

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 21.10.16.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 27.04.18 Bulletin 18/17.

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 :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : WORLDCAST SYSTEMS — FR.

72 Inventeur(s) : WERBROUCK DANIEL.

73 Titulaire(s) : WORLDCAST SYSTEMS.

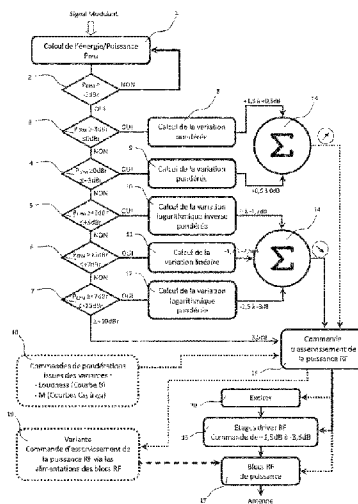
74 Mandataire(s) : IPSIDE.

54 PROCÉDE ET DISPOSITIF D'OPTIMISATION DE LA PUISSANCE RADIOFREQUENCE D'UN EMETTEUR DE RADIODIFFUSION FM.

57 L'invention propose un procédé d'optimisation de la puissance d'émission d'un émetteur de radiodiffusion FM qui comporte des étapes de :

- prélèvement d'un signal représentatif du contenu audio à diffuser par l'émetteur de radiodiffusion FM;
- calcul en continu de paramètres constitutifs dudit signal représentatif parmi fréquence, amplitude, dynamique répartition temporelle, énergie et puissance;
- analyse en continu desdits paramètres en comparaison avec une modélisation de données psycho-acoustiques;
- génération d'un signal d'asservissement de la puissance de l'émetteur en fonction des résultats de l'analyse et des calculs permis par lesdits paramètres constitutifs et lesdites données psycho-acoustiques en continu;
- pilotage de la puissance RF de l'émetteur au moyen du signal d'asservissement (310).

L'invention propose en outre un dispositif de mise en oeuvre du procédé dans un émetteur de radiodiffusion FM.



FR 3 058 013 - A1



PROCEDE ET DISPOSITIF D'OPTIMISATION DE LA PUISSANCE
RADIOFREQUENCE
D'UN EMETTEUR DE RADIODIFFUSION FM

5

Domaine de l'invention

La présente invention concerne l'optimisation en puissance RF des émetteurs de radiodiffusion FM et propose un procédé et dispositif de gestion de cette puissance RF en fonction du contenu du signal modulant, afin de réduire la puissance électrique consommée de l'émetteur et/ou d'optimiser la zone de service radio couverte par l'émetteur. La radiodiffusion en FM (Fréquence modulée), bande II, constitue à ce jour l'un des rares standards adoptés par l'ensemble de la planète, à quelques variantes près.

15

Arrière-plan technologique

La base des normes de transmission d'un programme de radiodiffusion sonore en FM a été énoncée courant de la décennie 1950/1960.

20

A ce jour, c'est l'UIT-R Union Internationale des Télécommunications - Radiocommunications qui est l'organisme garant de la définition et l'évolution des règles techniques. L'une des recommandations est la fixation d'un champ RF minimum requis pour un confort d'écoute nominal, suivant 3 types de zones de réception (rural, urbain et urbain dense) et deux modes de diffusion (monophonie, stéréophonie).

25

Depuis 50 ans, une évolution de la technologie a permis un accroissement très significatif des performances des récepteurs, notamment sur les caractéristiques de sensibilité et de sélectivité. A ce jour, le gain constaté de sensibilité d'un récepteur FM d'entrée de gamme est estimé à 10dB.

Par ailleurs, les étages radiofréquence (RF) bénéficient de composants actifs autorisant la mise en œuvre d'une commande automatique de gain (CAG) de grande amplitude avant saturation ; le rapport signal sur bruit (S/B) est ainsi quasi constant sur les sorties audio du récepteur, jusqu'à la limite de l'exploitation du récepteur.

Il existe en outre des outils de traitement du programme sonore constitués de filtres qui « découpent » et traitent le spectre du signal audio en compression/expansion/limitation de dynamique. Ces traitements audio et MPX limitent de façon drastique toute variation transitoire du signal sonore au-dessus d'un seuil absolu et en dessous d'un seuil moyen pouvant varier entre environ -30dB à -6dB du seuil absolu.

Cette forte réduction de la dynamique augmente considérablement l'effet de masque en occultant le bruit propre du récepteur permet une augmentation moyenne de 14dB du rapport signal à bruit au niveau du récepteur, sans modification du confort d'écoute pour l'auditeur (mesures subjectives effectuées en écoute « à l'aveugle »),

En revanche, l'environnement radiophonique de la bande FM s'est dégradé au fil des années : multiplication des réseaux de radiodiffusion donc de l'occupation des canaux, dégradation de la protection entre les canaux adjacents imputables aux outils de compression, « bruit » général radiofréquence en augmentation imputable à l'apparition des réseaux GSM et aux équipements industriels pollueurs.

Une évaluation toute relative de la somme de ces dégradations est estimée à une perte de sensibilité apparente d'environ 10dB (crête).

5 La somme des gains/pertes imputables à l'évolution des technologies, à l'exploitation et à l'environnement hertzien peut donc être chiffrée à : $10\text{dB} + 14\text{dB} - 10\text{dB} = 14\text{dB}$.

Par précaution, compte tenu de certaines évaluations non mesurables précisément, ce chiffre est ramené à 10dB.

10 Lors de l'étude théorique d'un réseau, ces 10dB constituant un bonus se traduisant par une sur-qualité s'avère d'autant plus inutile qu'elle ne se traduit pas par un meilleur confort d'écoute dans les zones de recoupement dans la mesure où le système RDS gère automatiquement la fréquence de réception bénéficiant des meilleures conditions
15 de champ et/ou de rapport S/B.

De plus, le calcul de probabilité des interférences, des fréquences images, des brouillages et des intermodulations, effectué en amont de la validation d'un plan de fréquences constitue d'une part l'un des points les plus délicats à
20 réaliser et d'autre part, une clé de la réussite d'un réseau équilibré, homogène et exempt d'incompatibilité en termes de fréquences, sous réserve que les chiffres calculés se vérifient sur le terrain.

Pour réaliser les réseaux d'émission FM, les émetteurs
25 FM sont constitués de différents blocs de puissance capables de fournir jusqu'à 10kW RF, voire davantage.

Par définition, en FM la modulation provoque une excursion de la fréquence nominale et non une variation de la puissance RF. Cela signifie que la puissance de sortie reste
30 parfaitement stable, avec ou sans signal sonore modulant.

Le rendement d'un émetteur de 10kW est d'environ 75%, soit une puissance électrique consommée d'environ 13,3kW, 24h/24 et 365 jours par an. Ajoutée aux consommations

indirectes, (ventilation forcée des baies, climatisation des locaux), on peut évaluer à 15kW la consommation totale d'un excellent émetteur FM fournissant une puissance RF de 10kW.

5 Les constructeurs s'efforcent d'identifier des procédés d'optimisation du rendement d'un émetteur par des contrôles et réglages automatisés afin que chaque étage se situe dans sa courbe de fonctionnement la plus favorable. Les gains supplémentaires obtenus ne dépassent guère 1 à 2%.

Brève description de l'invention

10 La présente invention met en relation les deux constats évoqués ci avant :

La sur-qualité est estimée à environ 10dB dans le bilan de liaison d'un réseau actuel de radiodiffusion FM, par rapport aux recommandations de l'UIT-R et les dirigeants de stations ou opérateurs de diffusion souhaitent réaliser des économies d'échelle dans l'exploitation de leurs équipements. L'invention vise à optimiser la puissance d'un émetteur FM en réalisant un dispositif qui asservit la puissance de sortie RF de l'émetteur en fonction du rapport signal à bruit audio apparent, prédit à la réception du signal.

15

20

Le rapport signal à bruit apparent peut se définir comme suit : c'est le niveau du bruit non essentiel audible (tout ce qui n'est pas contenu dans le programme sonore utile) par rapport au niveau du signal utile (le programme sonore).

25 La perception du bruit repose notamment sur l'effet de masque selon lequel plus le signal sonore est dense, plus il masque les bruits et sons d'amplitudes inférieures. En FM, grâce à la présence des outils de traitement audio, on atteint des niveaux de densité, d'énergie, de puissance du signal modulant jamais pratiqués dans d'autres domaines de la diffusion sonore. La dynamique est ainsi inscrite entre deux bornes immuables de quelques décibels d'amplitude, dont le seuil haut est toujours situé au maximum de l'excursion

30

autorisée. L'effet de masque est alors maximal, vis-à-vis des bruits non essentiels et indésirables susceptibles de faire partie du signal global démodulé par le récepteur.

5 Par ailleurs, l'oreille est aussi insensible à des sons produits après la disparition du son masquant, pendant des durées variant entre 50 et 100ms, suivant la fréquence et l'amplitude des sons masquants et masqués. Cet effet post-masquage est utilisé ici pour effectuer une partie des calculs et déterminer une partie des actions à mener via le
10 dispositif de l'invention.

Plus précisément la présente invention prévoit un procédé d'optimisation de la puissance d'émission d'un émetteur de radiodiffusion FM qui comporte des étapes de:

- 15 - prélèvement d'un signal représentatif du contenu à diffuser (signal modulant au niveau de l'entrée d'un modulateur) de l'émetteur de radiodiffusion FM;
- calcul de paramètres constitutifs dudit signal représentatif parmi, fréquence, amplitude, dynamique répartition temporelle, énergie et puissance;
- 20 - analyse desdits paramètres en comparaison avec une modélisation des données psycho-acoustiques;
- génération d'un signal d'asservissement de la puissance de l'émetteur en fonction des résultats de l'analyse et des calculs permis par lesdits paramètres
25 constitutifs et lesdites données d'audition en temps réel;
- pilotage de la puissance RF de l'émetteur au moyen du signal d'asservissement.

L'invention propose en conséquence un procédé d'optimisation de la puissance radiofréquence émise, donc
30 directement de la puissance électrique consommée d'un émetteur de radiodiffusion FM.

L'invention prévoit en outre un dispositif de mise en œuvre du procédé de l'invention qui comporte des moyens de

prise de mesures du signal de sortie de l'amplificateur et un module de traitement comportant:

- des moyens de conversion analogique/numérique adaptés à convertir lesdites mesures en données numériques,

5 - des moyens de mémorisation de données numériques, de conditions de calcul et de valeurs de calcul; des moyens de calcul et

10 - des moyens de génération de signaux électriques de commande de l'asservissement de la puissance de l'émetteur par conversion numérique/analogique.

Avantageusement, les moyens de génération de signaux électriques de commande de la puissance de l'émetteur par conversion numérique/analogique sont reliés à un étage de commande des étages drivers de l'amplificateur.

15 De manière complémentaire ou alternative, les moyens de génération de signaux électriques de commande de la puissance de l'émetteur par conversion numérique/analogique peuvent être reliés à l'étage de génération de la porteuse FM et/ou à un étage de commande des blocs de puissance de
20 l'amplificateur et/ou des alimentations de ces derniers.

D'autres caractéristiques de l'invention ressortent des revendications et de la description annexées.

Brève description des dessins

25 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront apparents à la lecture de la description qui suit d'un exemple non limitatif de réalisation de l'invention en référence aux dessins qui représentent:

en figure 1: un organigramme représentatif d'un procédé selon l'invention;

30 aux figures 2 et 3: des organigrammes de procédés selon des modes de réalisation particuliers;

aux figures 4, 5, 6A, 6B, 6C: des courbes de pondérations du procédé de la figure 3;

en figure 7: un schéma de principe d'un dispositif de mise en œuvre du procédé de la figure 1;

en figure 8: un schéma de principe des variantes du dispositif de la figure 7;

5 aux figures 9 et 10: des courbes illustrant les bénéfices de l'invention.

Description détaillée de modes de réalisation de l'invention

10 La présente invention a pour principe de réaliser un procédé et un dispositif pour asservir la puissance de sortie RF d'un émetteur en fonction du rapport signal à bruit audio apparent, prédit à la réception du signal.

15 Le rapport signal à bruit apparent peut se définir comme suit : c'est le niveau du bruit non essentiel audible, c'est à dire tout ce qui n'est pas contenu dans le programme sonore utile, par rapport au niveau du signal utile qui est le programme sonore.

20 La perception du bruit repose notamment sur l'effet de masque, parfaitement défini dans la littérature scientifique traitant de la psycho-acoustique et utilisé dans quasiment tous les systèmes de compression digitaux avec pertes admises de données audio et notamment le système ATRAC développé par la société SONY, puis les différentes déclinaisons de la norme MP3.

25 Globalement, plus le signal sonore est dense, plus il masque les bruits et sons d'amplitudes inférieures. En FM, grâce à la présence des outils de traitement audio, on atteint des niveaux de densité du signal modulant Multiplex (signal composite stéréophonique compatible avec les
30 récepteurs monophoniques et signaux annexes des sous-porteuses et données associées au programme) jamais pratiqués dans d'autres domaines de la diffusion sonore. La dynamique est ainsi inscrite entre deux bornes immuables de quelques

décibels d'amplitude, dont le seuil haut est toujours situé au maximum de l'excursion autorisée. L'effet de masque est alors maximal, vis-à-vis des bruits non essentiels et indésirables susceptibles de faire partie du signal global démodulé par le récepteur.

Par ailleurs, l'oreille est aussi insensible à des sons produits après la disparition du son masquant, pendant des durées variant entre 50 et 100ms, suivant la fréquence et l'amplitude des sons masquants et masqués. La présente invention utilise cet effet post-masquage pour effectuer les calculs et déterminer les actions à mener via le dispositif d'asservissement de l'invention.

