

**PROCEDE ET SYSTEME PERMETTANT L'ALLOCATION DYNAMIQUE DE
PUISSANCE ET/OU DE MODULATION DANS UN SYSTEME COMPRENANT
N CANAUX**

5

L'invention concerne notamment le domaine des radiocommunications dans la bande de fréquences HF ou hautes fréquences à haut débit, par exemple pour un débit supérieur à 19,2 kb/s, obtenu pour un système comprenant plusieurs canaux ou voies (n) classiques de 3kHz de
10 bande passante. Le procédé permet de gérer dynamiquement l'allocation en puissance et/ou en modulation dans un système comprenant n canaux sous la contrainte de puissance donnée afin de maximiser le débit total transmis.

Les termes « voie » ou « canal » seront utilisés indifféremment dans la présente description. De même l'expression « contrainte de puissance
15 donnée » correspond à la valeur de la puissance disponible pour le fonctionnement d'un système ou au budget de puissance disponible dans le système.

La bande de fréquences HF visée va, typiquement, de 2 MHz à 30MHz.

20

Les liens HF offrent une capacité hors ligne de vue qui permet de réaliser des communications à longue voire très longue distance sans nécessiter le recours à un satellite.

La capacité de communication à longue distance des liens HF repose
25 sur la réflexion des ondes HF (2, 30 MHz) sur les couches de l'ionosphère, couches dont les qualités ne sont pas stables dans le temps et l'espace, ce qui amène de fortes variations du canal de propagation. A cette instabilité du canal viennent s'ajouter également la présence d'éventuels brouilleurs, en particulier la nuit où le spectre HF passant est moins important et donc plus encombré.

Malgré son instabilité, ce canal présente l'intérêt de permettre des communications à longue distance sans qu'il soit nécessaire de déployer au préalable une infrastructure compliquée ou coûteuse, à la différence des communications par satellite par exemple.

5 Considérant également sa meilleure furtivité par rapport au satellite, ceci explique pourquoi l'on cherche actuellement à augmenter les débits offerts sur les liens HF.

 Outre les utilisations les plus habituelles selon les directives de différents standards à des bandes de fréquence de largeur 3 kHz (canalisation
10 HF dite classique aussi appelée BLU, et leur extension standardisée dans le mode double à 6kHz dit BLI connu de l'Homme du métier qui travaille sur deux canaux adjacents, une solution a également été proposée dans la demande de brevet du Demandeur intitulée «Procédé et système de communications adaptatives en bande HF», sous le numéro FR 10/04650, pour considérer
15 l'emploi d'une pluralité (n) de tels canaux 3kHz (contigus ou non) afin d'offrir des débits utiles plus importants aux utilisateurs de la bande HF.

 L'un des problèmes à résoudre dans le cadre d'une utilisation d'une bande de fréquences plus large est celui de la gestion efficace du budget de puissance limité par les caractéristiques de l'amplificateur de puissance du
20 système émetteur.

 Il apparaît clairement que lorsque l'on va considérer une pluralité de canaux répartis dans une bande relativement large (p.ex. 200 kHz), et réaliser une émission large bande seule capable de permettre d'atteindre de haut débit (débits > 32 kb/s), les différentes voies réparties sur cette large bande ne
25 verront pas les mêmes imperfections du canal de propagation : typiquement les évanouissements ou fading seront différents, et a fortiori les brouillages, intentionnels ou non, différeront.

 Il est connu de l'art antérieur d'utiliser un même schéma de modulation, par exemple, M-PSK, M-QAM connues de l'Homme du métier, pour

deux voies, où le même code et entrelaceur est partagé et enfin où le budget de puissance est équiréparti. Un des inconvénients de l'art antérieur est de travailler sur une valeur typique de deux voies, et de ne disposer d'aucun moyen pour optimiser le nombre de porteuses et d'aucune indication de répartition de
5 puissance.

La demande de brevet WO 2007/015962 divulgue un procédé pour effectuer des transmissions multi-bande.

La demande de brevet US 2006/291582 décrit une solution d'adaptation à des canaux sélectifs pour la transmission dans un système
10 entrée multiple, sortie multiple, plus connu sous l'abréviation « MIMO ». L'idée est d'utiliser une adaptation de puissance pour permettre à tous les canaux de voir le même rapport signal sur bruit équivalent et donc d'utiliser la même modulation pour tous les canaux.

En tenant compte d'un système comprenant un maximum de n
15 porteuses correspondant à n voies réparties dans une bande de fréquences donnée, le procédé selon l'invention va chercher à obtenir la meilleure répartition du budget de puissance disponible sur ces n porteuses, afin d'optimiser le débit utile transmis.

Le problème technique posé est donc, pour un budget de puissance
20 donné, de déterminer le nombre de voies optimal et/ou le choix de modulation et de codage correspondants, ainsi que la répartition de puissance sur chacune des voies afin de permettre une optimisation d'un débit utile le plus élevé possible, correspondant au point de fonctionnement donné du système.

L'expression « point de fonctionnement donné » d'un système est
25 connue de l'Homme du métier et correspond à un point de fonctionnement fixé par l'utilisateur. Ce point de fonctionnement est défini comme la valeur du rapport signal à bruit auquel il est prévu de faire fonctionner le système.

Le débit utile est défini comme le rapport du nombre de bits utilisateurs fournis en entrée du code correcteur et du temps nécessaire à leur

transmission. Similairement, le débit total est défini comme le rapport du nombre de bits total transmis (bits codés et bits de signalisation) rapporté au temps nécessaire à leur transmission.

L'invention concerne un procédé d'allocation dynamique de puissance nécessaire pour chaque voie d'un système de communication HF comprenant un nombre n de voies pour la transmission de signal, le système comprenant un amplificateur de puissance totale maximale P_{tot} caractérisé en ce qu'il comporte au moins une étape dans laquelle on gère la puissance et/ou la modulation sur tous les n canaux dudit système afin d'optimiser une probabilité d'erreur donnée dite point de fonctionnement pour un débit maximal D_{max} sous la contrainte de la puissance totale imposée par le fonctionnement dudit système.

