

①②

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 12.09.01.

③⑦ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 14.03.03 Bulletin 03/11.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : EADS DEFENCE AND SECURITY
NETWORKS Société par actions simplifiée — FR.

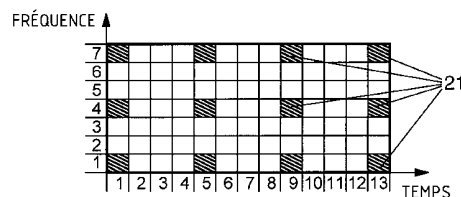
⑦② Inventeur(s) : BRUTEL CHRISTOPHE et MEGE PHI-
LIPPE.

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : CABINET PLASSERAUD.

⑤④ SIGNAL MULTIPORTEUSES, PROCEDE DE POURSUITE D'UN CANAL DE TRANSMISSION A PARTIR D'UN
TEL SIGNAL ET DISPOSITIF POUR SA MISE EN OEUVRE.

⑤⑦ L'invention propose un système multiporteuses cons-
truit sur un réseau temps-fréquence comprenant des trames
ayant MxN symboles répartis sur M sous-porteuses dont
chacune est divisée en N temps symboles déterminés, cha-
que trame comprenant P symboles pilotes (21) répartis en
temps et en fréquence de manière à couvrir la trame selon
une structure maillée de telle sorte, en particulier, que cer-
taines au moins des M sous-porteuses ne contiennent
aucun symbole pilote et/ ou qu'aucun symbole pilote ne soit
transmis à certains au moins des N temps symboles, ainsi
qu'un procédé de poursuite d'une canal de transmission à
l'aide d'un tel signal et un dispositif pour la mise en oeuvre
du procédé.



**SIGNAL MULTIORTEUSES, PROCEDE DE POURSUITE D'UN CANAL DE
TRANSMISSION A PARTIR D'UN TEL SIGNAL ET DISPOSITIF POUR SA
MISE EN OEUVRE**

La présente invention concerne un signal multiporteuses, un procédé de poursuite d'un canal de transmission à partir d'un tel signal, ainsi qu'un dispositif pour la mise en œuvre du procédé.

Elle se rapporte au domaine des transmissions numériques
5 (transmissions radionumériques), et trouve des applications notamment dans les récepteurs des systèmes de radiocommunications numériques avec les mobiles, par exemple les systèmes de radiocommunications professionnelles (systèmes PMR, de l'anglais "Professional Mobile Radio").

Dans ces systèmes, les données numériques sont transmises par
10 modulation d'une onde porteuse radiofréquence. Dit autrement, un signal radio est émis sur le canal de transmission, ce signal étant modulé pour porter les informations numériques à transmettre.

On cherche à mettre en œuvre des techniques de modulation qui offrent une meilleure résistance vis-à-vis des perturbations subies par le signal radio
15 lors de sa transmission à travers le canal de transmission. Pour l'essentiel, ces perturbations proviennent :

- d'une part du phénomène d'évanouissement ("Fading", en anglais), qui est sélectif en fréquence dès lors qu'on dépasse la bande de cohérence (l'on parle dans ce premier cas de fading sélectif (« selective fading » en anglais)),
20 mais qui n'est pas sélectif en fréquence dès lors que la largeur du canal est inférieure à la bande de cohérence (l'on parle dans ce dernier cas de fading plat ou (« flat fading » en anglais)). Ce phénomène d'évanouissement est du aux trajets multiples de propagation ("Multipaths", en anglais) qui engendrent des interférences inter-symboles (ISI, de l'anglais « Intersymbol Interference, »)
25 aussi connues sous le vocable de distorsion intersymboles. Le fading sélectif est l'image dans le domaine fréquentiel de trajets multiples de propagation présentant de grands retards entre trajets (le retard maximum entre les trajets est tel que l'inverse de ce retard est inférieur à la largeur de la bande du signal). Le fading plat se produit quand le retard entre les trajets multiples de
30 propagation est faible est que le retard maximum entre les trajets est tel que l'inverse de ce retard est supérieur à la largeur de la bande du signal.

- d'autre part, l'amplitude et la phase du ou de chacun des trajets de propagation peuvent être statiques (en ce sens qu'elles ne varient pas au cours du temps) ou au contraire dynamiques (lorsque les conditions de propagation varient au cours du temps). Dans le cas dynamique, la fréquence de ce phénomène (appelé aussi fréquence du fading) et, d'une façon plus générale, le spectre fréquentiel du fading sont liés à la vitesse du mobile est à la fréquence porteuse du signal émis. Le modèle classique retenu pour le spectre de puissance du fading est décrit dans l'ouvrage "Microwave Mobile Communications", par William C. Jakes, Jr., Editions John Wiley & Sons, 1974, pp 19-25 », et fait intervenir la fréquence Doppler f_D donnée par :

$$f_D = \frac{V}{c} \times f_c$$

où V est la vitesse du mobile, c est la vitesse de la lumière, et f_c la fréquence de la porteuse.

La densité spectrale de puissance du fading est donc :

$$P_{\text{fading}}(f) = \frac{P}{\Pi} * \frac{1}{f_D} * \frac{1}{\sqrt{(1 - (f / f_D)^2)}}$$

avec $P_{\text{fading}}(f)$ la puissance du fading, c'est à dire la puissance du signal reçu.

On cherche actuellement à mettre en œuvre une modulation multiporteuse appelée OFDM (de l'anglais "Orthogonal Frequency Multiplexing"). Cette technique de modulation a été retenue pour la norme européenne sur les systèmes de diffusion audionumérique (systèmes DAB, de l'anglais "Digital Audio Broadcasting"). Elle consiste à répartir les données à transmettre sur un ensemble de sous-porteuses ("subcarriers" en anglais) émises en parallèle dans le signal radio. Il en résulte un effet d'évanouissement plat vis-à-vis de chaque sous-porteuse car la largeur de bande de chaque sous-porteuse est inférieure à la bande de cohérence. En outre, il en résulte une réduction de la sensibilité de la transmission vis-à-vis du phénomène de trajets multiples.

Néanmoins, la technique OFDM présente certaines contraintes dans les applications du type de celles envisagées plus haut, dans lesquelles l'efficacité spectrale de la transmission est une caractéristique clé.

En effet, le signal à transmettre est construit sur un réseau temps-
5 fréquence (aussi appelé "lattice" en anglais). Le signal est structuré en trame qui sont transmises successivement à travers le canal de transmission. Chaque trame comprend un nombre M de sous-porteuses adjacentes à l'intérieur d'un canal de largeur spectrale déterminée, chacune de ces sous-porteuses étant divisée en N intervalles de temps, appelés temps symboles. La durée d'un
10 temps symbole correspond à la durée de transmission d'un symbole. Une trame du signal comprend donc $M \times N$ symboles. On rappelle qu'un symbole correspond à un nombre déterminé de bits d'information, par exemple huit bits, qui prend une valeur déterminée dans un alphabet ad-hoc.

Or, il est nécessaire d'introduire des symboles pilotes dans la trame afin
15 de permettre la poursuite du canal de transmission ("Channel Tracking", en anglais) par le récepteur. On rappelle qu'un symbole pilote est un symbole introduit dans la trame par l'émetteur, à un emplacement et avec une valeur qui sont connus du récepteur. La poursuite de canal est réalisée par une séquence d'étapes mises en œuvre par le récepteur avant la démodulation du signal reçu
20 proprement dite. Cette séquence d'étapes comprend, d'une part, l'estimation de la valeur du canal (c'est-à-dire la valeur de l'amplitude et de la phase du canal) pour les symboles pilotes de la trame, qui produit des valeurs du canal estimées pour tous les symboles pilotes de la trame. Elle comprend d'autre part une interpolation de la valeur du canal pour les autres symboles de la
25 trame, qui produits $M \times N$ valeurs du canal interpolées pour tous les symboles de la trame. Selon une méthode d'interpolation habituelle, les valeurs du canal interpolées pour les symboles pilotes de la trame correspondent aux valeurs du canal estimées pour ces symboles (dit autrement, l'étape d'interpolation conserve, pour les symboles pilotes, les valeurs produites par l'étape
30 d'estimation).

La poursuite du canal a pour but d'estimer les perturbations subies par les symboles lors de la transmission de la trame à travers le canal de transmission, qui résultent notamment des deux phénomènes précités

d'évanouissement et de trajets multiples. On génère ainsi une matrice de valeurs interpolées, qui est une matrice $M \times N$, qui est utilisée pour la démodulation proprement dite de la trame reçue.

La présence des symboles pilotes dans la trame génère un surdébit ("overhead" en anglais), qui pénalise le débit utile de la transmission (généralement exprimé en nombre de symboles par seconde).

