

ELEMENT DE SURFACE INDUCTIF

La présente invention concerne un élément de surface inductif, qui est adapté pour modifier des conditions de propagation d'un rayonnement électromagnétique. Elle concerne aussi un ensemble de production d'ondes de surface et un ensemble de détection d'ondes de surface qui comprennent
5 chacun un tel élément de surface inductif.

Une onde de surface est un mode de propagation du rayonnement électromagnétique, qui est lié à une interface de séparation entre deux milieux différents. Les deux milieux peuvent différer l'un de l'autre par leurs valeurs respectives de permittivité diélectrique et/ou de conductivité électrique. Une
10 onde de surface présente les caractéristiques suivantes :

- sa direction de propagation est parallèle à l'interface entre les deux milieux ; et
- elle présente une atténuation exponentielle selon la direction perpendiculaire à l'interface entre les deux milieux.

15 En outre, le vecteur d'onde qui caractérise la propagation parallèlement à l'interface est relié au coefficient d'atténuation selon la direction perpendiculaire et à l'impédance électromagnétique de l'interface. Un tel mode de propagation en surface est opposé au mode de propagation en espace libre, qui est parfois appelé propagation en onde de ciel.

20 Des ondes de surface sont utilisées dans des applications variées, dont des systèmes radar ou des systèmes de communication pour lesquels les ondes transmises mises en œuvre sont des ondes de surface. Pour ces systèmes, l'interface qui est utilisée est la limite entre le sol et le milieu aérien au-dessus du sol. Un avantage de ces systèmes résulte de la réduction de la
25 puissance de rayonnement électromagnétique qui est perdue en direction du ciel, puisque les ondes transmises restent concentrées à proximité du sol.

De nombreuses sources de rayonnement électromagnétique qui sont disponibles produisent des ondes à propagation en espace libre. Une onde de

- 2 -

surface peut alors être produite en utilisant un élément de conversion qui couple certaines des ondes à propagation en espace libre, telles que produites par la source, à des ondes de surface. Toutefois, les difficultés suivantes affectent les éléments de conversion existants :

- 5 - des ondes à propagation en espace libre subsistent malgré l'élément de conversion, ce qui constitue une perte d'efficacité, entre la puissance qui est rayonnée par la source et la puissance qui est réellement diffusée sous forme d'ondes de surface ; et
- 10 - les ondes de surface qui sont produites par l'élément de conversion possèdent des directions de propagation dispersées parallèlement au sol, de sorte qu'une partie seulement de l'énergie qui est transportée par ces ondes de surface est transmise dans une direction désirée.

Par ailleurs, lorsqu'un tel élément de conversion est utilisé en association avec un détecteur pour la réception d'une communication par transmission d'ondes de surface, l'élément de conversion transmet aussi au
15 détecteur des ondes à propagation en espace libre, en plus de l'onde de surface reçue. La détection du signal qui est transporté par l'onde de surface est alors brouillée et perturbée par les ondes à propagation en espace libre qui sont transmises involontairement.

20 Le document GB 788.824 décrit un élément d'antenne qui est adapté pour transmettre une onde qui est focalisée perpendiculairement à une plaque de base de cet élément, selon le mode de propagation en espace libre.

Le document EP 1 594 186 décrit une antenne qui est formée par une boucle ouverte au-dessus d'un plan de masse, ce dernier étant destiné à être
25 enterré. Deux ondes confinées sont formées entre la boucle et le plan de masse, et le bord périphérique du plan de masse produit un rayonnement d'onde de surface vers l'extérieur. Toutefois, ce système produit aussi une onde à propagation en espace libre.

Le document WO 03/007426 décrit une antenne avec un élément
30 rayonnant à faible facteur de forme, qui est disposé au-dessus d'une surface à haute impédance elle-même située sur un plan de masse métallique. Mais des

- 3 -

ondes de surface à polarisation horizontale du champ électrique apparaissent dans la surface à haute impédance et se transforment ensuite en ondes à propagation en espace libre.

Enfin, les documents WO 2010/142946 et EP 1 608 037 décrivent des
5 antennes qui ont des structures différentes, et qui augmentent le rendement d'émission d'ondes dont les directions de propagation ont des valeurs d'angles d'élévation au-dessus du niveau du sol qui sont faibles. Mais il ne s'agit pas d'ondes de surface dont la propagation est réellement parallèle au sol et dont la puissance transportée reste concentrée à proximité du sol.

10 Dans ces conditions, un premier but de la présente invention consiste à produire des ondes de surface avec une quantité minimale de puissance qui soit rayonnée sous forme d'ondes à propagation en espace libre.

Un second but de l'invention consiste à produire des ondes de surface qui soient concentrées en azimuth autour d'une direction de propagation
15 désirée, parallèlement à la surface du sol.