L'objet de l'invention concerne un procédé d'allocation dynamique de puissance nécessaire pour chaque canal d'un système de communication HF comprenant un nombre n de canaux pour la transmission de signal, le système comprenant un amplificateur de puissance totale maximale P_{tot} caractérisé en ce qu'il comporte au moins les étapes suivantes :

- une étape d'initialisation du système dans laquelle on définit m schémas de modulation et une valeur de rapport signal à bruit SNR,
- une étape où l'on détermine une valeur de puissance P_{nec} nécessaire pour atteindre la valeur SNR en fonction d'une valeur de qualité Q_{ch} de canal ou voie obtenue par voie de retour,
- une étape de classification des différents canaux chn par niveau de Q_{ch} décroissant, générant un vecteur de n valeurs (au maximum) ordonné de façon décroissante, afin que pour une modulation m donnée la puissance nécessaire P_m^j pour transmettre sur le canal j soit inférieure ou égale à P_m^{j+1}

- une étape où pour chaque canal n , en utilisant la valeur de Q_{ch} et la valeur de SNR de fonctionnement, on déduit une matrice de puissance nécessaire pour chaque modulation m considérée et on obtient $P[P_i^j]$ où i varie de 1 à m modulations et j varie de 1 à n canaux,
- 5 • pour un schéma de modulation identique utilisé pour tous les n canaux, une étape de détermination du nombre de canaux à utiliser, en considérant la matrice P ligne par ligne, en calculant la puissance $P_i(k) = \sum_{j=1..k} P_i^j$ et la valeur du débit pour un ensemble de k canaux, $d_i(k) = k \times d_i$ pour k de 1 à n , k est l'indice du canal, d_i = débit pour la $i^{\text{ème}}$
- 10 modulation, et la sélection d'une combinaison des n canaux offrant un débit total maximal D_{totmax} tout en respectant la contrainte de puissance totale.

Selon une variante de réalisation, dans le cas où il existe m schémas de codage différents pour les n canaux, le procédé comporte au moins les

15 étapes suivantes :

- une étape d'initialisation du système dans laquelle on définit m schémas de modulation et une valeur de rapport signal à bruit SNR,
- une étape où l'on détermine une valeur de puissance P_{nec} nécessaire pour atteindre la valeur SNR en fonction d'une valeur de qualité Q_{ch} de
- 20 canal ou voie obtenue par voie de retour,
- une étape de classification des différents canaux chn par niveau de Q_{ch} décroissant, générant un vecteur de n valeurs (au maximum) ordonné de façon décroissante, afin que pour une modulation m donnée la puissance nécessaire P_m^j pour transmettre sur le canal j soit inférieure ou égale à
- 25 P_m^{j+1}
- une étape où pour chaque canal n , en utilisant la valeur de Q_{ch} et la valeur de SNR de fonctionnement, on déduit une matrice de puissance

nécessaire pour chaque modulation m considérée et on obtient $P[P_i^j]$ où i varie de 1 à m modulations et j varie de 1 à n canaux,

- une étape de détermination des n canaux possibles et de l'allocation de la puissance consistant à maximiser le débit :

$$\max \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{i,j} d_i \text{ sous les contraintes :}$$

$$(C_0) \text{ d'intégrité : } x_{i,j} \in \{0;1\}, \sum_{i=1}^n x_{i,j} = 1 \forall j$$

$$(C_1) \text{ de puissance : } \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{i,j} P_i^j \leq P_{tot}$$

$$\text{sachant : } P_i^j \leq P_i^{j+1} \forall i, j \text{ et } d_i > d_{i+1} \forall i$$

où $d_i(k) = k x d_i$ pour k de 1 à n , k est l'indice du canal, d_i = débit pour la $i^{\text{ème}}$ modulation.

Selon une variante du procédé, on teste la valeur de NbC de combinaisons, nombre de la classe C_{m+n-1}^n , et pour une valeur NbC suffisamment faible et jugée acceptable, on calcule les différentes puissances nécessaires pour chaque débit d_i , en partant de la valeur maximale possible $D_{\max}$, et l'on arrête le calcul dès que la contrainte de puissance C_1 est vérifiée.

La valeur de NbC de combinaisons, nombre de la classe C_{m+n-1}^n dépassant une valeur seuil fixée, le procédé comporte, par exemple, une étape consistant à parcourir l'arbre des possibles en procédant à des élagages permettant de réduire la complexité,

- Un de ces premiers élagages simples consiste à considérer les combinaisons existant entre un débit D_{fonc} défini comme celui souhaité par le système et un débit $D_{\min}$ défini comme un débit atteignable, puis
- On détermine un nombre de combinaisons $\text{NbC}' < \text{NbC}$,

- Le nombre NbC' est ensuite comparé à une valeur seuil, si NbC' est inférieure à ladite valeur seuil alors le procédé parcourt les débits depuis D_{fonc} jusqu'au premier débit vérifiant la contrainte de puissance.

5 Selon une variante de réalisation, le procédé parcourt l'arbre des possibilités de combinaisons en procédant à des élagages en utilisant la contrainte de puissance C_1 et en vérifiant le potentiel de débit par rapport au meilleur débit courant.

10 Pour des systèmes comprenant plusieurs possibilités de codage correcteur d'erreur FEC avec chacune une série de modulations m possibles, le procédé réitère les étapes précitées de déduction de matrice et de détermination du nombre de canaux à utiliser, pour chaque série de modulations servant son code correcteur et compare les résultats pour chaque configuration FEC, afin de retenir la configuration de modulation et de codage donnant le débit le plus élevé.

15 Le procédé comporte, par exemple, une étape de post-correction sur l'allocation de puissance et d'optimisation en fonction de la valeur du budget de puissance lorsque le budget de puissance optimal P_{opti} trouvé est strictement inférieur au budget réel disponible P_{reel} , le procédé va émettre au budget optimal P_{opti} trouvé, afin de limiter la puissance émise.

20 Le procédé peut comporter une étape de post-correction sur l'allocation de puissance et d'optimisation en fonction de la valeur du budget de puissance lorsque le budget de puissance optimal P_{opti} trouvé est strictement inférieur au budget réel disponible P_{reel} , le procédé va allouer le reste de budget de puissance disponible sur les différents canaux sélectionnés, afin d'améliorer
25 leur marge de fonctionnement.

Selon une variante on corrige la valeur de P_{tot} avec un facteur de recul correspondant aux modulations trouvées et on réitère les étapes du procédé selon l'invention.

Les étapes du procédé sont réitérées lorsque les informations sur la qualité Qch de la liaison évoluent.

