

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 22.10.08.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 23.04.10 Bulletin 10/16.

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) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE Etablissement public à caractère industriel et commercial — FR.

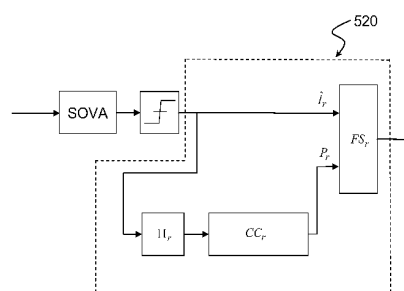
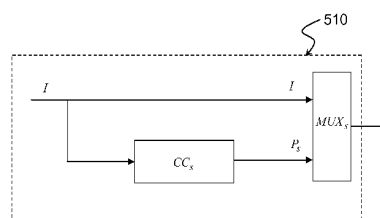
72 Inventeur(s) : CALVANESE STRINATI EMILIO et DE DOMENICO ANTONIO.

73 Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE Etablissement public à caractère industriel et commercial.

74 Mandataire(s) : BREVALEX.

54 TURBOCODEUR DISTRIBUE POUR CANAUX A EVANOUISSEMENTS PAR BLOCS.

57 La présente invention concerne un système de communication coopératif comprenant un terminal source, au moins un terminal relais et un terminal de destination. Le système comprend en outre un turbocodeur distribué entre le terminal source et au moins le terminal relais. La première partie (510, 710, 810) du turbocodeur résidant sur le terminal source et/ou la seconde partie (520, 720, 820) du turbocodeur résidant sur le terminal relais est(sont) équipée(s) d'un ordonnanceur de fréquences (FS_r, FS_s) allouant les porteuses de plus fort évanouissement aux données d'information systématique et les porteuses de plus faible évanouissement aux données de parité.



TURBOCODEUR DISTRIBUÉ POUR CANAUX À ÉVANOUISSEMENTS PAR BLOCS

5

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne de manière générale les systèmes de communication de type coopératif. Elle trouve notamment à s'appliquer dans les systèmes 3GPP
10 LTE, Wi-MAX, 3GPP LTE-Advanced et les réseaux locaux sans fil (WLANs).

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Les systèmes de communication sans fil de type
15 coopératif sont connus pour offrir une couverture plus importante et une moindre susceptibilité aux évanouissements (*fading*) que les systèmes cellulaires classiques. On trouvera par exemple une description des systèmes sans fil de type coopératif dans l'article de
20 J.N Lanemann et G.W. Wornell intitulé « Exploiting distributed spatial diversity in wireless networks » publié en Octobre 2000 dans Proc. Allerton Conf. on Comm., . Contr., Computing.

La Fig. 1 représente schématiquement une
25 stratégie de coopération dans un tel système. Le terminal source s transmet un flux de données à un terminal destinataire d . Le terminal r reçoit également le flux de données issu de s et le relaie au terminal destinataire d . Le terminal r coopère ainsi à

la transmission de données entre s et d . Par exemple si le canal $s-d$ est de mauvaise qualité, par exemple à cause de la présence d'un obstacle entre s et d ou d'un évanouissement, le canal $s-r-d$ peut permettre
5 d'y remédier et d'obtenir une qualité de liaison satisfaisante. Le flux de données peut être relayé par plusieurs terminaux pour augmenter davantage la diversité spatiale des trajets de transmission. En outre, il peut être relayé en une seule fois (*single-hop*)
10 ou en plusieurs fois (*multiple-hop*). Le relais peut se contenter de retransmettre, après amplification, le signal qu'il reçoit de la source (protocole dit AF pour *Amplify and Forward*) ou bien décoder préalablement le signal avant de le réémettre
15 (protocole dit DF pour *Decode and Forward*).

Dans un autre domaine des télécommunications, les turbocodes introduits par C. Berrou et al. dans l'article séminal intitulé « Near Shannon limit error-
20 correcting coding and decoding : Turbo Codes », Proceedings of ICC'93 pp. 1064-1070, ont fait l'objet de nombreuses recherches. Les performances remarquables des turbocodes en termes de taux d'erreur binaire ou BER (*Bit Error Rate*), proches de celles d'un codage
25 aléatoire, s'expliquent par la présence d'un ou de plusieurs entrelaceur(s) entre différents codeurs élémentaires.

On a illustré en Fig. 2 un exemple de structure d'un turbocodeur. Les bits d'information I issus de la
30 source S sont codés par deux codeurs élémentaires de type convolutif systématique, disposés en parallèle.

Chacun de ses codeurs élémentaires (RSC_1, RSC_2) est constitué d'une voie systématique, laissant par définition les bits d'information I inchangés, et d'un codeur convolutif (CC_1, CC_2). Le codeur convolutif CC_1 5 fournit les bits de parité P_1 en fonction des bits d'information I . Le codeur convolutif CC_2 fournit en revanche des bits de parité P_2 en fonction des bits d'information préalablement entrelacés par l'entrelaceur Π . Un multiplexeur MUX multiplexe 10 ensuite les bits I, P_1, P_2 sur le canal de transmission.

De manière plus générale un turbocodeur (de type parallèle) résulte de la concaténation parallèle d'une pluralité de codeurs convolutifs systématiques $RSC_1, \dots, RSC_N$, identiques ou non, dont les entrées sont 15 entrelacées par des lois d'entrelacement distinctes. On trouvera une description d'un tel turbocodeur dans l'article de D. Divsalar et al. intitulé « Multiple turbo codes » publié dans Proc. IEEE MILCOM pp. 279-285, 1995. Le nombre N de codeurs élémentaires est 20 appelé dimension du turbocode. Les performances du turbocode sont intrinsèquement liées aux caractéristiques des lois d'entrelacement. On comprend en effet que plus celles-ci sont chaotiques, plus la longueur de contrainte du code est grande et plus le 25 code est robuste au bruit.

L'idée de réaliser un turbocodeur distribué entre un terminal source et un terminal relais d'un système coopératif a été récemment proposée par M. Janani et 30 al. dans l'article intitulé « Coded cooperation in

wireless communications : space-time transmission and iterative decoding » publié dans IEEE Trans. Signal Process., vol. 42, No. 2, pp. 362-371, Feb. 2004.

5 La Fig. 3 illustre de manière schématique la structure d'un turbocodeur distribué entre un terminal source s et un terminal relais r . On a distingué en 310 et 320 les parties du turbocodeur résidant respectivement sur le terminal source et sur le
10 terminal relais.

Le terminal source s comprend un premier codeur convolutif systématique RCS_s . Les bits d'information I sont laissés invariants par la voie systématique du codeur RCS_s et codés par le codeur convolutif CC_s en
15 des bits de parité désignés ici par P_s . Un multiplexeur MUX_s multiplexe les bits I et P_s avant transmission.

Le terminal relais r reçoit le flux de bits ainsi multiplexés et estime les bits d'information I au moyen d'un décodeur Viterbi à sorties souples dit SOVA (*Soft*
20 *Output Viterbi Algorithm*). Au terme du décodage, une décision dure est prise sur les valeurs souples des bits ainsi décodés. Les valeurs dures, notées ici $\hat{I}_r$, sont ensuite entrelacées dans un entrelaceur Π_r avant d'être codées dans un second codeur convolutif CC_r . Les
25 bits de parité P_r fournis par le second codeur sont ensuite transmis au terminal de destination d .

On comprend que les codeurs CC_s et CC_r jouent ici le même rôle que les codeurs convolutifs CC_1 et CC_2 dans le turbocodeur de la Fig. 2, autrement dit les

parties 310 et 320 réalisent conjointement un turbocodage des bits d'information I .

