(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 1 216 604 B1

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
10.03.2004 Bulletin 2004/11

(21) Numéro de dépôt: **00966214.9**

(22) Date de dépôt: **28.09.2000**

(51) Int Cl.[7]: **H04S 7/00**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2000/002681

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2001/026423 (12.04.2001 Gazette 2001/15)

(54) **PROCEDE DE CONTROLE EN CONTINU DE LA QUALITE DES SONS NUMERIQUES EN DISTRIBUTION**

VERFAHREN ZUR KONTINUIERLICHEN STEUERUNG DIGITALER TONSIGNALE ZUR VERTEILUNG

METHOD FOR CONTINUOUSLY CONTROLLING THE QUALITY OF DISTRIBUTED DIGITAL SOUNDS

(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE

(30) Priorité: **01.10.1999 FR 9912296**

(43) Date de publication de la demande:
26.06.2002 Bulletin 2002/26

(73) Titulaires:
- **FRANCE TELECOM**
  75015 Paris (FR)
- **TELEDIFFUSION DE FRANCE**
  75015 Paris (FR)

(72) Inventeurs:
- **COLOMES, Catherine**
  F-35410 Domloup (FR)
- **PEFFERKORN, Stéphane**
  F-35000 Rennes (FR)
- **ALPERT, Thierry**
  F-35235 Thorigne Fouillard (FR)
- **MONTEUX, Eric**
  F-35000 Rennes (FR)

(74) Mandataire: **Loisel, Bertrand**
Cabinet Plasseraud
65/67 rue de la Victoire
75440 Paris Cedex 09 (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 0 610 975
DE-A- 4 123 983
FR-A- 2 769 777

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 1 216 604 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Description

[0001] L'invention concerne un procédé de contrôle en continu de la qualité des sons numériques en distribution.

[0002] Les processus de codage audionumériques utilisés par les services de radio- ou de télédiffusion ont permis de réduire la quantité de données à transmettre. En contrepartie, cette réduction est susceptible d'entraîner une perte irrémédiable de la qualité du son par rapport au signal source d'origine.

[0003] L'importance des défauts engendrés dépend à la fois du débit alloué au codeur, de la complexité du contenu du signal sonore, ainsi que des problèmes liés à la transmission du signal.

[0004] Pour des raisons techniques ou de responsabilité de télédiffusion, il est nécessaire d'évaluer de façon continue le niveau de qualité du signal audio. Des méthodes d'évaluation subjectives d'équipements, par surveillance et appréciation humaine, sont d'une mise en oeuvre lourde, et peu fiables. En particulier, parmi les inconvénients plus spécifiques des processus ou méthodes de l'art antérieur, on peut citer :

- la mise en oeuvre d'évaluations subjectives longues et coûteuses ;
- l'absence de complétude des informations nécessaires pour effectuer le contrôle de la qualité sonore perçue, lorsque ces informations sont fournies par des analyseurs de flux binaire ;
- l'absence d'analyse objective du contenu sonore, seule capable de refléter la qualité finale des signaux sonores perçus ;
- les défauts inhérents à l'analyse différentielle tels que :
  - mise à disposition de la source non codée, comme source de référence ;
  - séquences analysées de courte durée, 20 secondes au plus, lesquelles ne sont pas représentatives du service analysé ;
  - transparence de certains défauts à ce type d'analyse ;
  - analyse généralement discontinue et non totalement significative.

En particulier, les processus d'analyse différentielle, basés sur le système d'audition humain, entre une source sonore de référence et la source sonore à évaluer, peuvent permettre une mise en oeuvre automatique. Toutefois, cette solution apparaît peu pratique car il est nécessaire de disposer de la source sonore de référence.

[0005] FR 2 769 777 décrit un procédé d'évaluation de la qualité d'un signal minérique en distribution basé sur une analyse de la différence entre la signal numérique et le signal de référence correspondant.

[0006] La présente invention a pour objet de remédier aux inconvénients précités des processus ou méthodes de l'art antérieur par la mise en oeuvre d'un procédé basé sur une étude fine du signal numérique et du comportement en continu de ce dernier, afin de permettre, à partir des méthodes classiques, d'apprécier le niveau de qualité globale du signal.

[0007] Le procédé de contrôle en continu de la qualité des sons en distribution, objet de la présente invention, ces sons numériques étant disponibles en mode stéréophonique selon un signal numérique représentant au moins une voie droite et une voie gauche, est remarquable en ce qu'il consiste à effectuer une analyse statistique du contenu de ce signal numérique sur chacune de ces voies. L'analyse statistique consiste à découper temporellement le signal numérique selon des suites successives d'échantillons, comportant un nombre déterminé d'échantillons, et à effectuer, lors de l'existence d'un programme de sons numériques, une analyse spectrale de chacune des suites d'échantillons pour observer les variations d'énergie et d'enveloppe du signal numérique dans le domaine temporel et fréquentiel et calculer un indice de qualité global. Un indice de qualité final est calculé à partir des variations d'énergie et d'enveloppe et de l'indice de qualité global, sous forme d'une valeur bornée et continue dans le temps, cet indice de qualité final étant représentatif de la qualité des sons numériques perçus.

[0008] Le procédé, objet de la présente invention trouve application à la surveillance opérationnelle et continue des composantes sonores des services audio- et audiovisuels, avant et après distribution secondaire notamment, aux prestations d'expertise d'équipement, codeurs et multiplexeurs, d'expertise de la qualité de service, plates-formes d'expérimentation.

[0009] Ce procédé, objet de la présente invention, sera mieux compris à la lecture de la description et à l'observation des dessins ci-après dans lesquels :

- la figure la représente, sous forme de schéma synoptique, un organigramme général du procédé de contrôle en continu de la qualité des sons numériques en distribution, objet de la présente invention ;
- la figure 1b représente, à titre purement illustratif, un processus de création de suites d'échantillons du signal numérique, permettant la mise en oeuvre du procédé objet de la présente invention ;
- la figure 2 représente, sous forme d'un organigramme, un détail d'un mode de réalisation préférentiel de l'étape de calcul à partir des variations d'énergie et d'enveloppe de l'indice de qualité final ;

- la figure 3a représente un organigramme relatif à un mode de calcul préférentiel non limitatif d'une valeur Cb(t) liée à la bande passante du signal numérique et permettant la mise en oeuvre du mode de réalisation préférentiel du procédé objet de la présente invention représenté en figure 2 ;
- la figure 3b représente un organigramme relatif à un mode de calcul préférentiel non limitatif d'une valeur Cs(t) liée aux propriétés stéréophoniques du signal numérique temporel et permettant la mise en oeuvre du mode de réalisation préférentiel du procédé objet de la présente invention représenté en figure 2 ;
- la figure 3c représente un organigramme relatif à un mode de calcul préférentiel non limitatif d'une valeur Cw(t) liée au blanchiment du signal numérique temporel pour chaque voie du signal numérique temporel et permettant la mise en oeuvre du procédé objet de la présente invention représenté en figure 2 ;
- les figures 4a et 4b représentent un processus de détection d'un signal de brève coupure ;
- les figures 5a et 5b représentent un processus de détection d'un signal parasite de sifflement ;
- les figures 6a et 6b représentent un processus de détection d'un signal parasite de bourdonnement ;
- la figure 7 représente un processus de détection de déphasage intervoies entre les signaux numériques véhiculés par les voies d'un signal stéréophonique.

[0010] Une description plus détaillée du procédé de contrôle en continu de la qualité des sons numériques en distribution, objet de la présente invention, sera maintenant donnée en liaison avec les figures 1a, 1b et les figures suivantes.

[0011] D'une manière générale, on indique que le procédé objet de la présente invention permet d'obtenir une valeur d'indice de qualité bornée, s'échelonnant par exemple entre deux limites supérieures de qualité, excellent à mauvais, cette valeur bornée étant continue dans le temps et indicative de la qualité du signal sonore. Par valeur continue dans le temps, on comprend bien entendu que cette valeur consiste en fait en des valeurs discrètes successives calculées sur des intervalles de temps suffisamment courts pour que ces valeurs successives soient représentatives d'une valeur de qualité considérée comme continue dans le temps.

[0012] Ainsi qu'on l'a représenté en figure 1a, le procédé objet de l'invention s'applique à des sons numériques, lesquels sont disponibles en mode stéréophonique selon un signal numérique, noté ADS, représentant au moins une voie droite et une voie gauche, le procédé objet de la présente invention pouvant le cas échéant être appliqué à des signaux sonores quadriphoniques ou autres.

