

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11) N° de publication : 2 860 666
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

21) N° d'enregistrement national : 03 11647

51) Int Cl⁷ : H 04 B 7/06, H 04 J 13/00

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 03.10.03.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 08.04.05 Bulletin 05/14.

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

60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71) Demandeur(s) : FRANCE TELECOM Société anonyme — FR.

72) Inventeur(s) : LE NIR VINCENT et HELARD MARYLINE.

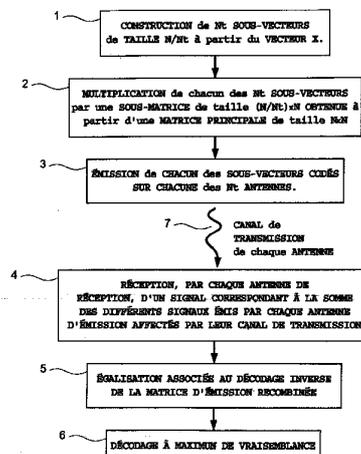
73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : CABINET PATRICE VIDON.

54) PROCÉDE D'ÉMISSION MULTI-ANTENNES D'UN SIGNAL PAR CODES ESPACES-TEMPS EN BLOC, PROCÉDE DE RECUPERATION ET SIGNAL CORRESPONDANT.

57) L'invention concerne un procédé d'émission d'un signal formé de vecteurs successifs comprenant chacun N symboles à émettre, et mettant en oeuvre au moins deux antennes d'émission.

Selon l'invention, on associe à chacune desdites antennes une sous-matrice distincte, lesdites sous-matrices étant obtenues par découpage d'une matrice carrée unitaire, et chacune desdites antennes émet des sous-vecteurs, obtenus par découpage desdits vecteurs, multipliés respectivement par lesdites sous-matrices, de façon à former, vu d'un récepteur, un signal combiné unique représentatif de la multiplication desdits vecteurs par ladite matrice unitaire.



FR 2 860 666 - A1



Procédé d'émission multi-antennes d'un signal par codes espace-temps en bloc, procédé de réception et signal correspondant.

1. Domaine de l'invention

Le domaine de l'invention est celui des communications numériques sans
5 fil. Plus précisément, l'invention concerne l'émission/réception d'un signal
mettant en œuvre un nouveau type de code espace-temps en bloc dans le cadre
d'un système multi-antennes de type MIMO (« Multiple Input Multiple Output »
pour « Entrées Multiples Sorties Multiples ») ou MISO (« Multiple Input Single
Output » pour « Entrées Multiples Sortie Unique »).

10 L'invention s'applique ainsi particulièrement aux systèmes de
transmission mettant en œuvre une pluralité d'antennes (au moins deux) à
l'émission et/ou à la réception. L'invention est donc bien adaptée aux récepteurs
pour codes espace-temps non-orthogonaux à N_t antennes d'émission et N_r
antennes de réception.

15 L'invention trouve des applications dans le domaine des
radiocommunications, notamment pour les systèmes de troisième, quatrième
générations et suivantes.

2. Solutions de l'art antérieur

On connaît déjà plusieurs systèmes d'émission/réception comprenant
20 plusieurs antennes d'émission et utilisant des codes espace-temps. Les premiers
systèmes proposés utilisaient tous des codes espace-temps en blocs orthogonaux.

Ainsi, Alamouti, dans "A Simple Transmit Diversity Technique for
Wireless Communications", IEEE J. Sel. Areas Comm., 1998, 16, (8), pp. 1451-
1458, a présenté le premier système utilisant un code espace-temps en blocs
25 orthogonal à rendement de 1 (où le rendement est défini comme le rapport entre le
nombre N de symboles émis et le nombre L de temps symboles pendant lequel ils
sont émis), pour deux antennes d'émission.

Tarokh et al. ("Space-time block codes from orthogonal designs", IEEE
Trans. on Information Theory, 1999, 45, (5), pp. 1456-1467) ont ensuite
30 généralisé les codes espace-temps en blocs orthogonaux aux systèmes comprenant

trois ou quatre antennes d'émission. Cependant, les rendements $R=N/L$ obtenus n'étaient que de $1/2$ ou $3/4$.

Les travaux suivants ont conduit à envisager l'utilisation de codes espace-temps en blocs non-orthogonaux. Ainsi Jafarkhani ("A quasi-Orthogonal Space-Time Block Code", IEEE Trans. Comm., 2001, 49, (1), pp1-4) et Tirkonnen et al. ("Minimal non-orthogonality rate one space-time block code for 3+ Tx antennas", ISSSTA, 2000, pp 429-432) ont trouvé des codes espace-temps en blocs non orthogonaux pour un système de quatre antennes, présentant un rendement de 1.

Par la suite, Damen et al. ("Diagonal Algebraic Space-Time Block Codes", IEEE Trans. Inf. Theory, 2002, 48, (3), pp 628-626) ont envisagé d'utiliser des codes espace-temps non-orthogonaux, basés sur une construction d'Hadamard et d'autres rotations avec un nombre d'antennes d'émission égal à la taille de la matrice de code.

Xin et al., dans "Time Constellation-Rotating Codes Maximizing Diversity and Coding Gains", GLOBECOM, San Antonio, 2001, pp 455-459, ont ensuite présenté d'autres codes espace-temps basés sur des rotations.

3. Inconvénients de l'art antérieur

Un inconvénient des codes espace-temps orthogonaux d'Alamouti ou Tarokh est qu'ils nécessitent que les canaux soient constants sur une durée L , correspondant au nombre de temps-symboles pendant lequel les symboles sont émis.

De tels codes imposent donc de fortes contraintes sur le système d'émission/réception, et ne permettent pas d'exploiter la diversité du canal.

Un inconvénient des codes espace-temps non-orthogonaux, proposés par Jafarkhani, Tirkonnen, Damen ou Xin est qu'ils nécessitent que le canal soit constant sur une durée $L=Nt$, où Nt est le nombre d'antennes à l'émission. Ceci est particulièrement vrai pour les codes de Damen et de Xin.

En d'autres termes, un inconvénient majeur de tous les codes espace-temps proposés dans la littérature est qu'ils imposent de se placer dans le cas d'un canal

quasi-statique, ce qui est particulièrement restrictif, et ne permet pas d'exploiter la diversité du canal.

En outre, les codes de Jafarkhani et Tirkonnen imposent un décodage à Maximum de Vraisemblance (MV ou ML pour "Maximum Likelihood"), qui présente une complexité s'accroissant de manière exponentielle avec l'ordre de la modulation et la taille du code.

