



(11)

EP 2 006 954 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
24.12.2008 Bulletin 2008/52

(51) Int Cl.:
H01Q 1/32 (2006.01) *B61L 3/22 (2006.01)*
B61L 7/06 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: 08104085.9

(22) Date de dépôt: 26.05.2008

(84) Etats contractants désignés:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT
RO SE SI SK TR

Etats d'extension désignés:

AL BA MK RS

(30) Priorité: 31.05.2007 FR 0703876

(71) Demandeurs:

- ALSTOM Transport SA
92300 Levallois-Perret (FR)

- Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS)
94114 Arcueil (FR)

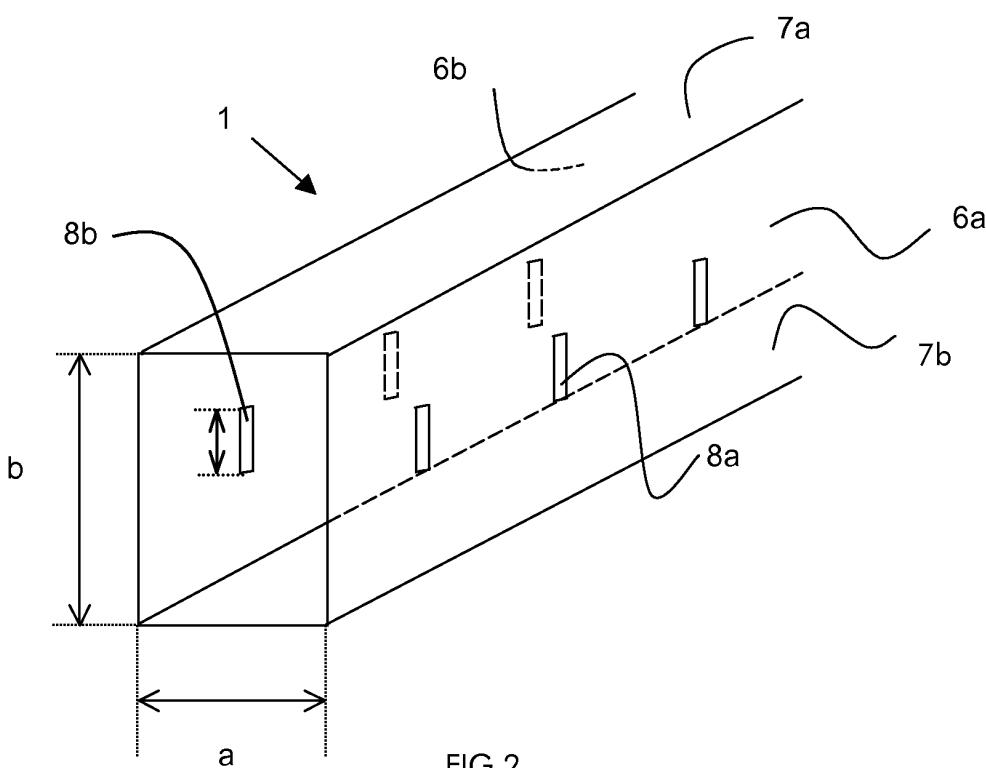
(72) Inventeurs:

- Heddebaut, Marc
94114 Arcueil (FR)
- Duhot, Denis
75002 Paris (FR)

(54) Dispositif de communication pour véhicule ferroviaire

(57) L'invention concerne un dispositif de communication entre un véhicule ferroviaire et un poste de contrôle, comportant un guide d'ondes parallélépipédique disposé entre deux voies parallèles, dont deux faces opposées sont percées de fentes permettant le passage d'un rayonnement électromagnétique en hyperfréquence-

ces depuis l'intérieur du guide vers des antennes embarquées à bord de trains mobiles le long du guide d'ondes - ou réciproquement, d'un rayonnement électromagnétique en hyperfréquences depuis des antennes embarquées à bord de trains mobiles le long du guide d'ondes vers l'intérieur de celui-ci.



Description

[0001] La présente invention concerne un dispositif de communication entre un ou plusieurs véhicules ferroviaires et un poste de contrôle en général, et porte, plus particulièrement, sur un dispositif de communication continu à guide d'ondes rayonnant.

[0002] Il est connu du document FR 2 608 119 de la demanderesse un dispositif de communication continu à guide d'ondes rayonnant en mode fondamental, encore appelé mode TE_{01} , entre un véhicule ferroviaire et un poste de contrôle. Ce dispositif comporte un tube creux parallèle à une voie de transport et déposé le long de cette voie de manière continue, formant guide d'ondes, dont une seule face émissive est percée d'un réseau d'ouvertures géométriquement dissymétriques de passage d'un rayonnement électromagnétique en hyperfréquences. Ce réseau d'ouvertures (appelées « fentes » dans le reste de la description du fait de leur géométrie étroite et allongée) est lui-même ensuite disposé afin de diriger sa face émissive à faible distance de l'antenne solidaire du véhicule, mobile le long du guide d'ondes rayonnant. La géométrie, les dimensions des fentes ainsi que l'espacement entre ces fentes sont dimensionnées en fonction des gammes de fréquences utilisées. La section du guide est de l'ordre de la longueur d'onde et la grande dimension des fentes est petite devant la longueur d'onde. La gamme de fréquences qu'il est permis d'utiliser varie en fonction des pays. En France et dans de nombreuses régions du monde, elle peut avantageusement s'effectuer dans la gamme des 2,4 GHz où se situent les canaux exploitables selon les normes IEEE 802.11 b et g, normes dites Wi-Fi pour Wireless Fidelity ou encore dans la bande des 5,8 GHz selon la norme IEEE 802.11 a. La théorie électromagnétique considère, que pour des distances entre antennes de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde ou d'un faible nombre de longueurs d'onde, ces antennes sont dites fonctionner en champ proche et nécessitent une approche particulière afin d'étudier leur couplage. A titre d'exemple, à 2,4 GHz, c'est-à-dire pour une longueur d'onde dans l'air de 12,5 cm, la condition de champ proche telle qu'exprimée classiquement en électromagnétisme est valable jusqu'à une distance de l'ordre de grandeur de trois à quatre longueurs d'ondes, soit 40 à 50 centimètres. Au-delà de cette distance, l'antenne commence à fonctionner en champ lointain.