[0013] D'une manière générale, le procédé objet de la présente invention consiste à effectuer une analyse statistique du contenu du signal numérique précité sur chacune des voies. En référence à la figure 1a, l'analyse statistique peut consister, en une étape 1, à découper temporellement le signal numérique selon des suites successives d'échantillons, S_n, comportant un nombre déterminé d'échantillons puis, à une étape 2, à effectuer une analyse spectrale de chacune des suites d'échantillons pour observer les variations d'énergie, notées ΔW, et d'enveloppe, notées ΔE, du signal numérique dans le domaine temporel et fréquentiel et calculer un indice de qualité global $I(t)=f(\Delta W,\Delta E)$ à partir des variations d'énergie et d'enveloppe.

[0014] Les étapes précitées sont suivies d'une étape 3 consistant à calculer, à partir des variations d'énergie et d'enveloppe et de l'indice de qualité global I(t), un indice de qualité final, noté $I_f(t)$, lequel est constitué par une valeur bornée et continue dans le temps. Cet indice est représentatif de la qualité des signaux numériques précités.

[0015] En ce qui concerne l'étape 1 de découpage temporel, on indique que les suites d'échantillons peuvent être constituées par des suites d'échantillons présentant un taux de recouvrement rapport du nombre d'échantillons communs à deux suites consécutives S_{n-1}, S_n au nombre d'échantillons constitutif de chaque suite d'échantillons, ce taux pouvant être compris entre 0 et 75%. On indique en particulier que le découpage temporel précité peut être effectué par une mémorisation séquentielle de ces suites d'échantillons puis une relecture échantillon par échantillon mémorisés, le processus de relecture étant réalisé par adressage en recouvrement des échantillons successifs pour réaliser le taux de recouvrement considéré.

[0016] Sur la figure 1b, on a représenté à titre illustratif les suites successives d'échantillons, les suites successives S_{n-1}, S_n et S_{n+1} étant en recouvrement de deux échantillons sur cent par exemple.

[0017] Une description plus détaillée des étapes 2 d'analyse spectrale de variations d'énergie et d'enveloppe et de calcul d'un indice de qualité global et étape 3 de calcul d'indice de qualité final à partir des variations d'énergie et d'enveloppe ΔW et ΔE et du facteur de qualité global I(t) sera maintenant donnée en liaison avec la figure 2.

[0018] D'une manière générale, on indique que l'étape 2 précitée, selon la figure 1a, consiste à calculer un indice de qualité global I(t) à partir d'au moins un critère fréquentiel et d'un critère temporel de variation d'énergie et d'enveloppe.

[0019] En référence à la figure 2 précitée, l'étape 2 peut comprendre une étape 20 de détection de l'existence d'un programme radio- ou télédiffusé dans le signal numérique. Sur réponse négative à l'étape 20 précitée, une valeur arbitraire est allouée à l'indice de qualité final If(t)=1 à l'étape 21, la qualité en l'absence de programme étant réputée excellente.

[0020] Au contraire, sur réponse positive à l'étape 20 précitée, l'étape 2 précédemment mentionnée consiste à pren-

dre en compte les critères de qualité liés aux variations d'énergie ΔW et d'enveloppe ΔE, ces critères pouvant consister en le calcul de valeurs telles que valeurs Cb(t) liées à la bande passante du signal numérique, valeurs Cs(t) liées aux propriétés stéréophoniques du signal numérique et enfin, valeurs Cw(t) basées sur le blanchiment du signal temporel.

[0021] L'étape 22 précitée est alors suivie d'une étape 23 consistant à calculer la valeur de l'indice de qualité global, lequel est défini par une combinaison linéaire des valeurs Cb(t), Cs(t) et Cw(t).

[0022] A titre d'exemple non limitatif, l'indice de qualité global vérifie la relation (1) :

$$I(t)=\frac{1}{3}[Cb(t)+Cs(t)+Cw(t)]$$

[0023] La valeur de l'indice de qualité global ainsi obtenue pour une suite d'échantillons considérée est comprise entre 0, pour une qualité globale mauvaise, et 1 pour une qualité globale excellente.

[0024] Suite à l'étape 2 précitée, l'étape 3 de calcul d'indice de qualité final peut alors être mise en oeuvre ainsi que représenté dans le mode de réalisation préférentiel non limitatif de la figure 2.

[0025] D'une manière générale, l'étape 3 consiste à pondérer la valeur de l'indice de qualité global I(t) en fonction de l'apparition de signaux de défaut susceptibles de gêner l'audition des signaux sonores, ces défauts constituant des alarmes susceptibles d'inciter l'opérateur à prendre des mesures pour assurer la qualité de la radio- ou de la télédiffusion.

[0026] D'une manière générale, on indique que les signaux de défaut ou les alarmes retenus sont les suivants :

- le sifflement ou la saturation,
- le phénomène de micro-coupure,
- le bourdonnement,
- le déphasage inter-voies.

[0027] En ce qui concerne l'absence de programme, on rappelle que cette situation est réglée par l'étape 20 de l'étape 2 précédemment mentionnée dans la description.

[0028] Ainsi, sur la figure 2, on a représenté, dans un mode de réalisation préférentiel non limitatif, l'étape 3 comme consistant à détecter l'existence sur le signal numérique ADS d'au moins une perturbation de transmission du signal numérique, cette perturbation de transmission étant détectée à l'étape 30 pour l'existence d' un sifflement ou d'une saturation, à l'étape 31 pour l'existence d'un phénomène de micro-coupure, à l'étape 32 pour l'existence d'un bourdonnement.

[0029] Outre la détection de l'existence d'au moins une perturbation de transmission du signal numérique aux étapes 30, 31 et 32 précitées, le procédé objet de la présente invention peut consister, pour la mise en oeuvre de l'étape 3, à détecter la présence d'un déphasage intervoies à une étape 33, la présence d'un tel déphasage n'étant toutefois pas considérée comme une perturbation de transmission en raison de déphasages relatifs introduits, dans certains cas, par les opérateurs sur la voie de gauche, respectivement la voie de droite des signaux audionumériques.

[0030] Suite à la détection d'au moins une perturbation de transmission du signal numérique aux étapes 30, 31 et 32 précitées, le procédé objet de la présente invention consiste à affecter à l'existence de cette perturbation un coefficient de pondération spécifique représentatif de la contribution de cette perturbation à la dégradation de la qualité des signaux numériques.

[0031] Ainsi, en référence à la figure 2, pour la mise en oeuvre de l'étape 3, on indique que sur réponse positive à l'étape 30 de détection d'un sifflement ou d'une saturation, un coefficient p_s supérieur à 1 est affecté au phénomène de sifflement ou de saturation à l'étape 30a, alors que sur réponse négative à l'étape 30, un coefficient de pondération $p_s=1$ est alloué à l'étape 30b à ce même phénomène de sifflement ou saturation.

[0032] Il en est de même pour le phénomène de micro-coupure à l'étape 31 pour lequel, sur réponse positive, c'est-à-dire lors de l'existence d'une micro-coupure, un coefficient de pondération p_m supérieur à 1 est alloué au phénomène précité à l'étape 31a, alors que sur réponse négative en l'absence de micro-coupure, un coefficient de pondération $p_m=1$ est affecté à ce même phénomène à l'étape 31b.

[0033] De la même manière, pour le phénomène de bourdonnement à l'étape 32, sur réponse positive à l'étape de détection du bourdonnement précité, un coefficient de pondération p_b supérieur à 1 est alloué au bourdonnement et un coefficient de pondération $p_b=1$ est alloué au bourdonnement sur réponse négative à l'existence de ce phénomène à l'étape 32b.

[0034] Compte tenu de la valeur des coefficients de pondération p_s, p_m et p_b affectés aux signaux de perturbation ou d'alarme de sifflement ou saturation, de micro-coupure ou de bourdonnement, un coefficient de pondération global, produit des coefficients de pondération affectés à chacun des signaux de perturbation précités, est calculé à l'étape 34, lequel vérifie la relation (2) :

$$p = p_s \times p_m \times p_b$$

[0035] Ainsi que représenté en outre en figure 2, suite à la détection sur le signal numérique ADS d'un déphasage de valeur d à l'étape 33, ce déphasage correspondant à un déphasage inter-voies, le procédé objet de la présente invention consiste à affecter une valeur de critère de déphasage D à cette valeur de déphasage lorsque cette valeur de déphasage est supérieure à 0, c'est-à-dire sur réponse positive au test 33, et une valeur de critère de déphasage D égale à 0 sinon à l'étape 33b, c'est-à-dire sur réponse négative au test 33.