Enfin, un autre inconvénient des codes espace-temps algébrique de Damen, qui reposent sur une construction d'Hadamard, est qu'ils doivent être émis suivant une forme matricielle particulière. Ils ne permettent donc pas de réaliser un choix de codage souple, suivant les variations du canal.

4. Objectifs de l'invention

L'invention a notamment pour objectif de pallier ces inconvénients de l'art antérieur.

Plus précisément, un objectif de l'invention est de fournir une technique d'émission d'un signal mettant en œuvre des codes espace-temps présentant des performances accrues par rapport aux codes espace-temps de l'art antérieur.

Un autre objectif de l'invention est de mettre en œuvre une telle technique qui n'impose aucune condition particulière quant à la non-variation du canal sur une durée finie ou un nombre de durées symbole donné.

L'invention a encore pour objectif de fournir une telle technique qui soit adaptée aux systèmes multi-antennes de type MIMO et MISO. Plus particulièrement, l'invention a pour objectif de fournir une telle technique qui permette un rendement de codage constant égal à 1, quel que soit le nombre d'antennes.

L'invention a également pour objectif de mettre en œuvre une telle technique qui présente des performances en taux d'erreur binaire obtenues à haut rapport signal à bruit supérieures à celles des techniques de l'art antérieur.

Encore un objectif de l'invention est de fournir une telle technique qui soit facilement adaptable à différentes configurations, telles qu'à une augmentation du nombre d'antennes ou de la taille du code utilisé.

Un autre objectif de l'invention est de mettre en œuvre une telle technique qui permette de mieux exploiter la diversité de canal que les techniques de l'art antérieur, et qui permette de réaliser un codage souple.

5. Caractéristiques essentielles de l'invention

5 Ces objectifs, ainsi que d'autres qui apparaîtront par la suite, sont atteints à l'aide d'un procédé d'émission d'un signal formé de vecteurs successifs comprenant chacun N symboles à émettre, et mettant en œuvre au moins deux antennes d'émission.

10 Selon l'invention, on associe à chacune desdites antennes une sous-matrice distincte, lesdites sous-matrices étant obtenues par découpage d'une matrice carrée unitaire, et chacune desdites antennes émet des sous-vecteurs, obtenus par découpage desdits vecteurs, multipliés respectivement par lesdites sous-matrices, de façon à former, vu d'un récepteur, un signal combiné unique représentatif de la multiplication desdits vecteurs par ladite matrice unitaire.

15 Ainsi, l'invention repose sur une approche tout à fait nouvelle et inventive de l'émission d'un signal mettant en œuvre un code espace-temps dans un système multi-antennes. La technique de l'invention est particulièrement avantageuse puisqu'elle n'impose aucune condition sur le canal : le codage proposé ne nécessite pas, contrairement aux techniques de l'art antérieur, que le canal soit
20 constant sur la durée du code.

La construction particulière des codes espace-temps proposée par l'invention est totalement nouvelle, et repose sur une construction matricielle orthogonale ou unitaire pour chaque antenne. En effet, l'utilisation de ces matrices permet une séparation des signaux émis par chaque antenne.

25 Selon l'invention, et par rapport aux techniques de l'art antérieur, les contraintes systèmes sont donc moins limitées et la diversité de canal peut être mieux exploitée. Les performances en taux d'erreurs binaires obtenues à haut rapport signal à bruit sont supérieures à celles données par la littérature.

30 En outre, l'extension du procédé de l'invention a un nombre plus grand d'antennes est très facile, car elle peut être directement obtenue grâce à la matrice

orthogonale ou unitaire de base. Quel que soit le nombre d'antennes utilisé, le rendement de codage reste constant.

Avantageusement, un tel procédé d'émission mettant en œuvre N_t antennes, chacune desdites sous-matrices a une taille de $(N/N_t) \times N$.

5 Le procédé de l'invention est en effet facilement adaptable à différentes configurations, et notamment à une augmentation du nombre N_t d'antennes. Les différentes matrices de taille $(N/N_t) \times N$ sont obtenues à partir d'une matrice principale de taille $N \times N$ qu'on découpe en N_t matrices différentes.

Préférentiellement, N/N_t est supérieur ou égal à 2.

10 De façon avantageuse, ladite matrice unitaire est pleine. En d'autres termes, chacun des éléments de la matrice est non-nul.

De manière préférentielle, ladite matrice unitaire appartient au groupe comprenant :

- les matrices réelles d'Hadamard ;
- 15 - les matrices complexes d'Hadamard ;
- les matrices de Fourier ;
- les matrices de rotation réelles ;
- les matrices de rotation complexes.

20 Ces différentes matrices n'ont pas de rapport les unes avec les autres mais présentent toutes comme caractéristique commune d'être, soit orthogonale s'il s'agit d'une matrice réelle, soit unitaire s'il s'agit d'une matrice complexe.

Selon une première variante avantageuse de l'invention, un tel procédé met en œuvre deux antennes d'émission, et lesdites sous-matrices valent $\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$ et $\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$.

25 Selon une deuxième variante avantageuse de l'invention, un tel procédé met en œuvre deux antennes d'émission, et lesdites sous-matrices valent $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix}$ et $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$.

30 Dans ce mode de réalisation préférentiel de l'invention, on utilise donc, pour chaque utilisateur, plusieurs codes ; en d'autres termes, pour chaque utilisateur, chaque sous-matrice a au moins deux lignes.

Selon une troisième variante avantageuse de l'invention, un tel procédé met en œuvre quatre antennes d'émission, et lesdites sous-matrices valent $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$ et $\begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$.

L'invention concerne aussi un procédé de réception d'un signal émis selon
5 le procédé d'émission décrit précédemment, mettant en œuvre au moins une antenne de réception, qui reçoit ledit signal combiné unique sur chacune desdites antennes de réception, et qui décode ledit signal combiné unique à l'aide d'une matrice de décodage correspondant à une matrice transposée conjuguée de ladite matrice unitaire.

10 Préférentiellement, on applique un décodage à maximum de vraisemblance aux données issues de la multiplication par ladite matrice transposée conjuguée.

On peut également utiliser d'autres décodeurs moins complexes, et réaliser ainsi un décodage par sphère ou un décodage par décomposition QR par exemple. On rappelle que toute matrice hermitienne peut en effet être décomposée sous la
15 forme QR, où Q est une matrice unitaire et R une matrice triangulaire supérieure. Une telle décomposition QR présente une complexité en O^3 , donc moindre que le décodage à maximum de vraisemblance qui présente une complexité en O^L .