[0003] Le long du guide, et à des distances inférieures à quatre longueurs d'ondes, le signal global rayonné par le guide d'ondes peut être assimilé à la somme de chacun des rayonnements en champ proche des quelques fentes situées en amont et en aval du point courant où se trouve l'antenne du véhicule. L'énergie est rayonnée de façon perpendiculaire au plan des fentes. Il n'est pas possible de mettre en évidence, pour ces courtes portées, une direction privilégiée du rayonnement telle qu'on l'obtiendrait en considérant la combinaison de rayonnements en champ lointain des fentes lorsque celles-ci pré-

sentent, entre elles, des relations de phase et de puissance appropriées. De ce fait, le véhicule est muni d'une antenne d'émission et/ou de réception d'ondes hyperfréquences favorisant ce couplage champ proche entre la partie émissive du guide d'ondes et l'antenne du véhicule, sans orientation particulière favorable.

[0004] Le poste de contrôle de trafic est muni d'un organe d'alimentation du guide d'ondes en ondes hyperfréquences et/ou d'au moins un organe de réception d'ondes hyperfréquences provenant du guide d'ondes. Ce dispositif permet de maintenir de manière continue une liaison à grande bande passante (> 100 MHz) entre le poste de contrôle au sol et les véhicules. En champ proche, le dispositif autorise également et de manière simultanée la mesure de vitesse des véhicules sans contact matériel avec le sol ainsi que la localisation des véhicules par lecture d'une séquence pseudo-aléatoire gravée dans la structure du guide d'ondes. Le dispositif est opérationnel quel que soit l'environnement de la voie (tunnel, viaduc, tranchée...). L'utilisation de fréquences élevées dans la gamme des 2 - 6 GHz permet de s'affranchir de l'essentiel des problèmes de compatibilité électromagnétique contraignants en environnement ferroviaire.

[0005] Le guide d'ondes est réalisé en métal. Le choix de ce métal constitue un compromis entre des contraintes de coût et des contraintes de conductivité inhérentes du métal, affectant les performances de conduction de l'onde dans le guide d'onde. Ainsi, selon le métal choisi, l'affaiblissement longitudinal sera plus ou moins élevé et le nombre d'émetteurs / récepteurs au kilomètre de guide d'ondes nécessaires sera proportionnellement plus ou moins élevé. L'affaiblissement longitudinal total est la somme de la perte par effet Joule et de la perte due au prélevement de l'énergie de l'onde qui est rayonnée par les fentes du guide d'onde. Par exemple, dans une réalisation particulière à 2,4 GHz, un guide d'ondes en aluminium présente une perte linéaire par effet Joule de 15-16 dB / km et une perte linéaire par prélevement limitée par construction à 2-3 dB / km.

[0006] Il est également connu du document US 3 648 172 un guide d'ondes circulaire à deux réseaux longitudinaux d'ouvertures circulaires disposées dans la partie supérieure du guide d'ondes. Aux fréquences très élevées mentionnées (7,5-10 GHz), ce guide d'ondes exploite des modes de propagation d'ordre supérieur notés généralement TE_{mn} ($m, n > 1$) pour obtenir une atténuation longitudinale limitée en rapport avec son exploitation le long d'un réseau de transport. Afin de permettre la propagation de ces modes, le diamètre du guide d'ondes est au moins trois fois supérieur à la longueur d'ondes des ondes propagées dans le guide. Les ouvertures circulaires percées sur le guide d'ondes émettent simultanément plusieurs composantes de rayonnement électromagnétique. Elles émettent donc de l'énergie électromagnétique dans différentes directions de l'espace. Cependant, l'antenne-train reçoit généralement une seule composante de champ électrique orientée dans une direction

privilégiée de l'espace et ne met donc en évidence qu'une fraction de l'énergie émise depuis le guide, l'autre partie s'avère rayonnée sans utilisation. Ceci réduit de ce fait le rapport signal à bruit de la liaison, qui limite à son tour le débit utile de la communication sol-trains qui doit cependant être élevé dans un système moderne de communication sol-trains. En outre, la propagation possible dans ce guide d'ondes de plusieurs modes simultanés de propagation génère entre ces différents modes de propagation des battements et des atténuations locales de signal nécessitant l'emploi d'une structure de guide en sandwich agissant tel un filtre de modes, complexe à réaliser avec des matériaux acceptables dans l'environnement ferroviaire, en matière de tenue mécanique ou d'émission de fumées toxiques en cas de feu...

[0007] Lorsque le réseau ferroviaire à équiper de dispositifs de communication est à doubles voies, des guides d'ondes sont disposés parallèlement à chaque voie, avec autant d'émetteurs / récepteurs que nécessaires de chaque côté. Le poste de contrôle de trafic communique ainsi avec chaque train circulant sur chacune des voies en envoyant les ondes hyperfréquences dans les deux dispositifs de communication.

[0008] Le problème que l'invention vise à résoudre est de diminuer le nombre d'émetteurs / récepteurs installés au sol et de limiter la longueur de guides à installer le long des doubles voies ferroviaires afin de limiter la quantité de matière et la quantité de composants nécessaires sans générer de contrainte mécanique particulière, de limiter le temps d'installation ou de maintenance du dispositif tout en permettant à un poste de contrôle de communiquer à haut débit d'information avec les trains circulant sur les deux voies parallèles avec la même sécurité et la même disponibilité que le dispositif de communication de l'art antérieur. Ces deux voies parallèles sont espacées d'une distance significative, telle qu'exprimée en longueurs d'ondes des signaux hyperfréquences de communication utilisés.

[0009] Le dispositif de communication continu conforme à l'invention entre au moins un véhicule ferroviaire et un poste de contrôle, comporte au moins un guide d'ondes disposé entre deux voies parallèles reposant sur une face non émissive, comprenant deux faces émissives percées chacune d'un réseau d'ouvertures de passage d'un rayonnement électromagnétique en hyperfréquences de longueur d'onde donnée, au moins un véhicule muni d'au moins une antenne d'émission et de réception d'ondes hyperfréquences, le poste de contrôle étant muni d'au moins un organe d'alimentation du guide d'ondes en ondes hyperfréquences et d'au moins un organe de réception d'ondes hyperfréquences provenant du guide d'ondes, et est tel que le guide d'ondes est de forme parallélépipédique, dont les ouvertures sont constituées de fentes.