Un troisième but de l'invention consiste à proposer un système de production d'ondes de surface, qui puisse utiliser les sources de rayonnement disponibles pour produire des ondes à propagation en espace libre, notamment les antennes filaires.

20 Un quatrième but de l'invention consiste à proposer un système de production d'ondes de surface qui soit compact, peu onéreux et facile à mettre en œuvre.

Enfin, un cinquième but de l'invention consiste à proposer un système de production d'ondes de surface qui soit adapté pour fonctionner dans le
25 domaine de fréquence compris entre 0,2 MHz (mégahertz) et 3000 MHz, et notamment dans la bande des hautes fréquences, dite bande HF, comprise environ entre 3 MHz et 30 MHz.

Pour atteindre ces buts et d'autres, la présente invention propose un élément de surface inductif pour un rayonnement électromagnétique, cet
30 élément comprenant :

- 4 -

- une plaque de base conductrice électriquement, qui s'étend dans un plan non parallèle à la composante de champ électrique du rayonnement électromagnétique ; et

- une série de plaques secondaires conductrices électriquement qui s'étendent perpendiculairement à la plaque de base, dans un même demi-espace sur un côté de la plaque de base, et de façon symétrique par rapport à un plan perpendiculaire à la plaque de base selon une direction dite sensible.

Selon une première caractéristique de l'invention, les plaques secondaires ont une même hauteur à $\pm 10\%$ près, cette hauteur étant comprise entre $0,035 \times \lambda$ et $0,35 \times \lambda$, où λ est un paramètre de dimensionnement de l'élément de surface inductif.

Selon une deuxième caractéristique de l'invention, la distance entre la plaque de base et les bords des plaques secondaires en regard est comprise entre une valeur nulle et la moitié de la hauteur des plaques secondaires concernées.

Selon une troisième caractéristique de l'invention, les plaques secondaires sont disposées parallèlement entre elles selon une période telle que le produit de la hauteur des plaques secondaires par la période soit compris entre $0,001 \times \lambda^2$ et $0,15 \times \lambda^2$ à $\pm 10\%$ près.

Selon une quatrième caractéristique de l'invention, les plaques secondaires s'étendent chacune sur une longueur totale d'au moins $0,0003 \times \lambda$ perpendiculairement à la direction sensible.

Un tel élément de surface inductif est alors adapté pour modifier des conditions de propagation, dans le demi-espace, d'une projection de la composante de champ électrique qui est perpendiculaire à la plaque de base, lorsqu'une longueur d'onde du rayonnement électromagnétique est comprise entre $\lambda - 10\%$ et $\lambda + 10\%$. La longueur d'onde du rayonnement électromagnétique qui est considérée est celle qui est associée à la propagation dans le milieu où est situé l'élément de surface inductif, et qui est égale à la vitesse de la lumière dans ce milieu divisée par la fréquence du

rayonnement. De cette façon, l'élément de surface inductif permet de produire ou détecter des ondes de surface qui sont concentrées en azimut autour d'une direction de propagation parallèle à une surface de sol, lorsque cet élément est posé sur le sol ou semi-enterré à proximité de la surface du sol, la plaque de
5 base étant parallèle à une surface moyenne de limite entre le sol et le demi-espace aérien.

L'élément de surface inductif de l'invention est donc un élément de conversion électromagnétique, qui est apte à coupler des modes de propagation en espace libre avec des ondes de surface. Ce couplage est
10 particulièrement efficace grâce à la géométrie et aux caractéristiques de dimensionnement de l'élément qui sont introduites par l'invention. Autrement dit, l'élément permet de transférer efficacement une partie de la puissance rayonnée d'ondes de propagation en espace libre qui parviennent jusqu'à l'élément, à des ondes de surface. Il peut donc être utilisé avec des sources de
15 rayonnement électromagnétique qui sont disponibles, notamment des sources filaires dont le coût est faible et l'utilisation est aisée pour produire des ondes de ciel. Ces ondes à propagation en espace libre sont ensuite transformées, au moins partiellement, en ondes de surface par l'élément de surface inductif de l'invention.

20 En particulier, l'élément de surface inductif de l'invention est efficace dans le domaine de fréquence de rayonnement électromagnétique qui est compris entre 0,2 MHz et 3000 MHz, et notamment dans la bande HF entre 3 MHz et 30 MHz.

Réciproquement, l'élément de surface inductif de l'invention permet
25 aussi de coupler efficacement des ondes de surface qui parviennent jusqu'à cet élément, avec des ondes à propagation en espace libre qui peuvent ensuite être détectées.

En outre, les ondes de surface qui sont produites par l'élément de surface inductif de l'invention ont des directions de propagation qui sont
30 concentrées en azimut autour de la direction sensible de l'élément. A cet égard, les plaques secondaires ne sont pas nécessairement planes. Elles peuvent être adaptées pour modifier la directivité en azimut de l'élément de

- 6 -

surface inductif. Par exemple, tout en restant perpendiculaires à la plaque de base, elles peuvent présenter une courbure circulaire de part et d'autre de la direction sensible.