[0036] A titre d'exemple non limitatif, on indique que pour l'existence d'un déphasage détecté à l'étape 33, la valeur de critère de déphasage peut avoir la valeur D = d/170 et D = 0 sinon, la valeur de d étant exprimée en millisecondes par exemple.

[0037] L'étape 34 est alors suivie d'une étape 35 consistant à calculer et déterminer l'indice de qualité final $I_f(t)$ par comparaison de la différence entre l'indice de qualité pondéré, cet indice de qualité pondéré prenant la valeur de l'indice de qualité global divisé par le coefficient de pondération p obtenu à l'étape 34, et la valeur du critère de déphasage D attribuée à l'étape 33a ou 33b, cette différence étant alors comparée à la valeur 0.

[0038] Ainsi, pour attribuer l'indice de qualité final à l'étape 35, celui-ci, en présence d'un programme radio- ou télédiffusé, vérifie la relation (3) :

$$I_f(t)=\sup(I(t)/p-D,0). \quad (3)$$

[0039] La relation (3) indique qu'à l'indice de qualité final est attribuée la valeur la plus grande entre les valeurs constituées par la différence précitée et la valeur 0.

[0040] En ce qui concerne la valeur des coefficients de pondération, des essais ont montré que :

- s'il y a détection de sifflement ou de saturation : $p_s = 1,75$ et $p_s = 1$ sinon ;
- s'il y a détection d'une micro-coupure : $p_m = 1,5$ et $p = 1$ sinon ;
- s'il y a détection d'un bourdonnement : $p_b = 1,25$ et $p_b = 1$ sinon ;
- s'il y a un déphasage de valeur d en ms, alors D = d/170 et D = 0 sinon.

[0041] On indique que la relation (3) réalisée à l'étape 35 est utilisée, puisque par hypothèse l'indice de qualité final ne peut pas avoir de valeur négative.

[0042] Une description plus détaillée des processus de calcul des valeurs Cb(t) liées à la bande passante, Cs(t) liées aux propriétés stéréophoniques du signal numérique temporel et Cw(t) liées au blanchiment du signal numérique temporel, processus mis en oeuvre à l'étape 22 représentée en figure 2, sera maintenant donnée en liaison avec les figures 3a, 3b, 3c.

[0043] En référence à la figure 3a, l'étape de calcul de la valeur Cb(t) liée à la bande passante du signal numérique temporel est mise en oeuvre à partir d'une analyse statistique de la largeur de bande passante du signal audionumérique.

[0044] En effet, en codage audionumérique à bas débit, il existe une certaine corrélation entre le débit alloué et la largeur de bande passante du signal codé. En fait, plus le débit alloué est faible et moins bonne est la qualité de ce dernier.

[0045] Un processus permettant de détecter strictement la bande passante du signal ne se révèle pas suffisant afin d'estimer la qualité perçue puisque un signal dont le contenu est de bande passante faible, signal codé ou non codé, risque d'être considéré à tort comme dégradé. Compte tenu de l'observation précédente, il est donc nécessaire d'évaluer la fréquence critique de ce signal au-delà de laquelle un codeur ne peut plus procéder au processus de codage et non pas la bande passante du signal numérique en tant que telle.

[0046] Selon un aspect particulièrement remarquable du procédé objet de la présente invention, cette approche est rendue possible en constatant que le spectre d'un signal codé possède, généralement, pour caractéristique une forte décroissance d'énergie à l'endroit de la coupure à la fréquence critique précitée. Parallèlement, les spectres des signaux à faible contenu en haute fréquence ne se caractérisent en général pas par une telle cassure, mais au contraire par une décroissance lente de l'énergie, laquelle ne permet pas de discerner une séquence de référence d'une séquence codée.

[0047] Le procédé objet de l'invention, en particulier le processus de calcul de la valeur Cb(t) liée à la bande passante du signal numérique, permet de vérifier que la cassure précédemment mentionnée existe bien avant de considérer l'estimation du facteur de qualité comme valable. Une telle contrainte améliore considérablement la pertinence du procédé, objet de l'invention, dans le cadre de la définition d'un critère d'acceptabilité lié au défaut de codage.

[0048] D'une manière générale, on indique que le procédé objet de la présente invention n'est valable que pour les

zones de signal contenant de l'information, c'est-à-dire hors des zones de silence.

[0049] En effet, le but est d'estimer en moyenne la dernière fréquence codée et non la bande passante instantanée du signal.

[0050] Dans ce but, le signal temporel, ainsi que représenté en figure 3a, est soumis à une décomposition fréquentielle, transformation temps/fréquence, par transformée de Fourier discrète par exemple sur N points du signal temporel pondéré par une fenêtre, telle qu'une fenêtre de Hamming. La décomposition en fréquence est indiquée à l'étape 220 à la figure 3a. Le spectre de puissance résultant de cette transformation comprend $\frac{N}{2}+1$ points.

[0051] L'étape 220 précitée peut alors être suivie avantageusement d'une étape 221 consistant à déterminer l'existence d'une zone de silence. Le test réalisé à l'étape 221 peut consister à comparer l'énergie du spectre obtenu à une valeur de seuil.

[0052] Sur réponse négative au test 221, ce dernier est suivi d'une étape 222 consistant à découper en P sous-bandes de K raies spectrales d'énergie déterminée la décomposition fréquentielle du signal numérique temporel obtenu à l'étape 220. Chaque sous-bande de la décomposition contient K raies d'énergie e_k. Les raies et les sous-bandes vérifient la relation : KxP = N/2.

[0053] L'étape 222 précitée est alors suivie, pour les voies de gauche et de droite véhiculant le signal numérique ADS, d'une étape de calcul 223 de l'énergie moyenne E_i contenue dans chaque sous-bande de rang i.

[0054] L'énergie moyenne contenue dans chaque sous-bande de rang i vérifie la relation (4) :

$$E_i = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} e_{k+K.i}$$

Dans la relation précédente, on indique que $e_{k+K.i}$ désigne l'énergie de chaque raie spectrale considérée, constitutive de la sous-bande de rang i correspondante.

[0055] L'étape 223 précitée est alors suivie d'un processus consistant à déterminer le rang i_c spécifique de la sous-bande de rang i correspondante, pour laquelle se produit la fréquence de coupure, ou cassure précédemment mentionnée, par au moins une comparaison du rapport de l'énergie contenue dans la dernière sous-bande prise comme niveau de référence de bruit de fond à l'énergie contenue dans les P-1 autres sous-bandes à une première valeur de seuil.

[0056] A titre d'exemple non limitatif, pour la mise en oeuvre du processus de détermination du rang i_c spécifique de la sous-bande de rang i pour laquelle se produit la fréquence de coupure, ce processus peut être mis en oeuvre à partir d'une étape 224 consistant à lire la valeur du rang i de la sous-bande considérée, valeur arbitraire i=P, et à vérifier si la sous-bande de rang correspondant correspond à la sous-bande de fréquence de coupure et à comparer, en une étape de test 225, le niveau d'énergie contenu dans la sous-bande de rang i correspondant, niveau d'énergie noté E_i, à celui, noté E_p, contenu dans les P-1 autres sous-bandes à une valeur de seuil notée Seuil1. L'opération de comparaison s'écrit :

$$\frac{E_i}{E_P} > \text{Seuil1?}.$$

[0057] Sur réponse négative au test 225, le rang de la sous-bande i est décrémenté à la valeur i-1 à l'étape 227. La valeur de l'indice de sous-bande i est alors soumise, à l'étape 229, à une comparaison à la valeur 1 permettant de vérifier si toutes les sous-bandes ont été prises en considération.

[0058] Sur réponse négative au test 229, le processus est repris, l'énergie de la sous-bande de rang i correspondant, différent de 1, étant soumise à nouveau au test 225.

[0059] Selon un premier mode de réalisation du processus représenté en figure 2a, on indique que l'étape 225 peut alors être suivie, sur réponse positive au test à l'étape 225 précitée, d'une étape 228 consistant à mémoriser le rang i_c=i de la sous-bande de fréquence pour laquelle la fréquence de coupure est détectée. Cette mémorisation intervient de manière particulièrement avantageuse dans un tableau de valeurs de rang à une étape notée 230.

[0060] L'étape 230 précitée est alors suivie d'une étape 231 consistant à rechercher dans le tableau de valeurs mémorisées, par un programme de tri, la valeur du rang i_c dont l'occurrence est la plus grande.