En résumé et globalement, l'invention utilise les caractéristiques acoustiques non linéaires du système auditif humain, notamment l'effet de masque général observé dans la bande de fréquence audible et les effets produits par les systèmes de traitement sonore mis en œuvre dans les chaînes d'émission FM.

Dans le cadre de l'invention, plusieurs paramètres et signaux peuvent être pris en compte et l'invention peut comporter une analyse du signal modulant sur des critères de fréquence, d'amplitude, de dynamique, de répartition spectrale et calcul de l'énergie instantanée et moyenne, de la puissance des signaux sonores composant le signal modulant tels que signal M, signal S, signal Pilote et optionnellement des signaux annexes composant le signal modulant tels que sous-porteuse (s), datas, signaux complémentaires stéréophoniques, etc... .

L'invention va alors comporter un asservissement de la puissance RF de l'émetteur en fonction de ladite analyse et desdits calculs résultants au moyen d'un signal d'asservissement.

Selon des modes de réalisation de l'invention plusieurs paramètres peuvent être pris en compte:

- Les délais d'établissement et de disparition des sons masquants;

5 - Le niveau de l'énergie/puissance P_{EPM} calculée après analyse fréquentielle et temporelle du signal modulant éventuellement:

- Le niveau de Loudness du signal sonore modulant;

10 et la densité du signal gauche + droite (M) du signal multiplex.

Le terme Loudness est un terme désignant dans le cadre de l'invention la force sonore du signal telle que utilisée dans les normes et non le filtre de correction physiologique comportant une courbe modélisant la perception d'intensité sonore de l'oreille humaine.

15 L'invention prévoit une série d'algorithmes qui combinent des mesures issues de l'observation en temps réel de un ou plusieurs de ces paramètres pour obtenir un signal résultant représentatif de la variation du rapport signal/bruit apparent perçu par l'auditeur.

20 Ce signal résultant est utilisé pour commander la puissance RF de l'émetteur, en agissant soit sur la commande d'excitation RF, soit sur les commandes des amplificateurs RF soit sur les tensions des alimentations des étages de puissance, soit sur un mixage de deux ou trois de ces actions. Cet asservissement de la puissance RF de sortie de l'émetteur permet alors d'obtenir un rapport signal/bruit apparent constant pour l'auditeur, quel que soit le type de programme.

30 Lorsque les calculs effectués sur le programme sonore ne permettent pas d'obtenir avec la puissance de base de l'émetteur un rapport signal sur bruit apparent suffisant, la puissance RF de l'émetteur est augmentée dans la proportion

calculée dans la série d'algorithmes, pour tendre vers un rapport signal sur bruit apparent constant.

Lorsque les calculs effectués sur le programme sonore indiquent un rapport signal sur bruit suffisant, aucun asservissement n'est appliqué et la puissance de sortie de l'émetteur reste maximale.

Lorsque les résultats des calculs effectués sur le programme sonore donnent un rapport supérieur au rapport signal sur bruit apparent consigné, la puissance RF de l'émetteur est diminuée dans la proportion calculée dans la série d'algorithmes, pour tendre vers un rapport signal sur bruit apparent constant ce qui économise de l'énergie au niveau de l'émetteur.

Sur une période d'observation représentative, par exemple 24 heures, le procédé permet la gestion d'une puissance moyenne RF inférieure à la puissance maximale de l'émetteur, donc une réduction proportionnelle de la consommation d'énergie du système d'émission tout en augmentant le confort d'écoute pendant les périodes où le rapport signal/bruit est prédit comme potentiellement dégradé.

Des consignes, dites consigne exploitant, permettent de fixer les bornes des puissances minimales et maximales autorisées par l'exploitant suivant des recommandations techniques ou réglementaires.

Pour obtenir les signaux nécessaires et leurs prétraitements pour réaliser l'invention on effectue les opérations suivantes:

- On prélève le signal modulant à l'entrée du modulateur de l'émetteur. Il s'agit possiblement du signal Multiplex global (MPX) constitué des canaux G+D (M), G-D (S) du signal sonore, de la sous-porteuse Pilote stéréophonique, 19kHz telle que standardisée, et de l'ensemble des sous-porteuses

et des données associées, principalement le RDS à 57kHz. Le signal prélevé peut aussi être un signal retransmis par voie radiofréquence, par voie numérique audio ou réseau (IP).

5 Ce signal modulant global a déjà subi les différents traitements souhaités par l'opérateur de la station. Il est donc l'exact reflet du signal modulé diffusé par l'émetteur.

10 Optionnellement, on prélève le signal électrique d'indication de la puissance de sortie RF réelle de l'émetteur, fourni par la sonde de sortie de mesure des puissances directes et réfléchies de l'émetteur. Ce signal est l'exact reflet de la puissance RF de sortie de l'émetteur et:

15 a - soit on dérive le signal de réglage ou d'ajustage de la puissance de sortie de l'émetteur. Ce signal est en général composé d'une tension électrique continue de commande de l'étage driver RF, lui-même excitant les blocs de puissance des étages finaux parallélisés. Ce signal permet d'ajuster la puissance de sortie à la valeur nominale, avec une amplitude de variation comprise entre +1,5dB à -3,5dB, 20 voire davantage. La valeur de ce signal de commande est donc l'exact reflet de la variation de la puissance RF en sortie de l'émetteur;

25 b, soit on dérive le signal de commande RF directement au niveau du générateur de la porteuse FM (exciter). La valeur de ce signal de commande est aussi l'exact reflet de la variation de la puissance RF en sortie de l'émetteur;

30 c, soit on dérive le signal de commande RF directement au niveau des blocs de puissance des étages finaux parallélisés. La valeur de ce signal de commande est aussi l'exact reflet de la variation de la puissance RF en sortie de l'émetteur;

d - soit on dérive le signal de commande de (ou des) l'alimentation(s) des étages de puissance RF de l'émetteur.

Ce signal permet d'ajuster la tension d'alimentation des étages de puissance RF et, par voie de conséquence, d'ajuster le gain de ces étages, donc de modifier la puissance RF de sortie.

5 Ou encore on combine deux ou plusieurs des actions décrites ci-dessus.

Le dispositif de l'invention comporte des moyens de traitement des signaux prélevés et/ou dérivés sous forme d'algorithmes spécifiques suivant une méthodologie particulière.

10 Pour le calcul de l'énergie/puissance du signal modulant:

On prend en compte une méthode de répartition des échantillons des signaux et/ou une méthode de calcul direct, via la prise en compte de la somme des carrés des échantillons. Le résultat de ces calculs est nommé P_{EPM} et est exprimé en dB relatif (dBr) avec 0 dB = résultat neutre n'impliquant aucune variation de la puissance RF de l'émetteur.

20 On détermine la durée d minimum d'un échantillon par exemple de 10 à 100 ms et préféablement environ 50ms. On totalise le niveau de chaque observation dans une période $n*d$ de 0,5 à 2 secondes et par exemple sur environ 1 seconde. Ensuite, on calcule P_{EPM} suivant le principe de la seconde glissante par ajout des nouveaux échantillons de récurrence d . Il est donc possible d'obtenir un résultat P_{EPM} chaque durée d , par exemple chaque 50ms, obtenue sur une observation moyenne d'une durée glissante de $n*d$, par exemple une seconde, sauf pour la première période $n*d$ de calcul.

30 Pour les calculs suivants, on considère que la référence 0dBr de P_{EPM} correspond à un signal permanent de fréquence 1kHz provoquant une excursion ou une déviation de fréquence

de $\pm 19\text{kHz}$ qui est admise et recommandée par l'UIT-R dans le calcul de la référence de la puissance MPX.

Les données permettant de calculer l'énergie/puissance P_{EPM} sont rassemblées dans un système de calcul, par exemple
5 un microprocesseur ou microcontrôleur et sa mémoire programme et données associée.

A titre d'exemple, pour les conditions de l'élaboration du signal d'asservissement de la puissance RF dans le cadre de l'invention on prend en compte la plage de
10 l'énergie/puissance P_{EPM} comprise entre -3dBr et $+10\text{dBr}$. Dans l'exemple représenté à la figure 1 correspondant du cas d'application des niveaux d'efficacité compris entre 2 et 4 de P_{EPM} et pour une catégorie de programme de type B (généraliste), à partir du signal modulant est réalisée une
15 étape 1 de calcul de l'énergie/puissance P_{EPM} . Un premier test 2 définit qu'au-dessous d'une limite de -3dBr , le système est désactivé.

Par ailleurs, la variation de la puissance RF est fixée par exemple entre $-3,5\text{dB}$ et $+1,5\text{dB}$. De 0dB à $-3,5\text{dB}$, il
20 s'agit d'une diminution de la puissance RF et de 0dB à $+1,5\text{dB}$, il s'agit d'une augmentation de la puissance RF. Ces valeurs peuvent bien entendu être modifiées tout en restant dans le cadre de l'invention.

Un deuxième test 3 définit que pour P_{EPM} compris entre -3dBr et -0dBr un calcul 8 de l'asservissement, dans ce cas
25 une augmentation, de la puissance RF est possible de $+1,5\text{dB}$ à $+0,5\text{dB}$. Un troisième test 4 définit que pour P_{EPM} compris entre 0dBr et $+3\text{dBr}$ un calcul 9 de l'asservissement, dans ce cas toujours une augmentation, de la puissance RF est
30 possible de $+0,5\text{dB}$ à 0dB .

La suite du calcul qui entre dans l'exemple a pour objet de réaliser une première courbe (Courbe A) non linéaire

entre la variation de l'énergie/puissance P_{EPM} et la puissance RF.

On détermine pour ce faire la forme de la variation de la courbe par des tests supplémentaires sur P_{EPM} . Un quatrième test 5 définit que pour P_{EPM} compris entre +3dBr et +5dBr inclus, un calcul 10 de la variation de type logarithmique inverse pondérée de l'asservissement, ici une atténuation, de la puissance RF est effectué;

Un cinquième test 6 définit que pour P_{EPM} calculée comprise entre +5dBr et +7dBr un calcul 11 de variation de type linéaire de l'asservissement, ici encore une atténuation, de la puissance RF est effectué;

Un sixième test 7 définit que pour P_{EPM} calculée entre +7dBr et +10dBr un calcul 12 de variation de type logarithmique pondérée de l'asservissement, toujours une atténuation, de la puissance RF est effectué.

Ces données sont aussi introduites dans le système de calcul.

Les bornes de calcul sont telles que pour $P_{EPM} = -3\text{dBr}$ on choisit +1,5dB d'asservissement, augmentation, RF et que pour $P_{EPM} > +10\text{dBr}$ on choisit -3,5dB d'asservissement, atténuation, RF. Sachant que pour $P_{EPM} = 0\text{dBr}$, aucune augmentation ni atténuation de la puissance RF n'est appliquée. Les résultantes de ces calculs sont sommées pour les augmentations possibles 13 et pour les atténuations possibles 14 et fournissent les données pour la génération du signal de commande de l'étage driver au niveau d'un convertisseur numérique/analogique 15. Ce signal de commande pilote l'asservissement de la puissance de sortie RF de l'étage de puissance de l'émetteur, via l'étage driver 16 et/ou l'exciter 20 et/ou les blocs de puissance 17 et/ou les blocs d'alimentation 19.

En plus de la prise en compte de P_{EPM} comme référent pour le calcul de l'asservissement, en augmentation/atténuation, de la puissance RF, trois variantes sont possibles afin d'optimiser l'efficacité de l'invention et d'en réduire les effets secondaires possibles.

Une première variante 18 détaillée à la figure 2 consiste en une prise en compte du niveau de Loudness, qui se traduit par force sonore, modèle chiffré représentatif de l'énergie sonore en fonction du niveau sonore et des caractéristiques de l'oreille tel que défini dans la recommandation EBU-R128 et la méthodologie ITU-R BS.1770-2 et ses annexes.

On utilise comme référence le niveau de Loudness admis dans la radiodiffusion soit -23 LUFS (pour Loudness Unit Full Scale, unité Loudness pleine échelle), avec une dynamique (Loudness Range) d'environ 20 LU (loudness Unit soit unité Loudness, unité de force sonore).

Suivant le même principe que celui appliqué avec le calcul de l'énergie/puissance P_{EPM} , on établit une seconde courbe (Courbe B) non linéaire obéissant aux mêmes règles de variations mathématiques, mais avec les données du Loudness.

Une première étape 121 consiste en un calcul du niveau de Loudness.

Un premier test 122 détermine un niveau maximum de Loudness à -43 LU au-delà duquel aucune correction n'est effectuée.

Un deuxième test 123 déclenche un calcul 126 de variation de type logarithmique pondéré et inversée de l'asservissement de la puissance RF pour un Loudness mesuré entre -43 LU et -37 LU,

Un troisième test 124 déclenche un calcul 127 de variation de type linéaire, de l'asservissement de la puissance RF pour un Loudness mesuré entre -37 LU et -30 LU,

Un quatrième test 125 déclenche un calcul 128 de variation de type logarithmique pondéré, de l'asservissement de la puissance RF pour un Loudness mesuré entre -30 LU et -23 LU.

5 La résultante de ces calculs est combinée dans un sommateur 129 et produit la courbe B qui forme dans un convertisseur numérique/analogique 130 un signal de pondération de la courbe A de commande d'un étage driver de l'amplificateur et l'asservissement de la puissance de sortie RF de l'émetteur, avec les conditions suivante :

Pour un résultat de mesure de P_{EPM} (courbe A) à l'instant T, une valeur de la mesure du Loudness est calculée,

15 La valeur de l'asservissement RF en dB calculée via la courbe A, V_1 est alors pondérée de la valeur calculée en % V_2 de la pondération via la courbe B,

Le résultat de l'opération permet d'obtenir la valeur pondérée V_3 de l'asservissement RF à apporter sur les étages concernés, suivant la formulation théorique :

$$V_3 = V_1 - (V_1 * V_2)$$

20 Une seconde variante correspondant à la figure 3 consiste en une prise en compte du signal M, composante Gauche (G) +Droite (D) sonore du signal utile.

