdites ondes de surface se propagent le long dudit milieu (26).

Patentansprüche

1. Antenne, die dazu vorgesehen ist, Oberflächenwellen einer dekametrischen, hektometrischen oder kilometrischen Mittenwellenlänge λ_0 zu emittieren und/oder zu empfangen, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie umfasst:

- mindestens ein horizontales Drahtstrahlungselement (22, 122) einer Länge zwischen $0,5 \lambda_0$ und λ_0 ,
- mindestens drei vertikale Drahtstrahlungselemente (24a-24g, 124a-124c) gleicher Länge zwischen $0,03 \lambda_0$ und $0,1 \lambda_0$, die in einer gleichen Ebene angeordnet sind und wobei jedes ein oberes Ende und ein unteres Ende umfasst, wobei die oberen Enden mit dem horizontalen Drahtstrahlungselement (22, 122) verbunden sind, wobei die unteren Enden angepasst sind, um mit einer leitfähigen Umgebung (26) verbunden zu sein, die eine im Wesentlichen horizontale Oberfläche aufweist,

und dadurch, dass die oberen Enden mindestens zweier vertikaler Drahtstrahlungselemente (24a-24g, 124a-124c) jeweils mit einem ersten Ende und mit einem zweiten Ende des horizontalen Drahtstrahlungselements verbunden sind, und dadurch, dass das obere Ende eines vertikalen Drahtstrahlungselements, mittleres Element (24b) genannt, mit dem horizontalen Drahtstrahlungselement (22, 122) in seinem Mittelpunkt verbunden ist, wobei das mittlere Element weiter mit einer Einspeisevorrichtung (28) der Antenne verbunden ist.

2. Antenne nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie mindestens zwei horizontale Drahtstrahlungselemente (22, 122) umfasst, jedes mit mindestens zwei vertikalen Drahtstrahlungselementen (24a-24g, 124a-124c) und dem mittleren Element (24b) verbunden.
3. Antenne nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens zwei horizontale Drahtstrahlungselemente (22a-22c) die gleiche Länge besitzen, Seite an Seite und in einem gleichen Abstand zur leitfähigen Umgebung (26) angeordnet sind.
4. Antenne nach einem der Ansprüche 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens zwei ho-

rizontale Drahtstrahlungselemente (22, 122) parallel sind, unterschiedliche Längen besitzen, übereinander in einem unterschiedlichen Abstand zur leitfähigen Umgebung (26) angeordnet sind.

5. Antenne nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie lokalisierte Elemente (32a-32d) ohmscher, kapazitiver und/oder induktiver Art umfasst, die angepasst sind, um Stromfallen auf der Antenne zu bilden.
6. Antennennetz, **dadurch gekennzeichnet, dass** es mindestens zwei Antennen (A_1-A_N) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 umfasst, wobei die Antennen eine Antennenausrichtung bilden, sodass mindestens ein horizontales Drahtstrahlungselement jeder Antenne senkrecht zu einer Ausrichtungsebene ist.
7. Antennennetz nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** es mindestens zwei Antennenausrichtungen umfasst, deren Ausrichtungsebenen parallel sind, wobei ein horizontales Strahlungselement jeder Antenne einer Ausrichtung mit einem horizontalen Strahlungselement einer Antenne mindestens einer anderen Ausrichtung ausgerichtet ist.
8. Verwendung mindestens einer Antenne (20) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Antenne (20) mit einer terrestrischen oder aquatischen leitfähigen Umgebung (26) für die Emission/den Empfang von Oberflächenwellen verbunden ist, sodass die Oberflächenwellen sich entlang der Umgebung (26) ausbreiten.
9. Verwendung mindestens eines Antennennetzes (34) nach einem der Ansprüche 6 oder 7, wobei jede Antenne (A_1-A_N , $A_{1,1}-A_{X,Y}$) des Antennennetzes mit einer terrestrischen oder aquatischen leitfähigen Umgebung (26) für die Emission/den Empfang von Oberflächenwellen verbunden ist, sodass die Oberflächenwellen sich entlang der Umgebung (26) ausbreiten.