[0061] L'étape 231 est alors suivie d'une étape 232 permettant en fait de déterminer la fréquence de coupure F_c la plus probable pour les voies de droite et de gauche. On comprend en particulier que la détermination de la fréquence de coupure F_c la plus probable, $F_c$gauche, $F_c$droite, est réalisée par conversion du rang i_c en valeur de la sous-bande

de fréquence correspondante.

[0062] L'étape précitée est alors suivie d'une étape 233 consistant à calculer la valeur moyenne Q des fréquences de coupure gauche et droite normalisée par la fréquence de coupure théorique maximale P, la valeur moyenne Q précitée vérifiant la relation (5) :

$$Q = \frac{F_c\text{gauche} + F_c\text{droite}}{2P}$$

[0063] Dans la même étape 233, la valeur moyenne des fréquences Q peut alors être soumise à une normalisation sur critère psycho-acoustique défini par au moins une valeur de seuil de bonne qualité de codage audionumérique, notée Seuil3, et une valeur de seuil de mauvaise qualité de codage audionumérique, notée Seuil4.

[0064] A l'étape 233 précitée, la valeur moyenne Q peut alors être comparée par comparaison de supériorité à la valeur Seuil4 et d'infériorité à la valeur Seuil3 suivant la relation :

$$\text{Seuil4} \leq Q \leq \text{Seuil3}\ ?.$$

[0065] A titre d'exemple non limitatif, on indique qu'une fréquence de coupure de l'ordre de 17 kHz implique une bonne qualité de codage audionumérique, alors qu'une fréquence de coupure de l'ordre de 10 kHz implique un codage avec énormément de dégradations. Les valeurs pour Seuil4 et Seuil3 peuvent par exemple correspondre à des fréquences de 10 kHz et 17 kHz respectivement. L'étape 233 précitée peut alors être suivie d'une étape 234 consistant en fait à calculer une valeur réduite constituant la valeur Cb(t) liée à la bande passante, la valeur précitée vérifiant la relation (6) :

$$Cb(t) = \frac{Q\text{-Seuil4}}{\text{Seuil3 - Seuil4}}.$$

La valeur réduite est ainsi obtenue par une translation et une mise à l'échelle pour obtenir la valeur Cb(t) liée à la bande passante et dont la valeur est comprise entre 0 et 1.

[0066] Ainsi qu'on l'a en outre représenté en figure 3a, et de manière particulièrement avantageuse, le processus de calcul de la valeur liée à la bande passante peut en outre comporter, dans un deuxième mode de réalisation, une étape supplémentaire permettant de s'assurer que la coupure détectée correspond bien à une cassure au niveau de l'énergie spectrale. Cette étape supplémentaire consiste en une deuxième condition introduite à l'étape 226, insérée entre les étapes 225 et 228 précédemment citées.

[0067] Ainsi, outre la première comparaison de l'étape 225, le procédé et le processus de calcul représentés en figure 3a comportent, sur réponse positive à la première comparaison de l'étape 225, une deuxième étape de comparaison du rapport E_i/E_{i+1} de l'énergie de la sous-bande de rang i à l'énergie de la sous-bande de rang suivant i+1 à une deuxième valeur de seuil, désignée par Seuil2.

[0068] Ainsi, l'étape suivante de mémorisation du rang i_c=i référencée 228, mémorisation de la sous-bande de fréquence pour laquelle la fréquence de coupure est détectée, est alors conditionnée à la réponse positive à la première et à la deuxième comparaison réalisée à l'étape 225 et 226. La réponse négative au premier et deuxième test de comparaison 225, 226 est suivie, si $i \neq 1$, d'un retour au premier test de comparaison et d'un appel de l'étape de recherche du rang i_c dont l'occurrence est la plus grande sinon, à l'étape 231.

[0069] A la suite d'essais réalisés, on indique que pour N, nombre de points de la décomposition fréquentielle égal à 2048, le nombre N pouvant toutefois être compris dans une plage de valeurs comprises entre [256,4096], le processus de calcul de la valeur Cb (t) liée à la bande passante est optimum pour les valeurs ci-après :

P = 32 ([2;N/2])
K = 32 ([1:N/4])
Seuil1 = 100 ([10;1000])
Seuil2 = 17 ([5;50])
Seuil3 = 0,7 ([0,51;1])
Seuil4 = 0,4 ([0;0,49]).

Dans les valeurs numériques précitées, on indique que les valeurs entre parenthèses et crochets indiquent des plages de valeurs possibles susceptibles de convenir pour les différents paramètres précités.

[0070] Une description plus détaillée d'un processus de calcul de la valeur Cs(t) liée aux propriétés stéréophoniques

du signal numérique temporel sera maintenant donnée en liaison avec la figure 3b.

[0071] Le processus de calcul de la valeur Cs(t) précitée est basé sur le principe selon lequel les voies de gauche et de droite véhiculant les signaux sonores sont codées indépendamment. Ceci implique que les erreurs de codage sont décorrélées entre les deux voies, tandis que le contenu sonore des deux voies reste, sauf exception, relativement similaire. Le processus de calcul mis en oeuvre repose donc sur le fait que le signal résiduel différence des énergies des voies gauche et droite est proportionnel à l'erreur de codage s'il y a eu codage.

[0072] L'intérêt d'une telle approche réside dans le passage d'une analyse sans référence à une analyse pseudo-différentielle dans laquelle le signal d'erreur est déduit par comparaison des signaux numériques véhiculés par les deux voies.

[0073] Toutefois, un tel processus ne permet pas d'évaluer la qualité du codage pour un signal fortement stéréophonique ou, au contraire, strictement monophonique.

[0074] Pour cette raison, le processus de calcul représenté en figure 3b relatif au calcul de la valeur Cs(t) liée aux propriétés stéréophoniques du signal numérique temporel est basé sur le spectre d'énergie du signal numérique obtenu après décomposition fréquentielle par une transformée de Fourier sur N points du signal temporel, pondéré par une fenêtre de Hamming par exemple. Le spectre fréquentiel ainsi obtenu comprend $\frac{N}{2}+1$ raies.

[0075] En conséquence, le signal temporel, ainsi que représenté en figure 3b, est soumis à la transformée de Fourier sur N points à l'étape 220 telle que décrite précédemment en liaison avec la figure 3a.

[0076] L'étape 220 précitée est alors suivie d'une étape 235 consistant à calculer, pour chaque raie spectrale de rang k obtenue suite à la décomposition fréquentielle, un facteur Q_k représentatif de la qualité stéréophonique du signal à partir des spectres de fréquence S_k^G de la voie gauche et S_k^D de la voie droite. Le facteur Q_k constitue en fait une différence normée des énergies des voies droite et gauche vérifiant la relation (7) :

$$Q_k = \frac{\left|S_k^G - S_k^D\right|}{S_k^G + S_k^D}.$$

[0077] D'une manière plus spécifique, on indique que la valeur Q_k=0 correspond à une raie de rang k et une fréquence strictement monophonique, alors que la valeur Q_k=1 correspond à une raie de rang k et à une fréquence fortement stéréophonique.

[0078] Le processus de calcul de la valeur Cs(t) liée aux propriétés stéréophoniques du signal numérique consiste ensuite à déterminer le pourcentage R(t) des raies appartenant à une bande de fréquence Δf donnée dont le facteur Q_k dépasse une valeur de seuil déterminée, notée S_1, le pourcentage R(t) vérifiant la relation :

$$R(t) = n/K$$

où n désigne le nombre de fois où le facteur Q_k représentatif de la qualité stéréophonique du signal est supérieur à une valeur de seuil S_1 pour toute valeur de K appartenant à Δf, la bande de fréquence précitée.

[0079] A titre d'exemple non limitatif, afin de déterminer le pourcentage R(t), ainsi que représenté en figure 3b, ce processus peut consister à initialiser, à une étape 236, suite à l'étape 235 précitée, la valeur de k indice de raies de fréquences à la valeur 0 et la valeur de n à la valeur 0. L'étape 236 est suivie d'une étape 237 consistant à comparer la valeur de l'indice de raies courant k à la valeur K nombre de raies issues de la décomposition spectrale. Sur réponse négative au test 237, ce test est suivi d'une étape 241 consistant à affecter à la valeur du pourcentage R(t) la valeur n/K pour la valeur de n. Au contraire, sur réponse positive au test 237, ce test est suivi d'un test 238 consistant à comparer la valeur du facteur Q_k représentatif de la qualité stéréophonique du signal à la valeur de seuil S_1 précédemment citée dans la description. La comparaison s'écrit $Q_k > S_1$?.