Le terminal de destination d reçoit d'une part les bits d'information I et les bits de parité P_s du terminal source et d'autre part les bits de parité P_r du terminal relais. Le flux de bits reçus fait l'objet d'un décodage itératif mettant en œuvre le même nombre de décodeurs que de codeurs élémentaires dans le turbocodeur distribué, dans lequel les décodeurs mettent à jour et échangent les valeurs extrinsèques relatives aux différents bits d'information. Dans le cas présent le terminal de destination comprend deux décodeurs du type SISO (*Soft In Soft Out*) par exemple des décodeurs du type MAP (*Maximum A Posteriori*) ou du type SOVA (*Soft Output Viterbi Decoder*).

Ce type de turbocodage distribué fonctionne bien lorsque les canaux de transmission sont gaussiens et plus précisément de type AWGN (*Additive White Gaussian Noise*). Un canal AWGN est modélisé par un coefficient de transmission et une variance de bruit. En pratique toutefois, les canaux de transmission des systèmes de transmission sans fil subissent des évanouissements (*Rayleigh fading*) qui peuvent sévèrement limiter les performances du turbocode en termes de BER pour un rapport signal à bruit donné. Plus précisément, le canal peut être modélisé comme variable dans le temps, présentant des instances à faible évanouissement et des instances à fort évanouissement (*deep fading*).

Un objet de la présente invention est donc de proposer une structure de turbocodeur distribué qui soit plus résistante en termes de taux de BER aux

évanouissements du canal de transmission (source-destination et relais-destination) que les turbocodeurs distribués de l'art antérieur.

5 EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention est définie par un système de communication coopératif comprenant un terminal source, au moins un terminal relais, et un terminal de destination, le terminal source étant adapté à
10 transmettre des données d'information au terminal de destination sur un premier canal de transmission multi-porteuse, ledit système comprenant un turbocodeur distribué entre ledit terminal source et au moins ledit terminal relais, la partie du turbocodeur résidant sur
15 le terminal source, dite première partie comprenant une première voie systématique et au moins une première voie de codage convolutif codant lesdites données d'information pour générer des premières données de parité, le terminal relais estimant lesdites données
20 d'information à partir d'un signal reçu du terminal source, la partie du turbocodeur résidant sur le terminal relais, dite seconde partie comprenant une seconde voie systématique fournissant les données d'information ainsi estimées et une seconde voie de
25 codage convolutif codant celles-ci après les avoir entrelacées pour générer des secondes données de parité, lesdites données estimées et lesdites secondes données de parité étant transmises sur un second canal de transmission multi-porteuse. Ledit système comprend
30 au moins un ordonnanceur de fréquences résidant sur le terminal source ou le terminal relais, ledit

ordonnanceur allouant les porteuses présentant un fort évanouissement aux données issues respectivement de la première ou de la seconde voie systématique et les porteuses présentant un faible évanouissement aux données issues respectivement de la première ou de la seconde voie de codage convolutif.

Selon un premier mode de réalisation, le système de communication coopératif comprend un premier ordonnanceur de fréquences résidant sur le terminal source et recevant en entrée lesdites données d'information systématique et lesdites premières données de parité et allouant les porteuses à fort évanouissement aux premières et les porteuses à faible évanouissement aux secondes.

Il peut également comprendre un second ordonnanceur de fréquences résidant sur le terminal relais et recevant en entrée lesdites données estimées d'information systématique et lesdites secondes données de parité et allouant les porteuses à fort évanouissement aux premières et les porteuses à faible évanouissement aux secondes.

Selon une première variante, la partition entre porteuses à faible évanouissement et porteuses à fort évanouissement utilisée par le second ordonnanceur est déterminée par le terminal source et une information indicative de cette partition est transmise au terminal relais.

Ladite partition peut alors être déterminée par le terminal source à partir d'un indicateur de qualité de canal renvoyé par le terminal de destination.

Selon un second mode de réalisation, la partition entre porteuses à faible évanouissement et porteuses à fort évanouissement utilisée par le second ordonnanceur est déterminée de manière autonome par le terminal
5 relais.

Ladite partition peut alors être déterminée par le terminal relais à partir d'un indicateur de qualité de canal renvoyé par le terminal de destination.

Selon un exemple préférentiel d'application, les
10 premier et second canaux multiporteuse sont des canaux OFDM.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

15 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture d'un mode de réalisation préférentiel de l'invention fait en référence aux figures jointes parmi lesquelles :

La Fig. 1 illustre de manière schématique un
20 système de télécommunication sans fil de type coopératif ;

La Fig. 2 illustre de manière schématique la structure d'un turbocodeur connu de l'état de la technique ;

25 La Fig. 3 illustre de manière schématique la structure d'un turbocodeur distribué connu de l'état de la technique ;

La Fig. 4 illustre l'état d'un canal de transmission multi-porteuse à évanouissements par
30 blocs ;

La Fig.5 illustre de manière schématique la structure d'un turbocodeur distribué avec ordonnancement fréquentiel selon une première variante de réalisation de l'invention ;

5 La Fig. 6 donne un exemple d'ordonnancement fréquentiel pour le turbocodeur de la Fig. 5 ;

La Fig. 7 illustre de manière schématique la structure d'un turbocodeur distribué avec ordonnancement fréquentiel selon une seconde variante
10 de réalisation de l'invention ;

La Fig. 8 illustre de manière schématique la structure d'un turbocodeur distribué avec ordonnancement fréquentiel selon une troisième variante de réalisation de l'invention.

15

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Nous considérerons dans la suite un système de communication coopératif comprenant un terminal source s , au moins un terminal relais r , et un terminal de destination d . L'expression « terminal source » doit
20 être prise au sens large, la présente invention pouvant notamment concerner le cas où une station de base transmet des données au terminal d'un usager sur sa liaison descendante. De la même façon l'expression
25 « terminal de destination » doit être comprise au sens large, la présente invention concernant également le cas où un terminal source transmet des données à une station de base sur sa liaison montante. Dans les deux cas indiqués, les données sont relayées par le terminal
30 relais, soit vers la station de base pour la liaison

montante, soit vers le terminal de l'utilisateur pour la liaison descendante.

Les canaux de transmission seront supposés être de type à évanouissements par blocs (*block fading channel*), hypothèse réaliste pour modéliser la plupart des liaisons sans fil. Dans un canal à évanouissements par blocs, un message à transmettre, par exemple un mot de code, voit une pluralité d'instances de canal. Ces instances peuvent être temporelles et/ou fréquentielles selon que le canal est sélectif en temps ou en fréquence. Nous considérerons par la suite que la transmission est effectuée au moyen d'un signal multi-porteuse, par exemple au moyen d'un multiplex OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Dans ce cas, si N_c est le nombre de porteuses (plus précisément de sous-porteuses dans le cas d'une transmission OFDM), les instances de canal vues par un mot de code sont des blocs de fréquences ou « *frequency chunks* » subissant sensiblement le même évanouissement.