L'invention concerne aussi un système permettant de gérer l'allocation de puissance et/ou de modulation sur différentes voies pour communications HF large bande caractérisé en ce qu'il comporte en

5 combinaison au moins les éléments suivants:

- Un émetteur HF comprenant n voies de transmission, avec n supérieur à 1, dans la bande HF,
- 10 • Un récepteur R comprenant des moyens pour recevoir un ensemble de n canaux fréquentiels sélectionnés et des moyens pour déterminer la qualité d'un canal,
- Une voie de retour permettant la transmission de l'information de la qualité du canal vers l'émetteur,
- 15 • Ledit système comportant des moyens pour mettre en œuvre les étapes du procédé selon l'invention.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront mieux à la lecture de la description d'un ou plusieurs exemples de réalisation faite en regard des figures qui représentent:

- 20 • La figure 1, un exemple de structure d'un système permettant la mise en œuvre du procédé,
- La figure 2, un exemple d'algorithme pour le séquençement des étapes du procédé selon l'invention,
- La figure 3, une représentation de la classification des voies par niveau
- 25 de qualité décroissant,
- La figure 4, une illustration d'un premier exemple de mise en œuvre du procédé,

- Les figures 5A, 5B, 5C, 5D, 5E, un deuxième exemple de mise en œuvre du procédé selon l'invention utilisant un parcours en arbre, et
- La figure 6, la mise en forme du signal en sortie du système émetteur-récepteur selon l'invention.

5

En résumé, le procédé selon l'invention, dont plusieurs exemples vont être donnés dans la suite de la description, comporte la définition dynamique de l'allocation de la puissance nécessaire par canal ou voie et/ou de l'allocation de la modulation sous condition de maximisation du débit utile total transmis.

10

L'idée mise en œuvre est de tirer avantage du fait que les porteuses ne voient pas des canaux de propagation identiques et n'ont donc pas les mêmes besoins de puissance. Ceci est d'autant plus vrai lorsque des modulations différentes sont employées sur les différentes voies. Le procédé va donc chercher à définir la meilleure solution en termes de nombre de porteuses et de niveau de puissance attribuée à chacune afin de réussir à transmettre un

15

La figure 1 représente un exemple de schéma d'un émetteur/récepteur radio comprenant les éléments suivants.

20

Au niveau de la partie émetteur du système ; les données binaires {0, 1} de l'utilisateur passent en premier dans un module de correction 1, FEC, puis dans un entrelaceur 2, avant d'être démultiplexées 3. Les données démultiplexées, sont ensuite transmises sur n canaux ch1,...chn, parallèles. Les n canaux sont, par exemple, des canaux de largeur 3KHz pouvant être contigus ou non.

25

Les données après traitement dans la chaîne d'émission 4 constituée d'un module de formation de symboles SYM, d'un module de scrambling SYM, d'un module de mise en trame, de modulation M et de filtre $g(t)$ sont sommées

6, puis transmises via un canal 7 vers une partie réceptrice de l'émetteur/récepteur radio.

Au niveau de la partie récepteur R, le signal reçu est dans un premier temps transposé T'fi en fréquence, 8, ce qui permet une séparation des données sur les n canaux chn, puis les données sont transmises dans une chaîne de traitement 9 qui traite les données sur n canaux en parallèle avant de les réassembler au niveau d'un tampon parallèle série 10 puis de transmettre l'ensemble à un désentrelaceur 11 symétrique de l'entrelaceur de la partie émetteur. Après désentrelacement, les données sont transmises à un module de décodage correcteur 12 qui fournit des données binaires {0, 1}.

Au niveau de la chaîne de réception, la chaîne de traitement 9 comprend des éléments connus de l'Homme du métier, notamment un module de synchronisation SYN pour chacune des voies, un module d'égalisation BFDE, suivi d'un module de prédiction de synchronisation SYNPN.

Le système comporte aussi une voie de retour 13 permettant de collecter la qualité du canal de propagation pour les différents canaux possibles pour la transmission, capable d'informer le système de la qualité du canal de propagation pour chacun des canaux. Ces informations de qualité Qch de canal ou de voie sont regroupées dans un ensemble S.

Afin d'obtenir une information sur la qualité Qch d'un canal ou voie de propagation, il est possible d'utiliser la technique décrite dans la demande de brevet précitée FR /1004650 du demandeur. Ainsi, il est possible d'obtenir des informations de qualité correspondant à une puissance de bruit ou à un rapport signal qui est transmis par le récepteur à l'émetteur, à partir de mesures réalisées en réception soit sur le rapport signal-à-bruit estimé, par exemple sur des symboles pilotes de la trame reçue, soit pour les canaux où il n'y a pas de trafic, par intégration du bruit sur la sous-bande considérée. En pratique, ces valeurs mesurées seront converties en une valeur discrète prise dans l'ensemble prédéfini S de valeurs qualifiant la liaison. Par exemple, la puissance

du signal reçu est mesurée, en l'absence de transmission dans chaque canal. Cette mesure est effectuée par le récepteur avec un convertisseur analogique-numérique de dynamique et de valeur de saturation connues, non représenté sur la figure car ne faisant pas partie de l'invention. La note de qualité de la transmission peut également prendre en compte une valeur de puissance
5 moyenne du signal au cours d'une période de temps passée. Cette puissance moyenne est exploitable uniquement si sa mesure est réalisée sur une période de temps pour laquelle les conditions d'émission et de réception sont comparables à celles observées pour la mesure de la puissance instantanée du
10 signal. Il est aussi possible de pondérer la mesure de la puissance instantanée du signal, par des allocations préférentielles à différents services. Par exemple, si l'on dispose de fréquences attribuées en propre et d'autres en accès partagé, on pourra favoriser l'utilisation des fréquences en propre.

Avant de décrire les étapes mises en œuvre par le procédé selon l'invention, les conditions nécessaires à la mise en œuvre vont être posées :
15 Soient

- n le nombre maximal de canaux utilisés dans la bande de fréquence totale du signal ;
- P_{tot} la puissance totale maximale que l'amplificateur (non représenté) de
20 la chaîne d'émission peut fournir. Cette puissance tient compte de l'éventuel facteur de recul (connu sous l'acronyme anglo-saxon *back-off*) nécessairement introduit pour protéger l'amplificateur utilisé en multi-
porteuses ;
- m le nombre de schémas de modulation (et codage) pouvant être
25 considérés sur chaque voie ou canal. Ces schémas sont classés par ordre décroissant de débits d_i , c'est-à-dire que $d_i > d_{i+1}$ $i=1..m-1$,
 $d_1 > d_2 \dots > d_{m-1}$.