L'invention concerne encore un signal émis selon le procédé d'émission décrit précédemment, correspondant à la combinaison des contributions de
20 chacune desdites antennes d'émission, une sous-matrice distincte étant associée à chacune desdites antennes, lesdites sous-matrices étant obtenues par découpage d'une matrice carrée unitaire. Chacune desdites antennes émet des sous-vecteurs, obtenus par découpage desdits vecteurs, multipliés respectivement par lesdites sous-matrices. Un tel signal forme, vu d'un récepteur, un signal combiné unique
25 représentatif de la multiplication desdits vecteurs par ladite matrice unitaire.

6. Liste des figures

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation préférentiel, donné à titre de simple exemple illustratif et non limitatif, et des
30 dessins annexés, parmi lesquels :

- la figure 1 présente un organigramme des différentes étapes mises en œuvre en émission et en réception pour un signal codé au moyen des codes espace-temps de l'invention ;
- la figure 2 illustre un système à deux antennes mettant en œuvre un code espace-temps de matrice 2x2 selon l'invention ;
- 5 - la figure 3 illustre un système à deux antennes similaire à celui de la figure 2 mais qui met en œuvre un code espace-temps de matrice 4x4 ;
- la figure 4 décrit un système à quatre antennes qui met en œuvre un code espace-temps de matrice 4x4 ;
- 10 - la figure 5 présente les performances comparées des différents codes espace-temps à rendement de 1, de l'art antérieur et de la présente invention, pour deux antennes d'émission et une antenne de réception ;
- la figure 6 illustre les performances comparées des différents codes espace-temps à rendement de 1, de l'art antérieur et de la présente invention, pour
- 15 quatre antennes d'émission et une antenne de réception.

7. Description d'un mode de réalisation de l'invention

Le principe général de l'invention repose sur un nouveau type de code espace-temps pour un système multi-antennes. La construction particulière de ces codes repose sur une construction matricielle orthogonale ou unitaire pour chaque

20 antenne d'émission, l'utilisation de ces matrices permettant une séparation des signaux émis par chaque antenne.

On présente, en relation avec la figure 1, les différentes étapes mises en œuvre lors de l'émission et de la réception d'un signal selon l'invention.

Au codage, on considère X un vecteur de taille N contenant les N

25 symboles à émettre. On considère également un système comprenant un nombre N_t d'antennes d'émission. La conception des nouveaux codes espace-temps proposés par l'invention est la suivante :

Au cours d'une première étape 1, on divise le vecteur X contenant les symboles à émettre en N_t sous-vecteurs de taille N/N_t .

On multiplie ensuite 2 chacun des sous-vecteurs de taille N/N_t par une matrice différente de taille $(N/N_t) \times N$. Ces matrices sont obtenues à partir d'une matrice réelle d'Hadamard, d'une matrice complexe d'Hadamard ou de Fourier, ainsi que de toute matrice de rotation réelle ou complexe. Bien que n'ayant pas de
5 rapport les unes avec les autres, ces différentes matrices ont des caractéristiques communes. En effet, chacune de ces matrices est, soit orthogonale si c'est une matrice réelle, soit unitaire si c'est une matrice complexe.

De plus, chacune de ces matrices doit être pleine, c'est-à-dire que chacun de ses éléments doit être non nul. Ainsi, les différentes matrice de taille $(N/N_t) \times N$
10 sont obtenues à partir d'une matrice principale de taille $N \times N$ qu'on coupe en N_t matrices différentes.

On émet ensuite 3 les différents sous-vecteurs codés sur chacune des N_t antennes. Pour chaque temps symbole, chacun des canaux de transmission existant entre les différentes antennes d'émission et de réception affecte 7 le signal
15 transmis.

Le signal reçu par chaque antenne de réception au cours de l'étape référencée 4 correspond à la somme des différents signaux émis par chaque antenne, affectés par leur propre canal à un instant donné.

Au décodage, on effectue une étape d'égalisation 5 associée au décodage
20 inverse de la matrice d'émission re-combinée. Cette matrice est la matrice transposée conjuguée de la matrice d'émission de taille $N \times N$. Les éléments de cette matrice transposée conjuguée sont les filtres d'égalisation des canaux entre les antennes d'émission et de réception pendant la durée du code N .

On effectue alors un décodage 6 à maximum de vraisemblance. Le
25 décodeur utilisé peut également être moins complexe, de façon à réaliser par exemple un décodage par sphère, ou un décodage par décomposition QR. Cette étape de décodage 6 se fait en calculant la distance euclidienne entre le signal reçu au cours de l'étape 4 et tous les signaux que l'on aurait pu transmettre à partir des antennes d'émission. Ainsi, on reforme un signal fictif sans bruit que l'on aurait pu
30 recevoir et on le compare directement au signal reçu réel qui a été bruité lors de

son passage 7 dans le canal de transmission. Ce décodage demande donc un effort d'adaptation par rapport au codage effectué et il sera différent pour chaque codeur espace-temps utilisé. Dans le cas du décodage à maximum de vraisemblance, si M correspond à l'alphabet de la modulation et N est la taille de la matrice utilisée, il faut faire une recherche exhaustive du signal émis en faisant M^N comparaisons, ce qui est coûteux en terme de complexité, d'où l'intérêt d'utiliser d'autres méthodes de décodage moins complexes.

Les différentes étapes de l'organigramme de la figure 1 sont illustrées au moyen de l'exemple ci-dessous.

10 On choisit un vecteur X de taille 10, ainsi qu'un nombre d'antennes $N_t=2$.

Au cours de l'étape référencée 1, on divise le vecteur X en N_t sous-vecteurs de taille N/N_t , de façon à obtenir 2 sous-vecteurs de taille 5.

Au cours de l'étape référencée 2, on multiplie chacun des sous-vecteurs de taille 5 par une matrice différente. Une matrice connue de taille 10×10 est la matrice de Fourier. On divise cette matrice de taille 10×10 en deux matrices de taille 5×10 . On multiplie donc chacun des sous-vecteurs de taille 5 par une des deux matrices 5×10 . Après cette opération, les deux sous-vecteurs correspondant aux deux antennes correspondent au code espace-temps utilisé pour l'émission.

20 Au cours de l'étape référencée 3, on émet les 2 différents sous-vecteurs codés sur chacune des 2 antennes d'émission.

Après propagation via le canal de transmission 7, et réception 4, on effectue au décodage une étape d'égalisation 5 associée au décodage inverse de la matrice d'émission re-combinée. Cette matrice est la matrice transposée conjuguée de la matrice de Fourier 10×10 d'émission.