Dans l'état de la technique, la poursuite du canal est réalisée sous-porteuse par sous-porteuse. A cet effet, chaque sous-porteuse contient des symboles pilotes, et une interpolation temporelle est effectuée pour chaque sous-porteuse à partir des valeurs du canal estimées à partir des symboles pilotes qu'elle contient.

L'objet de la présente invention est de proposer une alternative à cet état de la technique, qui permette dans certains cas de limiter le surdébit de la transmission résultant des symboles pilotes.

L'invention propose en effet un signal multiporteuses construit sur un réseau temps-fréquence défini par un axe des fréquence et un axe des temps, le signal comprenant des trames ayant $M \times N$ symboles répartis sur M sous-porteuses dont chacune est divisée en N temps symboles déterminés, chaque trame comprenant P symboles pilotes répartis en temps et en fréquence de manière à couvrir la trame selon une structure maillée définie par une première et une seconde directions déterminées correspondant à des vecteurs non-colinéaires, où les nombres M , N et P sont des nombres entiers non nuls, de telle sorte que d'une part la projection sur l'axe des fréquences de l'espacement maximum entre deux symboles pilotes ou blocs de symboles pilotes adjacents suivant à la fois ladite première direction et ladite seconde direction soit inférieure à la moitié de l'inverse du retard maximum entre les trajets multiples à travers le canal de propagation, et que, d'autre part, la projection sur l'axe des temps de l'espacement maximum entre deux symboles pilotes ou blocs de symboles pilotes adjacents suivant à la fois ladite première direction et ladite seconde direction soit inférieure à la moitié de l'inverse de la fréquence de fading à travers le canal de transmission, et de telle sorte, en outre, que certaines au moins des M sous-porteuses ne contiennent aucun

symbole pilote et/ou qu'aucun symbole pilote ne soit transmis à certains au moins des N temps symboles.

Le fait que certains au moins des M sous-porteuses ne contiennent aucun symbole pilote et/ou qu'aucun symbole pilote ne soit transmis à certains
5 au moins des N temps symboles, permet dans certains cas (c'est-à-dire avec certaines structures de trames et sous certaines hypothèses concernant la propagation à travers le canal de transmission qui sont prises en compte) de réduire le surdébit de la transmission.

L'invention propose aussi un procédé de poursuite d'un canal de
10 transmission à partir d'un tel signal multiporteuses tel que défini ci-dessus, comprenant les étapes suivantes :

a) estimation du canal à partir des symboles pilotes, de manière à produire des valeurs du canal estimées pour au moins certains des symboles de la trame qui correspondent à des symboles pilotes ;

15 b) premières interpolations, à partir desdites valeurs estimées, selon toutes les directions parallèles à ladite première direction déterminée et passant par au moins deux symboles pilotes différents pour lesquels il existe une valeur du canal estimée, de manière à produire des premières valeurs du canal interpolées pour les symboles de la trame suivant toutes ces directions ;

20 c) secondes interpolations, à partir desdites premières valeurs interpolées, selon toutes les directions parallèles à ladite seconde direction déterminée et passant par au moins deux symboles pour lesquels il existe une première valeur interpolée, de manière à produire des secondes valeurs du canal interpolées pour sensiblement la totalité des symboles de la trame ;

25 d) le cas échéant, affectation à chaque symbole de la trame pour lequel il n'existe aucune seconde valeur du canal interpolée, respectivement de la valeur du canal interpolée pour le symbole de la trame qui en est le plus proche et pour lequel il existe une seconde valeur du canal interpolée.

Un tel procédé permet de reconstituer l'ensemble des symboles de la
30 trame, malgré le fait que certains au moins des M sous-porteuses ne contiennent aucun symbole pilote et/ou qu'aucun symbole pilote ne soit transmis à certains au moins des N temps symboles.

L'invention concerne encore un dispositif comprenant des moyens pour la mise en œuvre du procédé. Le dispositif comprend :

- des moyens d'estimation du canal à partir des symboles pilotes, permettant de produire des valeurs du canal estimées pour au moins certains
5 des symboles de la trame qui correspondent à des symboles pilotes ;
- des premiers moyens d'interpolation, pour effectuer des premières interpolations à partir desdites valeurs estimées, selon toutes les directions parallèles à ladite première direction déterminée et passant par au moins deux symboles pilotes différents pour lesquels il existe une valeur du canal estimée,
10 de manière à produire des premières valeurs du canal interpolées pour les symboles de la trame suivant toutes ces directions ;
- des second moyens d'interpolation, pour effectuer des secondes interpolations, à partir desdites premières valeurs interpolées, selon toutes les directions parallèles à ladite seconde direction déterminée et passant par au
15 moins deux symboles pour lesquels il existe une première valeur interpolée, de manière à produire des secondes valeurs du canal interpolées pour sensiblement la totalité des symboles de la trame.

Lorsque cela est nécessaire, c'est-à-dire lorsque la structure de la trame est telle qu'il existe des symboles dans la trame pour lesquels il n'existe
20 aucune seconde valeur du canal interpolée (notamment les symboles en limite de trame), le dispositif comprend en outre des moyens d'affectation, pour affecter à chaque symbole de la trame pour lequel il n'existe aucune seconde valeur du canal interpolée, la valeur du canal interpolée pour le symbole de la trame qui en est le plus proche et pour lequel il existe une seconde valeur du
25 canal interpolée.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront encore à la lecture de la description qui va suivre. Celle-ci est purement illustrative et doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels on a représenté :

- à la figure 1 : un diagramme illustrant un réseau temps-fréquence sur
30 lequel est construit le signal transmis sur le canal de transmission ;
- aux figures 2a à 2c : des diagrammes illustrant la structure d'une trame d'un signal multiporteuses selon l'invention, selon quatre exemples différents ;

- à la figure 3 : un diagramme illustrant les étapes d'un procédé selon l'invention ;

- aux figures 4a à 4c : des tableaux correspondant à une matrice de valeurs du canal ;

5 - à la figure 5 : un diagramme illustrant la structure d'une trame d'un signal multiporteuses selon un exemple de réalisation de l'invention.

Néanmoins, selon une caractéristique avantageuse de l'invention, on remarque qu'il existe dans tous les cas des sous-porteuses sur lesquelles n'est émis aucun symbole pilote. Cela permet, dans certaines structure de trames,
10 de réduire le sur-débit de la transmission.

Le diagramme de la figure 1 illustre un réseau temps-fréquence défini par un axe des fréquences et par un axe des temps. Le réseau comprend un ensemble de symboles représentés symboliquement par des croix.

L'objet de cette figure est d'introduire un certain nombre de convention
15 qui sont utilisées dans la suite. Par convention en effet, l'axe des fréquences est représenté verticalement et l'axe des temps est représenté horizontalement. Chaque symbole est repéré par un indice m suivant l'axe des fréquence, et par un indice n suivant l'axe des temps. Dans la suite et aux figures, un symbole dont la position suivant l'axe des fréquences est définie par
20 l'indice m , et la position suivant l'axe des temps est définie par l'indice n est noté $S_{m,n}$. Enfin, l'espacement entre les symboles suivant l'axe des fréquence est noté γ_0 . De même, l'espacement entre les symboles suivant l'axe des temps est noté τ_0 .

Si l'on note $S(t)$ un signal construit sur un tel réseau de symboles, on
25 peut décomposer le signal $S(t)$ sous la forme :

$$S(t) = \sum_{m,n} c_{m,n} \times g_{m,n}(t) = \sum_{m,n} c_{m,n} \times e^{2\pi i m \gamma_0 t} \times g(t - n \cdot \tau_0)$$

où les coefficients $c_{m,n}$ sont des coefficients correspondant à la valeur du
30 symbole $S_{m,n}$, et où les fonctions $g_{m,n}(t)$ sont des fonctions prototypes qui définissent un espace hilbertien, et où la fonction $g(t)$ a la propriété d'être invariante par transformation de Fourier discrète (DFT pour "Discrete Fourier

Transform") ou par transformation de Fourier inverse (IDFT, pour "Inverse Discrete Fourier Transform").

Selon des propriétés intrinsèques du réseau temps-fréquence, les symboles sont orthogonaux, ce qui permet une démodulation simple et efficace. On dit alors que le réseau est orthogonal. Par définition, les symboles sont orthogonaux si leur produit scalaire est nul.

C'est notamment le cas lorsqu'on met en œuvre une modulation de type OFDM/QAM (de l'anglais "OFDM/Quadrature Amplitude Modulation") ou OFDM/OQAM (de l'anglais "OFDM/ Offset Quadrature Amplitude Modulation"). Les fonctions prototypes définissent alors une base hilbertienne de dimension unité, c'est-à-dire telle que $\gamma_0 \times \tau_0 = 1$. Avantagusement, les coefficients $c_{m,n}$ sont alors des coefficients complexes. On peut écrire $c_{m,n} = a_{m,n} + i \times b_{m,n}$, où $a_{m,n}$ et $b_{m,n}$ sont des coefficients réels. Ceci qui offre la possibilité d'employer une modulation en amplitude et en phase.