Les schémas de modulation et codage sont ordonnés logiquement, à savoir que l'on considère des solutions pour lesquelles on a des débits inversement décroissants avec le rapport signal à bruit nécessaire pour atteindre un point de fonctionnement du système.

5 Dans le cas où, dans une approche de type BLI (bande latérale inférieure), le code correcteur est partagé entre les voies ou canaux, seul le schéma de modulation est variable canal par canal (des modulations codées pouvant être également envisagées sur une ou plusieurs des différents canaux), le codage correcteur étant partagé entre les voies.

10 En revanche, il est possible d'envisager plusieurs possibilités de code correcteur FEC dans les paramètres du système. Chaque code correcteur FEC est alors considéré avec sa série de modulations possibles ; dans ce cas, l'algorithme décrit ci-après sera relancé pour chaque série de modulations servant son code correcteur, et les résultats obtenus pour chaque configuration
15 FEC seront ensuite comparés pour conclure sur la solution offrant le meilleur débit tout en respectant les contraintes imposées, notamment la puissance disponible ou le budget de puissance disponible.

L'un des objectifs du procédé et du système selon l'invention est d'atteindre une probabilité d'erreur donnée (dite point de fonctionnement du
20 système) pour un débit utile maximal (afin d'obtenir un service le plus efficace possible) sous la contrainte de la puissance totale imposée. On notera que l'approche restera valable si l'on souhaite atteindre un débit donné $D_{\max}$, comme détaillé plus loin.

La figure 2 illustre les différentes étapes du procédé selon l'invention.
25 Les premières étapes 20, 21 sont des étapes d'initialisation du système réalisées une fois pour toutes et intégrées aux informations du système, puis vient une étape 22 d'initialisation de la liaison (établissement de la communication et transmission), qui est réalisée une unique fois en début de chaque liaison, et enfin les étapes récurrentes 23, 24, 25, 26 réalisées à chaque

fois que les paramètres de la communication (qualité du canal de transmission, par exemple) du système changent, et donc notamment que les informations de qualité transmises par la voie de retour changent.

Etapas d'initialisation du système

5 La première étape Etape 20 consiste à établir, pour chacun des m schémas de codage considérés et pour un modèle de canal considéré, la valeur SNR du rapport signal à bruit minimal qui permet de garantir la probabilité d'erreur cible. Ceci met en œuvre des mécanismes connus de l'Homme du métier.

10 Dans le cas où le système comporte plusieurs points de fonctionnement cible (par exemple un point de fonctionnement pour la phonie, et un point de fonctionnement pour la transmission de données), le procédé définira le rapport signal-à-bruit SNR nécessaire par point de fonctionnement. On utilisera alors par la suite les valeurs correspondant au type d'usage
15 concerné.

 Puis une deuxième étape d'initialisation du système Etape 21, consiste à définir l'ensemble des combinaisons possibles de schémas de modulation et codage. En pratique, le procédé considère une combinatoire non ordonnée, l'ordre final des voies ou canaux n n'important pas ici puisqu'elles
20 seront classées ensuite selon les besoins de l'utilisateur.

 Les débits utiles d_{ut} offerts par chacune des combinaisons de schémas de modulation et codage d'au plus n voies ou canaux sont alors classés par débits utiles d_{ut} décroissants, pour donner un vecteur D de taille NbC. Ce vecteur contient l'information du débit utile d_{ut} offert, du nombre N de
25 canaux utilisés ainsi que l'information de la combinaison de schéma de modulation (et codage) permettant de l'atteindre. On notera que pour m configurations de modulations et un maximum de n voies, on obtient une valeur de NbC de la classe C_{m+n-1}^n .

Selon un mode de réalisation, il est aussi possible de réduire la valeur de NbC en interdisant certaines combinaisons, comme cela a par exemple été choisi en mode BLI pour lequel le standard ne définit que certains des débits possibles définis en Bande Latérale Unique BLU.

5 Etape d'initialisation de la liaison

Une fois le système initialisé, le procédé va mettre en œuvre une première étape d'initialisation de la liaison, Etape 22, qui va consister à établir pour les équipements utilisés (en fonction donc de leurs caractéristiques précises, de la liaison considérée, ...) différentes valeurs de puissances P
10 nécessaires pour atteindre leur point SNR de fonctionnement, en fonction des différentes valeurs possibles de qualité Qch de canal de propagation que peut fournir la voie de retour 13. Soit S l'ensemble de ces valeurs de qualité du canal de propagation envisagées, et |S| le cardinal de cet ensemble.

Cette étape de calcul des $|S|^m$ valeurs permet, notamment de ne pas
15 refaire à chaque fois le calcul du vecteur des puissances nécessaires P_{nec} , où m est le nombre de modulations. Il est aussi possible de décider de recalculer à chaque itération uniquement les m x n puissances nécessaires, avec m le nombre de modulations possibles et n le nombre de canaux considérés.

Ces étapes préliminaires réalisées, le procédé va ensuite exécuter
20 une phase récurrente correspondant aux étapes décrites ci-après et répétées à chaque fois que de nouvelles informations, notamment sur la qualité d'une liaison sont obtenues au niveau de l'émetteur par la voie de retour.

En l'absence de nouvelles informations de qualité et de toute modification dans le système, les mêmes paramètres de transmission seront
25 utilisés. En revanche, face à une modification dans le système (par exemple un changement de type de transmission), on pourra être amené à relancer l'étape d'initialisation de la liaison 22.

Etapes de récurrence

La première étape de la phase de récurrence, Etape 23, consiste, notamment, à établir une classification des différentes voies possibles par niveau de qualité Q_{ch} décroissant en fonction des mesures de qualité reçues.

- 5 Cette approche est illustrée par la figure 3, dans un diagramme dont l'axe des ordonnées correspondant à la dégradation du canal et l'axe des abscisses à des fréquences autorisées ou non, montrant que certaines voies associées à une fréquence b_1 peuvent être éliminées car interdites b_4 , b_9 , (fréquences non autorisées en émission correspondant aux canaux ou voies Ch_4 , Ch_9), ou trop
- 10 mauvaises, par exemple b_1 correspondant à une valeur de qualité située au-delà d'un niveau jugé comme inacceptable. A la fin de cette étape 23 le procédé génère un vecteur V de n valeurs (au maximum) ordonnées de façon décroissante, à savoir que pour chaque modulation m considérée, la puissance nécessaire P_m^j pour transmettre sur le canal j sera inférieure ou égale à la
- 15 puissance P_m^{j+1} pour transmettre sur le canal $j+1$.