Pour ce faire, le signal M est extrait du signal multiplex ou du réseau de transport ou de retransmission à l'étape 201.

25 On échantillonne le signal pour obtenir l'intégralité du spectre de M par exemple sur le spectre 20Hz-15kHz puis on réalise une transformation de Fourier FFT 202 et on définit quatre groupes de fréquences 203a, 203b, 203c, 203d. Ensuite, un module de calcul 204 redresse les 2 alternances et intègre le signal sur une période de l'ordre de 50ms environ pour obtenir une courbe représentative de l'enveloppe des crêtes du signal M.

On établit une série de courbes (Courbes C_{01} à C_{04}) identifiées sous le terme général courbe C de variation linéaire avec l'enveloppe du signal M.

5 En second lieu, avec le même signal M extrait du MPX, on réalise une FFT sur la bande 40Hz-15kHz. Le principe étant de faire une évaluation de la valeur de l'amplitude moyenne instantanée sur des bandes de fréquence.

10 Pour ce faire une série de courbes sont réalisées sur des bandes de fréquence regroupant des octaves consécutifs, le temps d'intégration pour le calcul de l'enveloppe de l'amplitude étant supérieur ou égal à l'inverse de la fréquence la plus basse de la bande de fréquences pour chaque courbe.

15 Les courbes sont réalisées avantageusement par octave ou par 1/3 d'octave. Dans l'exemple ci-dessous les courbes sont réalisées sur des plages d'octaves.

20 On établit une série de 3 ou 4 courbes, Courbes C_{01} à C_{04} à partir de la FFT en calculant l'enveloppe de l'amplitude pour chaque octave et groupe d'octaves en fonction de T, par exemple avec la même base d'intégration que pour le calcul de l'enveloppe, mais avec une pondération en fonction de la série concernée d'octaves. Le calcul est fait suivant l'exemple de répartition ci-après dont des variantes restent
25 possibles et qui considère une fréquence inférieure de bande de 20 Hz et une puissance significative du signal à partir d'environ 40 Hz du fait du filtre passe haut coupant à 20 Hz et atténuant les fréquences entre 20 Hz et 40 Hz:

30 Une courbe C_{01} pour la somme des octaves 40Hz-80Hz + 80Hz-160Hz, ou 20Hz-40Hz + 40Hz-80Hz suivant le type de programme, avec un temps d'intégration supérieur ou égal à $1/F_{01}$, F_{01} étant la fréquence la plus basse dans la gamme de fréquence prise en compte pour cette courbe;

Une courbe C_{02} pour la somme des deux octaves suivants, les octaves 160Hz-320Hz + 320Hz-640Hz, ou 80Hz-160Hz + 160Hz-320Hz si la première courbe est décalée vers le bas, avec un temps d'intégration supérieur ou égal à $1/F_{02}$, F_{02} étant la fréquence la plus basse dans la gamme de fréquence prise en compte pour cette courbe;

Une courbe C_{03} pour la somme des octaves 640Hz-1,28kHz + 1,28kHz-2,56kHz, ou 320Hz-640Hz + 640Hz-1,28kHz pour une courbe inférieure décalée vers le bas, avec un temps d'intégration supérieur ou égal à $1/F_{03}$, F_{03} étant la fréquence la plus basse dans la gamme de fréquence prise en compte pour cette courbe;

Une courbe C_{04} si nécessaire pour la somme des octaves 2,56kHz-5,12kHz + 5,12kHz-10,24kHz, ou 1,28kHz-2,56kHz + 2,56kHz-5,12kHz + 5,12kHz-10,24kHz pour une courbe inférieure décalée vers le bas, avec un temps d'intégration supérieur ou égal à $1/F_{04}$, F_{04} étant la fréquence la plus basse dans la gamme de fréquence prise en compte pour cette courbe.

La création de courbes pour les fréquences supérieures n'est pas nécessaire compte tenu de la faible puissance mise en œuvre pour la partie haute du spectre.

On quantifie ensuite par des étapes de test 205 à 207 la différence d'énergie (densité) entre chaque enveloppe de chaque courbe ainsi constituée pour une même unité de temps correspondant à l'inverse de la fréquence minimale du signal utile à savoir en FM: 50ms, et on établit un algorithme de pondération de l'asservissement de la puissance RF avec:

- Pas de pondération si l'amplitude de la courbe C_{01} est plus grande de 6dB ou plus de la courbe C_{02} , elle-même plus grande de 4dB ou plus de la courbe C_{03} , elle-même plus grande de 2dB ou plus de la courbe C_{04} comme représenté en figure 6A et à l'étape 205 de la figure 3;

- Une pondération de -5% à -25% de l'asservissement de la puissance RF si la différence d'amplitude entre les courbes C_{01} à C_{04} se réduit, avec -25% si le total des écarts entre C_{01} et C_{04} ne dépasse pas 6dB. La pondération est représentée en figure 6B en fonction des écarts en dB des courbes C_{01} , C_{02} , C_{03} et C_{04} ce qui correspond au test 206 de la figure 3;

- Une pondération maximale, par exemple de -25% à -50%, de l'asservissement de la puissance RF, représentée en figure 6C en fonction des écarts en dB des courbes C_{01} , C_{02} , C_{03} et C_{04} , si la différence d'amplitude entre les courbes C_{01} et C_{04} montre que $(C_{01} + C_{02})$ est inférieur ou égal à $(C_{03} + C_{04})$ au test 207 de la figure 3. La pondération est de -25% s'il y a égalité entre les 2 groupes de courbe et atteint -50% si $(C_{01} + C_{02})$ est à -3dB de $(C_{03} + C_{04})$.

Les valeurs issues des tests sont utilisées dans un module 208 donnant un signal de commande de pondération pour la commande d'asservissement de la puissance RF.

En sortie, on pondère l'asservissement de la puissance RF issue de la courbe A à l'aide des données de la courbe C, avec la condition suivante: en cas de variation rapide (<300ms environ) de la courbe C vers 0, par exemple une variation de 6dB/100ms, on vient réduire le taux d'asservissement de la puissance RF. Ce taux est ajustable par paramétrage configurable par l'exploitant, avec un maximum de 50%.

En revanche, les variations rapides, par exemple inférieures à 300ms ou 400ms, de l'augmentation de l'enveloppe ne sont pas prises en compte dans la pondération dès lors que cette dernière est inférieure à 0,5dB.

En complément de cette variante et suivant les contraintes de l'exploitant on peut en outre valider une prise en compte d'un retard programmé de diffusion :

Les temps de latence entre l'envoi d'un programme sonore et sa restitution au sein d'un récepteur sont aujourd'hui admis, par contrainte technologique. Qu'ils soient imputables au temps de propagation des signaux, par exemple environ
5 240ms pour une liaison par satellite, ou aux temps de calculs des équipements de compression de données et d'encodage de certains codecs, de quelques millisecondes à plusieurs secondes, il est donc parfois possible de retarder la diffusion d'un programme radiophonique.

10 Dans le cas de l'invention, un retard programmé de l'ordre de 250ms permettrait de prédire le niveau exact d'asservissement de la puissance RF et d'agir sur la commande d'ajustage de la puissance avant le constat de la variation de l'énergie/puissance du signal modulant. Cela mettrait en
15 phase l'action exactement à l'instant souhaité et non avec au minimum quelques dizaines à centaines de ms de retard imputable à l'analyse de la situation et aux calculs nécessaires à la prise de décision.

Même si l'effet post-masquage doit suffire dans la
20 grande majorité des cas, ce retard programmé de la diffusion du contenu sonore réglerait définitivement et naturellement la question du risque de décalage audible entre analyse et action ce qui améliorerait les performances du procédé.

Les signaux calculés avec ou sans les variantes
25 proposées sont calibrés et adaptés aux organes des commandes d'ajustage de la puissance de l'émetteur, via l'étage RF driver et/ou l'étage de génération de la porteuse FM (exciter) et/ou les étages de commandes des blocs de puissance et/ou les alimentations des étages de puissance RF.

30 La mise en œuvre de l'invention ne requiert pas de modification structurelle des émetteurs modernes. L'ensemble des signaux et commandes requis sont aisément accessibles et déjà exploités dans la gestion standard d'un émetteur FM.

Il convient donc, pour profiter de l'avantage de l'invention, d'insérer le dispositif de prélèvement de signaux électriques, de calcul et de génération de signaux électriques au sein de l'émetteur sous la forme d'un module additionnel comprenant une plate-forme matérielle d'acquisition et de calcul, elle-même supportant le logiciel embarqué de l'application comportant les unités de traitement du signal et les algorithmes de décisions et d'actions concernant la commande et l'asservissement de la puissance RF de sortie de l'émetteur.

Les figures 7 et 8 représentent des synoptiques d'émetteurs FM équipés de modules de l'invention et ses variantes.

En figure 7 est représenté un synoptique d'émetteur comportant l'invention sous forme d'un module de traitement 303.

L'émetteur comporte des entrées audio alimentant un bloc de traitement audio 301 comportant un codeur stéréo, éventuellement un codeur RDS et un traitement audio multi bande. Le signal sortant du bloc de traitement audio est un signal multiplex 312 qui entre dans un modulateur/exciter (générateur de la porteuse) FM 302 amplifié par un étage driver 305 et des blocs de puissance RF 307 reliés à une alimentation de puissance 306 et dont les sorties sont additionnées 308 pour délivrer un signal de sortie RF de puissance 313.

Le module de traitement 303 reçoit une consigne 304 dans laquelle sont définis les paramètres de correction choisis par l'exploitant et notamment taux de correction, fréquences d'application, préréglages en fonction du type de programme sonore, définition des bornes des puissances RF minimum/maximum.... Il reçoit en outre le signal multiplex 312. Le module de traitement effectue les calculs nécessaires

à générer un signal de commande 310 pour les étages de pilotage appelés aussi driver 305.

La figure 8 représente une variante pour laquelle le module de traitement 404 comporte des corrections supplémentaires discutées plus haut, module 404a de correction Loudness, module 404b de correction en fonction du signal audio 403 et module 404c adaptés à piloter en complément ou en substitution de la commande 410 de l'étage driver 305:

- 10 - l'exciter c'est à dire le générateur de la porteuse FM (302) au travers de la commande 412;
- les étages de puissance 307 au travers de la commande 411;
- l'alimentation 406 des blocs de puissance 307 au
15 travers d'un signal de commande 405;

les commandes issues du module de traitement 404 résultant de la combinaison des traitements 404, 404a, 404b.

L'émetteur comporte des entrées audio alimentant un bloc de traitement audio 301 comportant un codeur stéréo, éventuellement un codeur RDS et un traitement audio multi-
20 bande. Ce signal audio peut arriver au sein de l'émetteur via d'autres voies très différentes par exemple: audio filaire, faisceaux hertzien, satellite, mode analogique ou numérique, via des réseaux informatique Intranet ou Ethernet, via un
25 récepteur de retransmission démodulant totalement ou partiellement le signal... . Le signal sortant du bloc de traitement audio est un signal multiplex 312 qui entre dans un modulateur/exciter ou module générateur de la porteuse FM 302. Dans cet exemple, le signal multiplex 302 passe dans un
30 module ligne à retard 401 piloté par le module de traitement 404. Le signal de sortie du modulateur FM est amplifié par un étage driver 305 et des blocs de puissance RF 307 reliés à une alimentation de puissance 406. Les sorties des blocs de

puissance sont additionnées 308 pour délivrer un signal de sortie RF de puissance 313.

5 Le module de traitement 404 reçoit lui aussi une consigne 304 dans laquelle sont définis les paramètre de correction choisis par l'exploitant et notamment le taux de correction, la fréquences d'application, les préréglages en fonction de la catégorie de programme sonore, la définition des bornes des puissances RF minimum/maximum... . Il reçoit le signal multiplex 312 et un prélèvement 311 du signal de sortie de puissance RF au moyen d'une sonde 309 et, en fonction des modules additionnels qui sont intégrés, le module de traitement 404 reçoit le signal audio G+D 403 et/ou le signal modulation M 402. Le module de traitement effectue les calculs nécessaires pour générer un signal de commande 15 410 pour les étages de pilotage (driver) 305 et éventuellement le pilotage de la ligne de retard 401 et/ou le pilotage 412 de l'exciter 302 ou générateur de la porteuse FM et/ou le pilotage 411 des blocs de puissance RF 307 et/ou le pilotage 405 de l'alimentation 406 des blocs de puissance. 20 Via le signal 311 issu de la sonde de mesure 309, le module 404 calcule la puissance RF moyenne de l'émetteur sur une durée T et pondère le signal de commande du module 404c pour le maintien de cette dernière à l'intérieur des bornes définies par les consignes 304 ce qui constitue un 25 asservissement pour la puissance de l'émetteur.

L'objectif recherché est bien entendu de diminuer le coût d'exploitation de l'émetteur ou de l'ensemble de plusieurs réseaux d'émetteurs, sans altération notable et audible du programme sonore reçu chez l'auditeur, mais aussi 30 de conserver un confort d'écoute optimum lorsque la nature du programme ne permet pas, en théorie, un rapport signal/bruit apparent suffisant, dans les zones difficiles de la réception.