Néanmoins il est préférable de garantir une bande de garde en fréquence pour garantir l'orthogonalité en temps et en fréquence pour la'OFDM/QAM. De même, il est préférable de garantir un intervalle de garde entre la transmission de deux symboles consécutifs sur chaque sous-porteuse, de manière à limiter la distorsion intersymbole dans le cas de l'OFDM/OQAM. Dans le cas de l'OFDM/QAM et de l'OFDM/OQAM ces gardes en fréquence ou en temps pénalisent le débit de la transmission (exprimé en nombre de symboles par seconde).

Lorsqu'on utilise une modulation OFDM/IOTA (de l'anglais "OFDM/Isotropic Orthogonal Transform Algorithm"), l'orthogonalité entre symboles est également assurée. Avec une telle modulation, les fonctions prototypes définissent une base hilbertienne de dimension 2, c'est-à-dire telle que $\gamma_0 \times \tau_0 = 2$. La façon dont on définit un réseau temps/fréquence orthogonal avec une telle modulation est par exemple décrite dans l'article "Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex", Bernard LE FLOCH et al., Proceedings of the IEEE, Vol. 83, NO. 6, Juin 1995). Les coefficients $c_{m,n}$ sont alors des coefficients réels ou imaginaires purs selon leur placement dans la trame. Ils sont toujours mono-dimensionnels. Ceci n'offre que la possibilité

d'une modulation en amplitude. Néanmoins, il n'est pas nécessaire de garantir un temps de garde entre les symboles ou entre les sous-porteuses, ce qui présente l'avantage d'augmenter le débit de la transmission.

Une trame est définie suivant l'axe des fréquence et suivant l'axe des
 5 temps, respectivement par une bande de fréquence B , et par une durée D . Elle comprend M sous-porteuses, où M est un nombre entier tel que $B = M \times \gamma_0$. De plus, chaque sous-porteuse est divisée en N temps symboles, où N est un nombre entier tel que $D = N \times \tau_0$. La trame comprend donc $M \times N$ symboles.

Par convention, on définit une double relation d'ordre pour repérer
 10 l'emplacement d'un symbole dans la trame suivant l'axe des fréquence d'une part, et suivant l'axe des temps d'autre part. Selon cette relation d'ordre, le symbole $S_{1,1}$ est le symbole qui est porté sur la première sous-porteuse (celle ayant l'indice 1) et qui transmis en premier sur cette sous-porteuse c'est-à-dire qui est situé dans le premier temps symbole (celui d'indice 1). Ce symbole $S_{1,1}$
 15 est classiquement représenté en bas à gauche sur les figures. De même, le symbole $S_{M,N}$ est le symbole qui est porté sur la dernière sous-porteuse de la trame (celle ayant l'indice M) et qui transmis en dernier sur cette sous-porteuse c'est-à-dire qui est situé dans le dernier temps symbole (celui d'indice N). Ce symbole $S_{M,N}$ est classiquement représenté en haut à droite sur les figures. De
 20 façon générale, le symbole $S_{m,n}$ est le symbole qui est porté sur la m -ième sous-porteuse de la trame (celle ayant l'indice m) et qui transmis en sur cette sous-porteuse dans le n -ième temps symbole (celui d'indice N).

Les diagrammes des figure 2a, 2b et 2c représentent la structure d'une trame d'un signal multiporteuse selon l'invention, dans un exemple où $M=7$ et
 25 $N=13$, et respectivement dans trois cas distincts qui seront explicités ci-dessous. La trame est symbolisée par un tableau, dont les $M \times N$ cellules correspondent aux symboles de la trame.

Afin de permettre la poursuite du canal, la trame contient des symboles pilotes ou des blocs de symboles pilotes, un symbole pilote étant un symbole
 30 dont l'emplacement dans la trame et dont la valeur sont connus du récepteur. Sur les figures, les symboles pilotes sont représentés par des cellules noires, et les autres symboles sont représentés par des cellules blanches.

Dans le cas de la figure 2a, les symboles pilotes tels que 21 sont disjoints à l'intérieur de la trame.

Les symboles pilotes tels que 21 sont les symboles $S_{m,n}$ avec $m=1+3j$ et $n=1+4k$, où j est un nombre entier compris entre 0 et 2 et où k est un nombre entier compris entre 0 et 3. Ces symboles pilotes sont donc répartis en temps et en fréquence de manière à couvrir la trame selon une structure maillée définie par l'axe des fréquences et l'axe des temps. L'espacement de symboles pilotes suivant l'axe des fréquences correspond à deux fois l'espacement entre les sous-porteuses (i.e., $2 \times \gamma_0$), et leur espacement suivant l'axe des temps correspond à trois temps symboles (i.e., $3 \times \tau_0$).

Dans le cas de la figure 2b, certains des symboles pilotes, qui sont adjacents deux à deux, forment un bloc de symboles pilotes tels que 22. On distingue ainsi, dans l'exemple montré à la figure, quatre blocs de symboles pilotes, chaque bloc comprenant plusieurs symboles pilotes.

Par convention, dans la suite, la position d'un bloc de symboles pilotes dans la trame est repérée par la position du symboles pilote de ce bloc qui est sur la porteuse de plus petit indice, et dans le temps symbole transmis en premier (sur les figures, c'est, pour chaque bloc, le symbole pilote qui est le plus bas et le plus à gauche). De même, la taille du bloc est définie par une dimension suivant l'axe des fréquences (ci-après "hauteur", noté h) exprimée en nombres de symboles, et par une dimension suivant l'axe des temps (ci-après "longueur", notée l), exprimée en nombres de symboles. La taille du bloc est notée $h \times l$, où h désigne la hauteur et l désigne la longueur.

Cette convention est commode dans les cas où les blocs de symboles pilotes ont des dimensions régulières (formant par exemples des lignes, ou des pavés de symboles pilotes c'est-à-dire des carrés ou des rectangles). Néanmoins, il est bien entendu qu'un bloc de symboles pilotes peut avoir une structure irrégulière (par exemple trois symboles pilotes adjacents deux à deux mais non alignés).

En outre, il est précisé que la notion de bloc de symboles pilotes ne correspond pas forcément à une notion d'adjacence. En réalité, la définition d'un bloc de symboles pilotes est la suivante : les symboles pilotes d'un même bloc, qui peuvent être adjacents ou non, sont considérés comme des symboles

satisfaisant à une double condition de stationnarité en fréquence et de stationnarité en temps du canal de transmission. On verra plus loin comment sont définies ces conditions de stationnarité.

5 A la figure 2b, on distingue ainsi six blocs de symboles pilotes 22 de dimensions 1×3 , qui sont respectivement situés sur les symboles $S_{1,n}$, et $S_{12,n}$ avec $n=1+3j$ où j est un nombre entier compris entre 0 et 2.

Dans le cas de la figure 2c, certains symboles pilotes, bien qu'étant disjoints comme dans le cas de la figure 2a, forment néanmoins des blocs de symboles pilotes tels que 23, au sens défini ci-dessus.

10 En reprenant les convention énoncées plus haut, les dimensions et la position des blocs 23 de la figure 2c sont identiques, respectivement, à celles des blocs 22 de la figure 2b.

Bien entendu, un ou plusieurs symboles pilotes isolés comme montré à la figure 2a, un ou plusieurs blocs de symboles pilotes adjacents comme
15 montré à la figure 2b, et/ou un ou plusieurs blocs de symboles pilotes disjoints comme montré à la figure 2c, peuvent être simultanément présents et répartis dans une trame.

Les blocs de symboles pilotes peuvent être utilisés pour une estimation améliorée des valeurs du canal de transmission, qui tire avantage de la
20 diversité des symboles pilotes contenus dans chaque bloc.

Dans les trois cas envisagés dans les exemples des figures 2a à 2c décrites ci-dessus, les symboles pilotes ou blocs de symboles pilotes sont répartis en fréquence et en temps de manière à couvrir la trame selon une structure maillée définie par la direction de l'axe des fréquences d'une part, et
25 par la direction de l'axe des temps d'autre part.

Selon une caractéristique de l'invention, certains au moins des M sous-porteuses ne contiennent aucun symbole pilote. De manière alternative ou complémentaire, aucun symbole pilote n'est transmis à certains au moins des N temps symboles.

30 Il en résulte que des valeurs interpolées couvrant la quasi totalité des symboles de la trame ne peuvent être obtenue grâce à des interpolations fréquentielles seulement ou grâce à des interpolations temporelles seulement, comme c'est le cas dans l'état de la technique. Un procédé de poursuite du

canal plus complexe est requis, comme il sera décrit maintenant en regard du diagramme de la figure 3.