Claims

1. Antenna intended to emit and/or receive surface waves of decametric, hectometric or kilometric central wavelength λ_0 , **characterised in that** it comprises:
 - at least one horizontal wired radiating element (22, 122) with a length of between $0.5 \lambda_0$ and λ_0 ,
 - at least three vertical wired radiating elements (24a-24g, 124a-124c) of the same length of between $0.03 \lambda_0$ and $0.1 \lambda_0$, arranged in a same plane and each comprising an upper end and a lower end, said upper ends being connected to

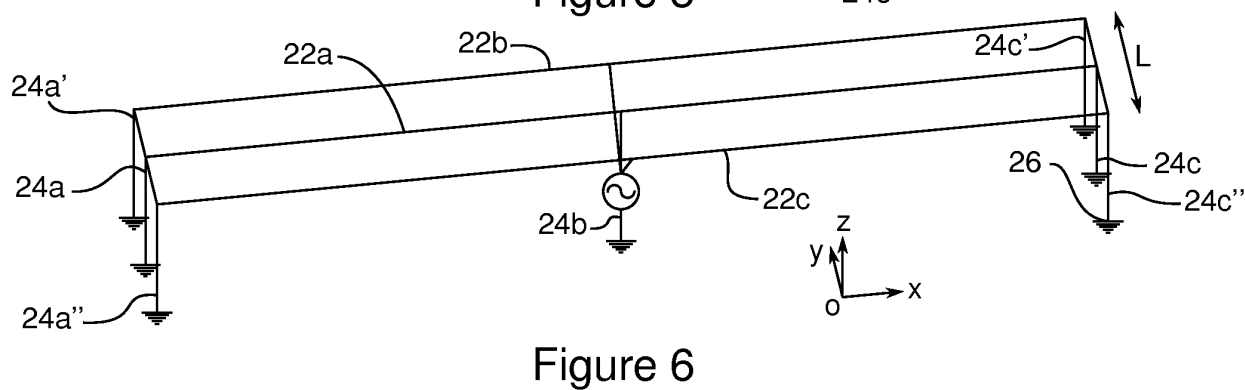
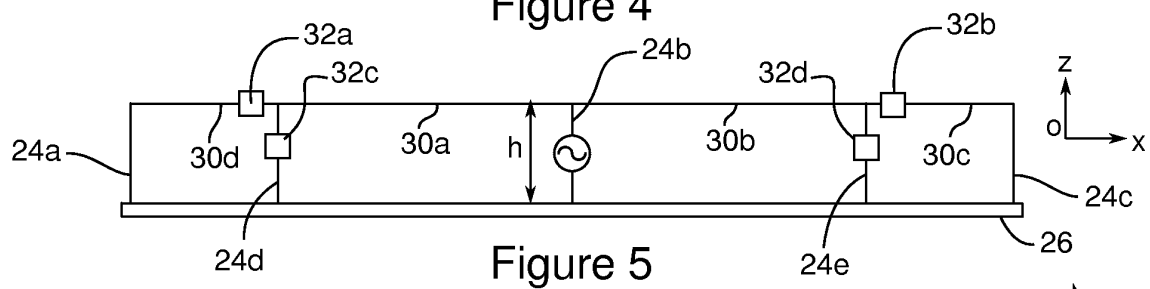
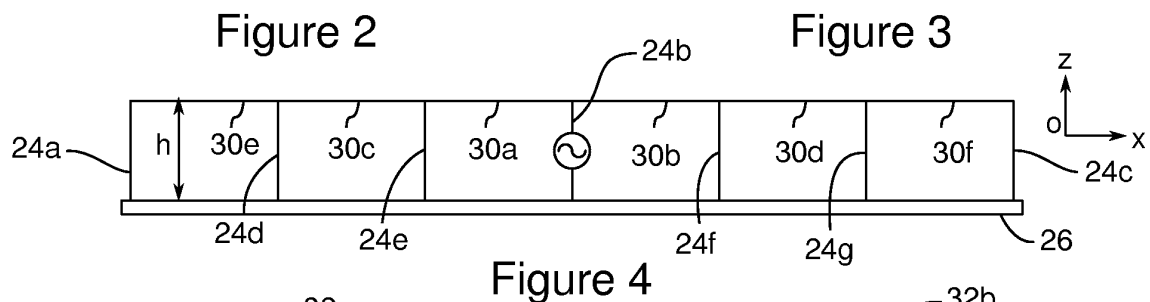
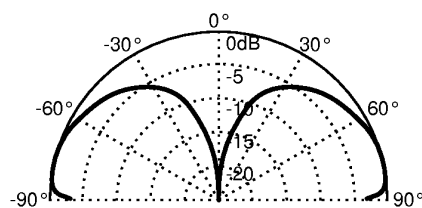
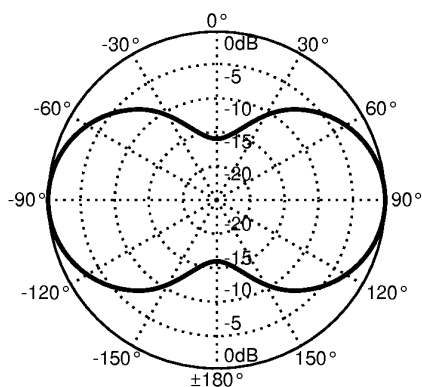
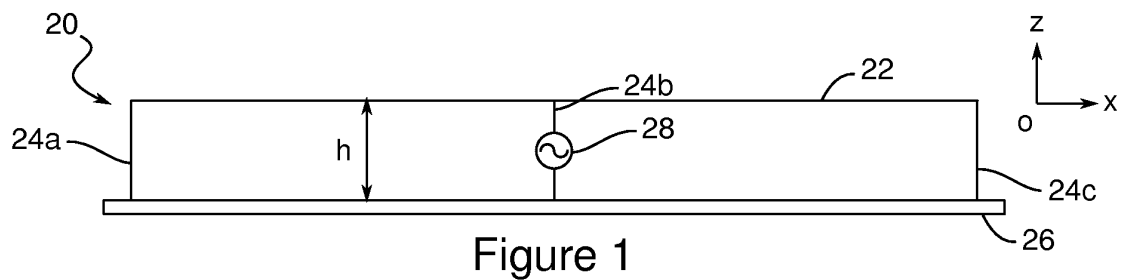
the horizontal wired radiating element (22, 122), said lower ends being adapted to be connected to a conductive medium (26) having a substantially horizontal surface,