Cette gestion de la Puissance RF par le signal modulant permet d'évaluer le rendement équivalent d'un émetteur en fonction de l'énergie/puissance calculée P_{EPM} du signal modulant, du niveau de Loudness selon une première variante, de la variation du niveau en fonction de la fréquence des signaux primaires gauche et droite selon une seconde variante, avec ou sans l'insertion du dispositif et du procédé de l'invention.

Les courbes des figures 9 et 10 montrent clairement à la fois le gain du rendement prévisionnel et la zone d'amélioration du rapport signal/bruit apparent basés sur différents programmes réels de radiodiffusion:

- Rendement théorique équivalent moyen d'un émetteur de 10kW en fonction de P_{EPM} avec la courbe 501, P_{EPM} puissance exprimée en dBr en ordonnée et rendement équivalent en abscisse sans le dispositif de l'invention et la courbe 502 puissance avec le dispositif de l'invention;

- Consommation d'électricité théorique d'un émetteur de 10kW RF en fonction de P_{EPM} avec la courbe 601, consommation de l'émetteur en kW sans le dispositif de l'invention et la courbe 602 consommation de l'émetteur en kW avec le dispositif de l'invention.

Il est ainsi possible, avec le dispositif et le procédé de l'invention, de diviser jusque par 2 la consommation d'énergie, soit un rendement moyen, sur 24 h, équivalent à 154% pour un émetteur de 10kW.

Le procédé de l'invention va notamment prévoir un prélèvement d'un signal électrique d'indication de la puissance de sortie RF réelle de l'émetteur fourni par une sonde de mesure des puissances RF directes et réfléchies en sortie de l'émetteur.

Selon l'invention l'analyse du signal modulant peut notamment prendre en compte au moins les signaux constitutifs

du signal sonore à savoir d'une part les canaux audio gauche et droit quel que soit leur niveau de traitement, de transport ou de codage, et d'autre part les signaux annexes au signal sonore principal : sous-porteuse (s), données associées au programme, programmes secondaires et toute forme de signal participant à la constitution du signal modulant l'émetteur, souvent nommé signal Multiplex. Les analyses effectuées sont d'ordre fréquentiel sur le spectre du signal modulant et d'ordre temporel avec une quantification de la dynamique, de l'amplitude, de la durée de la présence des signaux.

Le calcul de l'énergie du signal modulant est opéré via le traitement des données issues des analyses effectuées sur les différentes composantes du signal modulant.

Un exemple d'application est décrit ci dessous.

Dans cet exemple le calcul prend en compte une méthode de répartition des échantillons des signaux et/ou une méthode de calcul direct, via la prise en compte de la somme des carrés des échantillons. Le résultat de ces calculs est nommé P_{EPM} et est exprimé en dB relatif dBr avec 0 dBr = résultat neutre n'impliquant aucune variation de la puissance RF de l'émetteur.

Les calculs sont dérivés des références et recommandations de la profession, parmi lesquelles :

- La puissance du signal Multiplex tel que défini par l'ITU-R BS.412-9 ainsi que ses annexes et mises à jour;
- L'énergie sonore de type « Loudness » avec une référence à -23 LUFS définie par l'EBU R128 ainsi que ses annexes et mises à jour;

En fonction des résultats des calculs, exprimés en dBr, il est alors déterminé une échelle à plusieurs niveaux de l'efficience du procédé en fonction de l'énergie/puissance du

programme diffusé. Par exemple l'échelle peut avoir les niveaux suivants:

5 Niveau 1 - Une plage de -3dBr à 0dBr désigne une énergie/puissance du signal modulant dite très faible à faible, indiquant qu'il est possible d'optimiser le rapport signal/bruit à la réception en augmentant la puissance RF de l'émetteur via l'asservissement respectivement entre +1,5dB à +0,5dB.

10 Niveau 2 - Une plage de 0dBr à +3dBr désigne une énergie/puissance du signal modulant dite moyenne/faible à moyenne, indiquant qu'il est possible d'optimiser le rapport signal/bruit à la réception en augmentant la puissance RF de l'émetteur via l'asservissement respectivement entre +0,5dB à 0dB.

15 Niveau 3 - Une plage de +3dBr à +6dBr désigne une énergie/puissance du signal modulant dite moyenne/haute à haute, indiquant qu'il est possible d'optimiser le rapport signal/bruit à la réception en diminuant la puissance RF nominale de l'émetteur via l'asservissement respectivement
20 entre 0dB et -2dB.

Niveau 4 - Une plage de +6dBr à +10dBr désigne une énergie/puissance du signal modulant dite très haute/moins à très haute/plus, indiquant qu'il est possible d'optimiser le rapport signal/bruit à la réception en diminuant la puissance
25 RF nominale de l'émetteur via l'asservissement respectivement entre -2dB et -3dB.

Niveau 5 - Une plage supérieure à +10dBr désigne une énergie/puissance du signal modulant dite très haute à maximale, indiquant qu'il est possible d'optimiser le rapport
30 signal/bruit à la réception en diminuant la puissance RF nominale de l'émetteur via l'asservissement respectivement entre -3dB et -3,5dB.

Cette échelle est complétée par une classification par catégories de programme obtenue par les résultats de l'analyse spectrale, la répartition fréquentielle, du signal sonore modulant l'émetteur et/ou par la nature des données associées décodées à partir de la trame RDS (Radio Data System) accompagnant le programme sonore.

5

3 catégories (A, B et C) sont classifiées :

A/ Classique / Talkshow : spectre du signal modulant constitué de fréquences transitoires centrées essentiellement sur les fréquences bas médium et médium et dont l'énergie par fréquence/groupe de fréquences, est faible.

10

B/ Généraliste : spectre du signal modulant alternant des périodes (temporelles) de la catégorie A et des périodes de la catégorie C.

15

C/ Musicale : spectre du signal modulant relativement étendu des fréquences graves aux fréquences aiguës et affichant une dynamique réduite essentiellement concentrée dans la partie supérieure de l'échelle des niveaux d'excursion du modulateur.

20

Le signal d'asservissement de la puissance RF peut alors résulter d'une série d'algorithmes et de calculs permettant de terminer une courbe d'asservissement dont les caractéristiques de variation (typologie, forme) sont déterminées en fonction des plages d'énergie/puissance et des catégories désignées des programmes.

25

Ainsi, par exemple, selon un mode de réalisation avantageux de l'invention appliquée à un type de programme B dit « généraliste » et pour une efficacité comprise entre les niveaux 2 et 4, peuvent être prévus:

30

- la fixation de conditions d'élaboration du signal d'asservissement de la puissance RF par l'établissement d'une première courbe (Courbe A) non linéaire entre la variation du signal calculé P_{BPM})

et la puissance RF (P_{RF}) de sorte que pour $P_{EPM} = +3\text{dBr}$ il y ait 0 dB d'augmentation/atténuation RF et pour $P_{EPM} = +10\text{dBr}$ il y ait 3dB d'atténuation RF

- une détermination de la forme de la variation:

- 5 a) variation de type logarithmique pondéré et inversée de l'asservissement RF pour un signal P_{EPM} calculé entre +3dBr à +5dBr,
- b) variation de type linéaire, de l'asservissement RF pour un signal P_{EPM} calculé entre +5dBr et +7dBr,
- 10 c) variation de type logarithmique pondéré, de l'asservissement RF un signal P_{EPM} calculé entre +7dBr à +10dBr,

la résultante de ces calculs forme le signal de commande de l'asservissement de la puissance de sortie RF de l'émetteur.

15

Des courbes similaires peuvent être appliquées à d'autres types de programmes avec des paramètres différents tout en restant dans le cadre de l'invention.

L'invention peut aussi prévoir une extraction du signal G+D (M) à partir du signal multiplex (MPX) au travers d'un échantillonnage de ce signal pour obtenir le spectre du signal G+D, un redressement des deux alternances, et une intégration de ce signal sur une période (d1) pour obtenir une courbe représentative de l'enveloppe des crêtes du signal G+D, un établissement d'une troisième courbe (Courbe C) de variation linéaire avec l'enveloppe du signal G+D (M);

20

25

une pondération de l'asservissement RF issue de la courbe A, à l'aide des données de la troisième courbe (Courbe C) avec les conditions suivantes:

30 - en cas de variation déterminée comme rapide, <300ms ou 400ms environ, de la troisième courbe (Courbe C) vers 0, le taux d'asservissement RF est réduit,

- les variations considérées comme rapides de l'augmentation de l'enveloppe ne sont pas prises en compte dans la pondération, dès lors que cette dernière est inférieure à 0,5dB.

5 Selon un mode de réalisation particulier alternatif ou complémentaire l'invention peut comporter:

- la réalisation d'une transformation de Fourier rapide FFT sur une bande de signal utile avec le signal G+D (M) comportant l'évaluation de la valeur de l'amplitude moyenne instantanée, par plages de fréquences et préférablement par octave ou par 1/3 d'octave;

10 - l'établissement d'une série de courbes supplémentaires (Courbes C_{01} , C_{02} , C_{03} , ... , C_{0n}) pour des plages de fréquence successives croissantes à partir de la FFT, en calculant l'enveloppe de l'amplitude pour chaque plage en fonction d'un temps de référence de l'intégration;

15 - une quantification de la différence d'énergie (densité) entre chaque enveloppe de chaque courbe ainsi constituée;

20 - l'établissement d'un algorithme de pondération du signal d'asservissement de la puissance RF.

Selon un mode de réalisation particulier appliqué à l'exemple mais pouvant comprendre des seuils et bornes différents selon les applications, l'algorithme est tel que l'on ait:

25 - Pas de pondération si l'amplitude des courbes de plages de fréquences successives est décroissante en fonction du rang croissant des courbes;

30 - Pondération de -5% à -25% de l'asservissement RF si la différence d'amplitude entre les courbes de plages de fréquences croissantes se réduit;

- Pondération maximale de -25% à -50% de l'asservissement RF si l'amplitude des courbes de rang

inférieur est égale ou inférieure à l'amplitude des courbes de rang supérieur;

le signal pondéré ainsi déterminé devenant le constituant de la commande d'asservissement de la puissance de l'émetteur.

Par mesure de simplification la répartition des courbes est réalisée sur des plages de fréquences telles que des tiers d'octaves, des octaves ou paires d'octaves consécutifs.

Selon un mode de réalisation particulier bien adapté à l'application dans la bande FM, la répartition est faite sur 4 courbes dans une bande 20Hz-20kHz ou plus précisément quatre courbes par paires d'octaves sur la bande 40Hz-10,24kHz en considérant que les plages 20Hz-40Hz et 10kHz-20kHz ont peu de contribution pour l'énergie du signal.

En reprenant la répartition en quatre courbes vue plus haut, la pondération est adaptée en fonction des écarts entre les courbes.

Selon un mode de réalisation particulier et bien que ce ne soit pas indispensable compte tenu de l'effet de masque, l'invention peut comporter l'insertion d'un retard programmé de diffusion destiné à compenser le temps de calcul du signal d'asservissement, le temps de calcul du niveau d'asservissement de la puissance RF et une remise en phase du signal d'asservissement de la puissance RF avec le signal sonore diffusé.

Le procédé de l'invention comporte avantageusement une série d'algorithmes qui combine des calculs issus des mesures et relevés en temps réel de paramètres tels que:

- effet de masque général calculé préférentiellement dans la bande de fréquence 40Hz-15kHz mais pouvant être étendu à la bande 20Hz-20kHz;

- rapport signal/bruit suivant les règles psycho-acoustiques, calculé dans la bande de fréquence 40Hz-15kHz;

5

- délais d'établissement et de disparition des sons masquants;

- niveau de Loudness calculé du signal sonore modulant;

- niveau de l'énergie/puissance P_{EPM} calculée du signal modulant;

10

pour obtenir un signal résultant représentatif de la variation du rapport signal/bruit apparent perçu par l'auditeur; l'utilisation de ce signal résultant pour commander la puissance RF de l'émetteur, en plus ou en moins, en agissant soit sur la commande d'excitation RF, soit sur les commandes des étages de puissance intermédiaires (driver) ou finaux (blocs de puissance), soit sur les tensions des alimentations des étages de puissance, soit sur un mixage de deux ou trois de ces actions.

15

20

Selon un mode de réalisation de l'invention, le procédé de l'invention comporte un calcul de l'énergie/puissance (P_{EPM}) du signal modulant réalisé suivant une méthode de répartition des échantillons sonores au sein d'une table des niveaux d'excursion et/ou suivant une méthode de sommation des carrés des valeurs des échantillons.

25

30

Selon un mode alternatif ou complémentaire le procédé comporte la fixation de conditions d'élaboration du signal d'asservissement de la puissance RF résultant des calculs de P_{EPM} , exprimés en dBr, et la détermination d'une échelle de correction en fonction de l'énergie/puissance du signal représentatif, ladite échelle comportant l'association d'une série de plages consécutives de niveaux croissants du signal représentatif à une série de niveaux consécutifs de correction décroissants de la puissance RF de l'émetteur par

le signal d'asservissement, échelle pour laquelle pour des niveaux faibles l'asservissement effectue une augmentation de la puissance RF de l'émetteur et pour des niveaux forts l'asservissement effectue une diminution de la puissance RF de l'émetteur.

Le dispositif de mise en œuvre du procédé de l'invention peut comporter:

- des moyens de calcul de la puissance de sortie RF moyenne de l'émetteur, avec la prise en compte éventuelle des mesures issues de la sonde (309), et sur une durée T définie en consigne,
- des moyens de comparaison des résultats du calcul de la puissance RF moyenne avec des valeurs de puissances minimum/maximum définies en bornes de consigne mémorisées,
- des moyens de maintien de la puissance de sortie moyenne à l'intérieur des bornes de consigne sur la durée T, par pondération du signal de commande de l'asservissement de la puissance RF de l'émetteur.