Grâce à cette caractéristique, il est toutefois possible de réduire le nombre de symboles pilotes contenus dans la trame, dans des proportions qui diffèrent selon la structure de trame et selon les caractéristiques de la propagation qui sont prises en compte lors du choix de la répartition des symboles pilotes.

Les caractéristiques de la propagation à travers le canal de transmission sont définies par la fréquence maximum des variations de l'évanouissement (appelée "fréquence de fading", dans le jargon de l'homme du métier) et le retard maximum entre les trajets multiples. Dans un exemple, pour une propagation de type HT ("Highly Terrain") qui est la plus contraignante, il est établi que la fréquence de fading est égale à 148,2 Hz (hertz) pour une vitesse maximum de déplacement des mobiles égale à 200 Km/h (kilomètre par heure) et pour une fréquence de porteuse égale à 400 MHz (Mégahertz), d'une part, et que le retard maximum entre les trajets multiples correspond à $\pm 7,5 \mu s$ (microseconde), soit un retard maximum entre le trajet le plus en avance et le trajet le plus en retard de 15 μs , d'autre part.

Afin de permettre de poursuivre le canal selon le procédé de l'invention, grâce à seulement des valeurs du canal estimées obtenues pour des symboles pilotes présents dans la trame, la répartition des symboles dans la trame doit respecter deux conditions respectivement appelée condition fréquentielle et condition temporelle et respectivement notées Cf et Ct dans la suite. Ces conditions sont dérivées de la condition de Shannon pour la reproductibilité des signaux échantillonnés. Elle s'expriment ici par :

Cf : l'espacement maximum entre deux symboles pilotes (ou blocs de symboles pilotes) adjacents suivant l'axe des fréquences est inférieur à l'inverse du retard maximum entre les trajets multiples à travers le canal de propagation ; de plus il est préférable d'avoir au moins 3 pilotes ou 3 blocs de pilotes placés espacés régulièrement ou non suivant l'axe des fréquences ;

Ct : l'espacement maximum entre deux symboles pilotes (ou blocs de symboles pilotes) adjacents suivant l'axe des temps doit être inférieur l'inverse de la fréquence de fading à travers le canal de propagation ; de plus il est

préférable d'avoir au moins 3 pilotes ou 3 blocs de pilotes placés espacés régulièrement ou non suivant l'axe des temps ;

En reprenant l'exemple d'une propagation de type HT considéré plus haut, on peut montrer que l'inverse du retard maximum ($1/15 \mu s$) est égal à 5 66,67 kHz (kilohertz). L'espacement maximum entre deux symboles pilotes adjacents suivant l'axe des fréquences doit alors être inférieur à 66,7 kHz. Dans le cas où l'espacement γ_0 entre les sous-porteuses est égal à 2 kHz, cela signifie qu'il doit y avoir, à un temps symbole déterminé, un symbole pilote transmis au minimum toutes les 33 sous-porteuses.

10 La condition supplémentaire préférée fera idéalement placer au moins 3 symboles ou 3 blocs de symboles sur l'axe fréquentiel quel que soit la largeur du canal et donc quel que soit le nombre de sous-porteuses.

De plus, on peut montrer que l'inverse de la fréquence de fading (qui est égale au double de la fréquence Doppler), est égal à 6,76 ms (millisecondes). 15 L'espacement entre symboles pilotes suivant l'axe des temps doit donc être inférieur à 6,76 ms. Dans le cas où un temps symbole est égal à 250 μs (c'est à dire un débit de 4 kilosymboles par sous-porteuse), cela signifie qu'il doit y avoir, pour une porteuse déterminée, au moins un symbole pilote tous les 27 symboles transmis.

20 La condition supplémentaire préférée fera idéalement placer au moins 3 symboles ou 3 blocs de symboles sur l'axe temporel quel que soit la durée de la trame et donc quel que soit le nombre de symboles transportés dans chaque trame sur chaque sous-porteuse.

La répartition des symboles pilotes dans la trame, ainsi que la valeur de 25 ces symboles pilotes, qui sont connues à la fois de l'émetteur et du récepteur puisqu'il s'agit d'une caractéristique intrinsèque de la structure de trame, est respectée par l'émetteur lors de la construction du signal émis.

Le diagramme de la figure 3 illustre de façon schématique les étapes du 30 procédé de poursuite de canal selon l'invention, qui sont mises en œuvre au niveau du récepteur. Ces étapes sont appliquées à une trame du signal telle que transmise à travers le canal de transmission et telle que reçue par le récepteur. Elles précèdent les opérations de démodulation proprement dites.

Dans une étape 31, on estime la valeur du canal à partir des symboles pilotes, de manière à produire des valeurs du canal estimées $C0_{m,n}$ pour au moins certains des symboles de la trame correspondant à des symboles pilotes. Il est possible que des valeurs estimées soient ainsi obtenues pour
5 l'ensemble des symboles de la trame correspondant à des symboles pilotes. Néanmoins, ceci n'est pas nécessairement le cas, en particulier lorsque l'estimation est réalisée par estimation conjointe des symboles pilotes d'un bloc. En effet, dans ce cas, il peut être suffisant de n'affecter la valeur estimée qui résulte de cette estimation conjointe, qu'à certains symboles pilotes du bloc
10 seulement, la valeur du canal correspondant aux autres symboles pilotes étant obtenue par l'une des étapes suivantes.

Les valeurs ainsi estimées sont stockées dans une structure mémoire ad hoc, par exemple un tableau ayant $M \times N$ cellules. Le schéma de la figure 4a montre le contenu d'une telle structure mémoire, par exemple un tableau de
15 valeurs, dans le cas de la trame montrée à la figure 2a.

Dans une étape 32, on effectue ensuite des premières interpolations, à partir desdites valeurs estimées stockées dans la structure mémoire, selon toutes les directions parallèles à la première direction déterminée et passant par au moins deux symboles pilotes différents, de manière à produire des
20 premières valeurs du canal interpolées $C1_{m,n}$ couvrant les symboles de la trame suivant toutes ces directions.

Lorsque la structure maillée est définie par la direction de l'axe des fréquences d'une part, et par la direction de l'axe des temps d'autre part, ces premières interpolations sont, selon un premier mode de réalisation, des
25 interpolations selon l'axe des fréquences. Il s'agit donc d'interpolations fréquentielles. Elles sont réalisées pour tous les temps symboles auxquels des symboles pilotes sont émis. Selon un second mode de réalisation, ces premières interpolations sont des interpolations selon l'axe des temps. Il s'agit donc d'interpolations temporelles. Elles sont réalisées pour toutes les sous-
30 porteuses contenant des symboles pilotes.

Les valeurs ainsi interpolées sont stockées dans la structure mémoire précitée. Dans le cas par exemple du premier mode de réalisation précité

(interpolations fréquentielles) cette structure mémoire contient alors des valeurs $C1_{m,n}$ comme montré sur la figure 4b, c'est-à-dire avec m compris entre 1 et M et avec $n=1+4j$, où j est un nombre entier compris entre 0 et 3. Dans le cas par exemple du second mode de réalisation précité (interpolations temporelles) cette structure mémoire contient alors des valeurs $C1_{m,n}$ comme montré sur la figure 4c, c'est-à-dire avec $m=1+3j$, où j est un nombre entier compris entre 0 et 2, et avec n compris entre 1 et N .

Dans une étape 33, on effectue ensuite des secondes interpolations, à partir des premières valeurs interpolées stockées dans la structure mémoire, selon toutes les directions parallèles à ladite seconde direction déterminée, de manière à produire des secondes valeurs du canal interpolées $C2_{m,n}$ pour sensiblement la totalité des symboles de la trame.

Les valeurs ainsi interpolées sont stockées dans la structure mémoire précitée. Cette structure mémoire contient alors des valeurs $C2_{m,n}$ comme montré sur la figure 4d, c'est-à-dire avec m compris entre 1 et M et avec n compris entre 1 et N .

Lorsque la structure maillée est définie par la direction de l'axe des fréquences d'une part, et par la direction de l'axe des temps d'autre part, ces secondes interpolations sont des interpolations temporelles dans le premier mode de réalisation précité, et des interpolations fréquentielles dans le second mode de réalisation précité. Ces interpolations sont réalisées pour tous les temps symboles ou pour toutes les sous-porteuses, respectivement dans le premier ou dans le second modes de réalisation précités.

On notera que les secondes interpolations sont réalisées à partir des valeurs obtenues par les premières interpolations, c'est-à-dire à partir de valeurs qui peuvent être des valeurs interpolées (et non forcément des valeurs estimées).

De manière connue en soi, les premières interpolations 32 et/ou les secondes interpolations 33 comprennent chacune, successivement une opération de transformation de Fourier (DFT) ou de transformation de Fourier inverse (IDFT), puis une opération de bourrage de zéro ("0 padding" en

anglais), et enfin une opération de transformation de Fourier inverse (IDFT) ou de transformation de Fourier (DFT) respectivement.