20

On a représenté en Fig. 4, à titre d'illustration, l'état d'un canal de transmission OFDM à évanouissements par blocs à un instant donné. La fonction de transfert $h(f)$ du canal peut être quantifiée au moyen d'une pluralité L de niveaux de quantification notés $\bar{\alpha}_1, \dots, \bar{\alpha}_L$, encore appelés instances fréquentielles du canal. La fonction de transfert du canal peut alors être approximée par une fonction $\bar{h}(f)$ quantifiée. Les porteuses contiguës f_i dont les coefficients de transmission quantifiés respectifs $\bar{h}(f_i)$

30

sont de même valeur peuvent être groupées sous forme d'un intervalle. Ainsi la fonction $\bar{h}(f)$ peut-elle être considérée comme une fonction définie par intervalles

$\Omega_1, \dots, \Omega_K$ où $\Omega = \bigcup_{k=1}^K \Omega_k$ est l'ensemble des porteuses. Deux

5 intervalles disjoints peuvent correspondre à une même instance fréquentielle. Par construction, deux intervalles adjacents Ω_k, Ω_{k+1} correspondent à des instances distinctes. Un intervalle Ω_k peut être réduit à un singleton.

10 Dans le cas illustré en Fig. 4, le canal est défini par cinq instances de canal ($L=5$) et neuf intervalles de porteuses ($K=9$).

Il convient de noter qu'en règle générale l'état du canal peut varier d'un mot de code à l'autre, 15 autrement dit la fonction $\bar{h}(f)$ n'est pas nécessairement constante dans le temps.

La Fig. 5 illustre un premier mode de réalisation d'un turbocodeur distribué selon un premier mode de 20 réalisation de l'invention. On a représenté en 510 la partie du turbocodeur résidant sur le terminal source s et en 520 celle résidant sur le terminal relais r .

La première partie 510 comprend une première voie systématique fournissant directement les bits 25 d'information I et une première voie de codage convolutif fournissant des premiers bits de parité P_s . La première voie de codage convolutif reçoit les bits d'information I et les code au moyen d'un premier

codeur convolutif CC_s . Le codeur CC_s est plus précisément un codeur convolutif de type récursif.

Un multiplexeur MUX_s sélectionne alternativement un bit d'information systématique et un bit de parité.
 5 Les bits en sortie du multiplexeur sont ensuite transformés en symboles d'un alphabet de modulation grâce à un modulateur M -aire à symbole (non représenté) avant de moduler les différentes porteuses. Dans l'hypothèse d'une modulation BPSK (*Binary Phase Shift Keying*),
 10 chaque symbole BPSK module une fréquence différente et donc chaque bit d'information systématique ou de parité est donc associé à une porteuse différente. Le signal multi-porteuse, par exemple le signal OFDM, peut être ensuite, le cas
 15 échéant, translaté en bande RF.

Le terminal relais r reçoit le signal multi-porteuse du terminal source, le cas échéant après avoir effectué une translation en bande de base. Une démodulation du signal multi-porteuse permet de
 20 récupérer les valeurs souples $(\tilde{I}, \tilde{P}_s)$ des bits d'information systématique et de bits de parité. Ces valeurs souples sont fournies à un décodeur de type SISO correspondant au codeur convolutif du terminal source, par exemple un décodeur de Viterbi à sorties
 25 souples (SOVA).

Le décodeur SISO fournit en sortie des valeurs souples des bits d'information systématique $\tilde{I}$. Ces valeurs souples sont soumises à une décision dure pour fournir des bits estimés $\hat{I}_r$.

La seconde partie 520 du turbocodeur distribué reçoit les bits d'information systématique ainsi estimés. Elle comprend elle-même une seconde voie systématique fournissant directement les bits estimés
 5 $\hat{I}_r$, et une seconde voie de codage convolutif fournissant des seconds bits de parité P_r . La seconde voie de codage convolutif reçoit les bits estimés, les entrelace au moyen d'un entrelaceur Π , et code les bits ainsi entrelacés au moyen d'un codeur convolutif
 10 CC_r . Le codeur CC_r est plus précisément un codeur convolutif de type récursif.

Les secondes voies systématique et de codage convolutif fournissent les bits $\hat{I}_r$ et P_r à un ordonnanceur fréquentiel (*frequency scheduler*) FS_r qui
 15 leur alloue des porteuses selon une règle d'allocation décrite en détail plus loin. Les M bits alloués à une porteuses sont transformés en symbole de l'alphabet de modulation au moyen d'un modulateur M -aire à symbole (non représenté) et les symboles ainsi obtenus modulent
 20 les différentes porteuses. Le signal multi-porteuse qui en résulte est transmis par le terminal relais, le cas échéant après une translation en fréquence RF.

La stratégie d'allocation de fréquences vise à transmettre les bits de parité P_r sur les porteuses
 25 présentant un faible évanouissement et les bits systématiques présentant un plus fort évanouissement. Autrement dit, l'ensemble Ω des porteuses est divisé en un premier sous-ensemble de porteuses Ω_{low} , dont les coefficients de transmission respectifs sont supérieurs
 30 à une valeur de seuil (faible évanouissement) et un

second sous-ensemble Ω_{high} dont les coefficients de transmission respectifs sont inférieurs à cette valeur de seuil (fort évanouissement, *deep fading*). Plus précisément, la transmission sur le canal entre le
 5 terminal relais r et le terminal de destination d peut être représentée par :

$$\mathbf{y}_{rd} = \mathbf{H}_{rd}\mathbf{x}_r + \mathbf{n}_{rd} \quad (1)$$

10 où $\mathbf{x}_r$ est un vecteur de dimension N_c dont les composantes sont les symboles de modulation portés par les différentes porteuses, $\mathbf{H}_{rd} = \text{Diag}(\alpha_1, \dots, \alpha_{N_c})$ est une matrice diagonale de taille $N_c \times N_c$ dont les éléments diagonaux sont les coefficients de transmission des
 15 différentes porteuses, $\mathbf{n}_{rd}$ est un vecteur de dimension N_c de composantes de bruit, $\mathbf{y}_{rd}$ est le vecteur des symboles reçus par le terminal de destination d . Les coefficients α_n , $n=1, \dots, N_c$ sont comparés à une valeur de seuil prédéterminée α_T . On définit alors :

20

$$\Omega_{low} = \{f_n | \alpha_n > \alpha_T\} \text{ et } \Omega_{high} = \{f_n | \alpha_n \leq \alpha_T\} \quad (2)$$

Selon une variante, si les coefficients de transmission ont préalablement fait l'objet d'une
 25 quantification sur L niveaux $\bar{\alpha}_1, \dots, \bar{\alpha}_L$, les sous-ensembles Ω_{low} et Ω_{high} peuvent être définis par :

$$\Omega_{low} = \bigcup_{\alpha_k > \alpha_T} \Omega_k \text{ et } \Omega_{high} = \bigcup_{\alpha_k \leq \alpha_T} \Omega_k \quad (3)$$

Dans tous les cas, les seconds bits de parité P_r sont transmis dans des conditions plus favorables que les bits systématiques $\hat{I}_r$. L'idée à la base de
 5 l'invention est de garantir, autant que faire se peut, à la fois la dimension du turbocode et la diversité spatiale introduite par le relais. En effet si l'on suppose que les seconds bits de parité ne peuvent être
 10 décodés par le terminal de destination du fait d'un fort évanouissement on perd le bénéfice de l'entrelacement et du second codage convolutif et l'on réduit la dimension effective du turbocode.

La règle d'ordonnancement de l'ordonnanceur peut
 15 être contrôlée de différentes manières.