L'invention n'est pas limitée aux exemples décrits et peut combiner plusieurs des méthodes de compensation décrites pour soit optimiser la puissance en fonction du contenu sonore du programme, soit maximiser la émission puissance toujours selon le contenu sonore.

R E V E N D I C A T I O N S

- 1 - Procédé d'optimisation de la puissance d'émission d'un émetteur de radiodiffusion FM caractérisé en ce qu'il comporte des étapes de:
- 5 - prélèvement d'un signal représentatif du contenu audio à diffuser par l'émetteur de radiodiffusion FM;
- calcul en continu de paramètres constitutifs dudit signal représentatif parmi fréquence, amplitude, dynamique répartition temporelle, énergie et puissance;
- 10 - analyse en continu desdits paramètres en comparaison avec une modélisation de données psycho-acoustiques;
- génération d'un signal d'asservissement de la puissance de l'émetteur en fonction des résultats de l'analyse et des calculs permis par lesdits paramètres
- 15 constitutifs et lesdites données psycho-acoustiques en continu;
- pilotage de la puissance RF de l'émetteur au moyen du signal d'asservissement (310).
- 20 2 - Procédé selon la revendication 1 pour lequel le signal représentatif est choisi parmi le signal audio, le signal Multiplex (MPX), le signal M (mono G+D), le signal M(mono G+D) +S (stéréo G-D).
- 25 3 - Procédé selon les revendications 1 ou 2 comportant un calcul de l'énergie/puissance (P_{EPM}) du signal modulant réalisé suivant une méthode de répartition des échantillons sonores au sein d'une table des niveaux d'excursion et/ou suivant une méthode de sommation des carrés des valeurs des
- 30 échantillons.

- 4 - Procédé selon la revendication 3 comprenant, pour le calcul de l'énergie/puissance P_{EPM} , le choix d'une durée minimum d'échantillon (d), le calcul d'un total du niveau de chaque observation après (n*d) échantillons et un calcul de l'énergie/puissance P_{EPM} suivant le principe de la seconde glissante par ajout des nouveaux échantillons de récurrence (d).
- 5
- 10 5 - Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes comportant la fixation de conditions d'élaboration du signal d'asservissement de la puissance RF résultant des calculs de P_{EPM} , exprimés en dBr, et la détermination d'une échelle de correction en fonction de l'énergie/puissance du signal représentatif, ladite échelle comportant l'association d'une série de plages consécutives de niveaux croissants du signal représentatif à une série de niveaux consécutifs de correction décroissants de la puissance RF de l'émetteur par le signal d'asservissement, échelle pour laquelle pour des niveaux faibles l'asservissement effectue une augmentation de la puissance RF de l'émetteur et pour des niveaux forts l'asservissement effectue une diminution de la puissance RF de l'émetteur.
- 15
- 20
- 25 6 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 comportant la création d'une classification par catégories de programme obtenue par les résultats d'une analyse spectrale du signal sonore modulant l'émetteur et/ou par la nature des données associées décodées à partir de la trame RDS (Radio Data System) accompagnant le programme sonore et l'application d'une correction de la puissance RF basée sur le type de catégorie.
- 30
- 7 - Procédé selon la revendication 5 comportant:

- la fixation de conditions d'élaboration du signal d'asservissement de l'augmentation de la puissance RF par l'établissement d'une valeur de l'énergie/puissance (P_{EPM}) (1) du signal représentatif et la puissance RF (PRF) de sorte
5 que :

a) pour P_{EPM} supérieure à -3dBr et inférieure à 0dBr (3), calcul de l'asservissement (8) de la puissance RF de +1,5dB à 0,5dB,

b) pour P_{EPM} supérieure à 0dBr et inférieure à +3dBr (4), calcul de l'asservissement (8) de la puissance RF de +0,5dB à 0dB,
10

- la fixation de conditions d'élaboration du signal d'asservissement de l'atténuation de la puissance RF par l'établissement d'une courbe (Courbe A) non linéaire dite
15 première courbe entre la variation de l'énergie/puissance (P_{EPM}) (1) du signal représentatif et la puissance RF (PRF) de sorte que pour $P_{EPM} = +3dBr$ il y ait 0 dB d'augmentation/atténuation RF et pour P_{EPM} supérieur ou égal à 10dBr il y ait 3,5dB d'atténuation RF;

20 - une détermination de la forme de la variation (5, 6, 7,):

a) variation de type logarithmique pondéré (10) et inversée de l'asservissement de la puissance RF pour une énergie/puissance P_{EPM} calculée entre +3dBr et
25 +5dBr,

b) variation de type linéaire (11), de l'asservissement de la puissance RF pour une énergie/puissance P_{EPM} calculée entre +5dBr et +7dBr,

c) variation de type logarithmique pondéré (12), de l'asservissement de la puissance RF pour une
30 énergie/puissance P_{EPM} calculée entre +7dBr et +10dBr;

et pour lequel la résultante de ces calculs (13, 14) forme un signal de commande de l'asservissement de la puissance de sortie RF de l'émetteur.

- 5 8 - Procédé selon la revendication 7 pour lequel la référence 0dBr de l'énergie/puissance (P_{EPM}) du signal modulant correspond à un signal permanent de fréquence 1kHz provoquant une excursion ou déviation de fréquence de ± 19 kHz.
- 10 9 - Procédé selon la revendication 7 ou 8 pour lequel seule la plage de l'énergie/puissance (P_{EPM}) du signal modulant supérieur à -3dBr est prise en compte.
- 15 10 - Procédé selon la revendication 7, 8 ou 9 pour lequel l'asservissement de la puissance RF est de -3,5dB à +1,5dB .
- 20 11 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 10 pour lequel on établit une courbe (Courbe B) non linéaire dite deuxième courbe à partir de données de calcul du Loudness en utilisant comme référence le niveau du Loudness admis dans la radiodiffusion soit -23LUFS, avec une dynamique de l'ordre de 20LU et comportant les étapes de:
- 25 - calcul du Loudness (121);
- détermination (122, 123, 124, 125) de la forme de la variation de ladite deuxième courbe (Courbe B) en fonction du Loudness;
- établissement (129, 130) d'un signal de pondération de la première courbe (Courbe A) de commande d'un étage
- 30 driver de l'amplificateur et l'asservissement de la puissance de sortie RF de l'émetteur à partir de la résultante de ces calculs, avec les étapes suivante:
- calcul du Loudness (121) pour un résultat de mesure de l'énergie/puissance P_{EPM} (courbe A) à l'instant T,

- calcul de la valeur de l'asservissement RF en dB (V_1) à partir de la première courbe (Courbe A) et de la valeur (V_2) de la pondération calculée en % selon la deuxième courbe (Courbe B),

- 5 - calcul de la valeur pondéré (V_3) de l'asservissement de la puissance RF à apporter sur les étages de puissance, suivant la formulation:

$$V_3 = V_1 - (V_1 * V_2)$$

10

12 - Procédé selon la revendication 11 pour lequel la forme de la deuxième courbe est calculée selon les règles suivantes:

- 15 a - variation de type logarithmique (126) pondéré et inversée de l'asservissement de la puissance RF pour un Loudness calculé entre -43LU et -37LU;

b - variation de type linéaire (127), de l'asservissement de la puissance RF pour un Loudness calculé entre -37LU et -30LU;

- 20 c - variation de type logarithmique pondéré (128), de l'asservissement de la puissance RF pour un Loudness calculé entre -30LU et -23LU;

13 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 7
25 à 12 comportant une extraction (201) du signal G+D (M) à partir du signal multiplex, un échantillonnage de ce signal pour obtenir le spectre du signal G+D (202), un redressement des deux alternances, et une intégration (204) de ce signal sur une période (d_1) pour obtenir une courbe représentative
30 de l'enveloppe des crêtes du signal G+D, un établissement d'une courbe (Courbe C) dite troisième courbe de variation linéaire avec l'enveloppe du signal G+D (M); et une pondération (208) de l'asservissement de la puissance RF issue de la première courbe (courbe A), à l'aide des données

de la troisième courbe (Courbe C) avec les conditions suivantes:

- en cas de variation déterminée comme rapide ou inférieure à 300ms environ de la troisième courbe (Courbe C) vers 0, le taux d'asservissement de la puissance RF est réduit;

- les variations déterminées comme rapides de l'augmentation de l'enveloppe ne sont pas prises en compte dans la pondération, dès lors que cette dernière est inférieure à 0,5dB.

14 - Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes comportant :

- la réalisation d'une transformation de Fourier rapide FFT (202) sur une bande de signal utile avec le signal G+D (M) comportant l'évaluation de la valeur de l'amplitude moyenne instantanée, par plages de fréquences;

- l'établissement d'une série de courbes dites courbes supplémentaires (Courbes C_{01} , C_{02} , C_{03} , ... , C_{0n}) pour des plages de fréquence successives croissantes à partir de la FFT, en calculant l'enveloppe de l'amplitude pour chaque plage en fonction d'un temps de référence de l'intégration;

- une quantification de la différence d'énergie ou densité d'énergie entre chaque enveloppe de chaque courbe ainsi constituée;

- l'établissement d'un algorithme de pondération de l'asservissement de la puissance RF (205, 206, 207).

15 - Procédé selon la revendication 14 pour lequel l'algorithme de pondération est réalisé selon les règles:

- Pas de pondération si l'amplitude des courbes de plages de fréquences successives est décroissante en fonction du rang croissant des courbes;

- Pondération de -5% à -25% de l'asservissement de la puissance RF si la différence d'amplitude entre les courbes de plages de fréquences croissantes se réduit,

- Pondération maximale de -25% à -50% de l'asservissement de la puissance RF si l'amplitude des courbes de rang inférieur est égale ou inférieure à l'amplitude des courbes de rang supérieur;

le signal pondéré ainsi déterminé devenant le constituant de la commande d'asservissement des étages de puissance de l'émetteur (208).

16 - Procédé selon la revendication 14 ou 15 pour lequel les courbes supplémentaires sont réalisées sur des bandes de fréquence regroupant des tiers d'octave ou des octaves consécutifs, le temps d'intégration pour le calcul de l'enveloppe de l'amplitude étant supérieur ou égal à l'inverse de la fréquence la plus basse de la bande de fréquences pour chaque courbe.

17 - Procédé selon la revendication 16 comportant la répartition suivante:

Une courbe C_{01} pour la somme des octaves 40Hz-80Hz + 80Hz-160Hz, ou 20Hz-40Hz + 40Hz-80Hz suivant le type de programme, avec un temps d'intégration supérieur ou égal à $1/F_{01}$, F_{01} étant la fréquence la plus basse dans la gamme de fréquence prise en compte pour cette courbe;

Une courbe C_{02} pour la somme des deux octaves suivants octaves 160Hz-320Hz + 320Hz-640Hz, ou 80Hz-160Hz + 160Hz-320 Hz si la première courbe est décalée vers le bas, avec un temps d'intégration supérieur ou égal à $1/F_{02}$, F_{02} étant la fréquence la plus basse dans la gamme de fréquence prise en compte pour cette courbe;

Une courbe C_{03} pour la somme des octaves 640Hz-1,28kHz + 1,28kHz-2,56kHz, ou 320 Hz-640 Hz + 640 Hz-1,28kHz pour une

courbe inférieure décalée vers le bas, avec un temps d'intégration supérieur ou égal à $1/F_{03}$, F_{03} étant la fréquence la plus basse dans la gamme de fréquence prise en compte pour cette courbe;

- 5 Une courbe C_{04} si nécessaire pour la somme des octaves 2,56kHz-5,12kHz + 5,12kHz-10,24kHz, ou 1,28kHz-2,56kHz + 2,56kHz-5,12kHz + 5,12kHz-10,24kHz pour une courbe inférieure décalée vers le bas, avec un temps d'intégration supérieur ou égal à $1/F_{04}$, F_{04} étant la fréquence la plus basse dans la
- 10 gamme de fréquence prise en compte pour cette courbe.

18 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 17 pour lequel avec quatre courbes (C_{01} , C_{02} , C_{03} , C_{04}) réparties sur le spectre utile 20Hz-20kHz ou 40Hz-10,24kHz:

- 15 - on n'effectue pas de pondération si l'amplitude de la courbe C_{01} est + grande de 6dB de la courbe C_{02} , elle-même plus grande de 4dB de la courbe C_{03} , elle-même plus grande de 2dB de la courbe C_{04} ,
- on effectue une pondération maximale de -25% de
- 20 l'asservissement de la puissance RF si le total des écarts entre C_{01} et C_{04} ne dépasse pas 6dB;
- on effectue une pondération maximale de -50% de l'asservissement de la puissance RF si la différence d'amplitude entre les courbes C_{01} et C_{04} montre que
- 25 l'amplitude ($C_{01} + C_{02}$) est inférieure ou égale à l'amplitude ($C_{03} + C_{04}$).

- 19 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 18 comportant l'insertion d'un retard programmé (401) de
- 30 diffusion destiné à compenser le temps de calcul du signal d'asservissement, un calcul du niveau d'asservissement de la puissance RF adapté à faire varier la commande d'ajustage de la puissance avant le constat de la variation de la densité

du signal modulant retardé et une remise en phase du signal d'asservissement du signal RF avec le signal sonore diffusé.

20 - Procédé selon l'une quelconque des
5 revendications précédentes comportant une série d'algorithmes qui combine des mesures issues de l'observation en temps réel des paramètres:

- effet de masque général modélisé dans la bande de fréquence 40Hz-15kHz;
- 10 - délais d'établissement et de disparition des sons masquants;
- niveau de Loudness du signal sonore modulant;
- niveau de l'énergie/puissance (P_{EPM}) du signal modulant;

15 pour obtenir un signal résultant représentatif de la variation du rapport signal/bruit apparent perçu par l'auditeur; l'utilisation de ce signal résultant pour commander la puissance RF de l'émetteur, en agissant soit sur le générateur de la porteuse FM (exciter), soit
20 sur la commande d'excitation RF (driver), soit sur les blocs de puissance RF, soit sur les tensions des alimentations des étages de puissance RF, soit sur un mixage de deux ou plusieurs de ces actions.