[0010] Le dispositif de communication comporte également l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- la grande dimension des faces émissives du guide d'ondes est de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde du rayonnement électromagnétique propagé dans le guide d'ondes,
- 5 - la grande dimension des fentes est inférieure à au moins cinq fois la longueur d'ondes du rayonnement électromagnétique propagé dans le guide d'ondes,
- l'espacement inter-fentes est inférieur à la demi-longueur d'onde des signaux émis dans l'air,
- 10 - les deux réseaux de fentes sont identiques,
- l'un des réseaux de fentes est de plus grande dimension que l'autre,
- les faces émissives sont disposées verticalement,
- les fentes sont disposées verticalement,
- 15 - la distance entre l'antenne disposée à bord d'un véhicule et le dispositif de communication est d'au moins quatre longueurs d'onde,
- l'antenne disposée à bord d'un véhicule présente une directivité de rayonnement identique à celle du dispositif de communication.

[0011] Un premier avantage du dispositif de communication à guide d'ondes à double réseau de fentes est donc de diviser par deux la quantité de matière nécessaire pour réaliser le guides d'ondes tout en n'augmentant que faiblement le nombre d'émetteurs / récepteurs.

[0012] Un second avantage du dispositif de communication à guide d'ondes à double réseau de fentes est d'imposer moins de contraintes d'installation à la voie en déportant le guide d'ondes hors de la voie à proprement parler, facilitant en cela les opérations de maintenance de celle-ci.

[0013] Un troisième avantage est qu'avec cette disposition, le guide d'ondes, bien que robuste s'avère moins exposé à des dommages matériels liés à des objets tombant ou traînant des véhicules notamment d'entretien de la voie.

[0014] Un quatrième avantage est que la disposition verticale du double réseau de fentes le rend moins sensible à l'accumulation de salissures, eau, neige, glace... sur ses surfaces émissives.

[0015] De plus, les dimensions du guide d'ondes sont telles que seul le mode de propagation fondamental TE_{01} est exploité, ce qui conduit à une simplification mécanique du guide puisque les différents modes de propagation ne doivent plus être filtrés.

[0016] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit, en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- 50 - La figure 1 est une vue schématique du dispositif de communication pour un réseau ferroviaire,
- la figure 2 représente une vue en coupe du guide d'ondes conforme à l'invention,
- 55 - la figure 3 représente une vue en coupe du guide d'ondes conforme à l'invention selon un second mode de réalisation,
- La figure 4 représente un mode de réalisation du

- dispositif de communication conforme à l'invention,
- la figure 5 représente le diagramme de rayonnement mesuré en azimut du dispositif de communication conforme à l'invention, associé à une représentation physique du guide d'ondes.

[0017] La figure 1 représente un dispositif de communication entre un poste de contrôle P et au moins un véhicule A circulant sur une voie, comprenant plusieurs guides d'ondes fixes 1, 1', 1'', etc., disposés continûment et bout à bout le long de la voie. La longueur du dispositif de communication dépend du type de réseau. Un guide d'ondes fait plusieurs centaines de mètres de long et le dispositif de communication comprend n guides d'ondes couvrant tout le réseau ferroviaire.

[0018] Tous les guides étant identiques, seul le guide d'ondes 1 va être décrit. Le guide d'ondes 1 est constitué de deux tronçons séparés 1a et 1b, dans lesquels les ondes sont injectées, par exemple à l'aide d'une transition coaxial vers guide d'ondes, aux extrémités 2a et 2b des tronçons 1a et 1b. Les extrémités 3a et 3b du guide d'ondes 1 sont chargées afin d'éviter l'établissement d'un régime d'ondes stationnaires dans le guide d'ondes, par exemple grâce à une transition guide d'ondes vers coaxial et une charge résistive adaptée ou par la disposition d'un matériau absorbant en hyperfréquence disposé avant un plan de court-circuit métallique du guide. Les extrémités 3a, 3b ne transmettent aucune onde aux guides d'ondes adjacents 1' et 1''.

[0019] Les ondes sont émises ou reçues par un émetteur / récepteur 4 qui est relié à un réseau de communication R reliant tous les émetteurs / récepteurs 4, 4', 4''... ; au poste de contrôle P. Les informations circulent ainsi du poste de contrôle P au véhicule A -ou inversement- par le réseau de communication R, les émetteurs / récepteurs 4, 4', 4'' et les guides d'ondes 1, 1 1''.

[0020] Comme la figure 2 l'indique, dans cette réalisation particulière, le guide d'ondes 1 est de forme parallélépipédique, les grandes faces 6a, 6b étant percées de fentes 8a, 8b (ici représentées verticales) qui rayonnent ou reçoivent les ondes. Les faces 6a, 6b sont dites « grandes » parce que leur côté b est plus grand que le côté a des « petites » faces 7a, 7b. La grande dimension b des faces émissives 6a, 6b est de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde. Grâce à cette caractéristique seul le mode fondamental TE₀₁ est exploité, c'est-à-dire que seul le premier mode peut se propager dans le guide à l'exclusion de toute autre mode.

[0021] La grande dimension D des fentes est bien plus petite que la longueur du côté b : elle est au moins cinq fois inférieure à la longueur d'onde propagée dans le guide. Ceci permet de limiter les pertes de rayonnement linéaires à 2-3 dB/km tout en maintenant une puissance rayonnée par le guide suffisante pour assurer une communication à haut débit avec le véhicule.

Autrement dit,

$$b \approx \lambda$$

5 Et

$$D \leq \lambda / 5$$

10 λ étant la longueur d'onde du rayonnement électromagnétique se propageant dans le guide.

[0022] Préférentiellement, la grande dimension D des fentes est disposée selon la direction verticale, perpendiculairement à la direction du guide d'ondes. Cette disposition et la forme très dissymétrique des fentes (D est supérieur d'au moins 6 fois à la petite dimension des fentes) permettent de rayonner essentiellement une composante de champ électrique unique, orientée selon 15 la direction du guide. Cette composante de champ électrique est exploitée par l'antenne du véhicule. Ceci limite ainsi l'énergie prélevée depuis le guide et rayonnée vers l'extérieur au minimum nécessaire à la communication sol-véhicules.

[0023] En pratique, un guide d'ondes fonctionnant à une fréquence basse de 2,4 GHz en mode fondamental présente une grande face b d'environ 12,5 cm, soit la longueur d'onde λ du rayonnement électromagnétique se propageant dans le guide. La grande dimension des 20 fentes D est de 19 mm, la petite dimension des fentes est de 3 mm et le pas inter-fentes est de 61 mm.