25 Lors d'une étape référencée 6, on effectue alors un décodage à maximum de vraisemblance, ou un décodage moins complexe du type décodage par sphère, ou décodage par décomposition QR. Avec un décodage à maximum de vraisemblance, si M correspond à l'alphabet de la modulation, il faudra faire une recherche exhaustive du signal émis en faisant M^{10} comparaisons.

On présente désormais, en relation avec la figure 2, un mode de réalisation de l'invention dans le cas d'un système d'émission à deux antennes 10, 11, dans lequel on utilise des codes espace-temps de matrice 2×2 .

Cette figure 2 illustre le système d'émission de l'invention avec des séquences de code d'Hadamard par antenne de longueur 2. Ce code a un rendement de codage de $1/2$ ou un rendement de code espace-temps de 1 si on considère le rendement R égal au nombre de symboles N sur le nombre de temps symboles L pendant lesquels ils sont émis.

Sur la figure 2, x_1, x_2 représentent les symboles à transmettre. h_1, h_2, h_3, h_4 sont par exemple des canaux de propagation plats de Rayleigh, associés aux deux antennes d'émission 10, 11. y_1 et y_2 sont les symboles égalisés récupérés lors de l'étape référencée 5 de la figure 1.

Après multiplication du sous-vecteur $[x_1]$ par la sous-matrice $\begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix}$ associée à l'antenne d'émission 10, cette dernière émet le sous-vecteur $\begin{bmatrix} x_1 & x_1 \end{bmatrix}$. De même, l'antenne d'émission 11 émet le sous-vecteur $\begin{bmatrix} x_1 & -x_1 \end{bmatrix}$, obtenu par multiplication de $[x_2]$ par la sous-matrice $\begin{bmatrix} 1 & -1 \end{bmatrix}$.

En considérant un entrelacement adapté et une décorrélation entre les antennes, le canal varie tous les temps symboles. A la réception, on reçoit sur l'antenne de réception 12 la contribution de la première antenne 10 ainsi que de la deuxième antenne 11 affectée par le canal correspondant, qui s'écrit sous forme matricielle $\begin{bmatrix} h_1 x_1 + h_2 x_2 & h_3 x_1 - h_4 x_2 \end{bmatrix}$. Une étape de décodage et d'égalisation consiste ensuite à appliquer la matrice $\begin{bmatrix} h_1^* & h_2^* \\ h_3^* & -h_4^* \end{bmatrix}$ transconjuguée de la matrice unitaire d'émission, tout en effectuant une égalisation. On considère par conséquent les différents canaux ayant contribué à l'étape de transmission. Un décodage ML (ou à Maximum de Vraisemblance) peut ensuite être effectué, qui va rechercher le mot qui a été le plus probablement envoyé. Pour ce faire, on calcule la métrique $\min \left(\sum_{i=1}^2 |y_i - \hat{y}_i|^2 \right)$ présentée sur la figure 2 pour tous les vecteurs (\hat{x}_1, \hat{x}_2) possibles, afin de déterminer le mot de code émis le plus probable.

La figure 3 présente un système d'émission à deux antennes 10, 11 similaire à celui de la figure 2, dans lequel on utilise des codes espace-temps à matrice 4x4.

Dans le système de la figure 3, on utilise plus précisément des séquences de code d'Hadamard par antenne de longueur 4. On peut imaginer augmenter la taille des matrices d'Hadamard et ainsi obtenir des codes de longueur L pour deux antennes.

A nouveau, x_1, x_2, x_3, x_4 sont les symboles à transmettre. $h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6, h_7, h_8$ sont les canaux de propagation plats de Rayleigh associés aux deux antennes d'émission 10, 11, les indices impairs se référant à la première antenne d'émission 10, et les indices pairs à la seconde antenne 11. y_1, y_2, y_3, y_4 sont les symboles égalisés récupérés sur l'antenne de réception 12 à l'issue de l'étape 5 de la figure 1.

L'antenne d'émission 10 émet le sous-vecteur obtenu par multiplication du sous-vecteur $[x_1 \ x_2]$ par la sous-matrice $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix}$. De même, l'antenne d'émission 11 émet le sous-vecteur, obtenu par multiplication de $[x_3 \ x_4]$ par la sous-matrice $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$.

A la réception, on reçoit sur l'antenne de réception 12 la contribution de la première antenne 10 ainsi que de la deuxième antenne 11 affectée par le canal correspondant ($[r_1 \ r_2 \ r_3 \ r_4]$). Une étape de décodage et d'égalisation du signal

reçu consiste ensuite à appliquer la matrice $\begin{bmatrix} h_1^* & h_1^* & h_2^* & h_2^* \\ h_3^* & -h_3^* & h_4^* & -h_4^* \\ h_5^* & h_5^* & -h_6^* & -h_6^* \\ h_7^* & -h_7^* & -h_8^* & h_8^* \end{bmatrix}$

transconjuguée de la matrice unitaire d'émission, tout en effectuant une égalisation.

On calcule ensuite la métrique $\min \left(\sum_{i=1}^4 |y_i - \hat{y}_i|^2 \right)$ présentée sur la figure 3

pour tous les vecteurs $(\hat{x}_1, \hat{x}_2, \hat{x}_3, \hat{x}_4)$ possibles afin d'avoir le mot de code émis le plus probable.

Le système de l'invention n'est pas limité en termes de nombre d'antennes d'émission. Ainsi qu'illustré sur la figure 4, il est possible de créer des codes espace-temps à 4 antennes d'émission 10, 11, 13 et 14 avec une taille de matrice minimum $L=4$.

- 5 Sur la figure 4, x_1, x_2, x_3, x_4 sont les symboles à transmettre. $h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6, h_7, h_8, h_9, h_{10}, h_{11}, h_{12}, h_{13}, h_{14}, h_{15}, h_{16}$ sont les canaux de propagation plats de Rayleigh, associés à chacune des quatre antennes 10, 11, 13 et 14 ainsi qu'illustré sur la figure 4. y_1, y_2, y_3, y_4 sont les symboles égalisés après réception par l'antenne de réception 12. On calcule ensuite la métrique $\min \left(\sum_{i=1}^4 |y_i - \hat{y}_i|^2 \right)$ illustrée en figure 4
- 10 pour tous les vecteurs $(\hat{x}_1, \hat{x}_2, \hat{x}_3, \hat{x}_4)$ possibles, afin de déterminer le mot de code émis le plus probable.

- Le principe d'émission des sous-vecteurs par chacune des antennes d'émission est similaire à celui présenté précédemment en relation avec les figures 10, 11, 13 et 14 et, par souci de simplification, ne sera donc pas décrit ici plus en
- 15 détail.