25 21 - Dispositif de mise en œuvre du procédé dans un émetteur FM selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comporte des moyens (309) de prise de mesures du signal de sortie de l'amplificateur et un module de traitement (303, 404) comportant:

- 30 - des moyens de conversion analogique/numérique adaptés à convertir lesdites mesures en données numériques,
- des moyens de mémorisation de données numériques, de conditions de calcul et de valeurs de calcul; des moyens de calcul et

- des moyens de génération de signaux électriques de commande d'asservissement de l'émetteur par conversion numérique/analogique.

5 22 - Dispositif de mise en œuvre du procédé selon la revendication 21 caractérisé en ce qu'il comporte :

- des moyens de calcul de la puissance de sortie RF moyenne de l'émetteur, avec la prise en compte éventuelle des mesures issues de la sonde (309), et sur
10 une durée T définie en consigne,

- des moyens de comparaison des résultats du calcul de la puissance RF moyenne avec des valeurs de puissances minimum/maximum définies en bornes de consigne mémorisées,

15 - des moyens de maintien de la puissance de sortie moyenne à l'intérieur des bornes de consigne sur la durée T, par pondération du signal de commande de l'asservissement de la puissance RF de l'émetteur;

20 23 - Dispositif selon la revendication 21 ou 22 pour lequel les moyens de génération de signaux électriques de commande d'asservissement de la puissance de l'émetteur par conversion numérique/analogique sont reliés

- soit à un étage (302) de commande de l'exciter
25 (générateur de la porteuse FM) de l'émetteur

- soit à un étage (305) de commande des étages drivers de l'amplificateur

- soit à un étage (307) de commande directe des blocs d'amplificateurs

30 - soit à un étage (406) de commande des alimentations des blocs de puissance de l'amplificateur.

24 - Émetteur FM comportant un dispositif selon l'une quelconque des revendications 21 à 23.

Fig. 1

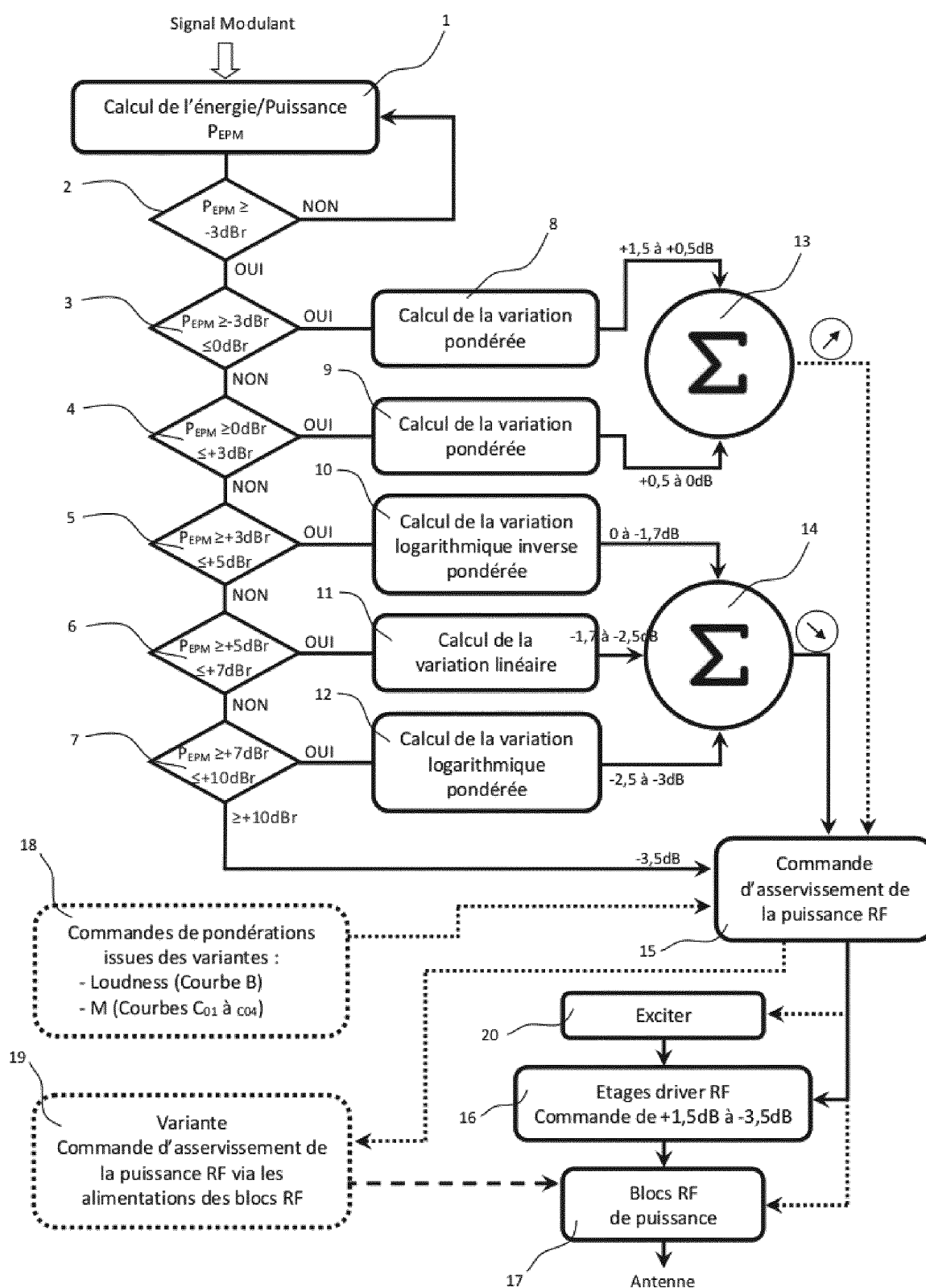


Fig. 2

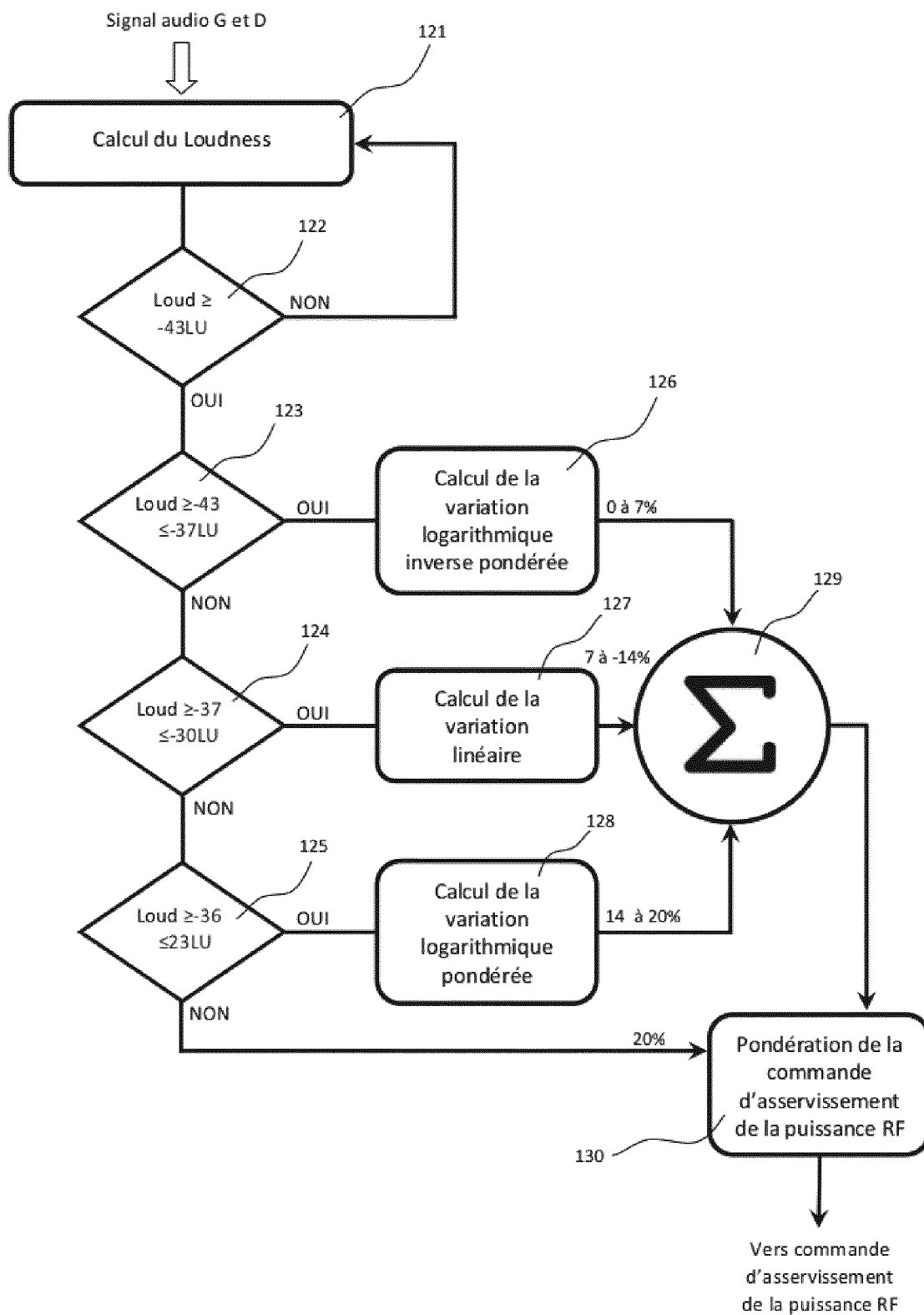
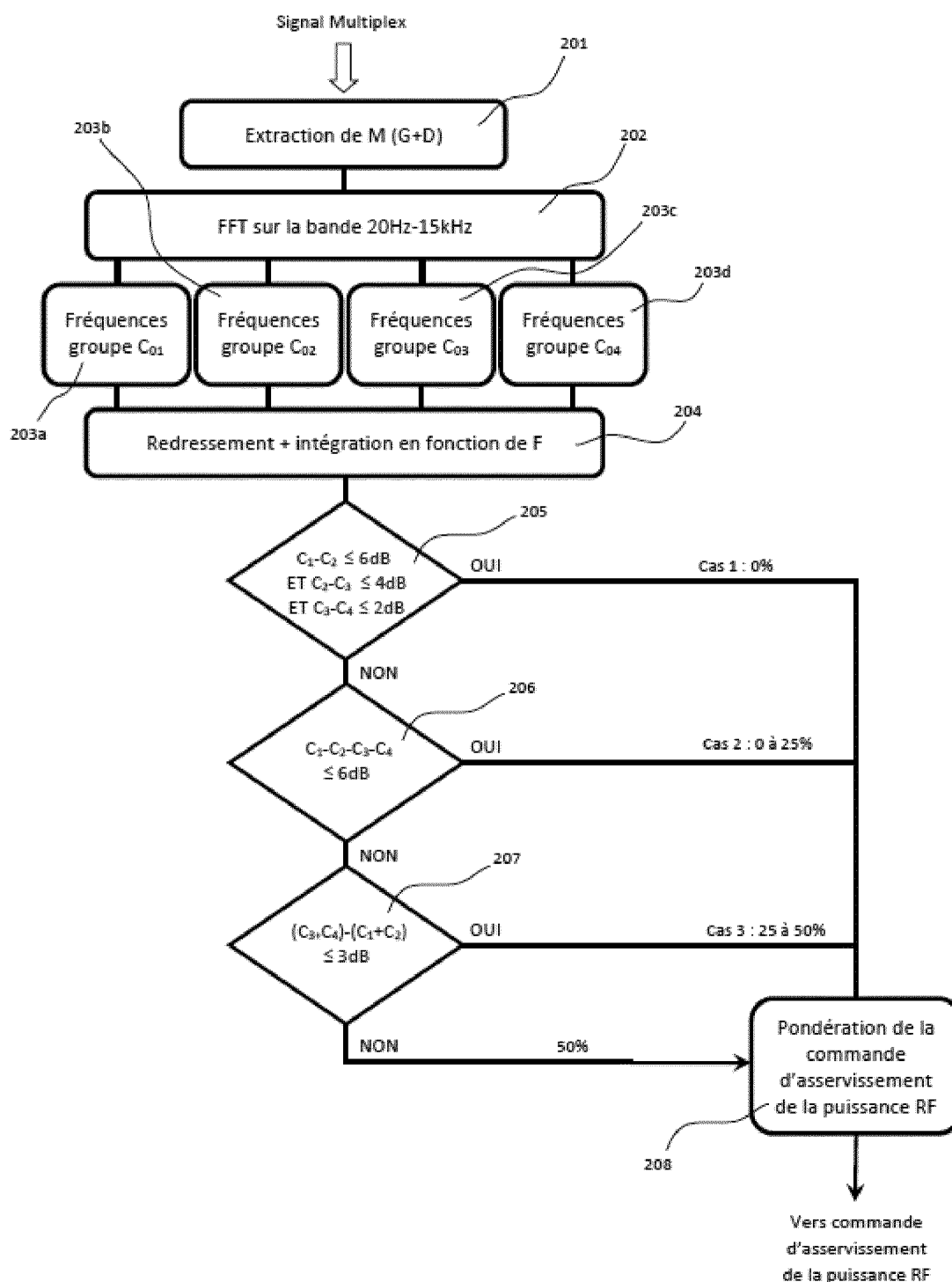