[0024] En variante, comme représenté sur la figure 3, la grande dimension D₁ de toutes les fentes 8a d'une face émissive -par exemple la face émissive 6a- peut 25 être uniformément augmentée par rapport à la grande dimension D₂ des fentes 8b de l'autre face émissive 6b. Cette disposition permet de renforcer le rayonnement électromagnétique vers une voie parmi les deux voies. Ceci permet à titre d'exemple de compenser une absence 30 de symétrie de pose du guide d'ondes entre les voies telle que liée à la configuration imposée par le site, une voie pouvant se trouver plus distante du guide d'ondes 1 que l'autre.

[0025] En variante (non représentée), le guide pourrait 35 être de section circulaire ou ovale et présenterait un comportement similaire de son rayonnement électromagnétique dans l'air.

[0026] La figure 4 est une vue du dispositif de communication continue entre le poste de contrôle de trafic P (non représenté) et deux trains A et B circulant dans deux sens opposés sur deux voies parallèles, 2 et 3. La description qui suit est donnée lorsque deux trains sont présents sur les voies 2 et 3 mais il est entendu que le fonctionnement du dispositif est exactement identique même 40 lorsqu'il n'y a qu'un seul train circulant sur une seule voie.

[0027] Le guide d'ondes 1 est disposé entre les deux voies 2 et 3, sa petite face 7b étant posée au sol, ou sur un support à une certaine distance du sol, les grandes

faces 6a, 6b, qui sont émissives, étant à la verticale. Alternativement, ce guide d'ondes 1 pourrait être suspendu en voûte de tunnel, entre deux voies (2, 3).

[0028] Le poste de contrôle de trafic P communique avec les trains A et B en injectant dans les guides d'ondes 1, 1', 1ⁿ des signaux S1, S2 sous la forme d'un ensemble d'ondes hyperfréquences, qui se propagent selon un mode de propagation « aller » à l'intérieur du guide d'ondes 1a, 1 b et qui sont toutes rayonnées par les faces émissives du guide d'ondes 1 a, 1 b en direction des antennes 5 des trains A et B (les ondes émises sont symbolisées sur la fig. 4 par des doubles flèches bidirectionnelles). Chaque antenne embarquée reçoit donc toutes les ondes injectées dans le guide d'ondes 1a, 1b (fig. 1), le récepteur de chaque antenne traitant de manière connue les signaux S1, S2 reçus de manière à identifier quel signal lui est adressé. Une ou plusieurs antennes peuvent être disposées à bord, du même côté ou de chaque côté du train.

[0029] Compte-tenu de la perte d'énergie due à la perte par effet Joule et des pertes dues aux prélevements de l'énergie des fentes 8a, 8b, la puissance des ondes est maximale près des extrémités 2a, 2b (fig. 2) lorsqu'elle est injectée par l'émetteur / récepteur 4. Par contre, aux extrémités 3a, 3b, la puissance des ondes est minimale puisque l'onde a perdu de l'énergie en se propageant le long du guide et en rayonnant par les fentes 8a, 8b.

[0030] Les antennes embarquées 5 (fig. 4) sont émettrices et réceptrices. Ainsi, les trains A et B communiquent avec le poste de contrôle P en émettant des signaux en ondes hyperfréquences via les antennes embarquées 5 vers le guide d'ondes 1, ces signaux étant ensuite propagés depuis les fentes 8a, 8b des faces émissives 6a, 6b vers les extrémités 2a, 2b (fig. 1) du guide d'ondes 1 avec un mode de propagation « retour » identique à celui de l' « aller ».

[0031] Dans ce cas, compte-tenu de la perte d'énergie, la puissance de l'onde injectée dans le guide d'ondes 1 diminue en direction des extrémités 2a, 2b pour atteindre l'émetteur / récepteur 4 (fig. 1).

[0032] Il est connu que le diagramme de rayonnement d'un guide d'ondes de l'art antérieur de grande longueur et percé de fentes sur une seule surface, ces fentes étant de dimensions très inférieures à la longueur d'onde, présente en champ proche un rayonnement dirigé, dans un plan perpendiculaire à celui des ouvertures, vers l'extérieur du guide, sans qu'il soit possible d'obtenir une focalisation de l'énergie dans une direction privilégiée de l'espace.

[0033] Il est également connu que des antennes peuvent être réalisées à partir d'une ligne de transmission de type guide d'ondes. Ainsi le « Antenna Engineering Handbook » de Richard C. Johnson et Henry Jasik publie, dans sa seconde édition éditée par McGraw-Hill Book Company (chapitre 10 page 11), une description d'antenne dite « Leaky wave antenna ». Cette antenne est construite à partir d'un guide d'ondes de section rectan-

gulaire de faible longueur. Elle utilise des fentes dont la grande dimension est de l'ordre de grandeur de la demi-longueur d'onde. Ces antennes sont développées afin d'obtenir d'une part une efficacité importante, c'est à dire en particulier avoir la capacité de rayonner au moyen d'une antenne de taille réduite (de l'ordre de quelques longueurs d'ondes) toute l'énergie qui leur est communiquée et, d'autre part de focaliser à grande distance l'énergie rayonnée dans la direction privilégiée de l'espace souhaitée. Une telle antenne fonctionne donc en champ lointain et son diagramme de rayonnement est directionnel.

[0034] Dans ce même chapitre les auteurs décrivent une autre antenne réalisée à l'aide de fentes percées sur les quatre faces du guide afin d'obtenir une polarisation circulaire des signaux émis dans une direction privilégiée de l'espace. Dans ces cas de figure, les rayonnements des différentes ouvertures interfèrent fortement et se composent afin de produire la directivité et la polarisation requises. Un couplage fort entre ces ouvertures et le champ présent dans le guide est donc réalisé et exploité.

[0035] Le but de l'invention est au contraire de limiter fortement le rayonnement de la structure afin de ne prélever que très peu d'énergie depuis l'intérieur du guide. Le guide d'ondes 1 est donc percé de très petites fentes 8a, 8b qui ne prélevent individuellement qu'une quantité d'énergie extrêmement limitée depuis l'intérieur du guide, comme précédemment décrit.

[0036] Or la demanderesse a mis en évidence que chaque fente 8a, 8b du guide d'ondes 1 conforme à l'invention rayonne, au contraire des antennes à guide d'ondes percées de quatre réseaux de fentes décrites précédemment, de façon indépendante sans interaction notable avec l'énergie propagée dans le guide ou avec d'autres fentes 8a, 8b proches. Les rayonnements de différents réseaux de fentes 8a, 8b disposés sur des faces émissives opposées 6a, 6b du guide d'ondes 1 s'effectuent en effet de façons essentiellement indépendantes, sans couplage significatif entre les deux faces émissives 6a, 6b. Cet effet permet donc d'émettre et de recevoir des signaux continument et sur de grandes distances par n guides d'ondes 1 disposés à la voie, chaque guide d'ondes 1 rayonnant par deux réseaux de fentes 8a, 8b dont les caractéristiques de rayonnement sont indépendantes l'une de l'autre.