Enfin, l'élément de surface inductif de l'invention est simple, peu onéreux et facile à mettre en œuvre. Notamment, il peut être fabriqué séparément de la source ou du détecteur de rayonnement électromagnétique avec laquelle (lequel) il est destiné à être utilisé, ce qui simplifie son mode de fabrication.

Dans des modes préférés de réalisation de l'invention, certains des perfectionnements suivants peuvent être utilisés, séparément ou en combinaison de plusieurs d'entre eux :

- chaque série de plaques secondaires peut comprendre au moins six plaques secondaires ;
- une largeur d'une au moins des plaques secondaires peut être comprise entre $\lambda/2$ et λ , mesurée parallèlement à la plaque de base et perpendiculairement à la direction sensible ;
- la hauteur des plaques secondaires peut être comprise entre $\lambda/20$ et $\lambda/5$, mesurée perpendiculairement à la plaque de base et à partir de celle-ci ;
- l'élément de surface inductif peut comprendre une série de plaques secondaires dont chaque plaque secondaire est constituée d'une paire de plaques ternaires. Dans ce cas, les deux plaques ternaires constitutives d'une plaque secondaire sont séparées d'une distance qui est comprise entre $\lambda/100$ et $\lambda/50$, mesurée selon la direction sensible ;
- l'une au moins des plaques parmi la plaque de base et les plaques secondaires ou ternaire peut comprendre une portion de tôle ou de grillage métallique, ou une combinaison d'au moins une portion de tôle et d'au moins une portion de grillage métallique. Eventuellement, une (des) portion(s) de tôle perforée ou à ouvertures peut (peuvent) être utilisée(s), pour réduire le poids de l'élément et la quantité de matière consommée ; et

- 7 -

- certaines au moins des plaques secondaires ou tertiaires peuvent être connectées électriquement à la plaque de base.

L'invention propose aussi un ensemble de production d'ondes de surface, qui comprend :

- 5 - une source de rayonnement, qui est adaptée pour produire au moins un rayonnement électromagnétique ayant un mode de propagation en espace libre ; et
- au moins un élément de surface inductif tel que décrit précédemment, qui est posé sur le sol ou semi-enterré ou enterré à proximité de la surface du sol, de sorte que la plaque de base soit parallèle à une
- 10 surface moyenne de limite entre le sol et un demi-espace aérien.

La source de rayonnement est orientée de sorte qu'une composante de champ électrique du rayonnement électromagnétique à l'emplacement de l'élément de surface inductif ne soit pas parallèle à la plaque de base.

- 15 En outre, la source de rayonnement est adaptée de sorte qu'une longueur d'onde du rayonnement électromagnétique soit comprise entre $\lambda - 10\%$ et $\lambda + 10\%$, où λ est le paramètre de dimensionnement de l'élément de surface inductif.

- Dans le cadre de la présente invention, on considère que l'élément de surface inductif est enterré à proximité de la surface du sol lorsque la distance
- 20 entre la plaque de base et la surface moyenne de limite entre le sol et le demi-espace aérien est inférieure à λ .

- La source de rayonnement peut notamment être adaptée pour produire le rayonnement électromagnétique avec une fréquence de rayonnement qui est
- 25 comprise entre 0,2 MHz et 3000 MHz, et plus particulièrement entre 3 MHz et 30 MHz.

- La source de rayonnement peut comprendre une antenne filaire, le rendement d'émission de ce type d'antenne étant particulièrement élevé. Dans le cas d'une antenne filaire monopole ou dipôle, le brin est préférentiellement
- 30 orienté de sorte qu'un segment d'antenne rectiligne de celle-ci soit perpendiculaire à la plaque de base. En outre, l'antenne filaire peut être

avantageusement positionnée par rapport à l'élément de surface inductif conformément à l'une au moins des caractéristiques suivantes d'agencement :

- le segment d'antenne rectiligne est séparé de celle des plaques secondaires de l'élément de surface inductif qui est la plus proche de
5 du segment d'antenne rectiligne, d'une distance qui est inférieure ou égale à $0,5 \times \lambda$, mesurée selon la direction sensible ; et
- un point du segment d'antenne rectiligne qui est le plus proche de la plaque de base est situé à une hauteur qui est inférieure à 1,5 fois la hauteur des plaques secondaires, ces hauteurs étant mesurées à partir
10 de la plaque de base selon une direction perpendiculaire à cette dernière et du côté des plaques secondaires.

La source de rayonnement peut comporter une antenne filaire de type boucle, la boucle plane est orientée de préférence parallèlement à la plaque de base. La condition requise pour que l'invention fonctionne est que rayonnement
15 électromagnétique issu de la source présente une composante de champ électrique non parallèle à la plaque de base.