- Puis lors d'une deuxième Etape 24, pour chacune de ces n canaux correspondant aux fréquences autorisées et ordonnées à l'étape précédente, le procédé va déduire de la valeur de la qualité Q_{ch} de canal obtenue par l'information de qualité obtenue par la voie de retour 13 et de la valeur du
- 20 rapport signal à bruit SNR de fonctionnement du système, la puissance P_{nec} nécessaire pour chaque schéma de modulation m et codage envisageable. Ceci définit la matrice de puissance $P=[P_i^j]_{i=1..m, j=1..n}$ qui vérifie donc les contraintes sus-mentionnées $P_i^j \leq P_i^{j+1}$ pour tout $j=1..n-1$, $i:1..m$. Chaque ligne de la matrice correspond à la transmission du débit d_i avec par construction la relation
- 25 $d_i > d_{i+1}$ $i=1..m-1$.

$$P = \begin{bmatrix} P_1^1 & \dots & P_1^n \\ P_2^1 & \dots & P_2^n \\ \vdots & & \vdots \\ P_m^1 & \dots & P_m^n \end{bmatrix}$$

En considérant par simplicité que la dernière ligne (schéma de modulation et codage numéro m) correspond à l'absence de transmission (soit un débit nul et une puissance nulle), on est donc en mesure de travailler en

5 considérant toujours une transmission à n canaux, certains canaux étant éventuellement associés à une puissance $P_m^{j+1} = 0$ et à un débit $d_i = 0$.

Deux variantes de mise en œuvre du procédé pour la partie récurrente vont être décrites en relation aux figures 4 et 5 selon que les schémas de modulation et codage m sont identiques ou non sur les n canaux.

10 Selon une première variante de mise en œuvre, figure 4, le même schéma de modulation et codage est utilisé pour chacune des voies. Le problème se simplifie et le procédé va déterminer le nombre n de voies ou canaux à utiliser ainsi que la puissance allouée par voie ou canal soit un maximum de $n \cdot m$ cas avec m la modulation.

15 Le procédé considère ligne par ligne (i.e. pour un schéma donné de modulation et codage considéré) la matrice P en calculant la puissance $P_i(k) = \sum_{j=1..k} P_i^j$ et la valeur du débit pour un ensemble de k canaux, $d_i(k) = k \cdot d_i$ pour k de 1 à n, k est l'indice du canal, d_i = débit pour la $i^{\text{ème}}$ modulation, et retient comme solution la combinaison offrant le débit total maximal tout en

20 respectant la contrainte de puissance totale Soit D_{totmax} cette solution, elle correspond au débit retenu pour le cas où il existe le même schéma de modulation m sur les différentes voies ou canaux n.

Sur la figure 4, le budget puissance total est P_{tot} , le procédé alloue le budget de puissance en priorité aux voies présentant les meilleures conditions de propagation, soit dans l'ordre

$b_8 \ b_5 \ b_2 \ b_{11} \ b_{10} \ b_6 \ b_4 = A \ B \ C \ D \ E \ F$.

- 5 Selon une deuxième variante de mise en œuvre décrite à la figure 5, dans le cas où l'on utilise des schémas de modulation et codage différents sur chaque canal n , le procédé va exécuter une étape qui consiste à maximiser le débit sous contraintes, c'est-à-dire à résoudre un problème à $n \times m$ inconnues sous deux contraintes, d'une part une contrainte de puissance totale
- 10 P_{tot} pour le système, et d'autre part une contrainte de définition d'une unique puissance P_i^j , puissance pour le canal j et la modulation i , à considérer par voie ou canal n .

- Cette seconde contrainte peut être formalisée au moyen de variables $x_{i,j}$ permettant d'imposer une contrainte d'intégrité c'est-à-dire qu'une et une
- 15 seule des puissances P_i^j , puissance pour le canal j et la modulation i , sera considérée par ligne au niveau de la matrice de puissance, avec d_i : le débit pour la modulation $i=1..m$, P_{tot} le budget de puissance totale pour le système

$$\max \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{i,j} d_i \text{ sous les contraintes :}$$

$$(C_0) \text{ d'intégrité : } x_{i,j} \in \{0;1\}, \sum_{i=1}^m x_{i,j} = 1 \forall j$$

$$(C_1) \text{ de puissance : } \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{i,j} P_i^j \leq P_{tot}$$

$$\text{sachant : } P_i^j \leq P_i^{j+1} \forall i, j \text{ et } d_i > d_{i+1} \forall i$$

- Cette approche permet, notamment dans le cas de valeurs m et n importantes,
- 20 de ne pas avoir à tester un nombre NbC très important, par exemple, $C_{m+n-1}^n = 6435$ dans le cas où $m=8$ et $n=8$.

Si la valeur de NbC est jugée suffisamment faible pour que l'ensemble des tests puissent être menés dans le temps imparti ou avec une complexité acceptable (facteurs dépendant de l'équipement, des capacités de calcul, ...), le problème peut être résolu en calculant les puissances nécessaires pour chaque débit d_i , éventuellement en partant d'une valeur minimale possible de débit calculée par ailleurs, par exemple en utilisant la procédure décrite pour le cas où tous les canaux emploient le même schéma de modulation et codage. Le calcul s'arrête dès que la contrainte de puissance C_1 est vérifiée, puisque le problème sous contrainte de puissance totale est alors résolu de manière optimale pour le système.

Si la valeur de NbC est jugée trop importante pour que l'ensemble des tests puissent être menés dans le temps imparti ou pour une consommation acceptable (en particulier lorsque l'on considère des équipements portatifs), afin de trouver la combinaison optimale (débits-modulations-nombre de canaux utilisés), le procédé va parcourir l'arbre des possibles en procédant à des élagages permettant de réduire la complexité, ceci est représenté aux figures 5A-5D.

Un des premiers élagages simples consiste à ne pas considérer les NbC combinaisons mais à considérer les combinaisons existant entre un débit D_{fonc} défini comme celui souhaité par le système (a priori le débit D par exemple décrit dans la demande de brevet précitée FR10/04650, sauf si en pratique les couches applicatives ne suscitent pas un trafic suffisamment important) et un débit D_{min} défini comme un débit atteignable : en pratique, il est possible de prendre comme valeur le débit D_{totmax} , défini ci-avant.