Selon une première variante, par exemple si le terminal source et le terminal relais ne sont pas très éloignés l'un de l'autre (les canaux de transmission source-destination et relais-destination sont alors
 20 similaires), le terminal source peut déterminer grâce à un indicateur de qualité de canal ou CQI (*Channel Quality Indicator*) les fréquences affectées par un fort évanouissement et en déduire le sous-ensemble Ω_{high} et son complémentaire Ω_{low} . L'information sur la partition
 25 $(\Omega_{high}, \Omega_{low})$ peut être transmise par le terminal source au terminal relais au moyen d'un canal auxiliaire (non représenté). Par exemple, un ensemble prédéterminé de partitions de Ω peut être indexé à l'aide d'une information de partition transmise sur le canal
 30 auxiliaire. Alternativement, l'information de partition

peut être incorporée dans un en-tête du message à transmettre. Il convient de noter que de toutes façons l'information de partition doit être transmise au terminal de destination. Ce dernier doit en effet
 5 connaître la règle d'ordonnancement utilisée au niveau du terminal relais pour pouvoir effectuer le décodage.

Selon une seconde variante, la règle d'ordonnancement peut être contrôlée de manière autonome par le terminal relais. Par exemple, si le
 10 terminal relais transmet des données propres au terminal de destination, ce qui sera fréquemment le cas si ce dernier est une station de base, il pourra déterminer la partition $(\Omega_{high}, \Omega_{low})$ à partir de l'indicateur de qualité (CQI) du canal relais-
 15 destination. Alternativement, si le terminal relais reçoit des données du terminal destination, c'est-à-dire sur sa liaison descendante si le terminal de destination est une station de base, il pourra, en supposant le canal réciproque, déterminer les
 20 coefficients d'atténuation des différentes porteuses grâce aux symboles pilotes reçus et en déduire la partition $(\Omega_{high}, \Omega_{low})$.

La Fig. 6 donne un exemple d'ordonnancement
 25 fréquentiel pour un canal de transmission entre le terminal relais r et le terminal de destination d , à quatre instances $\bar{\alpha}_1=0.4$; $\bar{\alpha}_2=0.8$; $\bar{\alpha}_3=0.2$; $\bar{\alpha}_4=0.6$. L'ensemble Ω_{low} est constitué des porteuses dont le coefficient d'atténuation est quantifié par $\bar{\alpha}_2$ ou $\bar{\alpha}_4$.
 30 L'ensemble Ω_{high} est constitué des porteuses dont le

coefficient d'atténuation est quantifié par $\bar{\alpha}_1$ ou $\bar{\alpha}_3$.
 On a supposé que le mot de code à transmettre était
 constitué de 14 bits $I_1, \dots, I_{14}$. Les bits de parité fournis
 par le codeur CC_r à partir des valeurs estimées $\hat{I}_1, \dots, \hat{I}_{14}$
 5 sont désignés ici par $P_{r1}, \dots, P_{r14}$. Le canal est supposé
 invariant pendant le temps de transmission du mot de
 code. On voit sur le tableau d'ordonnancement que les
 bits systématiques $\hat{I}_1, \dots, \hat{I}_{14}$ sont distribués sur les
 porteuses appartenant à l'ensemble Ω_{high} et que les bits
 10 de parité $P_{r1}, \dots, P_{r14}$ sont distribués sur les porteuses
 appartenant à l'ensemble Ω_{low} .

L'homme du métier comprendra que le mode de
 réalisation précédemment décrit peut se généraliser à
 15 un turbocodeur distribué sur un nombre quelconque de
 terminaux relais. Le terminal source tout comme les
 terminaux relais ne présentent pas nécessairement une
 seule dimension du turbocode, en d'autres termes une
 seule voie de codage convolutif, mais peuvent
 20 comprendre une pluralité de telles voies. Par exemple,
 si le système de communication coopératif comprend une
 pluralité de terminaux relais $r_1, \dots, r_J$, la dimension
 totale du turbocode sera $D = 1 + \sum_{j=1}^J v_j$ où v_j est le nombre
 de voies de codage convolutif du terminal relais r_j , et
 25 où le terme 1 représente la voie systématique.

Du côté du récepteur du terminal de destination,
 les valeurs souples des bits systématiques $I, \hat{I}_1, \dots,$

$\hat{I}_{r_j}$ reçus respectivement du terminal source et des
 terminaux relais sont combinées au moyen d'une
 combinaison MRC (Maximum Ratio Combining), pour fournir
 une valeur souple composite. Les valeurs souples
 5 composites de bits systématiques ainsi que les valeurs
 souples des bits de parité reçues respectivement des
 $\sum_{j=1}^J v_j$ voies de codage convolutif sont décodées de
 manière conventionnelle au moyen d'un turbodécodeur
 comprenant autant de décodeurs élémentaires de type
 10 SISO (Soft Input Soft Output) ou de type MAP (*Maximum A
 Posteriori*) que de voies de codage. Le décodage est
 effectué de manière connue en soi par itérations
 successives, chaque décodeur fournissant à chaque
 itération aux autres décodeurs les informations
 15 extrinsèques associées aux différents bits pour
 l'itération suivante. Il n'y a donc pas de complexité
 additionnelle par rapport à un turbo-décodage
 classique.

20 Le système de communication coopératif de la
 Fig. 5 fonctionne bien lorsque le canal de transmission
 entre le terminal source et le terminal de destination
 n'est pas soumis à des forts évanouissements (*deep
 fading*). Dans le cas inverse, on préfère alors utiliser
 25 un système de communication coopératif selon un second
 mode de réalisation de l'invention.

La Fig. 7 illustre un turbocodeur distribué selon
 un second mode de réalisation de l'invention. A
 30 l'inverse du mode de réalisation précédent,

l'ordonnancement fréquentiel est réalisé ici dans la partie 710 du turbocodeur résidant sur le terminal source, la seconde partie, 720, résidant sur le terminal relais n'effectuant qu'un multiplexage en
 5 sélectionnant alternativement ou aléatoirement les bits systématiques estimés $\hat{I}_r$ et les bits de parité P_r . Le fonctionnement de l'ordonnanceur fréquentiel FS_s est identique à celui de l'ordonnanceur fréquentiel FS_r du premier mode de réalisation, à la différence près qu'il
 10 opère sur les bits d'information systématique I et les bits de parité P_s . Dans ce mode de réalisation, la partition $(\Omega_{high}, \Omega_{low})$ est déterminée par le terminal source lui-même. L'information est cependant transmise sur un canal auxiliaire ou dans un en-tête, tant au
 15 terminal relais qu'au terminal de destination, qui ont tous deux besoin de connaître la règle d'ordonnancement pour pouvoir effectuer leurs opérations de décodage respectives.

Le second mode de réalisation donne de bons
 20 résultats lorsque le canal de transmission entre le terminal relais et le terminal de destination n'est pas sujet à de forts évanouissements. Dès lors que les deux canaux de transmission source-destination et relais-destination peuvent être affectés par des
 25 évanouissements, le troisième mode de réalisation est préféré.

La Fig. 8 représente un turbocodeur distribué selon un troisième mode de réalisation de l'invention.
 30 La première partie du turbocodeur, 810, résidant sur le

terminal source a la même structure dans le second mode de réalisation et la seconde partie, 820, résidant sur le terminal relais, a la même structure que dans le premier mode de réalisation. On conçoit ainsi que les
5 bits de parité P_s et P_r sont transmis de manière privilégiée sur les canaux de transmission source-destination et relais-destination, de sorte que la dimension du code est préservée au mieux.

La règle d'ordonnancement utilisée dans
10 l'ordonnanceur FS_s est déterminée par le terminal source comme expliqué dans le second mode de réalisation. La règle d'ordonnancement utilisée dans l'ordonnanceur FS_r est déterminée par le terminal source - c'est alors la même que celle utilisée par
15 FS_s - soit, de manière autonome par le terminal relais comme expliqué dans le premier mode de réalisation.