Enfin, l'invention propose encore un ensemble de détection d'ondes de surface, qui comprend :

- un détecteur de rayonnement, qui est adapté pour détecter au moins un
20 rayonnement électromagnétique ; et
- au moins un élément de surface inductif tel que décrit précédemment, qui est posé sur le sol ou semi-enterré ou enterré à proximité de la surface du sol, de sorte que la plaque de base soit parallèle à une surface moyenne de limite entre le sol et un demi-espace aérien.

25 Le détecteur de rayonnement est orienté pour détecter le rayonnement électromagnétique lorsqu'une composante de champ électrique de ce rayonnement est non parallèle à la plaque de base, et est efficace pour détecter le rayonnement électromagnétique lorsqu'une longueur d'onde de ce rayonnement est comprise entre $\lambda - 10\%$ et $\lambda + 10\%$, où λ est le paramètre de
30 dimensionnement de l'élément de surface inductif.

La caractéristique selon laquelle l'élément de surface inductif est

enterré à proximité de la surface du sol signifie encore que la distance entre la plaque de base et la surface moyenne de limite entre le sol et le demi-espace aérien est inférieure à λ .

Le détecteur de rayonnement peut alors être placé au sein de
5 l'ensemble de détection d'ondes de surface, dans une position relative par rapport à l'élément de surface inductif qui est identique à celle de la source de rayonnement au sein de l'ensemble de production d'onde de surface.

D'autres particularités et avantages de la présente invention
apparaîtront dans la description ci-après d'exemples de réalisation non
10 limitatifs, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1a est une vue en perspective qui illustre une mise en œuvre d'un élément de surface inductif selon un premier mode de réalisation de l'invention, dans un ensemble de production d'ondes de surface ;
- les figures 1b et 1c sont respectivement une vue en plan et une vue de
15 côté de l'élément de surface inductif de la figure 1a ;
- les figures 2a à 2c correspondent respectivement aux figures 1a à 1c pour un second mode de réalisation de l'invention ;
- les figures 3a à 3c illustrent respectivement trois installations possibles de l'élément de surface inductif selon l'invention ; et
- les figures 4a et 4b sont des diagrammes de gain en transmission et de
20 modification du coefficient de réflexion, respectivement, en fonction de la fréquence du rayonnement électromagnétique, pour un élément de surface inductif selon l'invention.

Pour raison de clarté, les dimensions des éléments ou des parties
25 d'éléments qui sont représentés dans ces figures ne correspondent ni à des dimensions réelles ni à des rapports de dimensions réels. En outre, des références identiques qui sont indiquées dans des figures différentes désignent des éléments identiques ou qui ont des fonctions identiques.

Les figures 1a à 1c montrent un élément de surface inductif conforme à
30 l'invention qui comporte une série de plaques secondaires, et l'élément des figures 2a à 2c comportent une série de plaques secondaires constituées

chacune par une paire de plaques ternaires. Les références qui sont mentionnées dans les figures ont les significations suivantes :

	1	plaque de base
	2	plaques secondaires
5	2a, 2b	plaques ternaires
	LS	ligne médiane de la plaque de base, préférablement selon sa dimension longitudinale
	Lopm	longueur de la plaque de base mesurée parallèlement à la ligne médiane LS
10	Lpm	largeur de la plaque de base mesurée perpendiculairement à la ligne médiane LS
	L, Ldl	largeur de chaque plaque secondaire ou ternaire mesurée perpendiculairement à la ligne médiane LS
15	H, Hdl	hauteur de chaque plaque secondaire ou ternaire mesurée perpendiculairement à la plaque de base
	Nbl, Nbdl	nombre de plaques secondaires dans chaque série, de préférence supérieur ou égal à six
20	P	espacement entre les plaques secondaires mesuré selon la ligne médiane LS, et constituant une période d'agencement des plaques secondaires
	D	décalage entre deux plaques ternaires d'un couple constituant une plaque secondaire, mesurée selon la ligne médiane LS
	3	antenne d'émission de rayonnement électromagnétique
	4	source de signal HF, notée GEN. HF
25	Hant	hauteur de placement de l'antenne 3 au dessus du plan de la plaque de base, mesurée pour un point inférieur de l'antenne 3
	Dant	distance entre l'antenne 3 et la plaque secondaire la plus proche

	z	axe perpendiculaire à la plaque de base
	OL	onde électromagnétique avec mode de propagation en espace libre, produite par l'antenne 3 en direction de l'élément de surface inductif
5	E	champ électrique de l'onde électromagnétique OL, qui est perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde OL
	E_z	composante du champ électrique de l'onde électromagnétique OL selon l'axe z
10	θ	angle d'abaissement ou d'élévation de la direction de propagation de l'onde électromagnétique OL par rapport à un plan parallèle à la plaque de base
	OS	onde de surface produite par l'élément de surface inductif à partir de l'onde électromagnétique OL