[0037] En effet, dans le cas de fentes de très petites dimensions pratiquées dans un plan conducteur, la théorie des polarisabilités démontre que le rayonnement d'une fente dont les dimensions transversales sont très petites devant la longueur d'onde est, si elle est pratiquée dans un plan conducteur mince, et sous condition de champ lointain, assimilable à celui d'un dipôle magnétique élémentaire orienté selon l'axe de la grande dimension de cette fente qui rayonne une composante de champ électrique orientée selon la direction du guide. Ce dipôle magnétique élémentaire prend naissance du fait de l'interruption de lignes de courant à la surface du métal liée à la présence de l'ouverture. Ce dipôle ma-

gnétique de rayonnement équivalent est orienté de façon perpendiculaire au plan de la fente.

[0038] En calculant la contribution globale des rayonnements d'un grand nombre de ces fentes correctement espacées et déphasées, on obtient en champ lointain la formation d'un diagramme de rayonnement particulier. Le guide d'ondes 1 conforme à l'invention fonctionne donc en champ lointain et son diagramme de rayonnement est directionnel. Il ne fonctionne cependant pas comme un guide d'ondes de l'art antérieur puisque le guide d'ondes 1 conforme à l'invention fonctionne en champ lointain et non en champ proche. Il ne fonctionne pas non plus comme une antenne à guide d'ondes de l'art antérieur puisque le guide d'ondes 1 conforme à l'invention ne rayonne qu'une infime partie de l'énergie du signal qui le traverse sur une très longue distance de guide, alors qu'une antenne de l'art antérieur rayonne toute l'énergie du signal qui la traverse sur une très courte distance de guide.

[0039] Le calcul de l'espacement inter-fentes s'effectue de manière connue en prenant en compte, d'une part le déphasage introduit par la propagation des signaux hyperfréquences dans le guide d'ondes 1, et d'autre part le déphasage de ces signaux introduit par la propagation des signaux dans l'air de part et d'autre du guide d'ondes 1, après passage de l'énergie au travers des fentes 8a, 8b. Un espacement inter-fentes critique, c'est-à-dire permettant une sommation constructive des rayonnements des différentes fentes consécutives, dont l'ordre de grandeur est de quelques centimètres dans la bande 2,4 - 5,8 GHz - soit un ordre de grandeur un peu inférieur à la demi-longueur d'onde des signaux émis dans l'air- fournit ainsi un signal d'amplitude constante au-dessus du guide, quelle que soit la position de l'antenne : au-dessus d'une fente, entre deux fentes, etc.... Au-delà de cet espacement critique, le signal transmis par le réseau de fentes fluctue fortement d'une ouverture à l'autre et s'avère dès lors peu exploitable afin de maintenir la communication sol-trains.

[0040] La figure 5 représente le diagramme de rayonnement du guide d'ondes 1 conforme à l'invention, les fentes 8a, 8b des deux faces émissives étant de dimensions identiques. L'axe du guide d'ondes 1 correspond à un angle de 0°. Du fait de la réalisation symétrique des deux réseaux de fentes, un diagramme de rayonnement symétrique par rapport à l'axe du guide d'ondes 1 constitué de deux lobes principaux 9 et 10 apparaît. Ces deux lobes principaux 9 et 10, transposés à l'environnement transport de la figure 3, permettent de concentrer l'énergie électromagnétique simultanément en direction des deux voies de transport 2 et 3, au moyen d'un seul guide d'ondes 1 rayonnant disposé en position centrale au sol ou en voûte de tunnel.

[0041] Ce diagramme de rayonnement est obtenu dès lors qu'un nombre suffisant de rayonnements de fentes est intégré. Une centaine de fentes permet en pratique d'obtenir une limite haute au-delà de laquelle l'effet de sommation des contributions des fentes tend vers une

asymptote. Ainsi qu'indiqué précédemment, le guide d'ondes 1 rayonnant est installé en continu entre stations, sur des distances de plusieurs centaines de mètres. Il comporte de ce fait plusieurs milliers de fentes.

[0042] Dans un plan vertical, ces lobes de rayonnement 9 et 10 présentent des maxima qui dépendent de la hauteur du guide d'ondes au-dessus du sol. La présence du sol et ses caractéristiques physiques influent sur le diagramme de rayonnement en élévation du guide d'ondes rayonnant. En fonction de sa hauteur effective au-dessus du sol, telle que définie par les contraintes mécaniques d'installation sur site, une hauteur compatible d'antenne du véhicule sera sélectionnée afin de situer l'antenne du véhicule dans le lobe principal de rayonnement 9 ou 19 du guide d'ondes 1 à la voie. En pratique, la distance entre l'antenne embarquée 5 et le guide d'ondes 1 doit être d'au moins quatre longueurs d'ondes pour fonctionner en condition de champ lointain. En deçà de quatre longueurs d'ondes, l'antenne est placée en condition de champ proche. Or, en condition de champ proche, le diagramme de rayonnement n'est pas formé et ne permet donc pas au guide d'ondes 1 de focaliser efficacement l'énergie hyperfréquence vers les antennes 5, et ainsi de communiquer entre trains et sol avec un bilan de liaison optimisé.

[0043] Bien que la distance entre le guide d'ondes 1 et chaque antenne 5 du véhicule A, B soit en pratique augmentée par rapport au guide d'ondes de l'art antérieur, le gain apportée par cette sommation et cette concentration d'énergie compense pour une grande part l'atténuation supplémentaire des signaux qui parcourront une distance plus importante dans l'air, du guide d'ondes 1 à l'antenne embarquée 5.

[0044] L'antenne 5 du véhicule A ou B est disposée de manière à se trouver en permanence à proximité d'un réseau de fentes 8a ou 8b présentant le diagramme de rayonnement de la figure 4 et balaye progressivement et continument l'ensemble des milliers de fentes 8a ou 8b du guide d'ondes 1 lors du déplacement du véhicule A ou B (fig. 4). Le diagramme de rayonnement accompagne en permanence le déplacement du véhicule et fournit continument aux deux voies de transport 2 et 3 un maximum d'énergie électromagnétique dans une direction privilégiée de l'espace.