Fig. 3



4/8

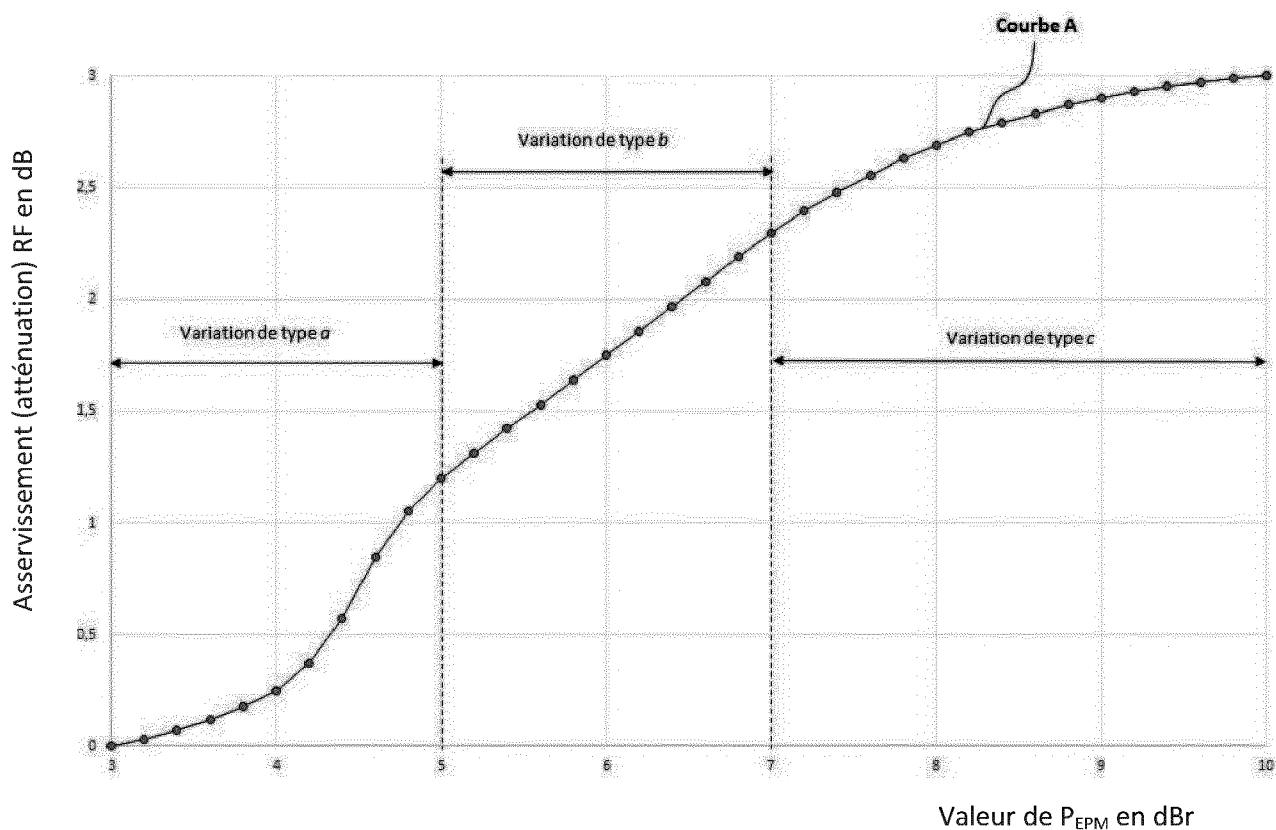
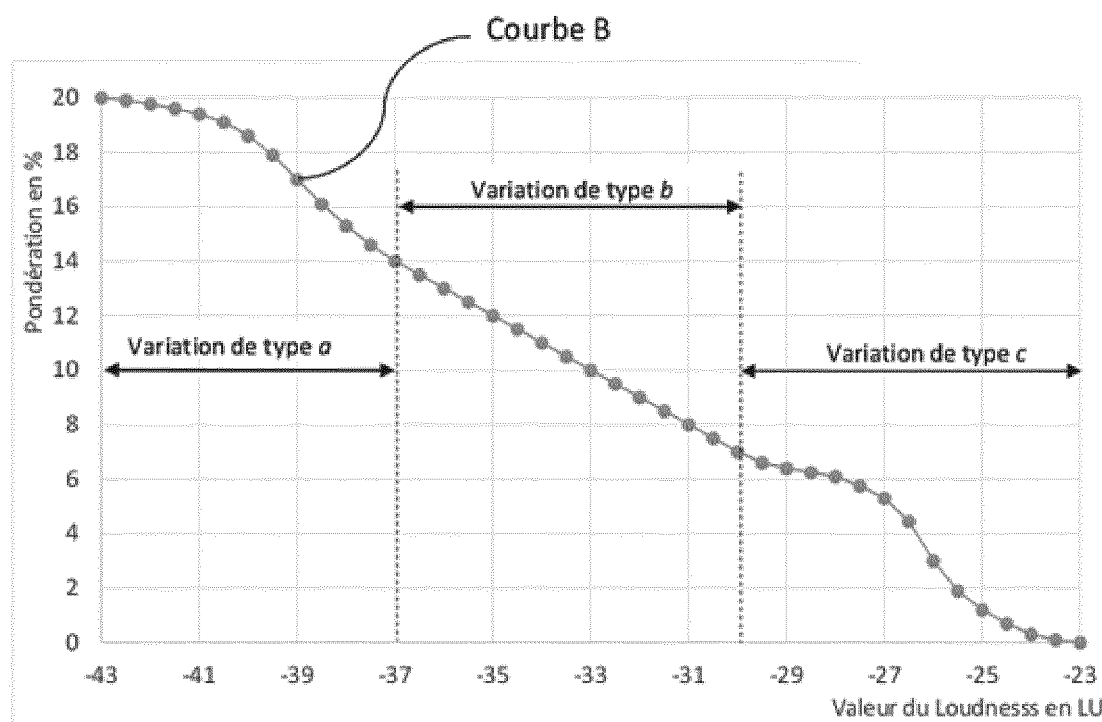
Fig. 4**Fig. 5**

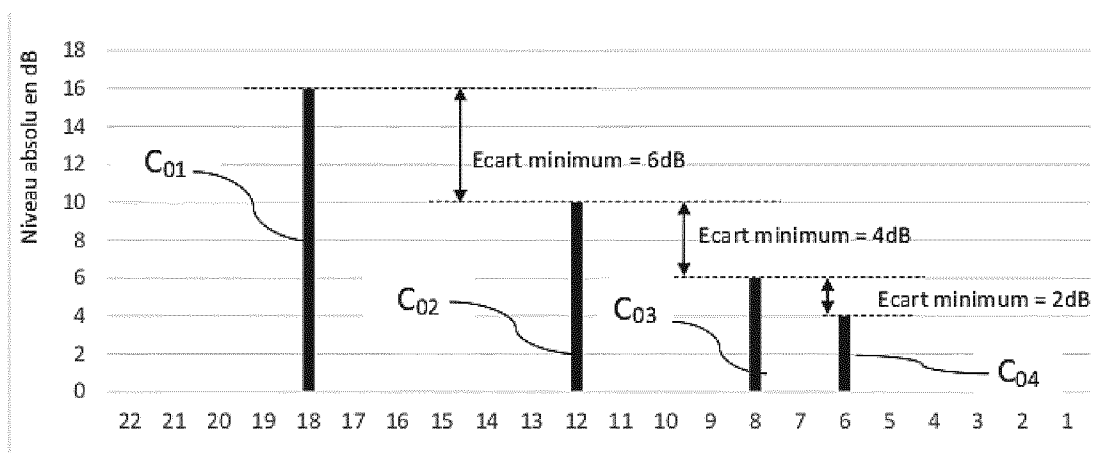
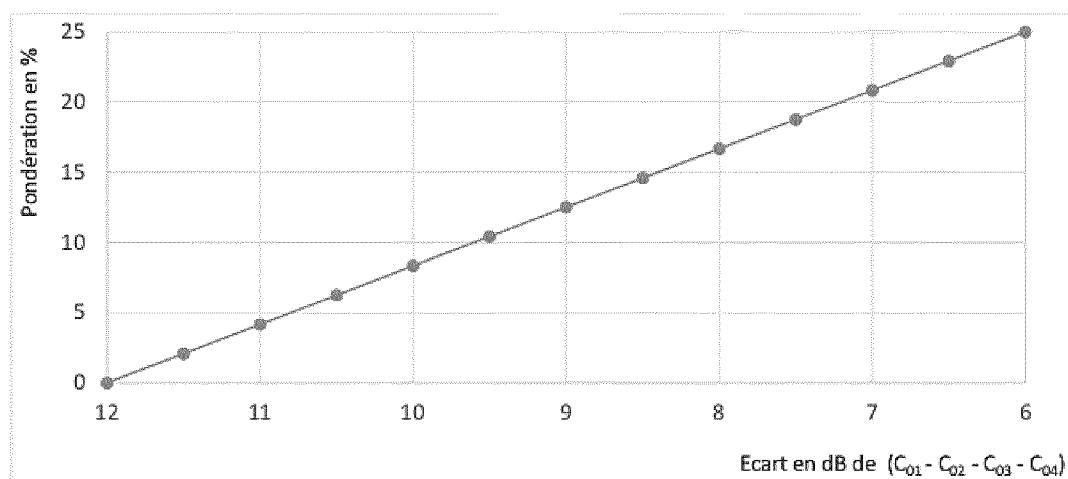
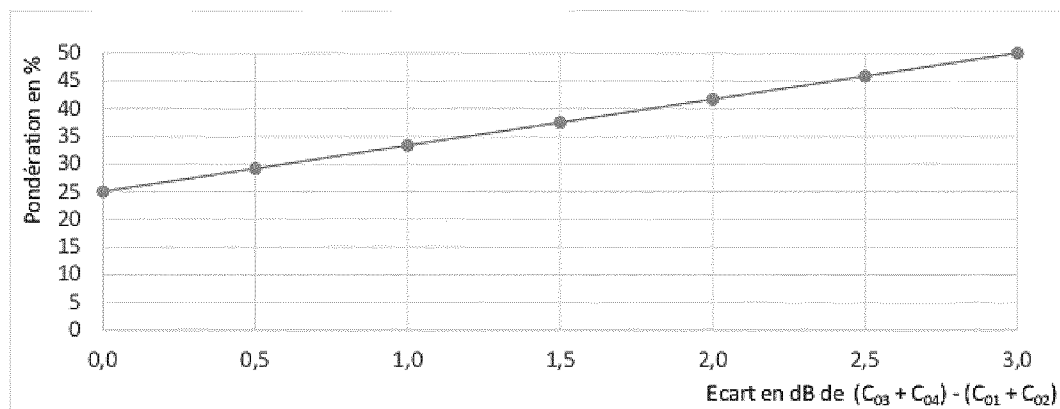
Fig. 6A**Fig. 6B****Fig. 6C**