[0080] Sur réponse négative au test 238 de comparaison précité, la valeur de k désignant le rang de la raie spectrale est incrémenté d'une unité à l'étape 240 et le processus de calcul est ramené à l'étape 237 de vérification de comparaison d'infériorité du rang k à la valeur K. Au contraire, sur réponse positive au test 238, ce test est suivi d'une étape 239 d'incrémentation de la valeur n d'une unité, cette étape d'incrémentation 239 étant elle-même suivie de l'étape d'incrémentation 240 de l'indice k de la raie spectrale considérée.

[0081] L'étape 241 est alors suivie d'une étape 242 consistant à corriger la valeur du pourcentage R(t) par une fonction spécifique A telle que la valeur de cette fonction du pourcentage R(t) soit comprise entre 0 et 1. La fonction A de la forme A(R(t)) est une fonction monotone croissante de la valeur du pourcentage R(t). A titre d'exemple non limitatif, la fonction A(R(t)) peut vérifier la relation :

$$A(R(t))=\frac{\tanh(4xR(t)^{\frac{1}{4}}-2)+1}{2}$$

L'étape 242 permet d'engendrer une valeur de pourcentage M(t), moyenne d'un nombre P déterminé de valeurs de pourcentage corrigées vérifiant la relation (8) :

$$M(t) = \frac{1}{P}\sum_{t=1}^{P} A(R(t)).$$

[0082] Le processus de calcul de la valeur Cs(t) liée aux propriétés stéréophoniques du signal numérique temporel comporte également une étape consistant à déterminer, dans une fenêtre temporelle de durée déterminée, fenêtre temporelle de s secondes, le nombre de fois F où une valeur de seuil d'alarme S_2 a été franchie par la valeur de pourcentage corrigée A(R(t)). L'étape peut consister en une étape 245 de définition de la fenêtre et d'initialisation du nombre de fois F à la valeur 0, suivie d'une étape 246 de comparaison de supériorité de la valeur de la fonction A(R(t)) à la valeur S_2 constituant un seuil d'alarme. La relation de comparaison s'écrit :

$$A(R(i)) > S_2 \ ?$$

i désignant des instants successifs pendant la fenêtre de durée s. L'étape 246 est suivie d'une étape 247 consistant, sur réponse positive au test 246, à incrémenter la valeur du nombre de fois F d'une unité à l'étape 247, la réponse négative au test 246 ramenant à l'étape 245 pour passage à l'instant suivant appartenant à la fenêtre de durée s secondes. Les étapes 243 et 247 sont alors suivies d'une étape 244 consistant à calculer la valeur Cs(t) liée aux propriétés stéréophoniques du signal numérique temporel à partir d'une fonction de la valeur moyenne M(t) donnée à la relation (8), cette fonction vérifiant la relation (9) :

$$Cs(t) = (M(t))^{\frac{1}{(F+1)}}$$

En définitive, à un instant t, la valeur Cs(t) d'acceptabilité stéréophonique est donnée par la relation (9) précédemment mentionnée.

[0083] Dans un exemple de mise en oeuvre du processus de calcul représenté en figure 3b, on indique que pour $N=_{2048}$, N pouvant être compris entre [256;4096], alors, le procédé est optimum pour les valeurs ci-après :

Δf = [0;14,4 kHz] pour K nombre de raies spectrales obtenues = 614 ;
S_1 = 0,99 ([0,51;1])
s = 1 seconde ([0,1;100])
P =100 ([1;1000])
s_2 =0,75 ([0,01;1]).

Dans les valeurs numériques précitées, on indique que les valeurs entre parenthèses et crochets désignent des plages de valeurs susceptibles d'être utilisées.

[0084] Une description plus détaillée du processus de calcul de la valeur Cw(t) liée au blanchiment du signal numérique sera maintenant donnée en liaison avec la figure 3c.

[0085] L'introduction du blanchiment du signal numérique permet d'effectuer une comparaison du signal numérique avant et après blanchiment. Le processus de blanchiment est réalisé au moyen d'un filtre de blanchiment. Les propriétés d'un tel filtre sont les suivantes :

Pour un vecteur X constitué par les Ne échantillons temporels d'entrée du signal et pour le vecteur Y constitué par les Ne échantillons temporels de sortie du filtre de blanchiment, on désigne par W la matrice contenant les coefficients du filtre de blanchiment précité.

[0086] L'expression du vecteur de sortie à partir du vecteur d'entrée est obtenue par la relation :

$$Y = W^H X,$$

le symbole H indiquant les opérations de transposition et de conjugaison.

[0087] Pour un signal numérique codé de qualité, le signal numérique soumis au blanchiment obtenu après passage dans le filtre de blanchiment correspond sensiblement à un bruit blanc dont la matrice de covariance R_{YY} vérifie la relation :

$$R_{YY}=\sigma_Y^2.I$$

où σ_Y^2 désigne la puissance de ce bruit blanc et I la matrice identité.

[0088] Toutefois, R_{YY} est la valeur moyenne de la matrice YY^H notée $<YY^H>$.

[0089] La matrice W contenant les coefficients du filtre étant considérée comme constante pendant la durée de calcul de la valeur moyenne précitée, on obtient alors :

$$R_{YY} = \left\langle W^H X X^H W \right\rangle = W^H \left\langle X X^H \right\rangle W = W^H R_{XX} W = \sigma_Y^2 \cdot I$$

Dans la relation précédente, R_{XX} désigne la matrice de covariance du signal temporel d'entrée. Cette matrice vérifie la relation (11) :

$$WW^H = \frac{1}{\sigma_Y^2} R_{XX}^{-1}.$$

[0090] Etant admis que la matrice W possède une symétrie hermitienne, de la forme $W^H = W$, la relation (11) précitée s'écrit selon la relation (12) :

$$WW = \frac{1}{\sigma_Y^2} R_{XX}^{-1}.$$

[0091] Des résultats expérimentaux ont montré qu'une approximation du type $W=R_{XX}^{-1}$ fournissait alors de bons résultats tout en simplifiant de manière très importante les calculs.

[0092] Globalement, le processus de calcul de la valeur Cw(t) liée au blanchiment du signal numérique est réalisé de la manière suivante :

- Calcul de la matrice de covariance R_{XX} du signal numérique reçu ;
- Filtrage passe-bas anti-repliement et décimation d'un facteur 2 de ces signaux ;
- Filtrage du signal décimé par la matrice de covariance inverse du signal initial.

[0093] Le processus de filtrage ainsi mis en oeuvre correspond à un filtrage empirique pour lequel aucune justification théorique ne peut pour l'instant être établie. Ce processus n'est valablement mis en oeuvre que pour les zones de signal numérique reçu contenant de l'information, c'est-à-dire hors des zones de silence.

[0094] Dans ce but, suite à une étape de détection d'une zone de silence 221, telle que décrite précédemment dans la description, le processus de calcul proprement dit est mis en oeuvre sur réponse négative à l'étape 221 précitée. Le processus est mis en oeuvre pour la voie de gauche, respectivement la voie de droite.

[0095] Pour chacune des voies précitées, le processus consiste alors à calculer la matrice de covariance Rg, Rd du signal d'entrée et d'un signal aléatoire compris entre les valeurs -1 et +1 aux étapes 250g, 250d. Cette opération peut être réalisée, ainsi que représenté de manière illustrative sur la figure 3c, par adjonction au signal numérique d'entrée de la voie gauche, respectivement de la voie droite, d'un signal aléatoire engendré à une étape 248, ce signal aléatoire étant un signal de valeur comprise entre -1 et +1. Ce mode opératoire permet d'obtenir une matrice de covariance toujours inversible.

[0096] A partir des échantillons obtenus suite à la mise en oeuvre des étapes 249g et 249d, le calcul proprement dit de la matrice de covariance Rg et Rd aux étapes 250g et 250d peut être obtenu à partir du signal X, suite d'échantillons obtenue par la mise en oeuvre des étapes 249g et 249d respectivement. La matrice X comprend $2xN^2$ échantillons et le calcul de la matrice de covariance Rg, Rd désignée sous la forme R_{XX} est donnée par la relation (13) :

$$R_{XX} = \frac{1}{2N} XX^H \frac{1}{2N} XX^T.$$

Les éléments des matrices de covariance Rg et Rd sont réels.

[0097] Les étapes 250g et 250d sont alors suivies d'étapes de calcul des matrices de covariance inverses 251g et 251d respectivement.