Toutes les plaques secondaires 2 ou ternaires 2a, 2b peuvent avoir des dimensions qui sont identiques. Elles sont toutes perpendiculaires à la ligne médiane LS, et donc toutes parallèles entre elles. De plus, elles sont toutes centrées sur la ligne médiane LS, et la période P des plaques secondaires est constante. Lorsque l'élément de surface inductif comprend une série de plaques secondaires dont chaque plaque secondaire est constituée d'une paire de plaques ternaires, la période T est identique entre les plaques ternaires de deux couples adjacents.

A titre d'illustration, la plaque de base 1 peut être rectangulaire, de même que chaque plaque secondaire 2 ou ternaire 2a, 2b.

Dans ces conditions, la ligne médiane LS est la direction d'émission de l'onde de surface OS qui est produite par l'élément de surface inductif à partir de l'onde électromagnétique OL, lorsque l'antenne 3 est placée elle-même au droit de la ligne médiane LS. Lorsque l'élément de surface inductif produit un faisceau d'ondes de surface, ce faisceau est centré en azimut autour de la ligne médiane LS, dans un plan qui est parallèle à la plaque de base 1. Pour cette raison, la ligne médiane LS est appelée direction sensible dans la partie générale de la présente description.

Un ensemble de production d'ondes de surface est formé en associant l'élément de surface inductif des figures 1a-1c ou 2a-2c avec une source de rayonnement électromagnétique. Une telle source de rayonnement comprend l'antenne d'émission 3 et la source de signal 4, qui est connectée pour
5 alimenter l'antenne 3 en signal d'émission. L'antenne 3 peut être du type antenne filaire, et notamment une antenne de type monopole quart d'onde. Une telle antenne est connue de l'Homme du métier. Elle comprend un segment d'antenne rectiligne capable de produire un rayonnement électromagnétique qui se propage initialement en espace libre, à partir du
10 segment d'antenne. L'antenne 3 et la source 4 peuvent être adaptées pour que le rayonnement électromagnétique ait une fréquence f dans la bande HF comprise entre 3 MHz et 30 MHz. La longueur d'onde de l'onde OL qui est produite par l'antenne 3 est alors $\lambda = C/f$, où C est la vitesse de la lumière dans le milieu, égale à C_0/N où N est l'indice de réfraction du milieu et C_0 la vitesse
15 de la lumière dans le vide. La longueur d'onde est alors comprise entre 10 m (mètre) et 100 m pour la bande HF mentionnée ci-dessus dans l'air.

Pour produire l'onde de surface OS qui est destinée à se propager à la surface du sol, à partir de l'onde OL avec un bon rendement de transfert de puissance entre les deux ondes, l'agencement de l'ensemble de production
20 d'ondes de surface vérifie les conditions suivantes :

- l'élément de surface inductif est placé à proximité de la surface du sol ;
- des dimensions de l'élément de surface inductif sont sélectionnées de façon appropriée par rapport à la longueur d'onde du rayonnement électromagnétique qui est produit par l'antenne 3 ; et
- 25 - le segment rectiligne de l'antenne 3 est placé et orienté de façon appropriée par rapport à l'élément de surface inductif.

L'élément de surface inductif peut être soit posé sur le sol (figure 3a), soit semi-enterré (figure 3b), soit complètement enterré (figure 3c). Dans tous les cas, la plaque de base 1 est parallèle ou sensiblement parallèle à une
30 surface moyenne S de limite entre le sol et le demi-espace aérien supérieur. La surface réelle du sol peut être irrégulière, mais la surface moyenne S de limite du sol est plane. L'élément de surface inductif est en outre orienté avec ses

plaques secondaires 2 qui sont verticales, et vers le haut au-dessus de la plaque de base 1. La profondeur K de la plaque de base 1 en dessous de la surface moyenne S de limite du sol est de préférence inférieure à λ , voire inférieure à $\lambda/2$. Lorsque l'élément de surface inductif est semi-enterré, les bords supérieurs de certaines au moins des plaques secondaires 2 débordent au-dessus du sol, dans le demi-espace aérien. Dans l'utilisation de l'invention qui est rapportée dans la suite, l'élément de surface inductif est posé sur le sol (figure 3a).