Les ordonnanceurs FS_s et/ou FS_r utilisent de préférence une règle d'ordonnancement dynamique, celle-
20 ci pouvant être par exemple rafraîchie à chaque nouveau mot de code ou bien selon une périodicité fonction de la rapidité d'évolution du canal.

REVENDICATIONS

1. Système de communication coopératif comprenant un terminal source (s), au moins un terminal
 5 relais (r), et un terminal de destination (d), le terminal source étant adapté à transmettre des données d'information (I) au terminal de destination sur un premier canal de transmission multi-porteuse, ledit système comprenant un turbocodeur distribué entre ledit
 10 terminal source et au moins ledit terminal relais, la partie du turbocodeur résidant sur le terminal source, dite première partie (510, 710, 810) comprenant une première voie systématique et au moins une première voie de codage convolutif (CC_s) codant lesdites données
 15 d'information pour générer des premières données de parité (P_s), le terminal relais estimant lesdites données d'information à partir d'un signal reçu du terminal source, la partie du turbocodeur résidant sur le terminal relais, dite seconde partie (520, 720, 820)
 20 comprenant une seconde voie systématique fournissant les données d'information ainsi estimées ($\hat{I}_r$) et une seconde voie de codage convolutif (CC_r) codant celles-ci après les avoir entrelacées pour générer des secondes données de parité (P_r), lesdites données
 25 estimées ($\hat{I}_r$) et lesdites secondes données de parité (P_r) étant transmises sur un second canal de transmission multi-porteuse, caractérisé en ce que ledit système comprend au moins un ordonnanceur de fréquences (FS_s, FS_r) résidant sur le terminal source ou

le terminal relais, ledit ordonnanceur allouant les porteuses (Ω_{high}) présentant un fort évanouissement aux données issues respectivement de la première ou de la seconde voie systématique et les porteuses présentant
5 un faible évanouissement (Ω_{low}) aux données issues respectivement de la première ou de la seconde voie de codage convolutif.

2. Système de communication coopératif
10 selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend un premier ordonnanceur de fréquences (FS_s) résidant sur le terminal source et recevant en entrée lesdites données d'information systématique (I) et lesdites premières données de parité (P_s) et allouant
15 les porteuses à fort évanouissement aux premières et les porteuses à faible évanouissement aux secondes.

3. Système de communication coopératif
selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il
20 comprend un second ordonnanceur de fréquences (FS_r) résidant sur le terminal relais et recevant en entrée lesdites données estimées d'information systématique et lesdites secondes données de parité (P_r) et allouant
les porteuses à fort évanouissement aux premières et
25 les porteuses à faible évanouissement aux secondes.

4. Dispositif de communication coopératif
selon la revendication 3, caractérisé en ce que la
partition entre porteuses à faible évanouissement (Ω_{low})
30 et porteuses à fort évanouissement (Ω_{high}) utilisée par

le second ordonnanceur (FS_r) est déterminée par le terminal source et qu'une information indicative de cette partition est transmise au terminal relais.

5 **5.** Dispositif de communication coopératif selon la revendication 4, caractérisé en ce que ladite partition est déterminée par le terminal source à partir d'un indicateur de qualité de canal (CQI) renvoyé par le terminal de destination.

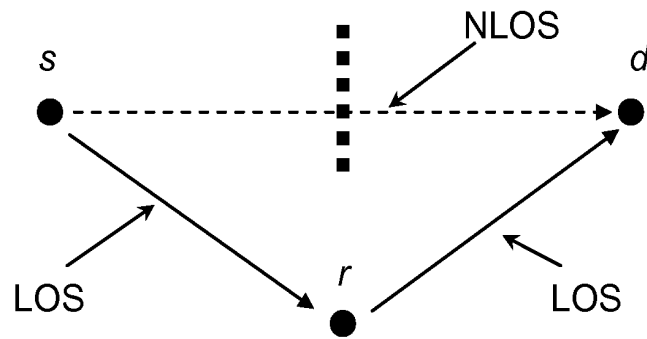
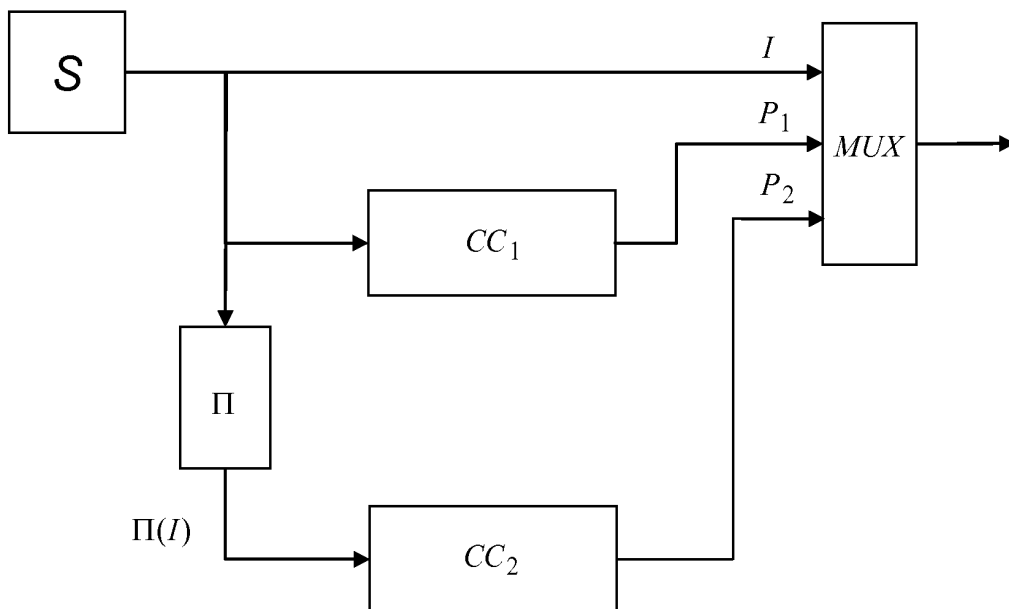
10

6. Dispositif de communication coopératif selon la revendication 3, caractérisé en ce que la partition entre porteuses à faible évanouissement (Ω_{low}) et porteuses à fort évanouissement (Ω_{high}) utilisée par
15 le second ordonnanceur est déterminée de manière autonome par le terminal relais.