[0098] Les étapes précitées peuvent alors être suivies d'étapes de filtrage passe-bas anti-repliement 252g, 252d appliquées au signal numérique d'entrée sur les voies gauche et droite respectivement. Les étapes 252g et 252d sont alors suivies d'une étape de décimation 253g, 253d, d'un facteur 2 pour engendrer une matrice d'entrée gauche et droite Eg, Ed respectivement. Ces opérations sont référencées aux étapes 254g et 254d respectivement. Les matrices Eg et Ed, matrices d'entrée, sont obtenues par rangement dans les matrices correspondantes des coefficients obtenus suite à l'opération de décimation 253g, 253d précitée.

[0099] Suite à la création des matrices d'entrée Eg et Ed, les étapes de filtrage permettant d'engendrer une matrice de sortie Sg à l'opération 255g et une matrice de sortie Sd à l'opération 255d est alors réalisée à partir des matrices d'entrée gauche Eg, respectivement droite Ed.

[0100] Le signal de sortie pour la voie gauche respectivement droite est alors obtenu par l'opération vérifiant la relation (14) :

$$S = R_{XX}^{-1} E.$$

Dans la relation précédente, S, R et E doivent être compris comme désignant Sg, Sd ; Rg, Rd et Eg, Ed respectivement.

[0101] En référence à la figure 3c, on indique que le processus de calcul consiste alors, suite aux étapes 255g et 255d, à calculer à l'étape 256, à partir des matrices d'entrée et de sortie gauche et droite précitées, un rapport entre l'énergie du signal de sortie et l'énergie du signal d'entrée. Ce rapport, désigné par r, vérifie la relation (15) :

$$r = 10.\log\left[\frac{\sum_{k=1}^{N^2}\left\{\left(S_k^g\right)^2 + \left(S_k^d\right)^2\right\}}{\sum_{k=1}^{N^2}\left\{\left(e_k^g\right)^2 + \left(e_k^d\right)^2\right\}}\right].$$

[0102] La relation précédente exprime le rapport en dB entre l'énergie du signal de sortie et l'énergie du signal d'entrée, $(S_k^g)^2$, $(S_k^d)^2$ désignant l'énergie du signal de sortie sur les voies gauche, respectivement droite, et $(e_k^g)^2$et $(e_k^d)^2$ désignant l'énergie du signal d'entrée après décimation sur la voie gauche, respectivement droite, N désignant le nombre de lignes des matrices traitées, lié au nombre d'échantillons par la relation Ne = 2xNxN.

[0103] L'opération 256 est alors suivie d'une opération 257 consistant, à partir des L dernières valeurs de rapport, un rapport moyen <r> entre l'énergie du signal de sortie et l'énergie du signal d'entrée, ce rapport moyen vérifiant la relation (16) :

$$\langle r \rangle = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^{L} 10.\log\left(\frac{E_s^g + E_s^d}{E_e^g + E_e^d}\right)$$

ce rapport moyen étant calculé dans une fenêtre glissante contenant les L derniers résultats.

$$E_e^g = \sum_{k=1}^{N^2} e_k^2(\text{gauche}) \quad \text{et} \quad E_e^d = \sum_{k=1}^{N^2} e_k^2(\text{droite})$$

désignent l'énergie du signal d'entrée sur la voie gauche et droite, et

$$E_s^g = \sum_{k=1}^{N^2} S_k^2(\text{gauche}) \quad \text{et} \quad E_s^d = \sum_{k=1}^{N^2} S_k^2(\text{droite})$$

désignent l'énergie du signal de sortie sur la voie gauche et droite.

[0104] L'étape 257 est alors suivie d'une étape consistant à soumettre la valeur de ce rapport moyen <r> à une comparaison de supériorité à une première valeur de seuil S'_1 et d'infériorité à une deuxième valeur de seuil S'_2. Sur critère de comparaison précité satisfait, une étape de calcul de la valeur Cw(t) liée au blanchiment du signal numérique d'entrée est effectuée, cette valeur étant définie comme le rapport augmenté d'une unité de la différence du rapport moyen <r> et de la deuxième valeur de seuil S'_2 à la différence entre la deuxième S'_2 et la première valeur de seuil S'_1.

[0105] La valeur Cw(t) liée au blanchiment du signal numérique d'entrée vérifie alors la relation (17) :

$$Cw(t) = 1 + \frac{<r> - S'_2}{S'_2 - S'_1}.$$

[0106] Sur la figure 3c, on a représenté les étapes consistant à soumettre la valeur du rapport moyen <r> à une comparaison de supériorité à la première et à la deuxième valeur de seuil S'_1 et S'_2, et de calcul de la valeur Cw(t) liée au blanchiment en une seule et même étape 258 en raison du fait que le calcul de la valeur Cw(t) est conditionné à la réussite de la double comparaison de la valeur du rapport moyen aux valeurs de seuil S'_1 et S'_2 précitées.

[0107] On obtient ainsi une valeur Cw(t) liée au blanchiment du signal d'entrée comprise entre la valeur 0 et 1.

[0108] Au contraire, en présence d'une zone de silence sur réponse positive au test 221, le rapport moyen n'est pas actualisé et la valeur Cw(t) liée au blanchiment du signal numérique d'entrée garde la valeur à l'instant précédent t-1. La valeur à l'instant précédent est donc utilisée comme valeur à l'instant courant.

[0109] Des résultats expérimentaux ont permis de montrer que pour N=16, la matrice d'entrée contient 512 échantillons et le procédé est optimum pour les valeurs suivantes du filtre passe-bas anti-repliement utilisé pour réaliser les opérations aux étapes 252g et 252d. Ces valeurs sont données dans le tableau ci-après, pour un filtre anti-repliement comprenant K=43 coefficients.

-0.0006	-0.0017	-0.0022	0.0010	0.0106	0.0253	0.0376	0.0372
0.0193	-0.0082	-0.0268	-0.0203	0.0087	0.0358	0.0323	-0.0086
-0.0572	-0.0626	0.0089	0.1413	0.2707	0.3244	0.2707	0.1413
0.0089	-0.0626	-0.0572	-0.0086	0.0323	0.0358	0.0087	-0.0203
-0.0268	-0.0082	0.0193	0.0372	0.0376	0.0253	0.0106	0.0010
-0.0022	-0.0017	-0.0006					

[0110] La fenêtre glissante contenant les L derniers résultats est L=100, la valeur L pouvant toutefois être comprise entre ([10;1000]).

[0111] La valeur de seuil S'_1 est égale à -60 dB et S'_2 = -20 dB.

[0112] Une description plus détaillée des opérations de détection de micro-coupure, de sifflement ou saturation, de bourdonnement et d'existence d'un déphasage entre voies mises en oeuvre à l'étape 3 par les étapes 31, 30, 32 et 33 de la figure 2 sera maintenant décrite en liaison avec les figures 4a, 4b, 5a, 5b, 6a, 6b et 7.

[0113] En ce qui concerne l'étape 31 de détection d'une micro-coupure, encore désignée par brève coupure, on indique que celle-ci peut avantageusement consister à détecter, sur une suite d'échantillons successifs du signal nu-

mérique ADS, une décroissance rapide du niveau d'énergie de ce signal audionumérique vers une énergie nulle révélant une absence de réverbération du signal audionumérique précité.

[0114] Sur la figure 4a, l'axe des abscisses est gradué en millisecondes et l'axe des ordonnées en amplitude, la brève coupure, également désignée sous le nom de mute, étant représentée comme la décroissance rapide du niveau d'énergie du signal audionumérique vers une énergie nulle.

[0115] En référence à la figure 4b, on indique de manière non limitative que l'étape de détection d'un signal parasite telle qu'une brève coupure peut comprendre une étape 401 consistant à déterminer séparément sur chaque voie stéréophonique, pour une pluralité de suites de M échantillons successifs, l'énergie moyenne E_n du signal transporté par cette voie, n désignant le rang de chaque suite d'échantillons S_n. L'étape 401 est suivie d'une étape consistant à comparer l'évolution de l'énergie moyenne pour les suites de M échantillons successifs. L'étape précitée peut être réalisée par comparaison de l'énergie moyenne E_n du signal transporté à la valeur 0 à l'étape 402, puis d'une comparaison 403 d'une ou plusieurs des énergies moyennes précitées à une valeur de seuil ΔdB. Ainsi, l'existence d'un signal parasite de brève coupure est révélée si l'une au moins des énergies moyennes est nulle et si une ou plusieurs énergies moyennes voisines de cette énergie moyenne nulle sont supérieures à une valeur de seuil donnée, la valeur Δ.

[0116] En ce qui concerne l'étape 30 de détection de sifflement ou de saturation, on indique que cette étape sera décrite dans le cas de la détection d'un sifflement, une saturation étant le plus souvent accompagnée d'un sifflement.