On obtient alors (après avoir situé rapidement D_{fonc} et D_{min} dans le vecteur D grâce à une recherche dans D par exemple par dichotomie, méthode connue de l'Homme du métier) un nombre de combinaisons $\text{NbC}' < \text{NbC}$ qui, s'il est jugé acceptable, c'est-à-dire d'une complexité n'excédant pas les capacités de l'équipement par rapport au temps imparti pour mener ce calcul, permettra

de résoudre le problème en parcourant les débits depuis $D_{\max}$ jusqu'au premier débit vérifiant la contrainte de puissance.

Si NbC' est jugé encore trop élevé, le procédé va utiliser des étapes d'élagage représentées à la figure 5 qui utilise l'ordonnancement important de la
 5 matrice P, afin d'élaguer au maximum des branches de l'arbre de possibles que l'on va parcourir dans la matrice P.

En détail, le parcours de la matrice des puissances nécessaires repose sur le principe d'un élagage de l'arbre par détection des configurations modulation- codage MCS qui ne respectent pas C_1 la contrainte de puissance et
 10 qui ne peuvent offrir un meilleur débit total que le débit obtenu par la configuration courante. Ceci est garanti par les règles de parcours de la matrice de puissance qui a été construites en fonction des règles ordonnancements précités débits/puissance.

Pour cela, le procédé va, par exemple, exécuter les étapes de
 15 parcours représentées avec les figures 5A, 5B, 5C, 5D.

Initialisation des variables :

Paramètres de la configuration optimale courante : débit cumulé $d_{\text{curr}}=0$; vecteur des modulations choisies $m_{\text{curr}}=(0, \dots, 0)_{0 \dots m}$ (on introduit ici une modulation virtuelle m_0 pour permettre de réaliser la boucle sur les comparaisons de
 20 modulation entre la colonne courante et la précédente sans avoir à particulariser le traitement de la première colonne);

Paramètres de la configuration en cours de test : débit cumulé $d_{\text{test}}=0$; vecteur des modulations testées $m_{\text{test}}=(0, \dots, 0)_{0 \dots m}$;

Premier parcours de l'arbre (illustré par les étapes figure 5B et 5C) :
 25 Pour l variant de 1 à n, nombre de canaux, on parcourt les différents canaux par pas de 1,

Sélectionner $m_{\text{test}}(l)$, la meilleure valeur de schéma de modulation et codage (correspondant au débit le plus élevé) compatible de la contrainte de puissance C_1 et tenant compte de l'impossibilité de sélectionner une modulation non

ordonnée de par la méthode de construction de la matrice des puissances :

$$m_{test}(l) = \min(i) \left| \sum_{j=1}^{l-1} P_{m_{test}(j)}^j + P_i^l \leq C_1 \right.$$

Mettre à jour le débit de la configuration de test : $d_{test} = \sum_{j=1}^l d_{m_{test}(j)}$ où $d_{m_{test}(j)}$ est le débit pour la $m_{test}(j)$ ^{ème} modulation.

- 5 Fin de la boucle sur l on a parcouru les canaux choisis: on définit avec la solution des valeurs test obtenue la première combinaison de solutions courante pour le débit et la modulation : $d_{curr}=d_{test}$; et pour $j=1..n$, $m_{curr}(j)= m_{test}(j)$.

Parcours dans l'arbre avec élagage :

- 10 Au début de cette étape, la configuration de test est égale à la configuration courante suite à l'étape précédente. On va parcourir sélectivement les possibilités de façon à déterminer si il resterait une combinaison permettant d'atteindre un débit supérieur au débit courant tout en respectant la contrainte de puissance.

Pour k variant de n-1 à 1 par pas de 1, boucle sur les canaux

- 15 Pour p variant de $m_{test}(k)+1$ à m, boucle sur les modulations

Elagage de la configuration de test vers la prochaine configuration à tester (illustré par les étapes 5C et 5D de la figure 5) : $m_{test}(k) = p$; et pour $j=k+1..n$, $m_{test}(j)= 0$.

- 20 Calcul du débit maximal possible de la configuration de test, correspondant à l'emploi de la modulation $m_{test}(j)$ pour l'ensemble des canaux suivants :

$$d_{test\ max} = \sum_{j=1}^k d_{m_{test}(j)} + (n - k) \times d_{m_{test}(k)} .$$

Si $d_{testmax}$ est inférieur au débit courant ($d_{testmax} \leq d_{curr}$), on sort de la boucle et la configuration courante est retenue.

Sinon, on poursuit en sélectionnant, pour l variant de k+1 à n par pas de 1, les meilleures valeurs $m_{test}(l)$ de schéma de modulation et codage compatibles de la contrainte de puissance C_1 et tenant compte de l'impossibilité de sélectionner une modulation non ordonnée de par la méthode de

- 5 construction de la matrice des puissances : $m_{test}(l) = \min(i)_{i=m_{test}(l-1)..m} \left| \sum_{j=1}^{l-1} P_{m_{test}(j)}^j + P_l^l \leq C_1 \right|$

Dans une variante, on pourra également tester à chaque valeur de l si le débit maximal possible de la configuration de test dépasse toujours d_{curr} , afin de sortir plus rapidement de la boucle sur l pour éliminer la configuration en cours de test dans le cas contraire.

- 10 A la fin de la boucle sur l, on met alors à jour le débit de la configuration de test :

$$d_{test} = \sum_{j=1}^n d_{m_{test}(j)}, \text{ et on le compare au débit de la solution courante : si}$$

$d_{curr} < d_{test}$; on remplace la solution courante par la solution actuelle (optionnellement on pourra la remplacer si $d_{curr} = d_{test}$ et que la puissance nécessaire à la solution en cours de test est inférieure à celle pour la solution courante), soit : pour $j=k..n$, $m_{curr}(j) = m_{test}(j)$.

- 15 Fin de la boucle sur p : on a parcouru l'ensemble des possibilités correspondant à des modifications de la $k^{ème}$ colonne de la matrice, on passe donc à la colonne précédente.

- 20 Fin de la boucle sur k : l'ensemble des configurations pouvant permettre d'atteindre un débit supérieur à d_{curr} a été considéré. On s'arrête donc. C'est la configuration courante qui est retenue.

- 25 Un exemple est donné en relation avec les figures 5A, 5B, 5C, 5D et 5E pour 6 canaux et 6 modulations et la modulation 0: après les initialisations, le calcul de la première solution se fait dans les étapes figure 5B et 5C avec en figure 5B le débit de test égal à $3d_1$ (débit pour la modulation n°1).