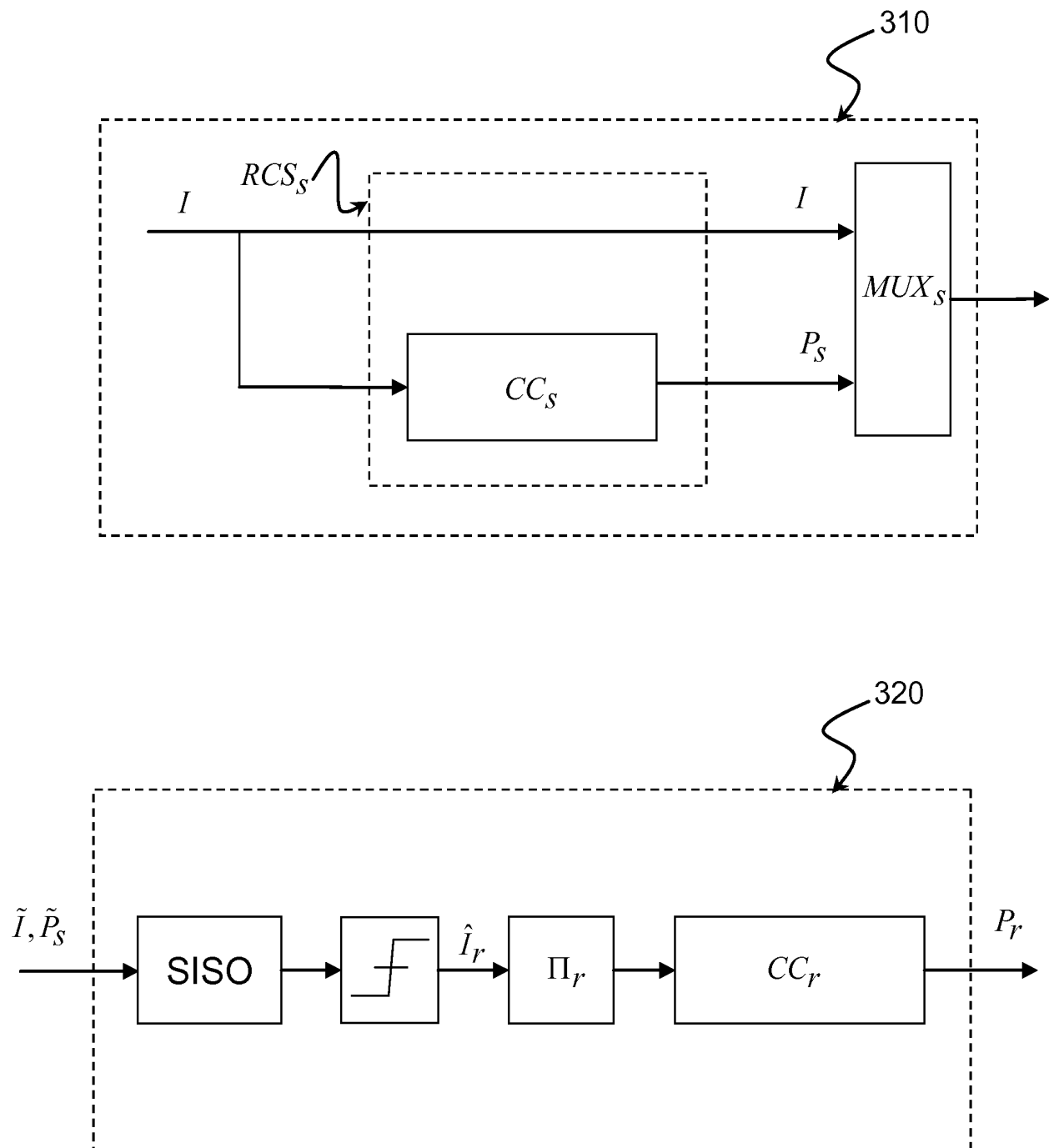
7. Dispositif de communication coopératif selon la revendication 6, caractérisé en ce que ladite
20 partition est déterminée par le terminal relais à partir d'un indicateur de qualité de canal (CQI) renvoyé par le terminal de destination.

8. Dispositif de communication coopératif
25 selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les premier et second canaux multiporteuse sont des canaux OFDM.

1/6

**Fig. 1****Fig. 2**

2/6

**Fig. 3**

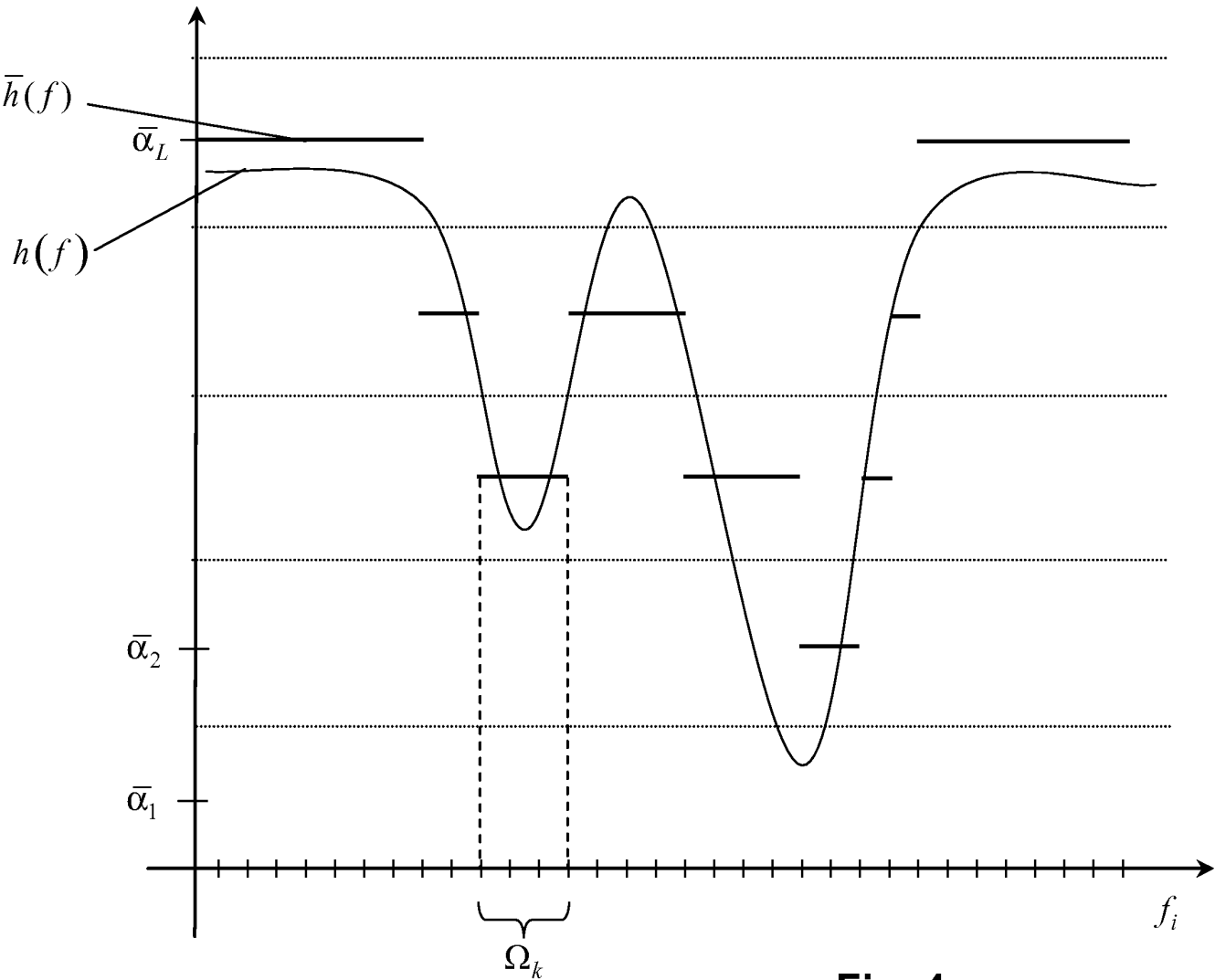
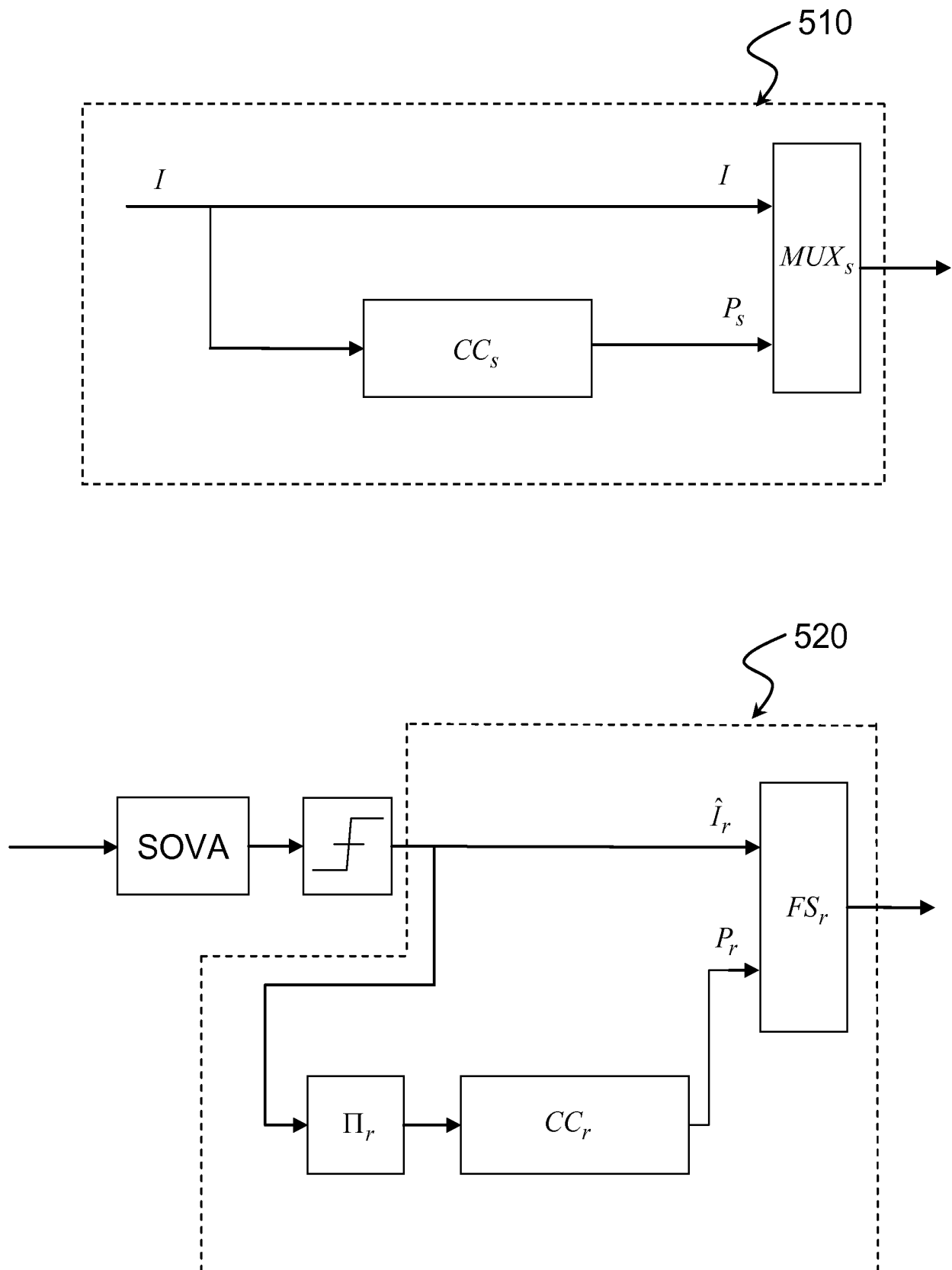