[0045] Une antenne dite omnidirectionnelle, c'est-à-dire une antenne qui met en évidence un champ électromagnétique quelle que soit la direction d'arrivée d'un signal émis ou alternativement qui rayonne de la même façon un signal électromagnétique dans toutes les directions de l'espace peut convenir. Cette antenne pourra capter les signaux émis par le guide d'ondes 1 dans ses directions privilégiées de rayonnement et émettre des signaux en direction du guide d'ondes, au même titre que les signaux reçus ou émis dans d'autres directions de l'espace.

[0046] Cependant, une telle antenne ne présente pas de gain particulier lié à la focalisation de l'énergie dans une ou des directions privilégiées de l'espace. De ce fait,

les signaux mis en évidence par cette antenne seront faibles ou ne permettront pas d'injecter une puissance élevée dans le guide d'ondes, au-travers des fentes. Cela signifie qu'une telle antenne ne permettra pas d'obtenir des débits de communication importants sauf à augmenter la puissance émise par l'émetteur train ou sol.

[0047] Une antenne directive possédant un diagramme de rayonnement présentant des directivités de rayonnement permet le meilleur transfert possible d'énergie entre le guide d'ondes 1 à la voie et cette antenne. En d'autres termes, le diagramme de rayonnement de l'antenne doit présenter au moins un lobe principal de rayonnement dont l'orientation est identique à celle d'un des lobes principaux du diagramme de rayonnement du guide d'ondes 1. L'orientation est définie par l'angle α que forme l'axe du lobe principal avec l'axe de l'antenne ou du guide d'ondes. Par exemple, comme le guide d'ondes 1 conforme à l'invention présente figure 4 un lobe principal dirigé à environ 30° par rapport à l'axe du guide d'ondes, une antenne 5 colinéaire au train doit également présenter un angle de départ de 30° afin de recevoir et d'émettre efficacement des signaux dans cette direction privilégiée de l'espace. Une telle antenne permet d'obtenir des débits de communication importants.

[0048] L'affaiblissement linéaire total dans le guide d'onde 1 n'est que faiblement augmenté puisque, via un double nombre de fentes toutes identiques, on ne double que la perte par prélèvement d'énergie depuis le guide d'ondes. Dans la réalisation particulière présentée à 2,4 GHz, l'affaiblissement linéaire total passe ainsi de 18 dB à 21 dB dans le cas d'un guide d'ondes en aluminium et la réduction de portée serait donc de 3 : 18 soit environ 17%. Cette réduction de portée peut être palliée en réduisant légèrement la taille des fentes, ce qui aurait cependant pour conséquence de réduire l'énergie émise et reçue via le guide d'ondes.

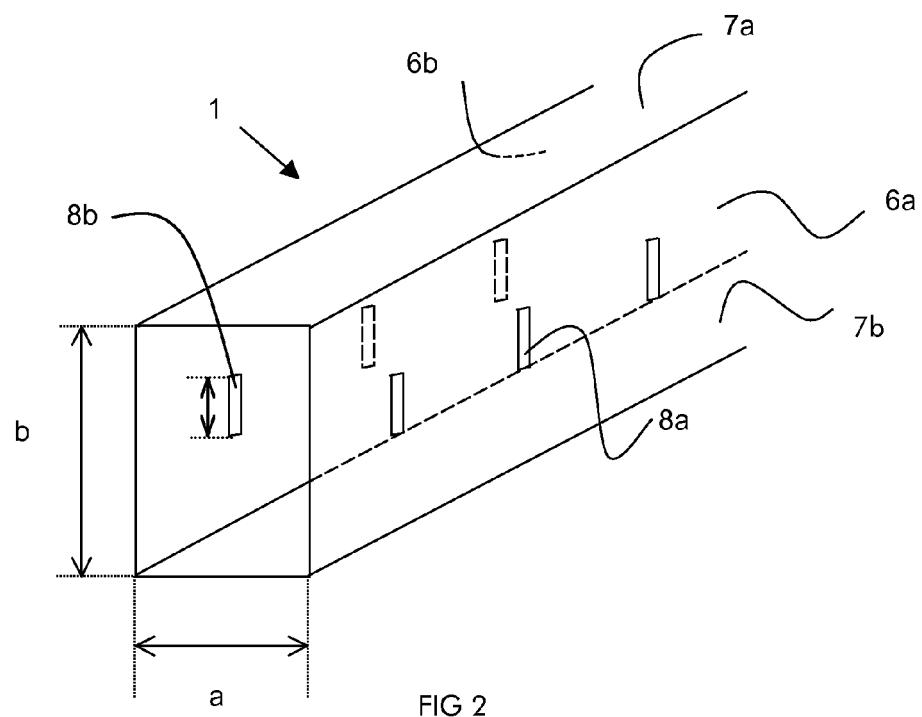
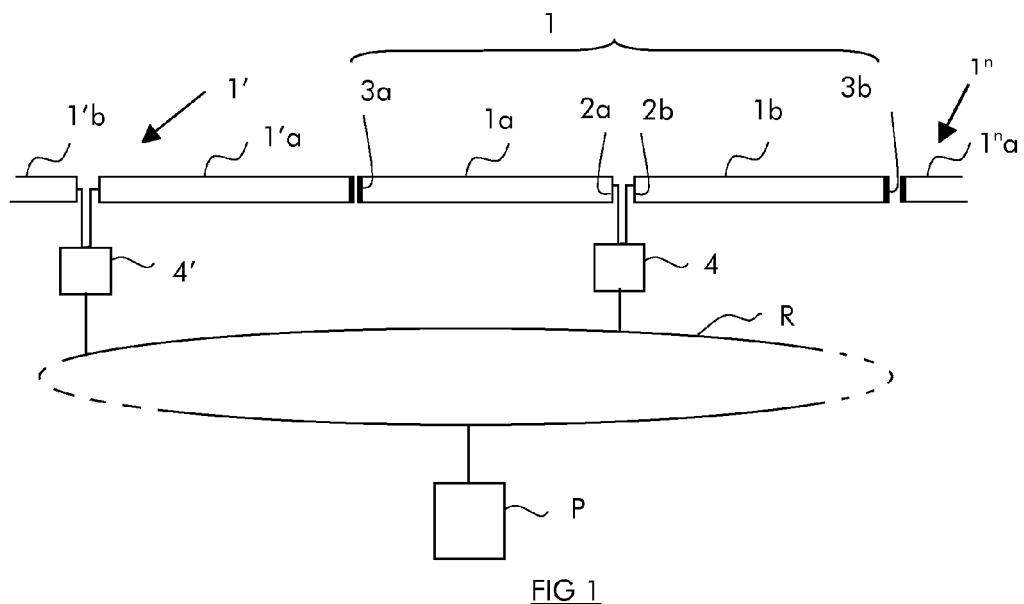
[0049] Du fait notamment du faible couplage électromagnétique entre réseaux de fentes adjacents, le comportement du double réseau de fentes et son diagramme de rayonnement en champ lointain s'avèrent stables dans une large bande de fréquences et ne dépend en pratique que du mode de propagation propre régnant à l'intérieur du guide d'ondes 1.