En figure 5C, $d_{\text{test}} = 4 \times d_1$, puis le procédé compare la valeur de puissance nécessaire pour avoir le débit d_1 sur le cinquième canal et trouve que ceci ne permet pas de vérifier la contrainte C_1 . La modulation n°2 est alors considérée, qui dans le cas de l'exemple considéré permet de vérifier la contrainte de puissance : le procédé continue donc en réalisant $d_{\text{test}} = 4 \times d_1 + d_2$. La croix dans la matrice (figure 5C) indique ici que la condition C_1 n'est pas vérifiée. Le procédé se déroule jusqu'à la dernière ligne où l'on constate qu'il faut atteindre $m_{\text{test}}(6) = 6$ pour vérifier à nouveau la contrainte C_1 . Nous avons donc obtenu une première configuration qui est entrée comme configuration courante.

L'étape suivante d'élagage va alors se dérouler, comme illustré par les figures 5D et 5E : on élague les valeurs de la $n^{\text{ème}}$ colonne ($6^{\text{ème}}$ colonne), et on diminue d'une modulation celle de la $n-1^{\text{ème}}$. Le processus se déroule alors sous la contrainte de puissance et on obtient une nouvelle configuration, correspondant au débit de test $d_{\text{test}} = 4 \times d_1 + 2 \times d_3$ qui dans l'exemple est supérieur à la configuration courante. La configuration courante est donc mise à jour. Les boucles d'élagage continuent mais dans l'exemple on ne trouve plus de cas où le débit maximal peut dépasser le débit courant, on sort donc de l'algorithme.

A la suite des ces étapes, dans le cas où les codes correcteur varient, une boucle II prenant en compte la variation de code FEC est exécutée, qui fait que le procédé va dérouler l'algorithme pour chaque cas de code FEC et retenir la configuration de modulation et codage donnant le débit le plus élevé. Ceci est illustré par la boucle I dont la sortie est l'étape 25 pour revenir à l'étape 24.

Selon une variante de mise en œuvre, le procédé peut comporter une étape 26 qui correspond à une Post-correction sur l'allocation de puissance et à la boucle II d'optimisation de mise à jour en fonction de la valeur de la puissance totale ou budget de puissance. La boucle II repart alors à l'étape 24.

Cette boucle II pourra notamment être mise en œuvre lorsque l'on constate que le budget de puissance optimal P_{opti} trouvé est strictement

inférieur au budget réel disponible P_{reel} . On pourra alors choisir soit d'émettre au budget optimal P_{opti} trouvé et donc de consommer moins de puissance, soit d'ajouter une étape supplémentaire correspondant à allouer le reste de budget de puissance disponible sur les canaux sélectionnés, afin d'améliorer leur

5 marge de fonctionnement. Une allocation au prorata des budgets déjà alloués par exemple pourra être considérée.

Une autre correction pourrait aussi être envisagée grâce à cette boucle II, qui permet d'adapter finement le calcul de la puissance totale P_{tot} en fonction du facteur de recul. En effet, comme connu de l'Homme du métier, le

10 niveau de facteur de recul ou « backoff » peut varier avec le nombre de voies et le type de modulations employés. De ce fait, on peut avoir initialement retenu une valeur plus élevée que nécessaire de facteur de recul pour calculer P_{tot} . Si c'est le cas, on peut alors soit accepter de conserver une solution potentiellement sous-optimale et faire une post-correction comme détaillé ci-

15 avant, en réallouant le budget restant, soit relancer l'algorithme avec un P_{tot} corrigé avec le facteur de recul réduit. Si la solution trouvée avec cette nouvelle valeur de puissance totale reste compatible de la nouvelle puissance maximale, elle est alors la solution optimale, en revanche si elle amène un nouveau facteur de recul, l'utilisateur peut être amendé à itérer le processus, en s'arrêtant par

20 exemple après un maximum de 2 tests.

L'étape suivante, étape 27, représentée à la figure 6 peut consister à appliquer la combinaison trouvée pour la prochaine phase de transmission (typiquement à partir de la prochaine opportunité d'émission de données par le poste), avec mise en forme du signal en préparation de la répartition de

25 puissance décidée avant passage dans l'amplificateur de puissance de l'émetteur.

Une possibilité consiste à introduire une garantie de protection contre les intermodulations en s'assurant une différence Δ maximale fixée (typiquement 20dB) d'écart entre les porteuses les plus fortes et les plus faibles.

Le procédé et le système selon l'invention présentent notamment comme avantage d'être compatibles des systèmes existants. L'émetteur peut être modifié pour assurer des niveaux de puissance différents sur les différentes sous-porteuses sans contrevenir à un standard, et le récepteur, voyant des
5 niveaux de puissance différents, les traitera comme il peut être amené à traiter des affaiblissements différents liés au canal de propagation.

L'invention permet de gérer finement le budget de puissance en permettant sa répartition irrégulière sur l'ensemble des voies.

10 L'approche proposée permet de définir la meilleure combinaison de puissance et de schémas de modulation et de codage pour maximiser le débit utile transmis.

REVENDICATIONS

- 1 – Procédé d'allocation dynamique de puissance nécessaire pour chaque canal
 5 d'un système de communication HF comprenant un nombre n de canaux pour la transmission de signal, le système comprenant un amplificateur de puissance totale maximale P_{tot} caractérisé en ce qu'il comporte au moins les étapes suivantes :
- une étape d'initialisation du système (20, 21) dans laquelle on définit m
 10 schémas de modulation et une valeur de rapport signal à bruit SNR,
 - une étape où l'on détermine une valeur de puissance P_{nec} nécessaire pour atteindre la valeur SNR en fonction d'une valeur de qualité Q_{ch} de canal ou voie obtenue par voie de retour, (22)
 - une étape (23) de classification des différents canaux chn par niveau de
 15 Q_{ch} décroissant, générant un vecteur de n valeurs (au maximum) ordonné de façon décroissante, afin que pour une modulation m donnée la puissance nécessaire P_m^j pour transmettre sur le canal j soit inférieure ou égale à P_m^{j+1}
 - une étape (24) où pour chaque canal n , en utilisant la valeur de Q_{ch} et la
 20 valeur de SNR de fonctionnement, on déduit une matrice de puissance nécessaire pour chaque modulation m considérée et on obtient $P[P_i^j]$ où i varie de 1 à m modulations et j varie de 1 à n canaux,
 - pour un schéma de modulation identique utilisé pour tous les n canaux, une étape (25) de détermination du nombre de canaux à utiliser, en
 25 considérant la matrice P ligne par ligne, en calculant la puissance $P_i(k) = \sum_{j=1..k} P_i^j$ et la valeur du débit pour un ensemble de k canaux, $d_i(k) = k \times d_i$ pour k de 1 à n , k est l'indice du canal, d_i = débit pour la $i^{\text{ème}}$ modulation, et la sélection d'une combinaison des n canaux offrant un

débit total maximal D_{totmax} tout en respectant la contrainte de puissance totale.