Fig. 7

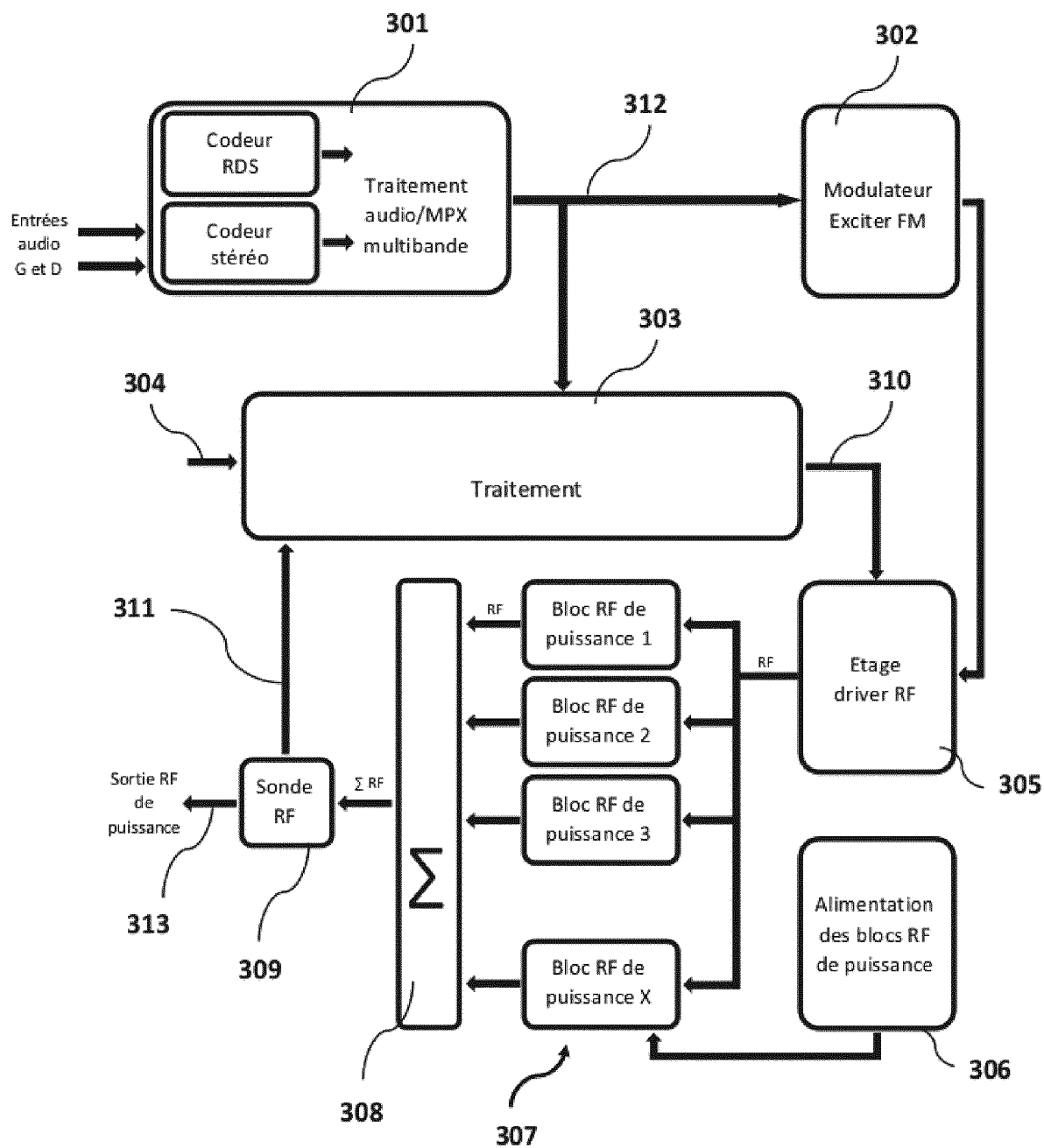
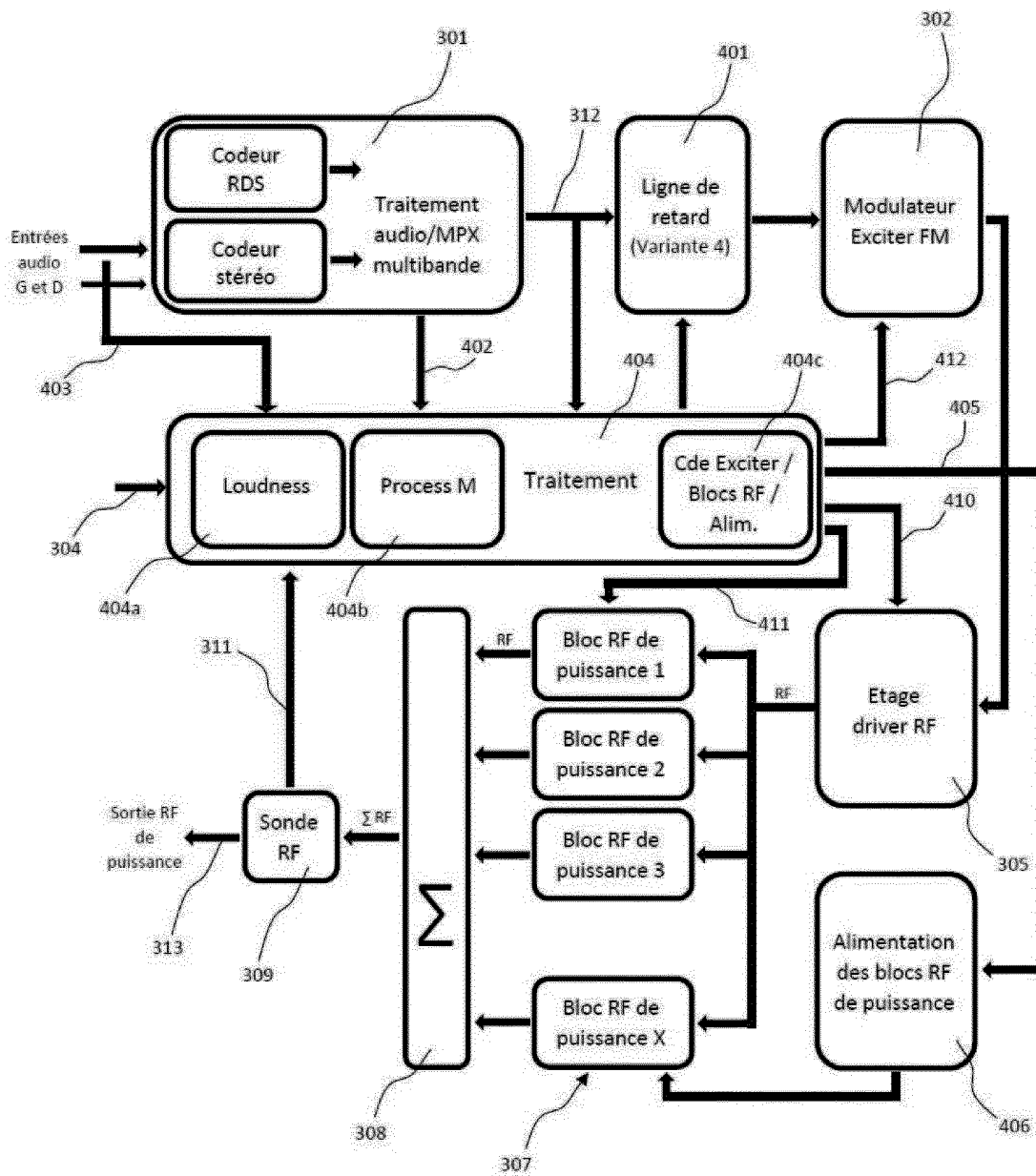


Fig. 8



8/8

Fig. 9

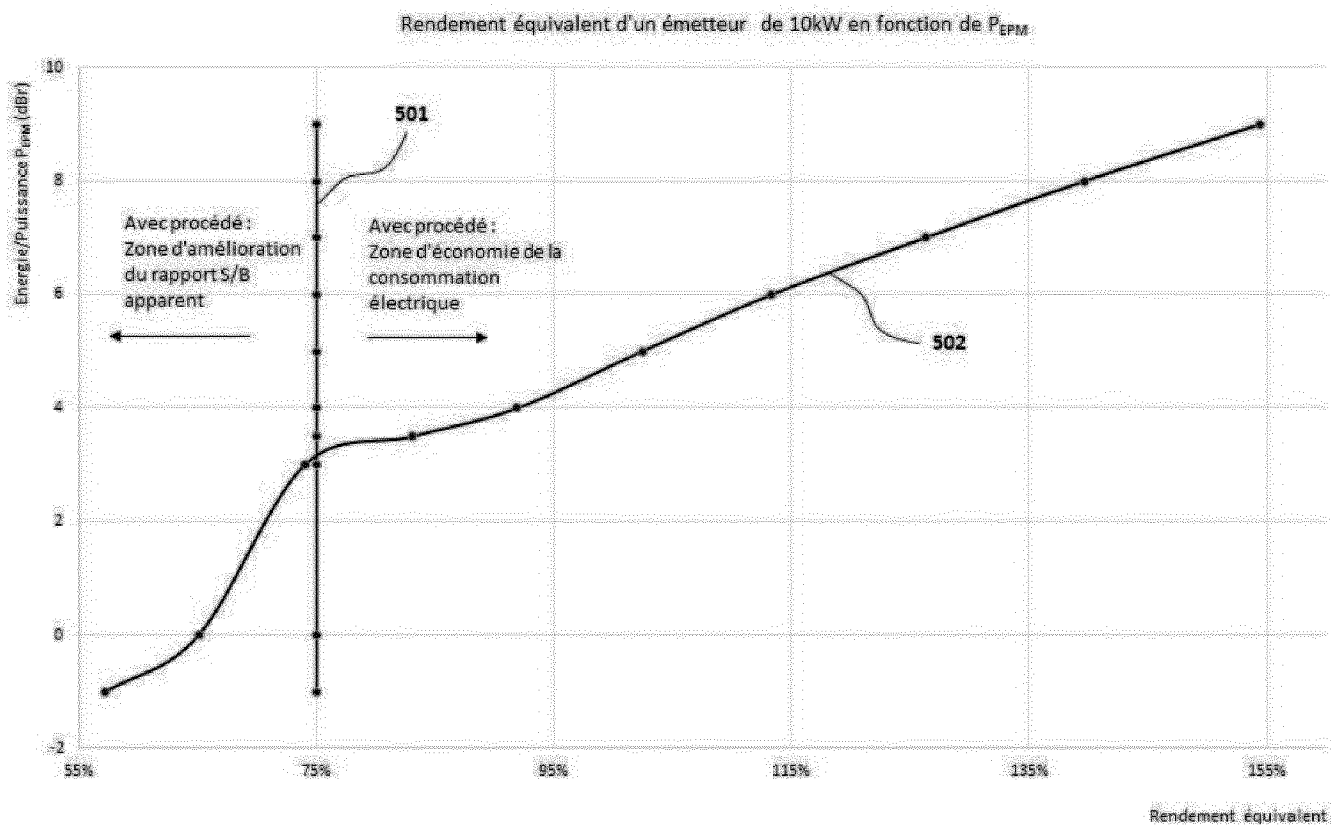
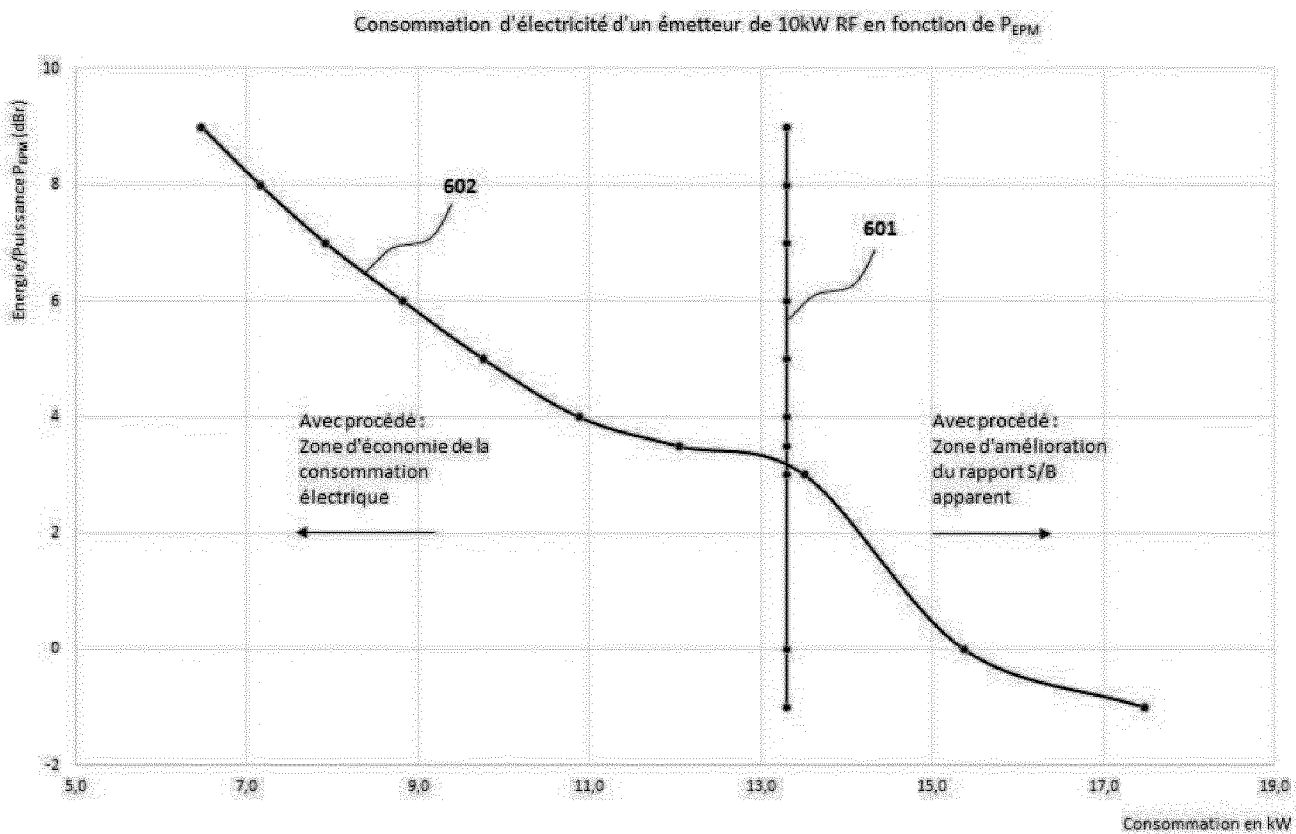


Fig. 10





**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement
national

FA 839943
FR 1660222

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		
X	US 8 195 094 B1 (BRISKMAN ROBERT [US] ET AL) 5 juin 2012 (2012-06-05) * colonne 2, lignes 14-18,33-38 * * colonne 3, lignes 39-50 * * colonne 4, lignes 47-59,64-66 * * colonne 5, lignes 3-11 * * revendication 2 * * figure 1 *	1-6,19, 21-24	H04H20/48 H04B3/08 H04L27/12
A	US 5 625 322 A (GOURGUE FREDERIC [FR] ET AL) 29 avril 1997 (1997-04-29) * figure 4 *	23	
A	EP 3 070 842 A1 (NOKIA TECHNOLOGIES OY [FI]) 21 septembre 2016 (2016-09-21) * figure 2 * * alinéas [0018], [0025] *	23	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H04H
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
25 septembre 2017		Iovescu, Vladimir	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		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.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1660222 FA 839943**

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 **25-09-2017**

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
US 8195094	B1	05-06-2012	CA 2790796 A1	19-07-2012
			US 8195094 B1	05-06-2012
			WO 2012096641 A1	19-07-2012

US 5625322	A	29-04-1997	AT 171827 T	15-10-1998
			AU 690175 B2	23-04-1998
			CA 2141981 A1	12-08-1995
			DE 69505024 D1	05-11-1998
			DE 69505024 T2	01-04-1999
			EP 0667675 A1	16-08-1995
			ES 2124973 T3	16-02-1999
			FR 2716313 A1	18-08-1995
			JP H07326938 A	12-12-1995
			TW 278275 B	11-06-1996
			US 5625322 A	29-04-1997

EP 3070842	A1	21-09-2016	EP 3070842 A1	21-09-2016
			WO 2016146888 A1	22-09-2016