- On notera que, dans les exemples illustrés précédemment en relation avec les figures 2 à 4, les codes espace-temps considérés ont été créés en utilisant de simples matrices d'Hadamard. Il est cependant possible d'utiliser toute matrice unitaire, Hadamard complexe ou Fourier. Plus généralement, toute matrice
- 20 unitaire peut être utilisée dans le système d'émission de l'invention.

On présente désormais, en relation avec les figures 5 et 6, les performances obtenues, selon l'invention, en effectuant le décodage des codes espace-temps avec un décodeur ML (ou à Maximum de Vraisemblance).

- La figure 5 illustre les performances comparées de différents codes espace-
- 25 temps à rendement de 1 pour 2 antennes d'émission et une antenne de réception, dans le cadre d'une modulation QPSK. Plus précisément, la figure 5 présente les performances des codes espace-temps de l'invention pour une taille de matrice de codage $L=2, L=4$ et $L=8$, ainsi que celles du code d'Alamouti.

Comme le montre la figure 5, les performances des codes de l'invention sont bonnes à fort rapport signal sur bruit, lorsque la taille de matrice de codage L augmente. En effet, pour 2 antennes d'émission et 1 antenne de réception, lorsqu'on prend une matrice de codage $L=8$, les performances des codes de l'invention dépassent les performances de la courbe de référence du codage d'Alamouti ("A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications", IEEE J. Sel. Areas Comm., 1998, 16, (8), pp. 1451-1458) pour un rapport $E_b/N_0 > 10$ dB.

Plus précisément, on peut se rendre compte que, plus la taille de la matrice des codes augmente, plus les symboles sont détectés avec un ordre de diversité de canal important. Cela se traduit par la pente des courbes de performances de la figure 5 : plus la pente est accentuée et plus l'ordre de diversité de canal augmente, pour atteindre asymptotiquement une loi gaussienne, illustrée par la courbe AWGN de la figure 5.

Ces résultats montrent que des décodages moins complexes que le décodage à maximum de vraisemblance peuvent être mis en œuvre selon l'invention, tout en conservant des performances satisfaisantes par rapport aux techniques de l'art antérieur.

On peut ainsi faire appel à un décodage QR correspondant à un DFE (en anglais "Digital Feedback Equalizer" ou "égaliseur numérique à retour de décision") ou utiliser un décodage de Viterbi. Une autre solution peut-être d'utiliser un "Annulateur d'interférence". En effet, si M est la taille de l'alphabet et que L est la taille de la matrice des codes, un décodeur à maximum de vraisemblance doit exhaustivement comparer M^L mots de codes, ce qui est particulièrement complexe à implémenter.

La figure 6 illustre les performances comparées de différents codes espace-temps à rendement de 1 pour 4 antennes d'émission et une antenne de réception, dans le cadre d'une modulation QPSK. Plus précisément, la figure 6 présente les performances des codes espace-temps de l'invention pour une taille de matrice de codage $L=4$ et $L=8$ et une modulation de type QPSK, ainsi que celles du code G4

de Tarokh pour une modulation 16QAM. La courbe AWGN de la figure 6 représente une loi gaussienne associée à un bruit blanc.

La différence entre le code espace-temps de l'invention avec $L=4$ et le code G4 de Tarokh ("Space-time block codes from orthogonal designs", IEEE Trans. on Information Theory, 1999, 45, (5), pp. 1456-1467) utilisant une modulation de type 16 QAM ("Quadrature amplitude Modulation", en français "modulation d'amplitude en quadrature") est faible et on peut prévoir un gain assez conséquent lorsque L va augmenter. On voit ainsi un gain assez important quand $L=8$. Les deux courbes sont parallèles car ces deux codes obtiennent le même ordre de diversité qui est de 4. La différence vient d'une interférence un peu plus grande dans le cas du code de l'invention pour $L=4$. Cependant, pour $L=8$ et plus, on peut d'ores et déjà dire que les performances des codes de l'invention seront meilleures que celles du code G4 de Tarokh.

On rappelle que la technique de l'invention peut s'appliquer à tout système multi-antennes, qu'il soit de type MIMO ou de type MISO. Les modulations de type OFDM et les systèmes MC-CDMA sont particulièrement bien adaptés au système proposé par l'invention.

REVENDICATIONS

1. Procédé d'émission d'un signal formé de vecteurs successifs comprenant chacun N symboles à émettre, et mettant en œuvre au moins deux antennes d'émission,
5 caractérisé en ce qu'on associe à chacune desdites antennes une sous-matrice distincte, lesdites sous-matrices étant obtenues par découpage d'une matrice carrée unitaire, et en ce que chacune desdites antennes émet des sous-vecteurs, obtenus par découpage desdits vecteurs, multipliés respectivement par lesdites sous-matrices,
10 de façon à former, vu d'un récepteur, un signal combiné unique représentatif de la multiplication desdits vecteurs par ladite matrice unitaire.
2. Procédé d'émission selon la revendication 1, mettant en œuvre Nt antennes, caractérisé en ce que chacune desdites sous-matrices a une taille de $(N/Nt) \times N$.
- 15 3. Procédé d'émission selon la revendication 2, caractérisé en ce que N/Nt est supérieur ou égal à 2.
4. Procédé d'émission selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ladite matrice unitaire est pleine.
5. Procédé d'émission selon l'une quelconque des revendications 1 à 4,
20 caractérisé en ce que ladite matrice unitaire appartient au groupe comprenant :
 - les matrices réelles d'Hadamard ;
 - les matrices complexes d'Hadamard ;
 - les matrices de Fourier ;
 - les matrices de rotation réelles ;
 - 25 - les matrices de rotation complexes.
6. Procédé d'émission selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il met en œuvre deux antennes d'émission, et en ce que lesdites sous-matrices valent $[1 \ 1]$ et $[1 \ -1]$.
7. Procédé d'émission selon l'une quelconque des revendications 1 à 5,
30 caractérisé en ce qu'il met en œuvre deux antennes d'émission, et en ce que

lesdites sous-matrices valent $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix}$ et $\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$.