Il est possible, dans certains cas, que les secondes interpolations ne suffisent pas à reconstituer les valeurs du canal correspondant à tous les symboles de la trame. Notamment, les valeurs du canal correspondant aux symboles situés aux limites de la trame peuvent ne pas pouvoir être ainsi obtenues.

Le cas échéant, dans une étape 34 (figure 3), on affecte alors à chaque valeur du canal correspondant à un symbole de la trame non couvert par les secondes interpolation, respectivement la valeur du canal interpolée correspondant au symbole de la trame le plus proche qui est couvert par ces secondes interpolations (i.e., pour lequel il existe une seconde valeur du canal interpolée).

Dans ce qui précède, on a considéré que la structure maillée correspondant à la répartition des symboles pilotes dans la trame était définie par la direction de l'axe des fréquences d'une part et par la direction de l'axe des temps d'autre part. Ceci ne constitue néanmoins qu'un cas particulier, qui est commode pour la description de l'invention et pour la mise en oeuvre des premières et secondes interpolations. Néanmoins, ceci n'est nullement obligatoire.

En effet, dans le cas général, les symboles pilotes peuvent être répartis en fréquence et en temps dans la trame de manière à couvrir la trame selon une structure maillée définie par une première et une seconde directions déterminées correspondant à des vecteurs non-colinéaires. Ces directions sont donc non parallèles entre elles et inclinées par rapport aux directions de l'axe des fréquences et de l'axe temps.

Si l'on considère à nouveau le cas de la figure 2a, ces première et seconde directions peuvent être des diagonales non parallèles passant par des symboles pilotes tels que 21.

Dans ce cas, la condition Cf ci-dessus s'exprime de la manière suivante :

Cf : la projection sur l'axe des fréquences de l'espacement maximum entre deux symboles pilotes ou blocs de symboles pilotes adjacents suivant à

la fois ladite première direction et ladite seconde direction est inférieure à l'inverse du retard maximum entre les trajets multiples à travers le canal de propagation ;

De même; la condition C_t ci-dessus s'exprime de la manière suivante :

- 5 C_t : la projection sur l'axe des temps de l'espacement maximum entre deux symboles pilotes ou blocs de symboles pilotes adjacents suivant à la fois ladite première direction et ladite seconde direction est inférieure à l'inverse de la fréquence de fading à travers le canal de transmission.

10 Bien qu'étant a priori moins naturel, le cas d'une structure maillée définie par une première et une seconde direction déterminées correspondant à des directions différentes de celle de l'axe des fréquences (ou de l'axe des temps) et de l'axe des temps (ou de l'axe des fréquences respectivement), peut dans certains cas permettre de réduire encore l'overhead de la transmission. Un compromis devra alors être trouvé avec l'augmentation de la complexité du

15 traitement qui en résulte.

 Il a été mentionné plus haut, au sujet de la notion de bloc de symbole pilotes au sens du présent exposé, une double condition de stationnarité en temps et de stationnarité en fréquence du canal de propagation. Ces deux conditions peuvent se traduire en termes d'espacement maximum des

20 symboles pilotes, ainsi qu'il va maintenant être explicité.

 Comme il a été dit précédemment en ce qui concerne l'exemple d'une propagation de type HT (pour une vitesse maximale de mobile V de 200 Km/h, pour une fréquence f_c porteuse de 400 MHz et pour un débit de 4 kilosymboles par sous-porteuses), la trame doit comprendre des symboles pilotes (ou des

25 blocs de pilotes) avec un espacement sur l'axe des temps (ou un espacement projeté sur l'axe des temps), appelé espacement temporel, qui doit être inférieur à l'inverse de la fréquence du fading, c'est-à-dire qu'elle doit comprendre un symbole pilote tous les 27 symboles au maximum.

 Cet espacement maximum de 27 symboles sur l'axe des temps

30 correspond à un échantillonnage du canal de propagation (fading) effectué plus rapidement (même seulement légèrement plus rapidement) que l'occurrence des trous de fading (passage par zéro du fading sur l'axe temporel) successifs. Entre deux trous de fading successifs, la

phase du fading a tourné de Π (nombre Π). Sur, par exemple, un dixième de cette période entre trous de fading, c'est à dire sur une période correspondant à 2,7 symboles successifs (dans la suite on considérera pour des raisons pratiques un groupe ayant 2 symboles successifs suivant l'axe des temps), le fading aura tourné de $\Pi/27$. Si le fading au milieu de cette période de 2 symboles a une certaine valeur F_m déterminée, le fading à la fin de cette période de 2 symboles aura une valeur F_f qui sera très proche de $F_m * e^{i * \Pi * 1/54}$. Donc on a une erreur quadratique donnée par :

$$10 \quad \varepsilon_f^2 = \|F_m - F_f\|^2 = \|F_m\|^2 * (2 * \sin(\Pi / (2 * 54)))^2 = \|F_m\|^2 * 0,00338$$

Soit un rapport signal sur bruit de : 24,71 dB.

De même si le fading au début de cette période de 2 symboles a une certaine valeur F_d déterminée, on a au milieu de cette période une erreur quadratique donnée par :

$$15 \quad \varepsilon_d^2 = \|F_m - F_d\|^2 = \|F_m\|^2 * (2 * \sin(\Pi / (2 * 54)))^2 = \|F_m\|^2 * 0,00338$$

Soit le même rapport signal à bruit de 24,71 dB.

On peut donc considérer sans aucun inconvénient que le canal est stationnaire en temps sur une durée correspondant à 2 temps symboles successifs.

20 De même, on a dit précédemment que (pour une propagation de type HT, qui présente un retard maximum entre trajets de 15 μ s, et pour un espacement entre sous-porteuses de 2 kHz) la trame doit comprendre des symboles pilotes (ou des blocs de pilotes) avec un espacement suivant l'axe des fréquences (ou un espacement projeté sur l'axe des fréquences), appelé

25 espacement fréquentiel, qui doit être inférieur à l'inverse du retard maximum entre les trajets multiples, soit un symbole pilote toutes les 33 sous-porteuses au maximum. Cet espacement de 33 sous-porteuses sur l'axe des fréquences correspond à un échantillonnage du canal en fréquentiel plus fréquemment (même seulement légèrement plus fréquemment) que l'occurrence des trous

30 de sélectivité fréquentielle (passage par zéro du niveau du signal reçu à certaines fréquences) successifs. Entre deux trous de sélectivité fréquentielle successifs la phase du fading a tourné de Π . Sur, par exemple, un dixième de

cet espace entre trous de sélectivité fréquentielle, c'est à dire 3,3 sous-porteuses (on considèrera, pour des raisons pratiques, 3 sous-porteuses), le fading aura tourné de $\Pi * 2/33$. Si le fading au milieu de ces 3 sous-porteuses a une certaine valeur f_m déterminée, le fading pour la sous-porteuse la plus élevée en fréquence de ce groupe de 3 sous-porteuses aura une valeur f_f qui sera très proche de $f_m * e^{i * \Pi/33}$.

Donc on a une erreur quadratique donnée par :

$$\varepsilon_f^2 = \|F_m - F_f\|^2 = \|F_m\|^2 * (2 * \sin(\Pi/(2 * 33)))^2 = \|F_m\|^2 * 0,00906$$

Soit un rapport signal sur bruit de 20,43 dB.

10 De même si le fading pour la sous-porteuse la moins élevée en fréquence de ce groupe de 3 sous-porteuses a une valeur F_d déterminée, on a en milieu de cette période une erreur quadratique donnée par :

$$\varepsilon_d^2 = \|F_m - F_d\|^2 = \|F_m\|^2 * (2 * \sin(\Pi/(2 * 33)))^2 = \|F_m\|^2 * 0,00906$$

Soit le même rapport signal à bruit de 20,43 dB.

15 On peut donc considérer sans aucun inconvénient que le canal est stationnaire en fréquence sur 3 sous-porteuses successives.

En conséquence de ce qui précède, des symboles pilotes qui ne sont pas espacés de plus de deux symboles suivant l'axe des temps ni de plus de trois symboles suivant l'axe des fréquence peuvent être considérés comme
20 satisfaisant une double condition de stationnarité en temps et en fréquence.

On notera que les considérations sur la stationnarité du fading sont à évaluer en fonction du problème à traiter, c'est-à-dire notamment des caractéristiques de la propagation envisagée, de la vitesse du mobile, de la fréquence porteuse.

25 Dans des exemples, la trame comprend des blocs de symboles pilotes (définis en ce sens qu'un bloc de symboles pilote est un groupe de symboles pilotes adjacents ou non pour lesquels est satisfaite la condition de stationnarité en temps et de stationnarité en fréquence du canal de transmission.

30 Notamment, on peut prévoir que la trame comprend au moins un bloc de six symboles pilotes dont les dimensions suivant l'axe des fréquences et

suivant l'axe des temps correspondent respectivement à trois symboles et à deux symboles.