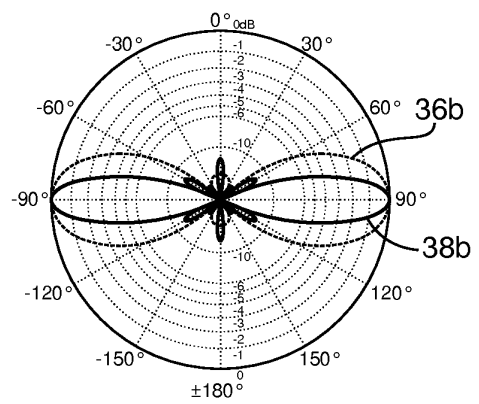
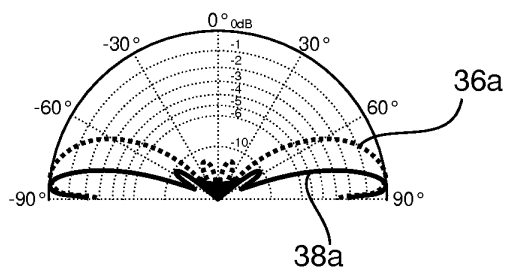
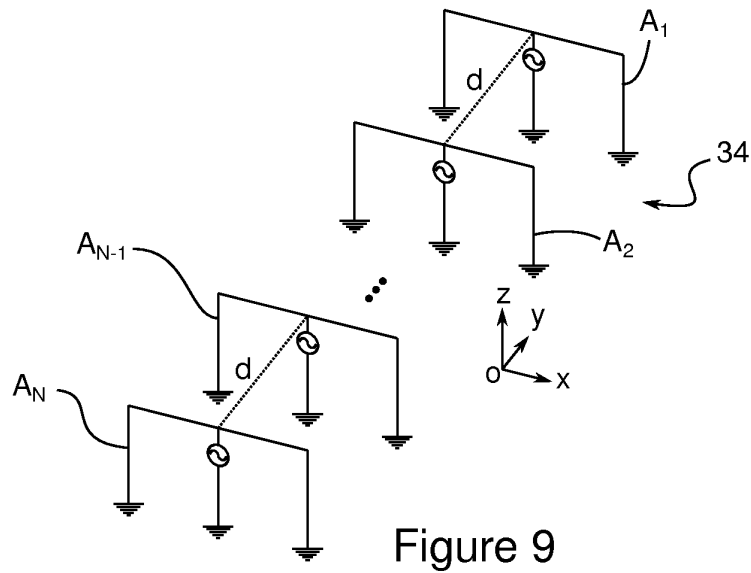
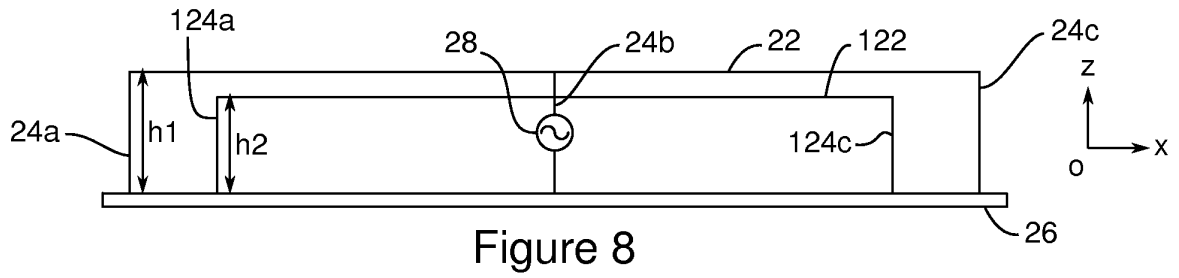
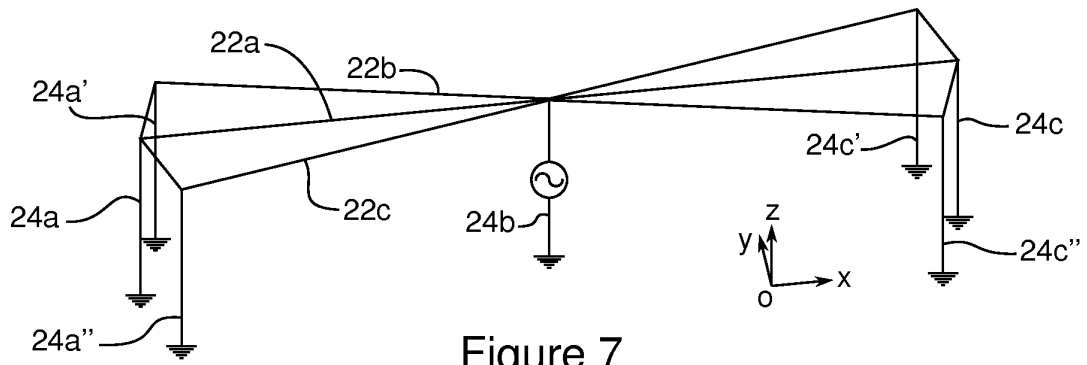
and **in that** the upper ends of at least two vertical wired radiating elements (24a-24g, 124a-124c) are respectively connected to a first end and to a second end of the horizontal wired radiating element, and **in that** the upper end of a vertical wired radiating element, termed central element (24b), is connected to the horizontal wired radiating element (22, 122) in the centre thereof, the central element further being connected to a device (28) for supplying the antenna.