Revendications

1. Dispositif de communication continu entre au moins un véhicule ferroviaire (A, B) et un poste de contrôle (P), comportant au moins un guide d'ondes (1, 1', 1n) disposé entre deux voies parallèles et reposant sur une face non émissive (7b), comprenant deux faces émissives (6a, 6b) percées chacune d'un réseau d'ouvertures (8a, 8b) de passage d'un rayonnement électromagnétique en hyperfréquences de longueur d'onde donnée, au moins un véhicule (A, B) étant muni d'au moins une antenne (5) d'émission et de réception d'ondes hyperfréquences, le poste

de contrôle (P) étant muni d'au moins un organe d'alimentation du guide d'ondes (1, 1', 1n) en ondes hyperfréquences et d'au moins un organe de réception d'ondes hyperfréquences provenant du guide d'ondes (1, 1', 1n) **caractérisé en ce que** le guide d'ondes (1, 1', 1n) est de forme parallélépipédique et **en ce que** les ouvertures sont constituées de fentes.

2. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la grande dimension des faces émissives (6a, 6b) du guide d'ondes (1, 1', 1n) est de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde du rayonnement électromagnétique propagé dans le guide d'ondes.
- 10 3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la grande dimension (D) des fentes (8a, 8b) est inférieure à au moins cinq fois la longueur d'ondes du rayonnement électromagnétique propagé dans le guide d'ondes (1, 1', 1n).
- 15 4. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** l'espacement inter-fentes est inférieur à la demi-longueur d'onde des signaux émis dans l'air.
- 20 5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** les deux réseaux de fentes (8a, 8b) sont identiques.
- 25 6. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** l'un des réseaux de fentes (8a, 8b) est de plus grande dimension que l'autre (8a, 8b).
- 30 7. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** les faces émissives (6a, 6b) sont disposées verticalement.
- 35 8. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** les fentes (8a, 8b) sont disposées verticalement.
- 40 9. Dispositif selon la revendication 1 à 8, **caractérisé en ce que** la distance entre l'antenne (5) disposée à bord d'un véhicule (A, B) et le dispositif de communication est d'au moins quatre longueurs d'onde.
- 45 10. Dispositif selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** l'antenne (5) disposée à bord d'un véhicule (A, B) présente une directivité de rayonnement identique à celle du dispositif de communication.