[0117] En référence à la figure 5a, on indique que la détection d'un signal parasite tel qu'un sifflement dans le signal audionumérique ADS peut consister avantageusement à détecter dans ce signal une augmentation subite et transitoire de l'énergie spectrale de ce dernier dans une bande de fréquences dont la fréquence basse est comprise entre 4,5 kHz et 6,5 kHz et dont la fréquence haute peut atteindre jusqu'à 20 kHz.

[0118] Sur la figure 5a, l'axe des abscisses est gradué en fréquences et l'axe des ordonnées en énergies correspondantes pour les bandes de fréquences considérées.

[0119] En référence à la figure 5b, on indique que le processus de détection d'un signal parasite tel qu'un sifflement peut comprendre une étape 501,502 consistant à calculer sur une suite d'échantillons du signal audionumérique ADS la composition spectrale de ce signal définie comme la valeur $S_n(i)$ de composantes fréquentielles en sous-bandes de fréquence centrale f_i et de largeur de bande Δf, n désignant le rang de la suite d'échantillons. Les étapes 501 et 502 sont alors suivies d'une étape 503,504 consistant à calculer la valeur moyenne de l'énergie $E_n(sb)$ d'une plage des sous-bandes précitées pour la suite d'échantillons de rang n considéré.

[0120] Une étape de calcul 506 d'une valeur de contraste auditif est alors réalisée, $C_{n,sb}$ à partir de la valeur du rapport :

$$R_n(sb) = \frac{E_n(sb)}{E_{n-S}(sb)}$$

Ce rapport calculé à l'étape 505 désigne le rapport entre l'énergie $E_n(sb)$ de cette plage pour la suite courante et pour une pluralité de suites précédentes $E_{n-s}(sb)$ d'échantillons. La valeur de contraste auditif vérifie la relation (18) :

$$C_{n,sb} = \frac{R_{n(sb)}}{\frac{1}{2.(\nu-1)} \sum_{\substack{i=-\nu \\ i \neq p(p-1),0,p-1,p}}^{\nu} R_{n(sb+i)}}$$

Dans cette relation, $R_{n(sb+i)}$ désigne, pour $i=-\nu$, la valeur du rapport pour les sous-bandes voisines de la même suite d'échantillons de rang n et du même spectre S_n.

[0121] En outre, à l'étape 506, une comparaison de la valeur de contraste auditif $C_{n,sb}$ à une première valeur de seuil de sifflement, notée S_{s1}, est réalisée, la comparaison étant notée $C_{n,sb} > S_{s1}$.

[0122] L'étape 506 précitée est suivie d'une étape 507 de calcul d'un paramètre de proximité, noté $P_{n,sb}$, vérifiant la relation (19) :

$$P_{n,sb} = \frac{R_{n(sb)}}{\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} R_{n(i)}}$$

[0123] En outre, à l'étape 507, une comparaison du paramètre de proximité $P_{n,sb}$ à une deuxième valeur de sifflement S_{s2} est réalisée, la comparaison étant notée $P_{n,sb} > S_{s2}$. La présence d'un signal parasite de sifflement est révélée si les comparaisons de supériorité de la valeur de contraste auditif et du paramètre de proximité sont toutes deux vérifiées.

[0124] En ce qui concerne l'étape de détection d'un signal parasite de bourdonnement réalisée à l'étape 32, on indique que cette étape, en référence à la figure 6a, peut consister à détecter un signal parasite constitué par un bruit rose dans une bande de fréquences comprise entre 0 et 1100 Hz et de niveau sensiblement constant dans la bande de fréquences précitée. Sur la figure 6a, l'axe des abscisses est gradué en fréquences et l'axe des ordonnées en niveau d'énergie du signal exprimé en décibels. On constate que dans la bande de fréquences précitée, un niveau sensiblement constant, voisin de 40 dB, peut être mis en évidence en présence d'un bourdonnement.

[0125] En référence à la figure 6b, le processus de mise en évidence d'un signal parasite de bourdonnement peut comprendre, sur au moins une voie gauche ou droite de ce signal, une étape 701 consistant à calculer, sur la suite d'échantillons du signal numérique ADS, la composition spectrale de ce signal définie comme la valeur $S_n(i)$ de composantes fréquentielles en sous-bande, fréquences centrales f_i où n désigne le rang de la suite d'échantillons considérée. L'étape 701 est suivie d'une étape 702 pour un nombre déterminé k de fréquences centrales f_i du domaine des basses fréquences, l'étape 702 consistant à calculer un premier et un deuxième rapport des valeurs de composantes fréquentielles en sous-bande pour la suite d'échantillons courante et la suite d'échantillons précédente, ce premier rapport étant désigné par $\alpha_{i,n}=\frac{S_{n(i)}}{S_{n-1(i)}}$ et le deuxième rapport pour la suite d'échantillons courante et la suite d'échantillons suivante étant désigné par $\beta_{i,n}=\frac{S_{n(i)}}{S_{n+1(i)}}$.
L'étape 702 consiste également à comparer la valeur des premier et deuxième rapports précités à une première valeur de seuil de bourdonnement, notée S_{b1}. Sur réponse négative à la comparaison précitée, l'étape 702 est rebouclée, 703, par une incrémentation de l'indice i en i=i+1.

[0126] Sur réponse positive à l'étape 702, cette dernière est suivie d'une étape 704 consistant à soumettre la comparaison des premier et deuxième rapports à un critère de proportion du nombre p de comparaisons vérifiées par rapport à la totalité des k comparaisons effectuées pour les k fréquences centrales f_i. L'étape 704 consiste à réaliser un test de vérification que P% des raies fréquentielles remplissent la condition précédente sur la suite courante S_n. Sur réponse négative au test 704, un bouclage 708 permet de passer à la suite d'échantillons suivante de rang n+1.

[0127] Sur réponse positive au test 704, une étape 705 est réalisée, consistant à discriminer parmi les valeurs $S_n(i)$ de composantes fréquentielles en sous-bandes, la valeur maximale $S_n(i_{max})$ des valeurs de composantes fréquentielles relatives à la suite d'échantillons courante.

[0128] L'étape 705 est elle-même suivie d'une étape 706 consistant à calculer le rapport de la valeur maximale avec la valeur correspondant à l'index i_{max} du spectre de la suite précédente $S_{n-1}(i_{max})$. Ce rapport est noté $M_{n,i}=\frac{S_{n(i_{max})}}{S_{n-1(i_{max})}}$. En outre, ce rapport est comparé à une deuxième valeur de seuil de bourdonnement notée S_{b2} par comparaison d'infériorité.

[0129] Ainsi, on comprend que, sur au moins une voie de transmission en mode stéréophonique du signal audionumérique ADS, la détection d'un signal parasite de bourdonnement consiste à détecter l'existence d'une comparaison de supériorité des premier et deuxième rapports $\alpha_{i,n}$ et $\beta_{i,n}$ à la première valeur de seuil de bourdonnement S_{b1} et l'existence d'une comparaison d'infériorité du rapport des valeurs maximales $M_{n,i}$ à la deuxième valeur de seuil de bourdonnement S_{b2}. Suite à l'étape 706 précitée, une analyse statistique est réalisée par répétition des opérations précédentes et mémorisation périodique sur une durée s' déterminée d'une variable binaire de prédétection de l'existence d'un signal parasite de bourdonnement. A la variable binaire de prédétection est attribuée la valeur 1 lorsque les critères de comparaison de supériorité et d'infériorité sont satisfaits et la valeur 0 sinon.

[0130] L'analyse statistique consiste à décompter, à l'étape 707, dans la durée s' déterminée, le nombre d'occurrences de la valeur 1 de la variable binaire de prédétection et à comparer ce nombre à une troisième valeur de seuil de bourdonnement, notée S_{b3}. Ainsi, lorsque, sur une observation de s' secondes, un nombre d'occurrences est supérieur à S_{b3}, la présence d'un signal parasite de bourdonnement est révélée lorsque la comparaison précitée est vérifiée.

[0131] En ce qui concerne la mise en oeuvre de l'étape 33 de calcul du déphasage d, on indique, en référence à la figure 7, que cette étape peut consister à calculer à l'étape A la valeur du déphasage entre voies du signal audionumérique ADS à partir de la fonction d'inter-corrélation du signal audionumérique présent sur chacune des voies, puis à comparer à l'étape B la valeur de déphasage d à une valeur de seuil. Sur la figure 7, les valeurs de déphasage et de seuil sont notées φ respectivement φ_{max}.