A titre d'illustration, l'élément de surface inductif utilisé est conforme aux figures 1a-1c avec les caractéristiques précises suivantes : le nombre Nbl de plaques secondaires 2 est égal à 21, l'espacement P entre deux plaques secondaires 2 qui sont successives, est constant et égal à $0,0697 \times \lambda$, la hauteur H de chaque plaque secondaire 2 est égale à $0,1651 \times \lambda$, la largeur L de chaque plaque secondaire 2 est égale à $0,6678 \times \lambda$, la largeur Lpm de la plaque de base 1 est égale à la largeur L des plaques secondaires 2 augmentée de $0,5 \times \lambda$, et la longueur Lopm de la plaque de base 1 est égale à $1,931 \times \lambda$. Des écarts de $\pm 10\%$ par rapport à ces dimensions peuvent être adoptés, sans que le fonctionnement de l'ensemble de production d'ondes de surface soit altéré significativement, pour la même fréquence du rayonnement qui est produit par l'antenne 3. Etant donné les dimensions importantes que peut avoir l'ensemble de surface inductif, certaines au moins des plaques qui le composent peuvent être avantageusement en grillage ou en tôle perforée, pour en réduire le poids et la quantité de matière première consommée. L'épaisseur des plaques n'a pas d'effet significatif, tant que les plaques peuvent être considérées comme des surfaces conductrices bidimensionnelles. Chaque plaque secondaire est maintenue fixe par rapport à la plaque de base 1, mais il n'est pas nécessaire qu'elle soit reliée électriquement à la plaque de base 1. Ainsi chaque plaque secondaire peut être isolée électriquement par rapport à la plaque de base 1.

L'antenne 3 est orientée préférentiellement de sorte que le segment d'antenne rectiligne soit vertical, et donc perpendiculaire à la plaque de base 1. La distance Dant peut être égale à $0,5 \times \lambda$, et la hauteur Hant du segment d'antenne au dessus de la plaque de base 1 peut être nulle.

Une condition de fonctionnement de l'ensemble de production d'ondes de surface est que la composante E_z du champ électrique $\mathbf{E}$ de l'onde électromagnétique OL qui est produite par l'antenne 3, ne soit pas nulle. Autrement dit, le champ électrique $\mathbf{E}$ de l'onde OL n'est pas parallèle à la plaque de base 1. L'élément de surface inductif modifie alors les conditions de propagation de la composante E_z , en convertissant une partie de l'onde OL en l'onde de surface OS. Lorsque l'antenne 3 est placée à l'aplomb de la ligne médiane LS d'un côté de l'élément de surface inductif, alors l'onde OS émerge au-dessus de l'élément de surface inductif, avec une direction de propagation qui est parallèle à la ligne médiane LS. L'onde OS a une structure d'onde de surface, avec une amplitude du champ électrique qui décroît exponentiellement dans la direction Z dans le demi-espace aérien, à partir de la surface moyenne SI de limite de l'élément de surface inductif.

Les figures 4a et 4b correspondent à un élément de surface inductif tel que décrit ci-dessus, qui a été dimensionné pour une valeur de longueur d'onde de l'onde OL égale à 27,3 cm (centimètre) environ. Autrement dit, le paramètre de dimensionnement λ est égal à 27,3 cm. Cette valeur de longueur d'onde correspond à une fréquence f de rayonnement électromagnétique qui est égale à 1,1 GHz (gigahertz).

Dans le diagramme de la figure 4a, la courbe en trait continu caractérise une efficacité de transmission entre la source de rayonnement et un détecteur éloigné, en utilisant l'élément de surface inductif en combinaison avec la source de rayonnement. La courbe en trait interrompu caractérise la même efficacité de transmission, mais en l'absence d'élément de surface inductif. L'utilisation de l'élément de surface inductif permet un gain de transmission de 20 dB environ pour la fréquence du rayonnement de 1,1 GHz.

Le diagramme de la figure 4b montre la modification du coefficient de réflexion énergétique de l'antenne 3, en comparant ses fonctionnements avec (courbe en trait continu) et sans l'élément de surface inductif (courbe en trait interrompu). Une diminution de la réflexion qui peut atteindre 10 dB est obtenue à 1,1 GHz en utilisant l'élément de surface inductif.

Par ailleurs, des mesures de puissance de rayonnement

électromagnétique ont été effectuées à proximité de l'extrémité de l'élément de surface inductif d'où émerge l'onde de surface OS, par la méthode de mesure d'échauffement. Ces mesures ont été effectuées pour la fréquence de rayonnement de 1,1 GHz, avec l'élément de surface inductif qui est dimensionné pour cette fréquence. Elles révèlent que l'élément de surface inductif produit une concentration importante de l'énergie électromagnétique qui est transmise, à proximité de la surface du sol et autour de la ligne médiane LS. Des mesures précises confirment que la densité d'énergie électromagnétique à la sortie de l'élément de surface inductif, décroît exponentiellement lorsque l'angle d'élévation par rapport au sol augmente. La nature d'onde de surface de l'onde OS est ainsi vérifiée.