En variante ou en complément, on peut prévoir que la trame comprend au moins un bloc de trois symboles pilotes dont les dimensions suivant l'axe
5 des fréquences et suivant l'axe des temps correspondent respectivement à un symboles et à trois symboles.

En variante ou en complément, on peut encore prévoir que la trame comprend au moins un bloc de trois symboles pilotes dont les dimensions suivant l'axe des fréquences et suivant l'axe des temps correspondent
10 respectivement à deux symboles et à deux symboles.

Le diagramme de la figure 5 représente la structure d'une trame d'un signal multiporteuse selon un exemple de réalisation de l'invention.

Dans cet exemple, le signal occupe une bande de fréquence $B = 44$ kHz (kilohertz) à l'intérieur d'un canal de 50 kHz de large. De plus l'espacement
15 entre les sous-porteuses est $\gamma_0 = 2$ kHz. La trame comporte donc $M = 22$ sous-porteuses.

En outre la durée de la trame est $D = 20$ ms (milliseconde). Le débit sur chaque sous-porteuse est de 4 kilosymboles/s donc l'espacement temporel entre les symboles est $\tau_0 = 250$ μ s. Dit autrement, la trame comporte $N = 80$
20 temps symboles.

La trame comporte donc $M \times N = 1760$ symboles. Parmi ceux-ci, il y a 206 symboles qui sont des symboles pilotes. Dit autrement, $P=206$.

Selon cet exemple, la trame comporte 32 blocs tels que 51, de six (6) symboles pilotes chacun, dont les dimensions suivant l'axe des fréquences et
25 suivant l'axe des temps correspondent respectivement à trois (3) symboles et à deux (2) symboles. Leurs emplacements respectifs dans la trame, repérés par l'emplacement du symbole pilote du bloc considéré qui est dans la sous-porteuse de fréquence la plus basse et dans le temps symbole transmis en premier (i.e., le symbole le plus en bas et le plus à gauche), sont les
30 emplacements des symboles $S_{m,n}$ (on rappelle que m et n sont des indices entiers qui repèrent la position du symbole suivant l'axe des fréquences et suivant l'axe des temps respectivement), avec m compris dans l'ensemble

$\{1,7,14,20\}$ et avec $n=1+11 \times j$, où j est un nombre entier compris dans l'ensemble $[0;7]$.

Ces 32 blocs sont utilisés pour la poursuite du canal selon le procédé qui a été décrit plus haut.

- 5 En outre, la trame comporte en outre un premier bloc supplémentaire 52 de six symboles pilotes dont les dimensions suivant l'axe des fréquences et suivant l'axe des temps correspondent respectivement à trois symboles et à deux symboles.

- 10 Elle comporte aussi un second bloc supplémentaire 53 de huit symboles pilotes dont les dimensions suivant l'axe des fréquences et suivant l'axe des temps correspondent respectivement à quatre symboles et à deux symboles.

- 15 Les emplacements respectifs du bloc supplémentaire 52 et du bloc supplémentaire 53 dans la trame, repérés par l'emplacement du symbole pilote du bloc considéré qui est dans la sous-porteuse de fréquence la plus basse et dans le temps symbole transmis en premier (i.e., le symbole le plus en bas et le plus à gauche), sont les emplacements des symboles $S_{m,n}$ avec le couple (m,n) compris dans l'ensemble de couples $\{(4,1),(10,1)\}$. Dit autrement, les blocs 52 et 53 sont positionnés sur les symboles $S_{4,1}$ et $S_{10,1}$ respectivement.

- 20 Les blocs de symboles pilotes supplémentaires 52 et 52, en combinaison avec les blocs 51 qui leurs sont adjacents, sont utilisés par le récepteur pour la synchronisation de trame.

REVENDEICATIONS

1. Signal multiporteuses construit sur un réseau temps-fréquence défini par un axe des fréquence et un axe des temps, le signal comprenant des trames ayant $M \times N$ symboles répartis sur M sous-porteuses dont chacune est divisée en N temps symboles déterminés, chaque trame comprenant P symboles pilotes répartis en temps et en fréquence de manière à couvrir la trame selon une structure maillée définie par une première et une seconde directions déterminées correspondant à des vecteurs non-colinéaires, où les nombres M , N et P sont des nombres entiers non nuls, de telle sorte que d'une part la projection sur l'axe des fréquences de l'espacement maximum entre deux symboles pilotes ou blocs de symboles pilotes adjacents suivant à la fois ladite première direction et ladite seconde direction soit inférieure à la moitié de l'inverse du retard maximum entre les trajets multiples à travers le canal de propagation, et que, d'autre part, la projection sur l'axe des temps de l'espacement maximum entre deux symboles pilotes ou blocs de symboles pilotes adjacents suivant à la fois ladite première direction et ladite seconde direction soit inférieure à la moitié de l'inverse de la fréquence de fading à travers le canal de transmission, et de telle sorte, en outre, que certaines au moins des M sous-porteuses ne contiennent aucun symbole pilote et/ou qu'aucun symbole pilote ne soit transmis à certains au moins des N temps symboles.

2. Signal selon la revendication 1, dans lequel ladite première direction est la direction de l'axe de fréquence et ladite seconde direction est la direction de l'axe des temps.

25

3. Signal selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans lequel la trame comprend des blocs de symboles pilotes, un bloc de symboles pilote étant un groupe de symboles pilotes pour lesquels est satisfaite une condition de stationnarité en temps et une condition de stationnarité en fréquence du canal de transmission.

30

4. Signal selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la trame comprend au moins trois symboles pilotes ou blocs de symboles pilotes espacés suivant l'axe des fréquences et/ou au moins trois symboles pilotes ou trois blocs de symboles pilotes espacés suivant l'axe des temps.

5. Signal selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la trame comprend au moins un bloc de six symboles pilotes, dont les dimensions suivant l'axe des fréquences et suivant l'axe des temps correspondent respectivement à trois symboles et à deux symboles.

6. Signal selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la trame comprend au moins un bloc de trois symboles pilotes, dont les dimensions suivant l'axe des fréquences et suivant l'axe des temps correspondent respectivement à un symboles et à trois symboles.

7. Signal selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la trame comprend au moins un bloc de trois symboles pilotes, dont les dimensions suivant l'axe des fréquences et suivant l'axe des temps correspondent respectivement à deux symboles et à deux symboles.

8. Signal selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel $M=22$, $N=80$ et $P=206$.

9. Signal selon la revendication 8, dans lequel la trame comporte 32 blocs de six symboles pilotes chacun, dont les dimensions suivant l'axe des fréquences et suivant l'axe des temps correspondent respectivement à trois symboles et à deux symboles, et dont les emplacements respectifs dans la trame, repérés par l'emplacement du symbole pilote du bloc considéré qui est dans la sous-porteuse de fréquence la plus basse et dans le temps symbole transmis en premier, sont les emplacements des symboles $S_{m,n}$, où m et n sont des indices entiers qui repèrent la position du symbole suivant l'axe des

fréquences et suivant l'axe des temps respectivement, avec m compris dans l'ensemble $\{1,7,14,20\}$ et avec $n = 1 + 11 \times j$, où j est un nombre entier compris dans l'ensemble $[0;7]$.

- 5 10. Signal selon la revendication 9, dans lequel la trame comporte en outre un premier bloc supplémentaire de six symboles pilotes dont les dimensions suivant l'axe des fréquences et suivant l'axe des temps correspondent respectivement à trois symboles et à deux symboles, ainsi qu'un
- 10 second bloc supplémentaire de huit symboles pilotes dont les dimensions suivant l'axe des fréquences et suivant l'axe des temps correspondent respectivement à quatre symboles et à deux symboles, les emplacements respectifs de ces premier et second blocs supplémentaires dans la trame, repérés par l'emplacement du symbole pilote du bloc considéré qui est dans la sous-porteuse de fréquence la plus basse et dans le temps symbole transmis
- 15 en premier, sont les emplacements des symboles $S_{m,n}$ avec le couple (m,n) compris dans l'ensemble de couples $\{(4,1),(10,1)\}$.

11. Procédé de poursuite d'un canal de transmission à partir d'un signal multiporteuses selon l'une quelconque des revendications précédentes,
- 20 comprenant les étapes suivantes :

- a) estimation du canal à partir des symboles pilotes, de manière à produire des valeurs du canal estimées pour au moins certains des symboles de la trame qui correspondent à des symboles pilotes ;
- b) premières interpolations, à partir desdites valeurs estimées, selon
- 25 toutes les directions parallèles à ladite première direction déterminée et passant par au moins deux symboles pilotes différents pour lesquels il existe une valeur du canal estimée, de manière à produire des premières valeurs du canal interpolées pour les symboles de la trame suivant toutes ces directions ;
- c) secondes interpolations, à partir desdites premières valeurs
- 30 interpolées, selon toutes les directions parallèles à ladite seconde direction déterminée et passant par au moins deux symboles pour lesquels il existe une première valeur interpolée, de manière à produire des secondes valeurs du canal interpolées pour sensiblement la totalité des symboles de la trame ;

d) le cas échéant, affectation à chaque symbole de la trame pour lequel il n'existe aucune seconde valeur du canal interpolée, respectivement de la valeur du canal interpolée pour le symbole de la trame qui en est le plus proche et pour lequel il existe une seconde valeur du canal interpolée.