2. Antenna according to claim 1, **characterised in that** it comprises at least two horizontal wired radiating elements (22, 122) each connected to at least two vertical wired radiating elements (24a-24g, 124a-124c) and to the central element (24b).
3. Antenna according to claim 2, **characterised in that** at least two horizontal wired radiating elements (22a-22c) are of the same length, arranged side by side and at a same distance from the conductive medium (26).
4. Antenna according to one of claims 2 or 3, **characterised in that** at least two horizontal wired elements (22, 122) are parallel, of different lengths, arranged one above the other at a different distance from the conductive medium (26).
5. Antenna according to one of claims 1 to 4, **characterised in that** it comprises localised elements (32a-32d) of the resistive, capacitive and/or inductive type, adapted to form current traps on the antenna.
6. Antenna array, **characterised in that** it comprises at least two antennas (A_1 - A_N) according to one of claims 1 to 5, said antennas forming an alignment of antennas such that at least one horizontal wired radiating element of each antenna is perpendicular to an alignment plane.
7. Antenna array according to claim 6, **characterised in that** it comprises at least two antenna alignments of which the alignment planes are parallel, a horizontal radiating element of each antenna of one alignment being aligned with a horizontal radiating element of an antenna of at least one other alignment.
8. Use of at least one antenna (20) according to one of claims 1 to 5, said antenna (20) being connected to a land or aquatic conductive medium (26), for the emission/reception of surface waves such that said surface waves are propagated along said medium

(26).

9. Use of at least one antenna array (34) according to one of claims 6 or 7, each antenna (A_1 - A_N , $A_{-1,1}$ - $A_{X,Y}$) of said antenna array being connected to a land or aquatic conductive medium (26), for the emission/reception of surface waves such that said surface waves are propagated along said medium (26).