Fig. 4

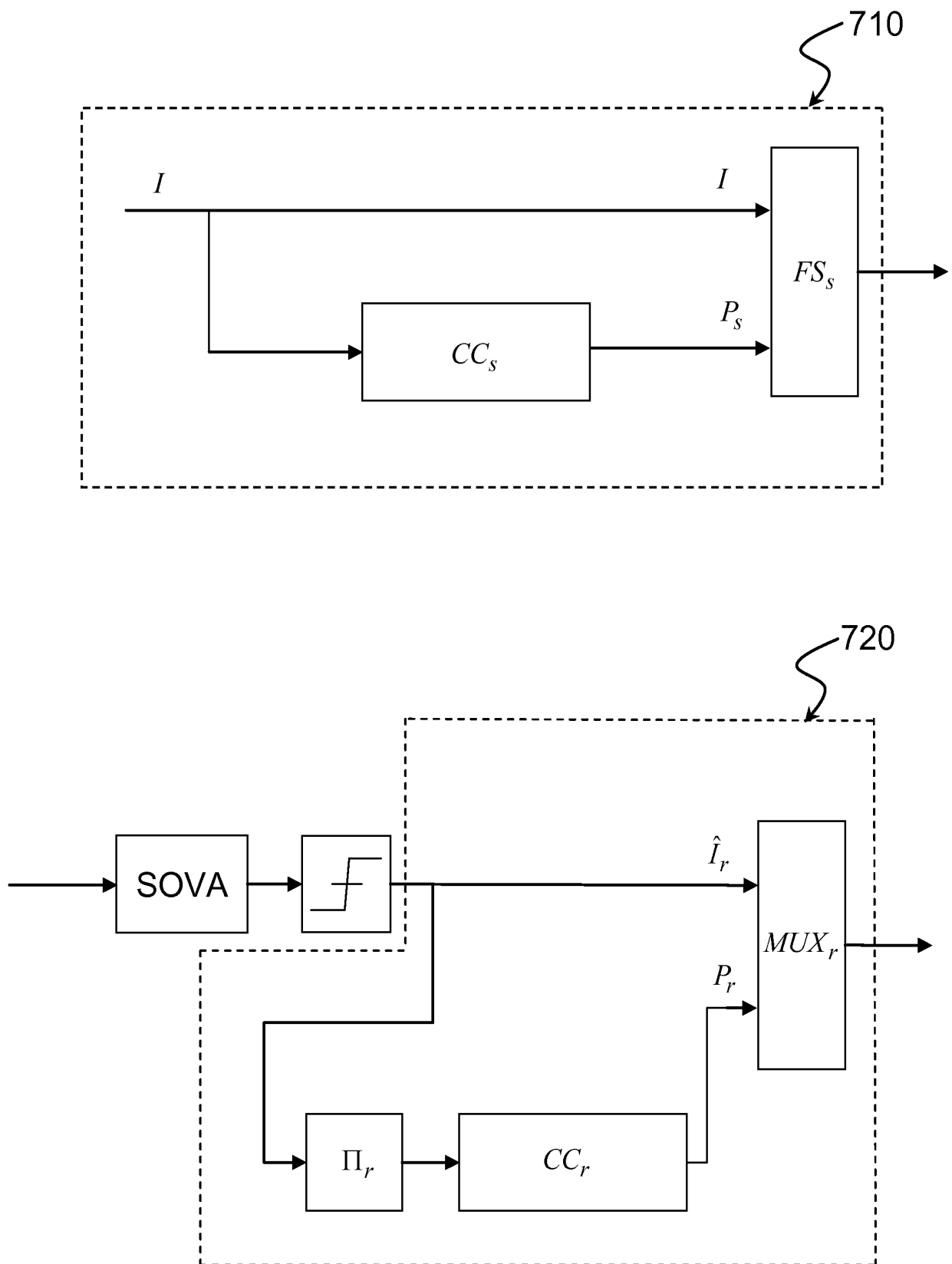
Ω_{high} Ω_{low}	$\bar{\alpha}_1$	$\hat{I}_1$	$\hat{I}_3$	$\hat{I}_5$	$\hat{I}_7$	$\hat{I}_9$	$\hat{I}_{11}$	$\hat{I}_{13}$
	$\bar{\alpha}_2$	P_1	P_3	P_5	P_7	P_9	P_{11}	P_{13}
	$\bar{\alpha}_3$	$\hat{I}_2$	$\hat{I}_4$	$\hat{I}_6$	$\hat{I}_8$	$\hat{I}_{10}$	$\hat{I}_{12}$	$\hat{I}_{14}$
	$\bar{\alpha}_4$	P_2	P_4	P_6	P_8	P_{10}	P_{12}	P_{14}