Un dimensionnement possible pour l'élément de surface inductif des figures 2a-2c peut être : le nombre N_{bd1} des plaques ternaires 2a et celui des plaques ternaires 2b sont aussi égaux à 21, l'espacement P entre deux plaques ternaires 2a qui sont successives, ou entre deux plaques ternaires 2b successives, est égal à $0,0953 \times \lambda$, le décalage D entre les plaques ternaires 2a et 2b est de $0,0229 \times \lambda$, la hauteur H_{dl} de chaque plaque ternaire 2a ou 2b est égale à $0,1074 \times \lambda$, et la largeur L_{pm} de la plaque de base 1 est au moins égale à la largeur L_{dl} de chaque plaque ternaire 2a ou 2b, elle-même égale à $0,6678 \times \lambda$. Toutefois, des écarts de $\pm 20\%$ par rapport à ces dimensions précises peuvent être adoptés sans modifier la fréquence du rayonnement de la source qui est utilisée avec l'élément de surface inductif.

L'agencement d'un tel élément de surface inductif à deux séries de plaques ternaires, par rapport à l'antenne 3 au sein de l'ensemble de production d'onde de surface, peut être identique à celui qui a été décrit pour l'élément de surface inductif des figures 1a-1c.

Un élément de surface inductif selon l'invention peut aussi être utilisé au sein d'un ensemble de détection d'onde de surface. Pour cela, l'élément de surface inductif est encore posé sur le sol, semi-enterré ou enterré de la même façon, mais avec sa ligne médiane LS, ou direction sensible, qui est orientée selon une direction de réception d'ondes de surface. Un détecteur de rayonnement peut alors être placé sensiblement au même endroit que

l'antenne 3 par rapport à l'élément de surface inductif. Dans ces conditions, l'élément de surface inductif transforme partiellement l'onde de surface reçue en une structure d'onde qui converge sur le détecteur de rayonnement. L'onde de surface qui est reçue peut ainsi être détectée avec une sensibilité élevée.

5 Il est entendu que l'invention peut être reproduite en modifiant certaines des caractéristiques qui ont été décrites à titre d'exemple. Il est rappelé qu'un élément de surface inductif qui est conforme à l'invention peut être dimensionné simplement pour n'importe quelle fréquence de rayonnement, en utilisant les règles de dimensionnement qui ont été données.

10 Enfin, plusieurs éléments de surface inductifs selon l'invention peuvent être disposés autour d'une même source de rayonnement électromagnétique, afin de transmettre simultanément des ondes de surface dans plusieurs directions.

REVENDICATIONS

1. Elément de surface inductif pour un rayonnement électromagnétique, ledit élément comprenant :
- 5 - une plaque de base (1) conductrice électriquement s'étendant dans un plan non parallèle à une composante de champ électrique du rayonnement électromagnétique ; et
 - une série de plaques secondaires conductrices électriquement (2), les plaques secondaires s'étendant perpendiculairement avec la plaque de base, et dans un même demi-espace sur un côté de ladite plaque de base, de façon symétrique par rapport à un plan perpendiculaire à
10 ladite plaque de base selon une direction dite sensible,
- les dites plaques secondaires (2) ayant une même hauteur (H ; H_{dl}) à $\pm 10\%$ près, ladite hauteur étant comprise entre $0,035 \times \lambda$ et $0,35 \times \lambda$, où λ est un paramètre de dimensionnement de l'élément de surface inductif ;
- 15 la distance entre la plaque de base et les bords des plaques secondaires en regard est comprise entre une valeur nulle et la moitié de la hauteur des plaques secondaires concernées ;
- lesdites plaques secondaires (2) étant disposées parallèlement entre elles selon une période telle que le produit de la hauteur des plaques secondaires par la période soit compris entre $0,001 \times \lambda^2$ et $0,15 \times \lambda^2$ à $\pm 10\%$ près ;
- 20 lesdites plaques secondaires (2) s'étendant chacune sur une longueur totale d'au moins $0,0003 \times \lambda$ perpendiculairement à la direction sensible ;
- ledit élément de surface inductif étant ainsi adapté pour modifier des conditions de propagation dans ledit demi-espace, d'une projection de la composante de champ électrique perpendiculaire à la plaque de base (1) lorsqu'une longueur
25 d'onde du rayonnement électromagnétique est comprise entre $\lambda - 10\%$ et $\lambda + 10\%$,
- de façon à permettre de produire ou détecter des ondes de surface concentrées en azimuth autour d'une direction de propagation qui est parallèle à

une surface de sol, lorsque ledit élément de surface inductif est posé sur le sol ou semi-enterré à proximité de la surface du sol, de sorte que la plaque de base (1) soit parallèle à une surface moyenne de limite entre le sol et le demi-espace aérien.