8. Procédé d'émission selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il met en œuvre quatre antennes d'émission, et en ce que lesdites sous-matrices valent $[1 \ 1 \ 1 \ 1]$, $[1 \ -1 \ 1 \ -1]$, $[1 \ 1 \ -1 \ -1]$ et $[1 \ -1 \ -1 \ 1]$.
- 5 9. Procédé de réception d'un signal émis selon le procédé d'émission de l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il met en œuvre au moins une antenne de réception, en ce qu'il reçoit ledit signal combiné unique sur chacune desdites antennes de réception, et en ce qu'il décode ledit signal combiné unique à l'aide d'une matrice de décodage correspondant à une matrice transposée
- 10 conjuguée de ladite matrice unitaire.
10. Procédé de réception selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'on applique un décodage à maximum de vraisemblance aux données issues de la multiplication par ladite matrice transposée conjuguée.
11. Signal émis selon le procédé d'émission de l'une quelconque des
- 15 revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il correspond à la combinaison des contributions de chacune desdites antennes d'émission, une sous-matrice distincte étant associée à chacune desdites antennes, lesdites sous-matrices étant obtenues par découpage d'une matrice carrée unitaire, et en ce que chacune desdites antennes émet des sous-vecteurs, obtenus par découpage
- 20 desdits vecteurs, multipliés respectivement par lesdites sous-matrices, et en ce qu'il forme, vu d'un récepteur, un signal combiné unique représentatif de la multiplication desdits vecteurs par ladite matrice unitaire.