Fig. 6

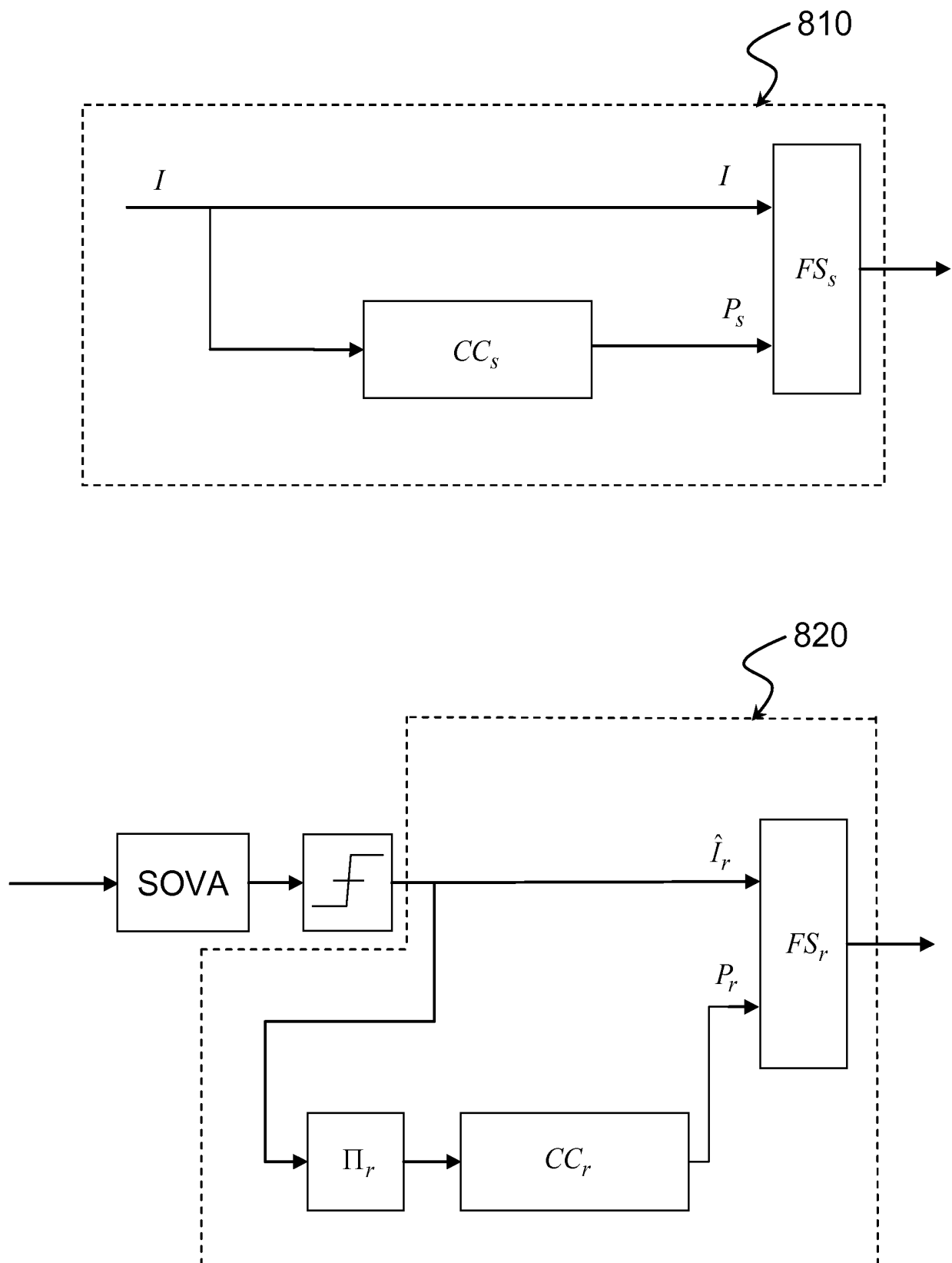
4/6

**Fig. 5**

5/6

**Fig. 7**

6/6

**Fig. 8**



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 713917
FR 0857166

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		
Y	WO 2008/109912 A (UNIV SYDNEY [AU]; LI YONGHUI [AU]; VUCETIC BRANKA [AU]) 18 septembre 2008 (2008-09-18) * page 1, ligne 5 - ligne 6 * * page 5, ligne 10 - ligne 15 * * page 6, ligne 9 - ligne 25 * * page 6, ligne 34 - page 7, ligne 3 * * page 9, ligne 2 - ligne 6 * * page 22, ligne 5 - ligne 10 * * page 22, ligne 21 - ligne 24 * * page 23, ligne 12 - ligne 15 * * page 26, ligne 7 - ligne 16 * * figures 1,3-5 * -----	1-8	H03M13/25 H03M13/27 H03M13/29 G06F11/10 H04J11/00
Y	FR 2 800 947 A (CANON KK [JP]) 11 mai 2001 (2001-05-11) * abrégé * * page 3, ligne 16 - ligne 29 * * page 4, ligne 20 - page 6, ligne 32 * * page 7, ligne 26 - page 8, ligne 8 * * page 8, ligne 19 - ligne 24 * * page 8, ligne 29 - page 9, ligne 2 * * page 12, ligne 14 - ligne 20 * * page 14, ligne 11 - ligne 21 * * page 27, ligne 20 - page 28, ligne 19 * * page 29, ligne 21 - page 31, ligne 4 * * page 37, ligne 1 - ligne 25 * * page 38, ligne 13 - ligne 23 * * page 43, ligne 19 - ligne 23 * * figures 1,4 * ----- -/--	1-8	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H04L
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
14 juillet 2009		Barel-Faucheux, C	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS 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 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			

6

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 713917
FR 0857166

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	VALENTI M C ET AL: "Distributed turbo codes: towards the capacity of the relay channel" VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE, 2003. VTC 2003-FALL. 2003 IEEE 58TH ORLANDO, FL, USA 6-9 OCT. 2003; [IEEE VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE], PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, US, 6 octobre 2003 (2003-10-06), pages 322-326 Vol.1, XP010700782 ISBN: 978-0-7803-7954-1 * le document en entier *	1-8	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	ZHAO B ET AL: "Distributed turbo coded diversity for relay channel" ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 39, no. 10, 15 mai 2003 (2003-05-15), pages 786-787, XP006020339 ISSN: 0013-5194 * le document en entier *	1-8	
A	US 2008/065946 A1 (CHOI YOUNG GON [KR] ET AL) 13 mars 2008 (2008-03-13) * le document en entier *	1-8	
A	WO 2007/064249 A (ERICSSON TELEFON AB L M [SE]; LARSSON PETER [SE]) 7 juin 2007 (2007-06-07) * le document en entier *	5,7	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
14 juillet 2009		Barel-Faucheux, C	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS 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 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			

6

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0857166 FA 713917**

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 **14-07-2009**

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
WO 2008109912 A	18-09-2008	AUCUN	
FR 2800947 A	11-05-2001	AUCUN	
US 2008065946 A1	13-03-2008	KR 20080023032 A	12-03-2008
WO 2007064249 A	07-06-2007	CA 2632191 A1	07-06-2007
		CN 101321944 A	10-12-2008
		CN 101322327 A	10-12-2008
		EP 1958345 A1	20-08-2008
		JP 2009517918 T	30-04-2009
		US 2008274692 A1	06-11-2008