- 5 2. Élément de surface inductif selon la revendication 1, dans lequel la série de plaques secondaires (2) comprend au moins six plaques secondaires.
3. Élément de surface inductif selon la revendication 1 ou 2, dans lequel une largeur (L ; L_{dl}) d'une au moins des plaques secondaires (2) est comprise entre $\lambda/2$ et λ , mesurée parallèlement à la plaque de base (1) et
10 perpendiculairement à la ligne sensible.
4. Élément de surface inductif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la hauteur (H ; H_{dl}) des plaques secondaires (2) est comprise entre $\lambda/20$ et $\lambda/5$, mesurée perpendiculairement à la plaque de base (1) et à partir de ladite plaque de base.
- 15 5. Élément de surface inductif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque plaque secondaire est constituée d'une paire de plaques ternaires (2a, 2b).
6. Élément de surface inductif selon la revendication 5, dans lequel les plaques ternaires de chaque paire (2a, 2b) sont séparées d'une distance
20 comprise entre $\lambda/100$ et $\lambda/50$, mesurée selon la direction sensible.
7. Élément de surface inductif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'une au moins des plaques parmi la plaque de base (1) et les plaques secondaires (2) ou ternaires (2a, 2b) comprend une portion de tôle ou de grillage métallique, ou une combinaison
25 d'au moins une portion de tôle et d'au moins une portion de grillage métallique.
8. Élément de surface inductif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel certaines au moins des plaques secondaires (2) ou ternaires (2a, 2b) sont connectées électriquement à la plaque de base (1).

9. Ensemble de production d'onde de surface, comprenant :
- une source de rayonnement (3), adaptée pour produire au moins un rayonnement électromagnétique ayant un mode de propagation en espace libre ; et
- 5 - au moins un élément de surface inductif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, posé sur le sol ou semi-enterré ou enterré à proximité de la surface du sol, de sorte que la plaque de base (1) soit parallèle à une surface moyenne de limite entre le sol et un demi-espace aérien ;
- 10 la source de rayonnement (3) étant orientée de sorte qu'une composante de champ électrique du rayonnement à l'emplacement de l'élément de surface inductif ne soit pas parallèle à la plaque de base (1) ; et
- la source de rayonnement (3) étant adaptée de sorte qu'une longueur d'onde du rayonnement électromagnétique soit comprise entre $\lambda - 10\%$ et $\lambda + 10\%$, où
- 15 λ est le paramètre de dimensionnement de l'élément de surface inductif.
10. Ensemble de production d'ondes de surface selon la revendication 9, dans lequel la source de rayonnement (3) est adaptée pour produire le rayonnement électromagnétique avec une fréquence de rayonnement comprise entre 0,2 MHz et 3000 MHz.
- 20 11. Ensemble de production d'ondes de surface selon la revendication 9 ou 10, dans lequel la source de rayonnement (3) comprend une antenne filaire.
12. Ensemble de production d'ondes de surface selon la revendication 11, dans lequel l'antenne filaire comprend un segment d'antenne rectiligne, et ladite antenne filaire est orientée de sorte que le segment d'antenne rectiligne
- 25 soit perpendiculaire à la plaque de base (1).
13. Ensemble de production d'ondes de surface selon la revendication 12, dans lequel l'antenne filaire est positionnée de sorte que le segment d'antenne rectiligne soit séparé d'une des plaques secondaires (2 ; 2a, 2b) de l'élément de surface inductif la plus proche dudit segment d'antenne rectiligne,

d'une distance (D_{ant}) inférieure ou égale à $0,5 \times \lambda$, mesurée selon la direction sensible.

14. Ensemble de production d'ondes de surface selon la revendication 12 ou 13, dans lequel l'antenne filaire est positionnée de sorte qu'un point du segment d'antenne rectiligne le plus proche de la plaque de base (1) soit situé à une hauteur (H_{ant}) inférieure à 1,5 fois la hauteur (H ; H_{dl}) des plaques secondaires (2 ; 2a, 2b), les dites hauteurs étant mesurées à partir de la plaque de base (1) selon une direction perpendiculaire à ladite plaque de base et du côté des plaques secondaires.
15. Ensemble de détection d'ondes de surface, comprenant :
- un détecteur de rayonnement, adapté pour détecter au moins un rayonnement électromagnétique ; et
 - au moins un élément de surface inductif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, posé sur le sol ou semi-enterré ou enterré à proximité de la surface du sol, de sorte que la plaque de base (1) soit parallèle à une surface moyenne de limite entre le sol et un demi-espace aérien ;
- le détecteur de rayonnement étant orienté pour détecter le rayonnement électromagnétique lorsqu'une composante de champ électrique dudit rayonnement est non parallèle à la plaque de base (1), et étant efficace pour détecter le rayonnement électromagnétique lorsqu'une longueur d'onde dudit rayonnement est comprise entre $\lambda - 10\%$ et $\lambda + 10\%$, où λ est le paramètre de dimensionnement de l'élément de surface inductif.