1/5

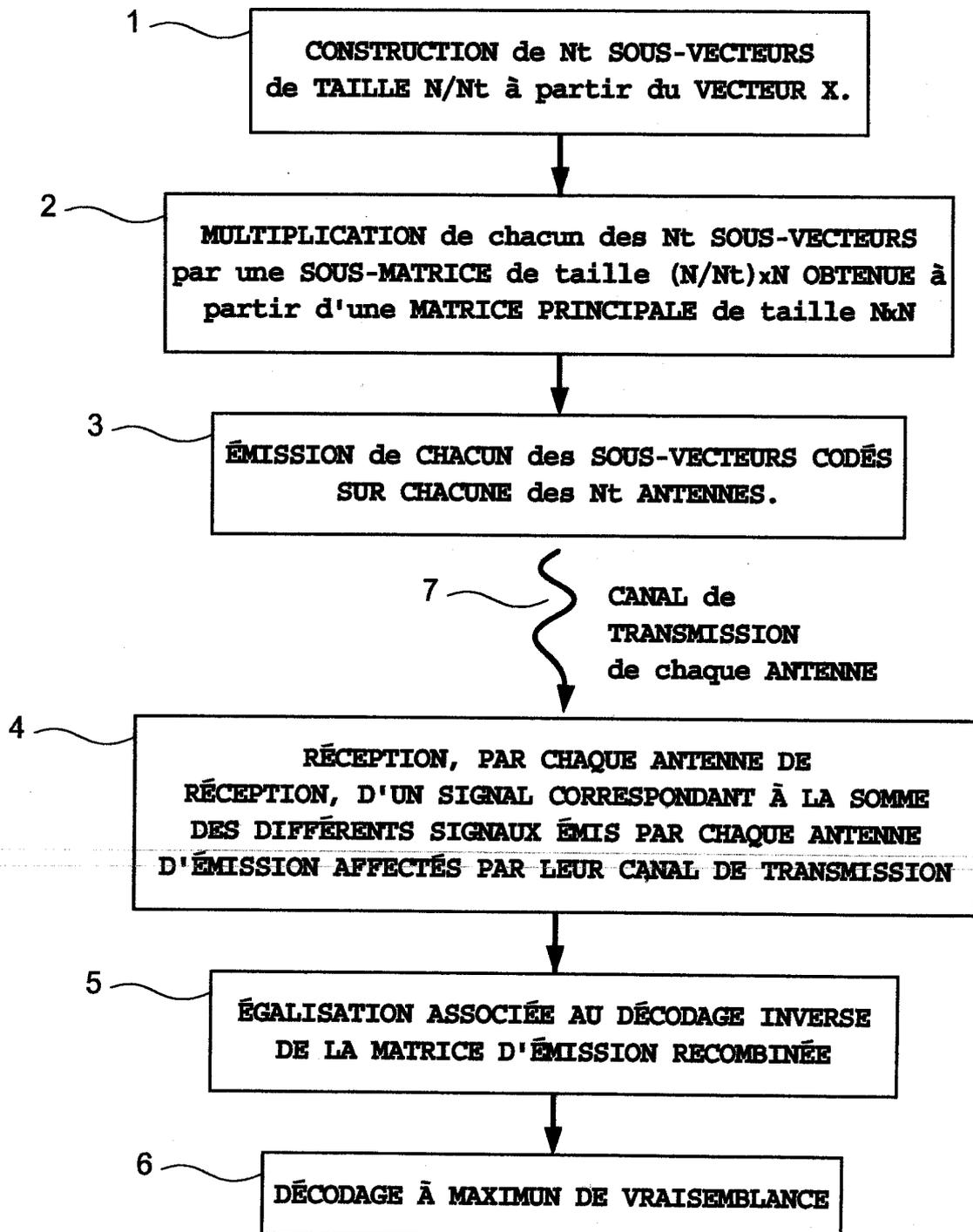


Fig. 1

2/5

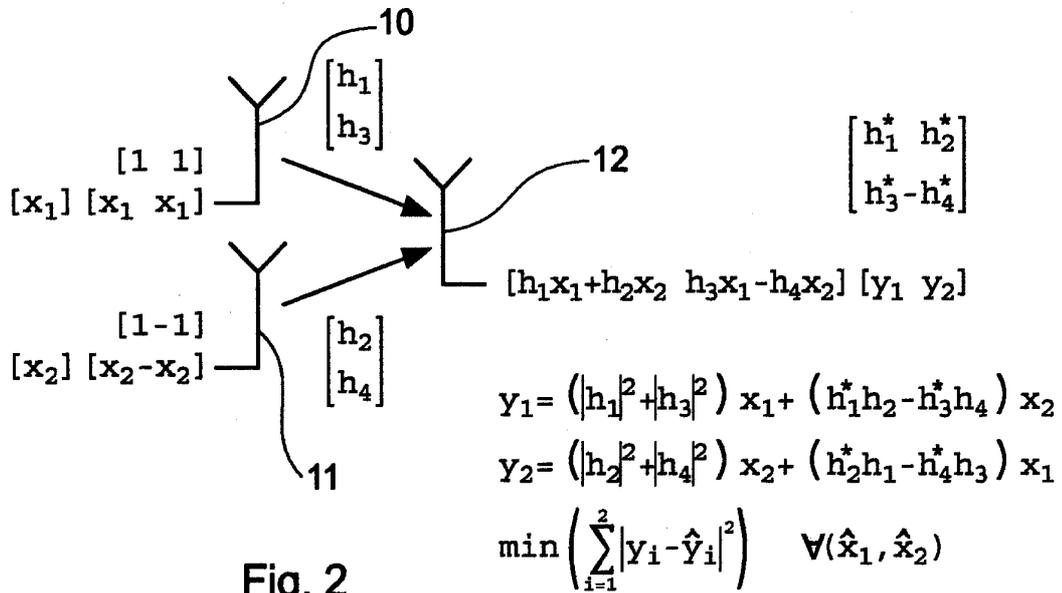


Fig. 2

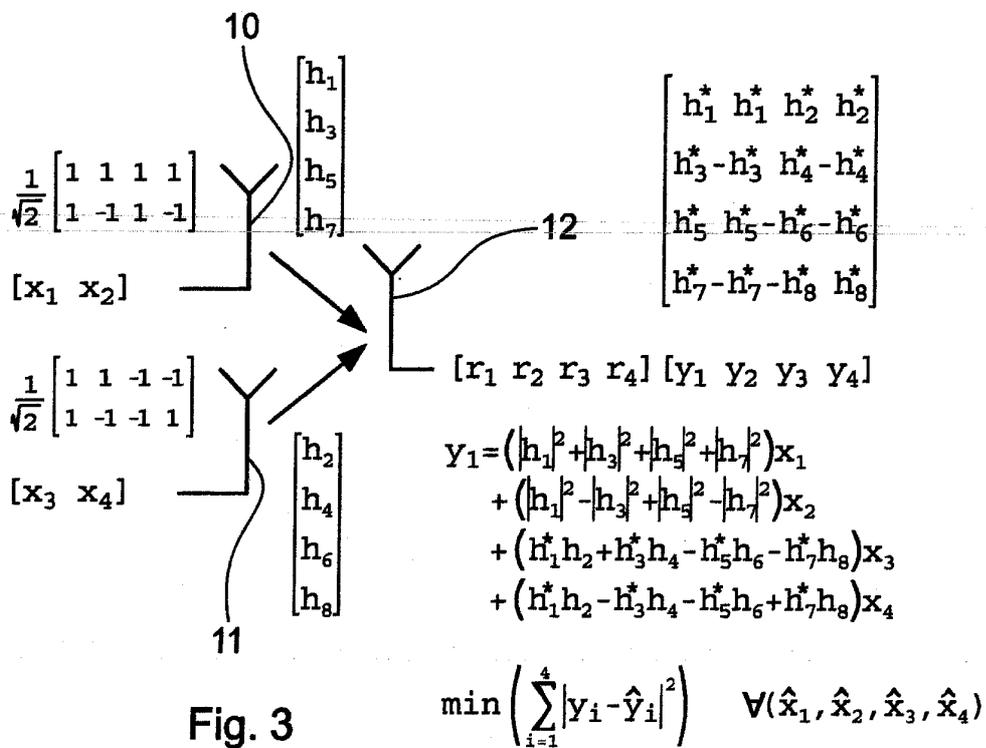


Fig. 3

3/5

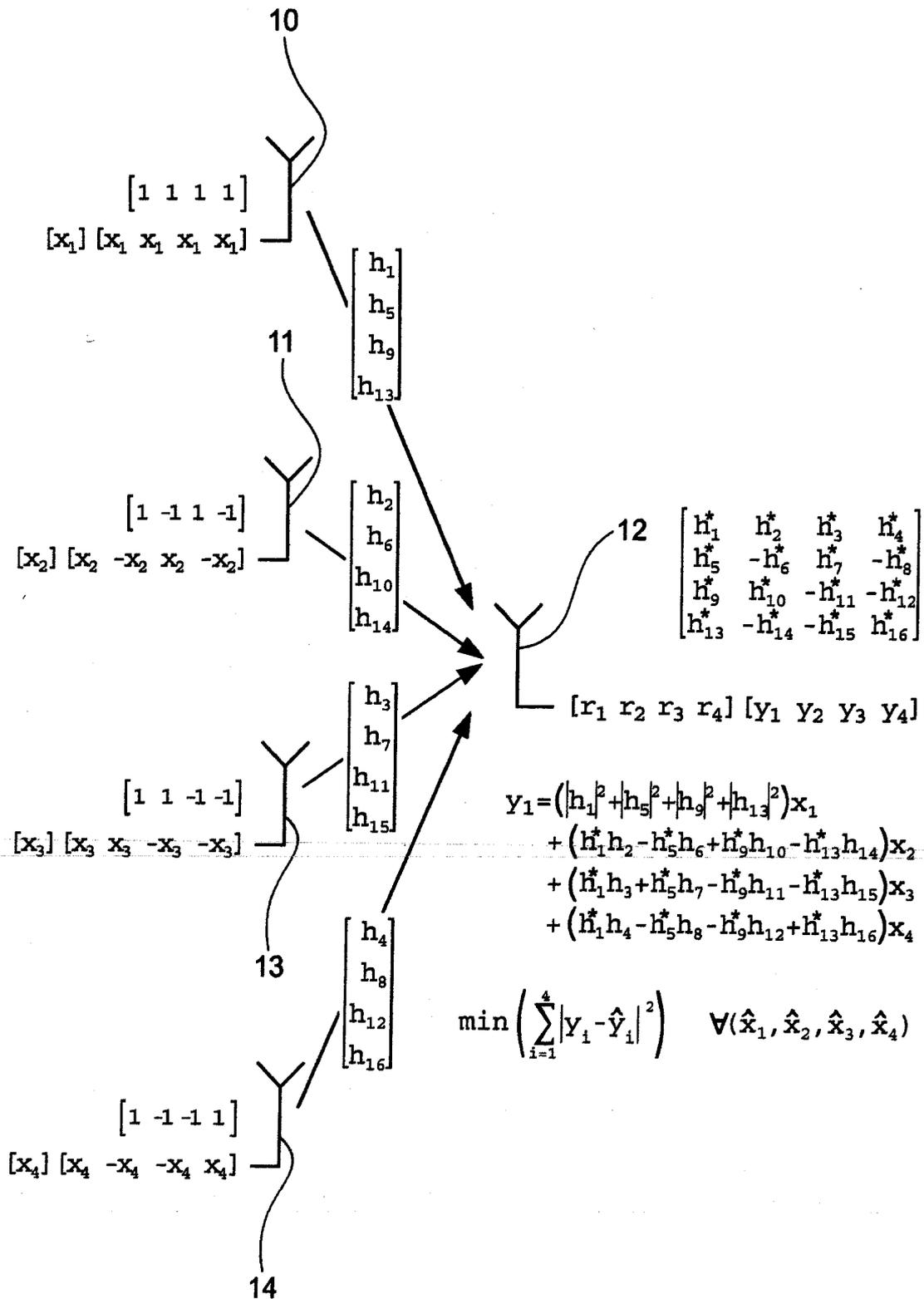


Fig. 4

4/5

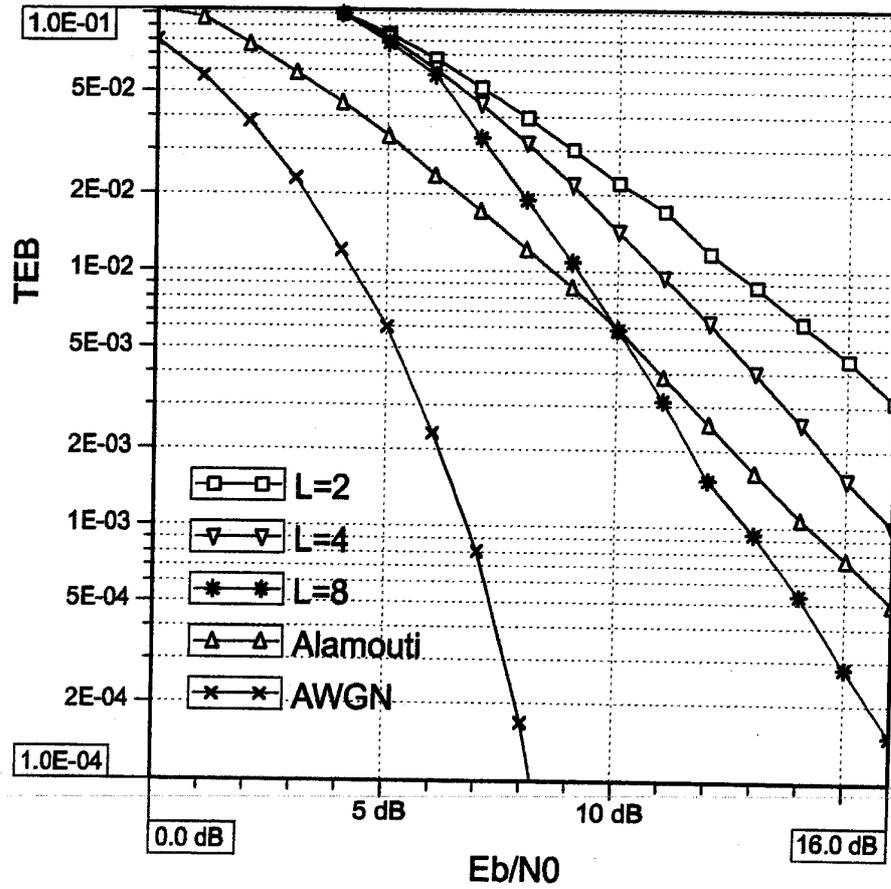


Fig. 5

5/5

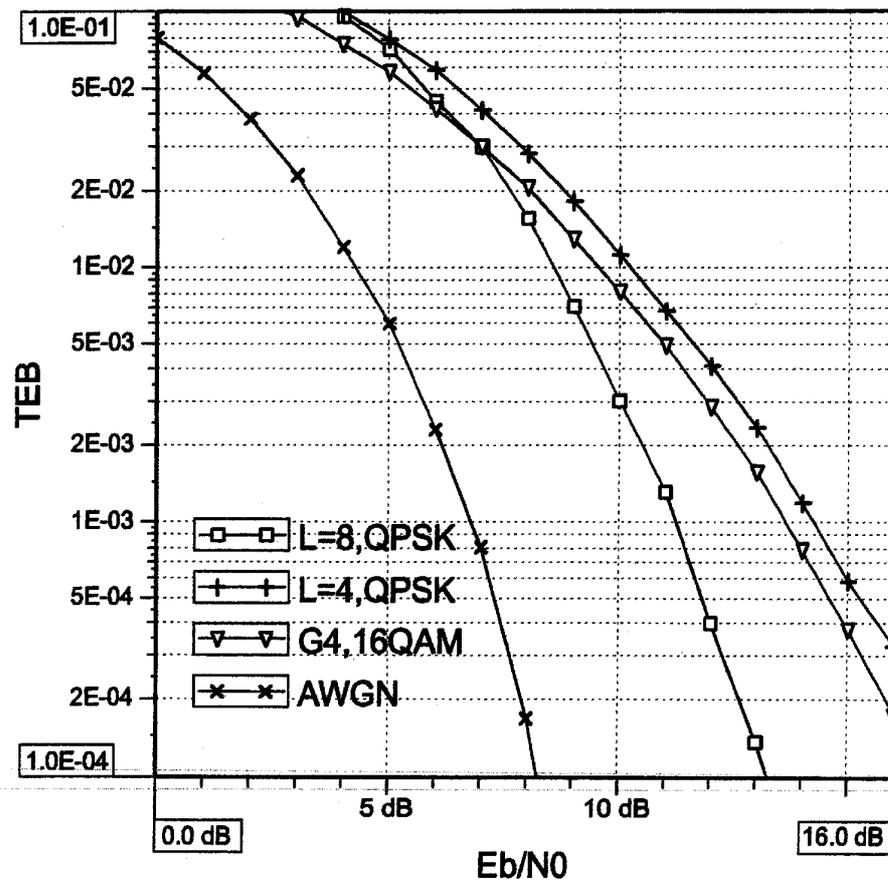


Fig. 6



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement
national

FA 642167
FR 0311647

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	EP 1 009 124 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 14 juin 2000 (2000-06-14) * abrégé * * page 3, alinéa 19 - page 4, alinéa 29 * ---	1,9,11	H04B7/06 H04L1/06 DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7) H04B H04L
A	US 2002/163892 A1 (HOCHWALD BERTRAND M ET AL) 7 novembre 2002 (2002-11-07) * abrégé * * figures 6,7 * ---	1,9,11	
A	DE 101 15 261 A (SIEMENS AG) 17 octobre 2002 (2002-10-17) * abrégé * * revendication 1 * -----	1,9,11	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
26 mai 2004		Yang, Y	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>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</p>		<p>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</p>	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0311647 FA 642167**

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 26-05-2004

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 1009124 A	14-06-2000	US 6363121 B1	26-03-2002
		CA 2287759 A1	07-06-2000
		DE 69904284 D1	16-01-2003
		DE 69904284 T2	28-08-2003
		EP 1009124 A2	14-06-2000
		JP 2000232385 A	22-08-2000

US 2002163892 A1	07-11-2002	US 6724842 B1	20-04-2004
		EP 1069723 A2	17-01-2001
		JP 2001094489 A	06-04-2001

DE 10115261 A	17-10-2002	DE 10115261 A1	17-10-2002
		WO 02080437 A1	10-10-2002
		EP 1374467 A1	02-01-2004