5

12. Procédé selon la revendication 11, suivant lequel l'étape d'estimation du canal est réalisée par une estimation conjointe à partir des symboles pilotes de blocs de symboles pilotes, un bloc de symboles pilote étant un groupe de symboles pilotes pour lesquels est satisfaite une condition de stationnarité en
10 temps et une condition de stationnarité en fréquence du canal de transmission,.

13. Procédé selon la revendication 11 ou la revendication 12, suivant lequel, ladite première direction étant la direction de l'axe de fréquence et ladite seconde direction étant la direction de l'axe des temps, lesdites première
15 interpolations sont des interpolations temporelles, et lesdites secondes interpolations sont des interpolations fréquentielles.

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 11 à 13, suivant lequel les premières interpolations (32) et/ou les secondes interpolations (33)
20 comprennent successivement une opération de transformation de Fourier ou de transformation de Fourier inverse, une opération de bourrage de zéro, et une opération de transformation de Fourier inverse ou de transformation de Fourier respectivement.

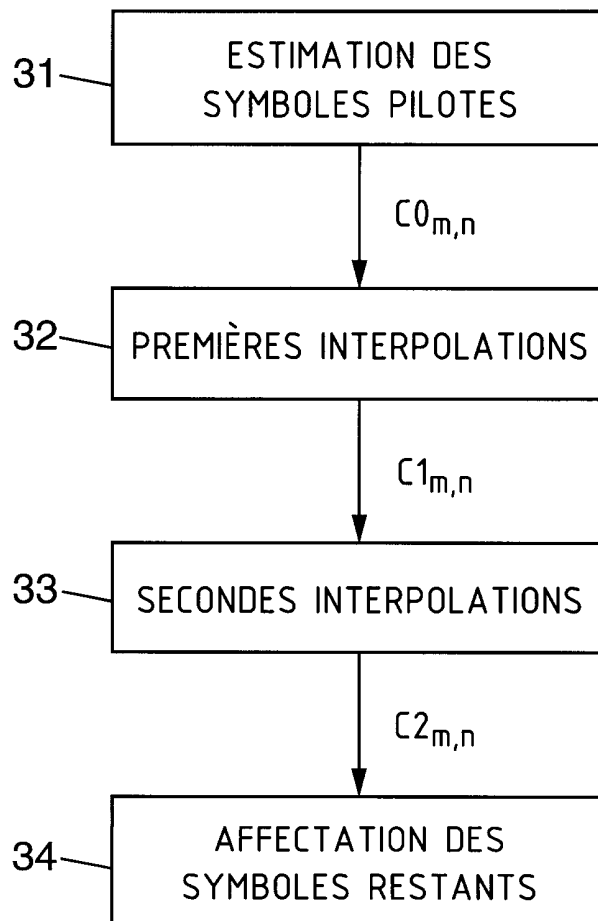
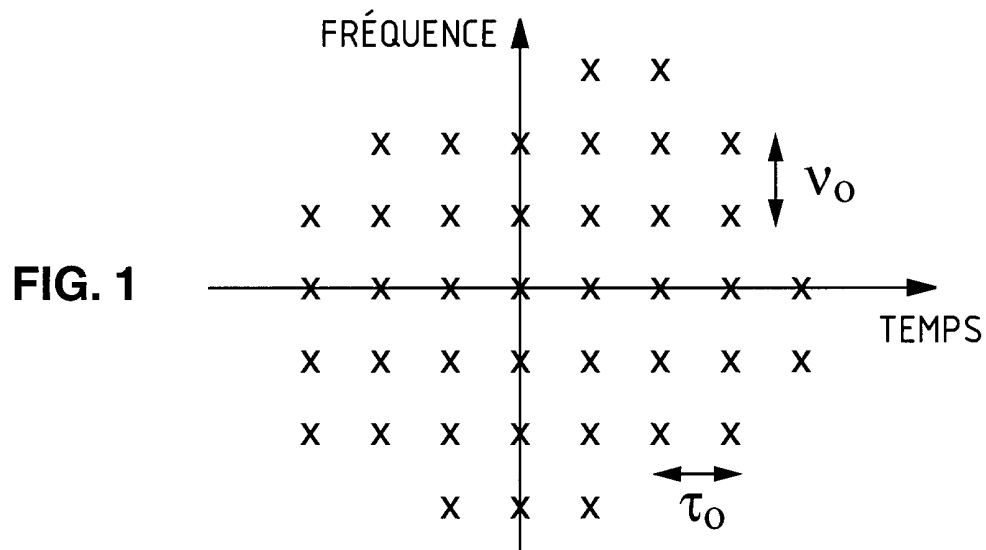
25 15. Dispositif pour la mise en œuvre d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 11 à 14, comprenant :

- des moyens d'estimation du canal à partir des symboles pilotes, permettant de produire des valeurs du canal estimées pour au moins certains des symboles de la trame qui correspondent à des symboles pilotes ;
- 30 - des premiers moyens d'interpolation, pour effectuer des premières interpolations à partir desdites valeurs estimées, selon toutes les directions parallèles à ladite première direction déterminée et passant par au moins deux symboles pilotes différents pour lesquels il existe une valeur du canal estimée,

de manière à produire des premières valeurs du canal interpolées pour les symboles de la trame suivant toutes ces directions ;

- des second moyens d'interpolation, pour effectuer des secondes interpolations, à partir desdites premières valeurs interpolées, selon toutes les directions parallèles à ladite seconde direction déterminée et passant par au moins deux symboles pour lesquels il existe une première valeur interpolée, de manière à produire des secondes valeurs du canal interpolées pour sensiblement la totalité des symboles de la trame.

- 10 16. Dispositif selon la revendication 15, comprenant en outre des moyens d'affectation, pour affecter à chaque symbole de la trame pour lequel il n'existe aucune seconde valeur du canal interpolée, la valeur du canal interpolée pour le symbole de la trame qui en est le plus proche et pour lequel il existe une seconde valeur du canal interpolée.