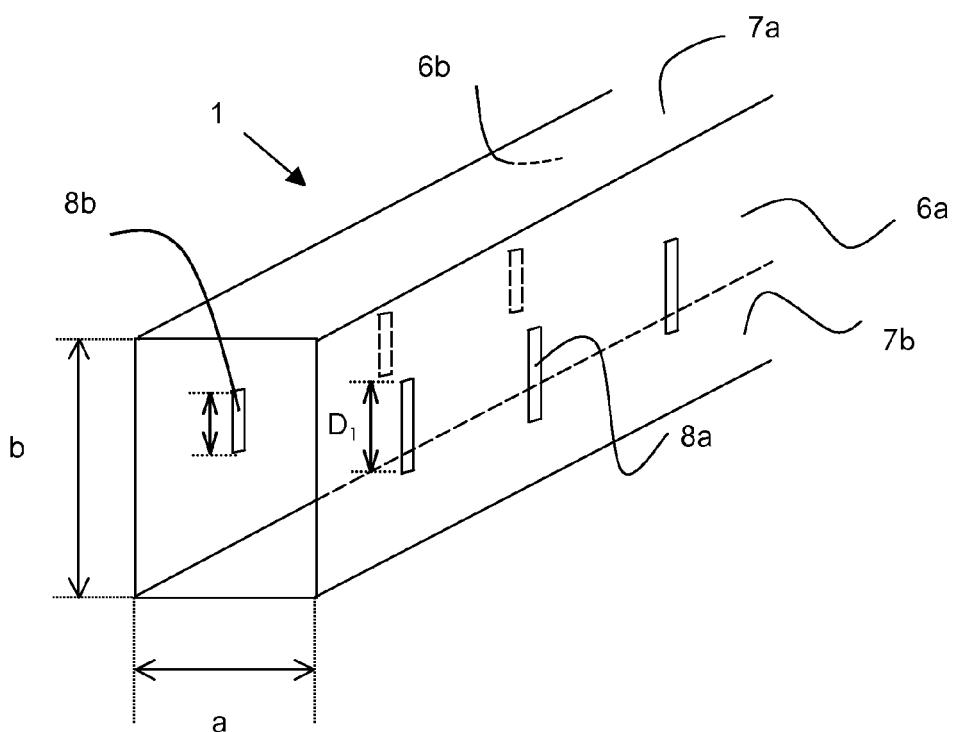


FIG. 3

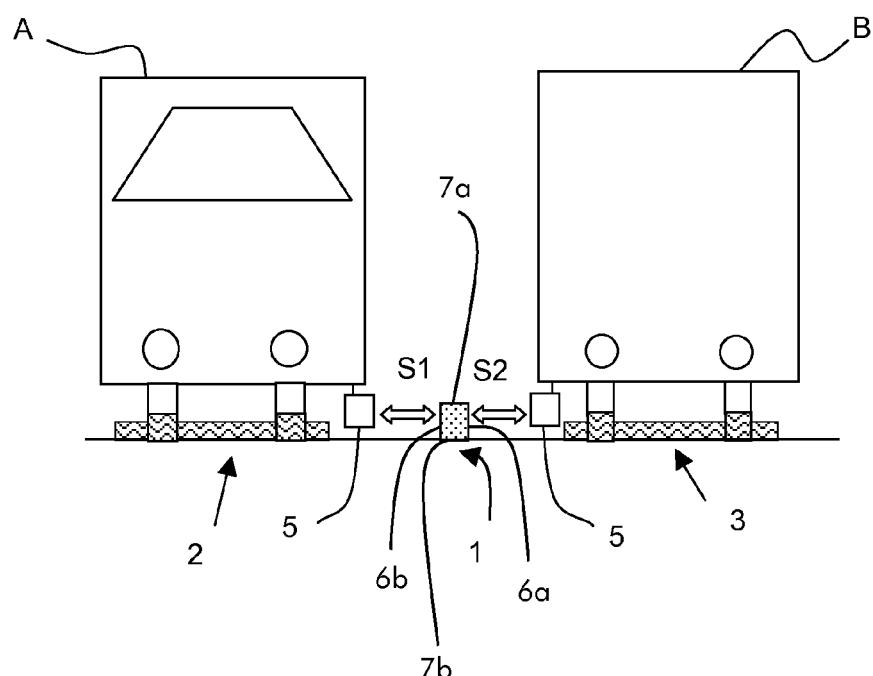
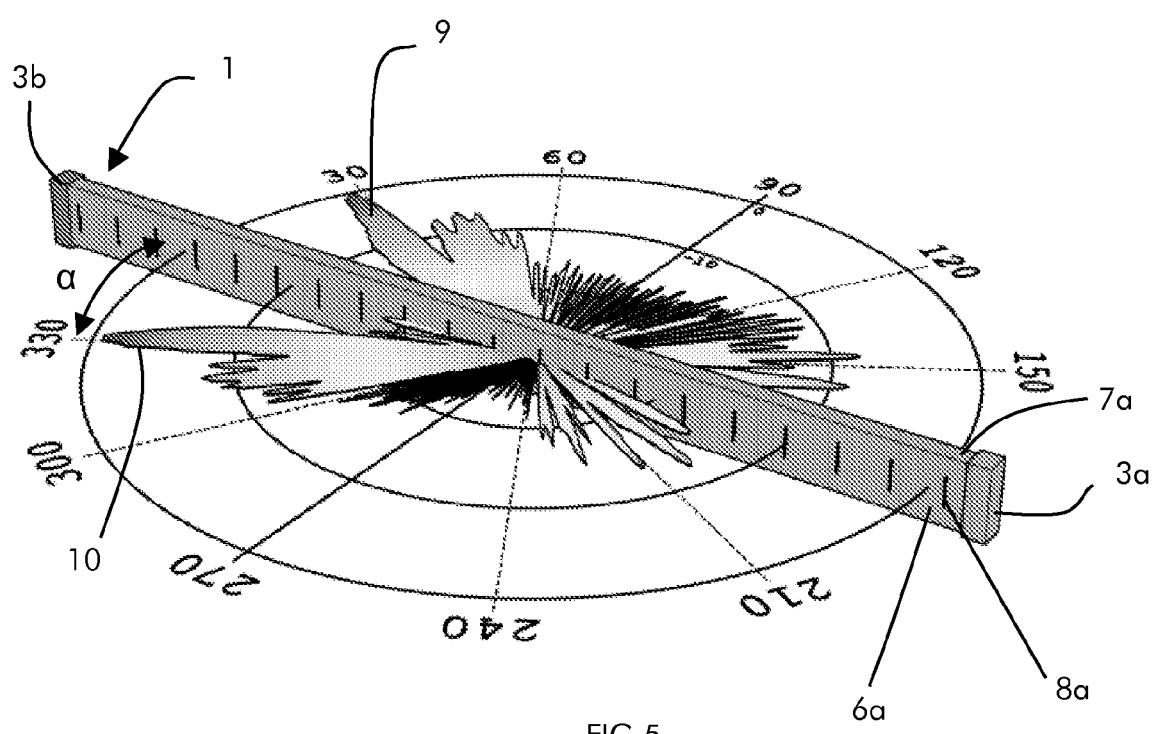


FIG. 4





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 08 10 4085

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	
X	US 3 648 172 A (NAKAHARA TSUNEO ET AL) 7 mars 1972 (1972-03-07) * abrégé; figures 1,11-13 * * colonne 3, ligne 6-18 * * colonne 6, ligne 69 - colonne 8, ligne 5 * -----	1-6,9,10	INV. H01Q1/32 B61L3/22 B61L7/06
A	FR 2 608 119 A (ALSTHOM [FR]) 17 juin 1988 (1988-06-17) * abrégé; figures 1-3 * * page 1, ligne 16-26 * * page 2, ligne 1-3 * * page 2, ligne 11 - page 3, ligne 14 * * page 5, ligne 31-35 * -----	1-10	
A	US 3 766 378 A (BABA T ET AL) 16 octobre 1973 (1973-10-16) * colonne 2, ligne 24-68; figures 1-3 *	1,8	
A	US 6 034 646 A (HEDDEBAUT MARC [FR] ET AL) 7 mars 2000 (2000-03-07) * abrégé; figures 1,2 *	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01Q B61L
9	Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications		
	Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
	Munich	5 août 2008	Cordeiro, J
	CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		
	X : particulièrement pertinent à lui seul	T : théorie ou principe à la base de l'invention	
	Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie	E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date	
	A : arrière-plan technologique	D : cité dans la demande	
	O : divulgation non-écrite	L : cité pour d'autres raisons	
	P : document intercalaire	
			& : membre de la même famille, document correspondant

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

EP 08 10 4085

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

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

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

05-08-2008

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
US 3648172	A	07-03-1972		AUCUN		
FR 2608119	A	17-06-1988	JP	63164636 A		08-07-1988
US 3766378	A	16-10-1973		AUCUN		
US 6034646	A	07-03-2000	AT AU AU BG BG BR CA CN CZ DE DE DK EP ES FR HU IL JP JP PL PT RU SK ZA	210898 T 709313 B2 1250097 A 62868 B1 101191 A 9700897 A 2197110 A1 1164779 A 9700380 A3 69708945 D1 69708945 T2 789419 T3 0789419 A1 2167688 T3 2744865 A1 9700343 A2 120157 A 3839118 B2 9265597 A 318367 A1 789419 T 2168273 C2 18397 A3 9700974 A	15-12-2001 26-08-1999 14-08-1997 29-09-2000 30-09-1997 12-01-1999 10-08-1997 12-11-1997 13-08-1997 24-01-2002 01-08-2002 08-04-2002 13-08-1997 16-05-2002 14-08-1997 29-12-1997 28-10-1999 01-11-2006 07-10-1997 18-08-1997 31-05-2002 27-05-2001 11-02-1999 16-04-1998	

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 2608119 [0002]
- US 3648172 A [0006]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **DE RICHARD C. JOHNSON ; HENRY JASIK.** Antenna Engineering Handbook. McGraw-Hill Book Company, 11 [0033]