2 – Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que dans le cas où il existe m schémas de codage différents pour les n canaux, le procédé comporte au moins les étapes suivantes :

- une étape d'initialisation du système (20, 21) dans laquelle on définit m schémas de modulation et une valeur de rapport signal à bruit SNR,
- une étape où l'on détermine une valeur de puissance P_{nec} nécessaire pour atteindre la valeur SNR en fonction d'une valeur de qualité Q_{ch} de canal ou voie obtenue par voie de retour, (22)
- une étape (23) de classification des différents canaux chn par niveau de Q_{ch} décroissant, générant un vecteur de n valeurs (au maximum) ordonné de façon décroissante, afin que pour une modulation m donnée la puissance nécessaire P_m^j pour transmettre sur le canal j soit inférieure ou égale à P_m^{j+1}
- une étape (24) où pour chaque canal n, en utilisant la valeur de Q_{ch} et la valeur de SNR de fonctionnement, on déduit une matrice de puissance nécessaire pour chaque modulation m considérée et on obtient $P[P_i^j]$ où i varie de 1 à m modulations et j varie de 1 à n canaux,
- une étape de détermination des n canaux possibles et de l'allocation de la puissance consistant à maximiser le débit :

$$\max \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{i,j} d_i \text{ sous les contraintes :}$$

$$(C_0) \text{ d'intégrité : } x_{i,j} \in \{0;1\}, \sum_{i=1}^n x_{i,j} = 1 \forall j$$

$$(C_1) \text{ de puissance : } \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{i,j} P_i^j \leq P_{\text{tot}}$$

$$\text{sachant : } P_i^j \leq P_i^{j+1} \forall i, j \text{ et } d_i > d_{i+1} \forall i$$

où $d_i(k) = kx d_i$ pour k de 1 à n , k est l'indice du canal, d_i = débit pour la $i^{\text{ème}}$ modulation.

3 – Procédé selon la revendication 2 caractérisé en ce que l'on teste la valeur de NbC de combinaisons, nombre de la classe C_{m+n-1}^n , et pour une valeur NbC suffisamment faible et jugée acceptable, on calcule les différentes puissances nécessaires pour chaque débit d_i , en partant de la valeur maximale possible $D_{\max}$, et l'on arrête le calcul dès que la contrainte de puissance C_1 est vérifiée.

4 – Procédé selon la revendication 2 caractérisé en ce que la valeur de NbC de combinaisons, nombre de la classe C_{m+n-1}^n dépassant une valeur seuil fixée, le procédé comporte une étape consistant à parcourir l'arbre des possibles en procédant à des élagages permettant de réduire la complexité,

- Un de ces premiers élagages simples consiste à considérer les combinaisons existant entre un débit D_{fonc} défini comme celui souhaité par le système et un débit $D_{\min}$ défini comme un débit atteignable, puis
- On détermine un nombre de combinaisons $\text{NbC}' < \text{NbC}$,
- Le nombre NbC' est ensuite comparé à une valeur seuil, si NbC' est inférieure à ladite valeur seuil alors le procédé parcourt les débits depuis D_{fonc} jusqu'au premier débit vérifiant la contrainte de puissance.

5 – Procédé selon la revendication 2 caractérisé en ce que le procédé parcourt l'arbre des possibilités de combinaisons en procédant à des élagages en utilisant la contrainte de puissance C_1 et en vérifiant le potentiel de débit par rapport au meilleur débit courant.

6 – Procédé selon l'une des revendications 1 à 5 caractérisé en ce que pour des systèmes comprenant plusieurs possibilités de codage correcteur d'erreur FEC

avec chacune une série de modulations m possibles, le procédé réitère les étapes (24, 25) pour chaque série de modulations servant son code correcteur et compare les résultats pour chaque configuration FEC, afin de retenir la configuration de modulation et de codage donnant le débit le plus élevé.

5

7 – Procédé selon l'une des revendications 1 à 5 caractérisé en ce qu'il comporte une étape (26) de post-correction sur l'allocation de puissance et d'optimisation en fonction de la valeur du budget de puissance lorsque le budget de puissance optimal P_{opti} trouvé est strictement inférieur au budget réel disponible P_{reel} , le procédé va émettre au budget optimal P_{opti} trouvé, afin de limiter la puissance émise.

10

8 – Procédé selon l'une des revendications 1 à 5 caractérisé en ce qu'il comporte une étape (26) de post-correction sur l'allocation de puissance et d'optimisation en fonction de la valeur du budget de puissance lorsque le budget de puissance optimal P_{opti} trouvé est strictement inférieur au budget réel disponible P_{reel} , le procédé va allouer le reste de budget de puissance disponible sur les différents canaux sélectionnés, afin d'améliorer leur marge de fonctionnement.

15

20

9 – Procédé selon l'un des revendications 1 à 5 caractérisé en ce que l'on corrige la valeur de P_{tot} avec un facteur de recul correspondant aux modulations trouvées et on réitère les étapes 21 à 25.

25

10 – Procédé selon l'une des revendications 1 à 6 caractérisé en ce que les étapes du procédé sont réitérées lorsque les informations sur la qualité Q_{ch} de la liaison évolue.

11 – Système permettant de gérer l'allocation de puissance et/ou de modulation sur différentes voies pour communications HF large bande caractérisé en ce qu'il comporte en combinaison au moins les éléments suivants:

- 5 • Un émetteur HF comprenant n voies de transmission, avec n supérieur à 1, dans la bande HF,
- Un récepteur R comprenant des moyens pour recevoir un ensemble de n canaux fréquentiels sélectionnés et des moyens pour déterminer la qualité d'un canal,
- 10 • Une voie de retour (13) permettant la transmission de l'information de la qualité du canal vers l'émetteur,
- Ledit système comportant des moyens pour mettre en œuvre le procédé selon l'une des revendications 1 à 10.