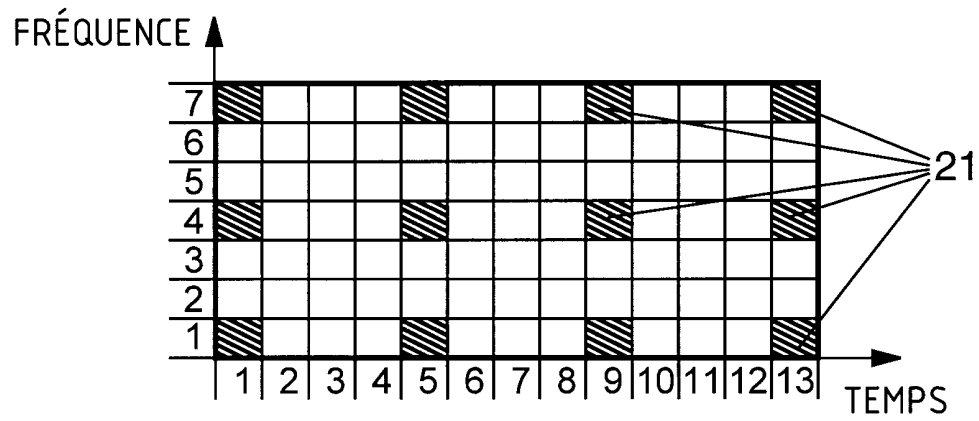


FIG. 2a

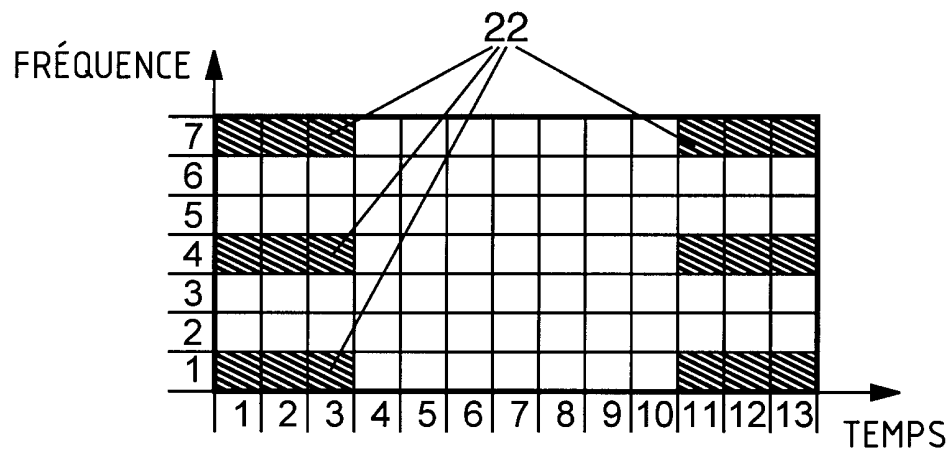


FIG. 2b

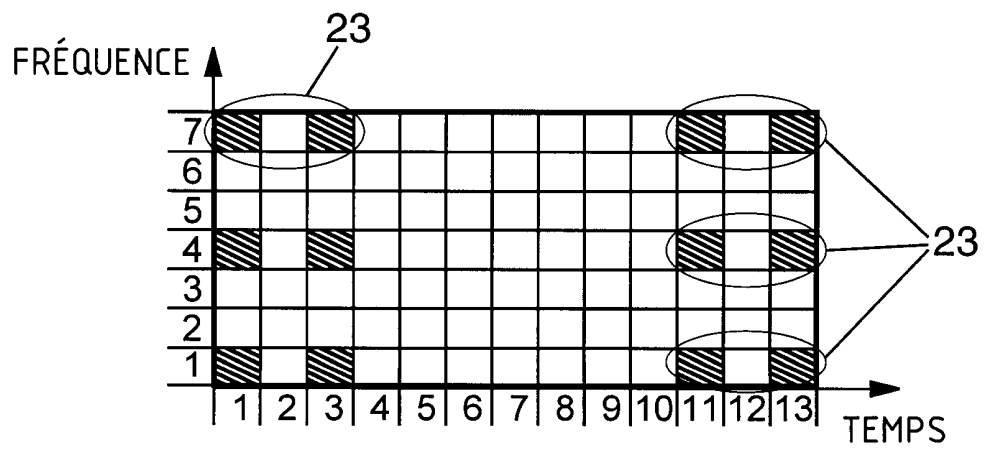


FIG. 2c

7	C0				C0				C0				C0
6													
5													
4	C0				C0				C0				C0
3													
2													
1	C0				C0				C0				C0
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

FIG. 4a

7	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1
6													
5													
4	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1
3													
2													
1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1	C1
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

FIG. 4b

7	C1				C1				C1				C1
6	C1				C1				C1				C1
5	C1				C1				C1				C1
4	C1				C1				C1				C1
3	C1				C1				C1				C1
2	C1				C1				C1				C1
1	C1				C1				C1				C1
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

FIG. 4c

7	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2
6	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2
5	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2
4	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2
3	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2
2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2
1	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2	C2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

FIG. 4d

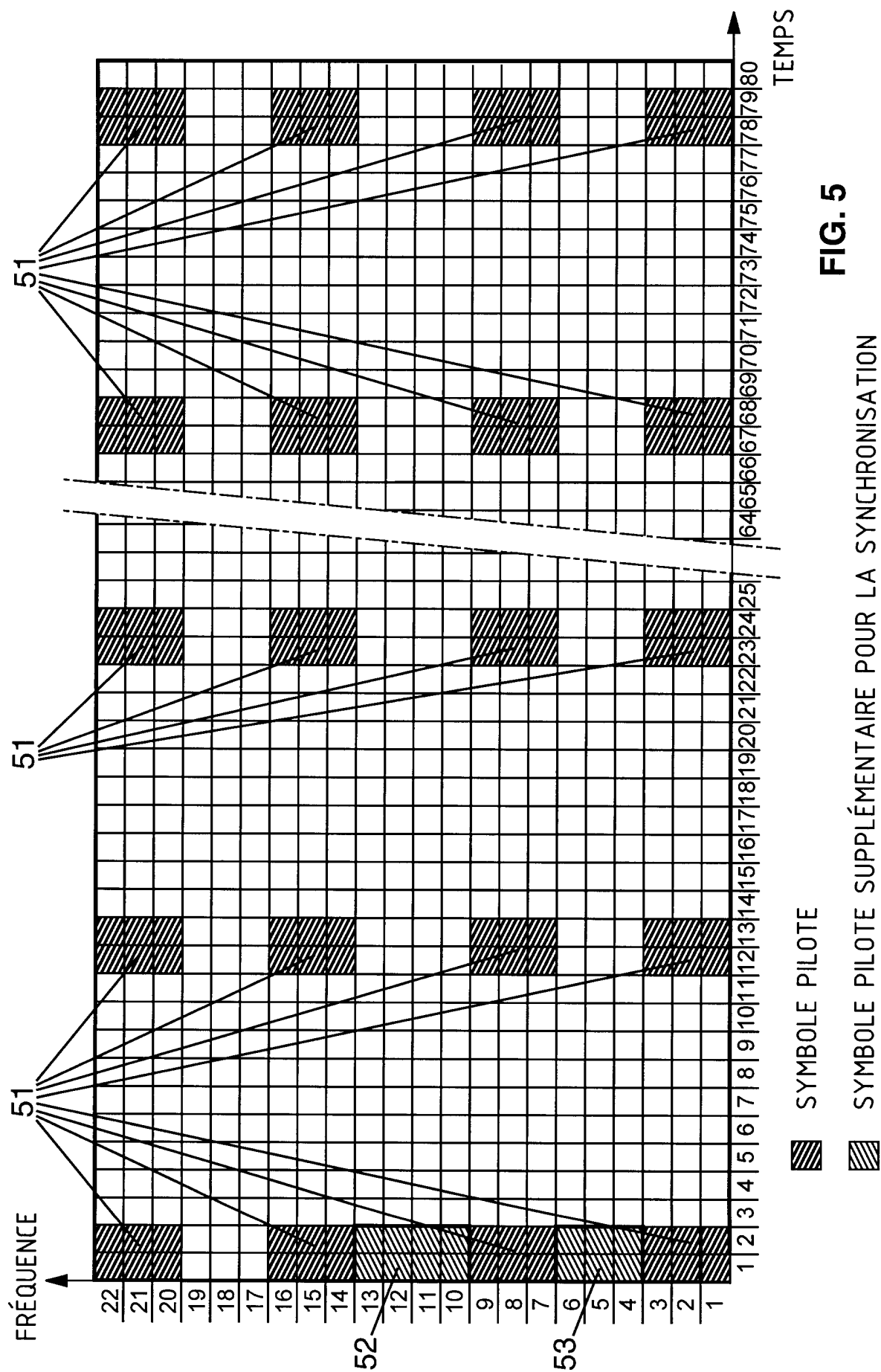


FIG. 5



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

2829642

N° d'enregistrement
national

FA 607435
FR 0111817

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	VOOK, BAUM: "Adaptive antennas for OFDM" IEEE VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE, 18 mai 1998 (1998-05-18) - 21 mai 1998 (1998-05-21), pages 606-610, XP010287858 New York, US * figure 2 *	3-7,9,10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
A	MUNSTER ET AL: "Co-channel interference suppression assisted adaptive OFDM in interference limited environments" IEEE VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE, 19 - 22 septembre 1999, pages 284-288, XP002143788 New York, US * page 287, colonne de droite *	3-7,9,10	
A	SCHRUFER: "Interpolation bei der Diskreten Fourier-Transformation durch Einfügen von Nullen" TECHNISCHES MESSEN TM, vol. 61, no. 2, 1 février 1994 (1994-02-01), pages 89-93, XP000429833 München, DE * abrégé *	14	
A	CHIEN-MIN KAO ET AL.: "An interpolation method using signal recovery and discrete Fourier transform" NUCLEAR SCIENCE SYMPOSIUM, 8 - 14 novembre 1998, pages 1387-1391, XP010338312 New York, US ISBN: 0-7803-5021-9 * section I. Introductio *	14	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
6 mai 2002		Scriven, P	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

2

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0111817 FA 607435**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 06-05-2002
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0441731 A	14-08-1991	FR 2658016 A1	09-08-1991
		DE 69123858 D1	13-02-1997
		DE 69123858 T2	24-07-1997
		EP 0441731 A1	14-08-1991
		US 5274629 A	28-12-1993
EP 0549445 A	30-06-1993	FR 2685839 A1	02-07-1993
		CA 2086295 A1	27-06-1993
		DE 69224278 D1	05-03-1998
		DE 69224278 T2	14-05-1998
		EP 0549445 A1	30-06-1993
		ES 2111624 T3	16-03-1998
		US 5572548 A	05-11-1996
EP 0734132 A	25-09-1996	JP 3145003 B2	12-03-2001
		JP 8265293 A	11-10-1996
		CA 2171418 A1	24-09-1996
		CN 1138256 A	18-12-1996
		EP 0734132 A2	25-09-1996
		KR 197846 B1	15-06-1999
		US 5771224 A	23-06-1998