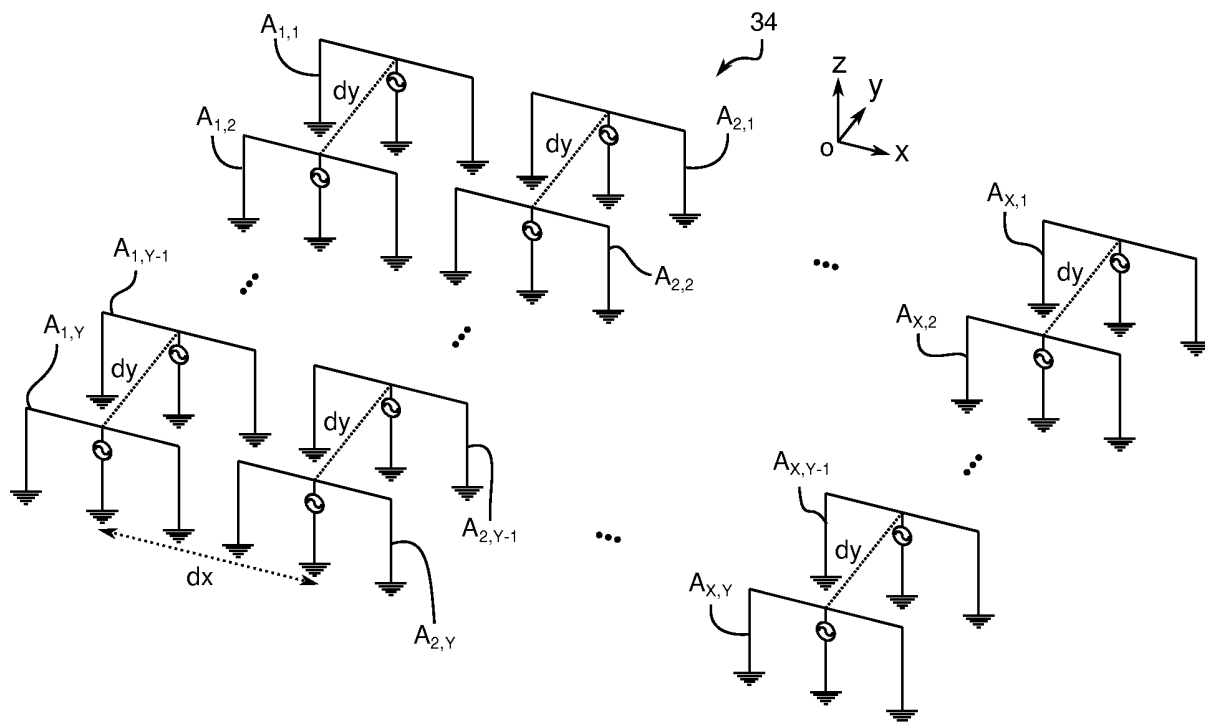


Figure 12

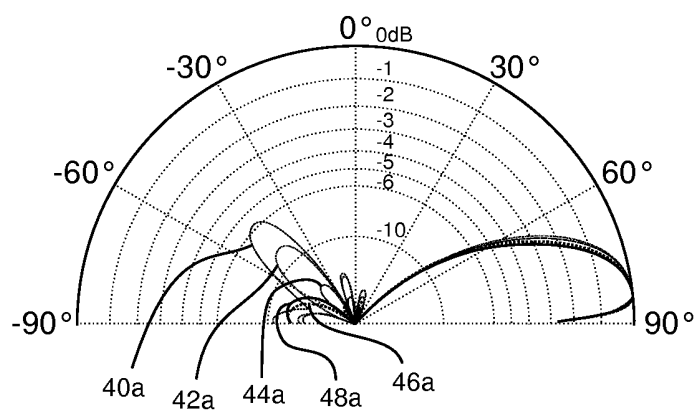


Figure 13

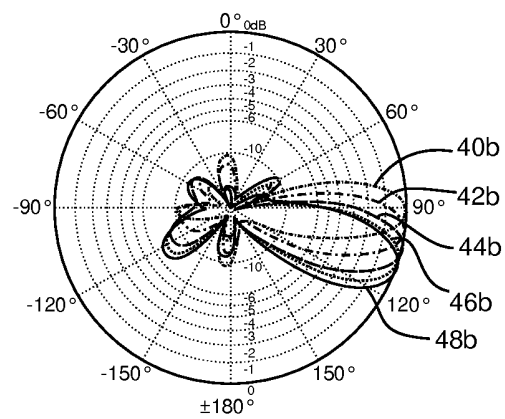


Figure 14

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 2965978 [0005]
- GB 233346 A [0005]