[0132] Pour ce qui concerne la mise en oeuvre des étapes de détection de sifflement ou de saturation 30, de micro-coupure 31, de bourdonnement 32 et de déphasage inter-voies 33, d'autres procédures peuvent être mises en oeuvre.

[0133] Toutefois, les procédures indiquées dans la présente demande de brevet apparaissent particulièrement satisfaisantes. Pour une description plus détaillée de la mise en oeuvre de ces procédures, on pourra utilement se reporter à la demande de brevet français n° 99 04179 déposée le 08/03/1999 au nom des titulaires de la présente demande, publiée sous le numéro FR 2 790 900 le 15/09/2000.

Revendications

1. Procédé de contrôle en continu de la qualité des sons en distribution, les sons numériques étant disponibles en mode stéréophonique selon un signal numérique représentant au moins une voie droite et une voie gauche, lequel consiste à effectuer une analyse statistique du contenu de ce signal numérique sur chacune desdites voies, ladite analyse statistique consistant :

   - à découper temporellement (1) ledit signal numérique selon des suites successives d'échantillons, comportant un nombre déterminé d'échantillons, et
   - à effectuer, lors de l'existence d'un programme de sons numériques, une analyse spectrale (2) de chacune des suites d'échantillons pour observer les variations d'énergie et d'enveloppe dudit signal numérique dans le domaine temporel et fréquentiel et calculer un indice de qualité global ;
   - à calculer à partir desdites variations d'énergie et d'enveloppe et de l'indice de qualité global un indice de qualité final (3), valeur bornée et continue dans le temps, représentatif de la qualité desdits signaux numériques.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** lesdites suites d'échantillons sont constituées par des suites d'échantillons présentant un taux de recouvrement, rapport du nombre d'échantillons communs à deux suites consécutives au nombre d'échantillons constitutif de chaque suite d'échantillons, compris entre 0 et 75%.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** ladite étape consistant à calculer lors de l'existence d'un programme de sons numériques distribués un indice de qualité global consiste au moins à calculer un indice de qualité global à partir d'au moins un critère fréquentiel et d'un critère temporel de variation d'énergie et d'enveloppe.

4. Procédé selon l'une des revendications 1, 2 ou 3, **caractérisé en ce que** ladite étape consistant à calculer à partir desdites variations d'énergie et d'enveloppe et de l'indice de qualité global un indice de qualité final consiste au moins :

   - à détecter l'existence sur ledit signal numérique d'au moins une perturbation de transmission dudit signal numérique et à affecter à l'existence de cette perturbation un coefficient de pondération spécifique, représentatif de la contribution de cette perturbation à la dégradation de la qualité desdits signaux numériques, la valeur de ce coefficient de pondération étant égale à 1 sinon ;
   - à pondérer la valeur dudit indice de qualité global par la valeur du produit de l'ensemble des coefficients de pondération, pour obtenir un indice de qualité global pondéré;
   - à détecter la valeur d'un déphasage inter-voies et à affecter une valeur de critère de déphasage spécifique à cette valeur de déphasage lorsque cette valeur de déphasage est supérieure à zéro et une valeur de critère de déphasage égale à zéro sinon ;
   - à déterminer ledit coefficient de qualité final par comparaison de la différence entre ledit coefficient de qualité pondéré et ladite valeur de critère de déphasage à la valeur zéro et à attribuer une valeur égale à 1 audit coefficient de qualité global en l'absence de programme de sons numériques distribués.

5. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** l'étape de calcul dudit indice de qualité global I(t) est effectuée à partir d'un critère de valeur Cb(t) liée à la bande passante, d'un critère de valeur Cs(t) liée aux propriétés stéréophoniques et d'un critère de valeurs Cw(t) lié au blanchiment du signal numérique temporel, lesdites valeurs Cb(t), Cs(t) et Cw(t) étant constituées par des valeurs réelles positives comprises entre 0 et 1, ledit indice de qualité global I(t) étant défini par une combinaison linéaire desdites valeurs et étant constitué par une valeur réelle, comprise entre 0 et 1.

6. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** l'étape consistant à détecter l'existence sur ledit signal

numérique d'au moins une perturbation de transmission consiste à détecter une perturbation choisie parmi les perturbations de sifflement ou saturation, de micro-coupure et de bourdonnement respectivement.

7. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** l'étape de calcul de la valeur Cb(t) liée à la bande passante consiste à partir d'une décomposition fréquentielle du signal numérique temporel, à :

- discriminer l'existence d'une zone de silence et, en l'absence de zone de silence,
- découper en P sous-bandes de K raies spectrales d'énergie déterminée ladite décomposition fréquentielle du signal numérique temporel ;
- calculer pour les voies de gauche et de droite l'énergie moyenne Ei contenue dans chaque sous-bande de rang i ;
- déterminer le rang i_c spécifique de la sous-bande de rang i correspondant pour laquelle se produit la fréquence de coupure, par au moins une comparaison du rapport de l'énergie contenue dans la dernière sous-bande, prise comme niveau de référence de bruit de fond, à l'énergie contenue dans les P-1 autres sous-bandes à une première valeur de seuil ;et sur réponse positive à cette comparaison,
- mémoriser le rang i_c = i de la sous-bande de fréquences pour laquelle la fréquence de coupure est détectée, dans un tableau de valeurs de rang ;
- rechercher dans ce tableau par un programme de tri de la valeur du rang i dont l'occurrence est la plus grande, puis déterminer la fréquence de coupure Fc la plus probable pour les voies de droite et de gauche ;
- calculer la valeur moyenne Q des fréquences de coupure gauche et droite normalisée par la fréquence de coupure théorique maximale, P,

$$Q=\frac{F_c\text{gauche} + F_c\text{droite}}{2P},$$

- normaliser ladite valeur moyenne des fréquences sur critère psycho-acoustique défini par au moins une valeur de seuil (Seuil3) de bonne qualité de codage audionumérique et une valeur de seuil (Seuil4) de mauvaise qualité de codage audionumérique par décalage et calcul d'une valeur réduite constituant ladite valeur Cb(t) liée à la bande passante et vérifiant la relation :

$$Cb(t)=\frac{Q\text{-Seuil4}}{Seuil3\text{-}Seuil4}.$$

8. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** l'étape consistant à déterminer le rang i_c spécifique de la sous-bande de rang i correspondant pour laquelle le fréquence de coupure se produit comporte, outre une première comparaison du rapport Ei/Ep de l'énergie contenue dans la dernière sous-bande, à l'énergie contenue dans les P-1 autres sous-bandes à une première valeur de seuil, Seuil1, sur réponse positive à cette première comparaison, une deuxième étape de comparaison du rapport Ei/Ei+1, de l'énergie de la sous-bande de rang i à l'énergie de la sous-bande de rang suivant i+1 à une deuxième valeur de seuil, Seuil2, l'étape suivante de mémorisation du rang i_c=i de la sous-bande de fréquences pour laquelle la fréquence de coupure est détectée étant conditionnée à la réponse positive auxdites première et deuxième comparaisons, la réponse négative auxdits premier et deuxième tests de comparaison étant suivie, si $i \neq 1$, d'un retour au premier test de comparaison et d'un appel de l'étape de recherche du rang i_c dont l'occurrence est la plus grande sinon.

9. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** l'étape de calcul de la valeur Cs(t) liée aux propriétés stéréophoniques du signal numérique temporel consiste, à partir d'une décomposition fréquentielle en raies de rang k du signal numérique temporel, à:

- calculer, pour chaque raie de rang k, un facteur Qk représentatif de la qualité stéréophonique du signal, à partir des spectres de fréquence S_k^G de la voie gauche et S_k^D de la voie droite, différence normée des énergies des voies droite et gauche de la forme

$$Q_k = \frac{\left|S_k^G - S_k^D\right|}{S_k^G + S_k^D},$$

- déterminer le pourcentage R(t) des raies appartenant à une bande de fréquences ΔF donnée dont le facteur

Q_k dépasse une valeur de seuil déterminée S_1, R(t) = n/K, n étant le nombre de fois où $Q_k > S_1$ $\forall k \in \Delta F$;

- corriger la valeur du pourcentage R(t) par une fonction spécifique A telle que $0 \leq A(R(t)) \leq 1$, pour engendrer une valeur de pourcentage M(t) moyenne d'un nombre P déterminé de valeurs de pourcentage corrigé

$$M(t) = \frac{1}{P} \sum_{t=1}^{P} A(R(t))$$

- déterminer dans une fenêtre temporelle de durée déterminée le nombre de fois F où une valeur de seuil d'alarme S_2 a été franchie par la valeur de pourcentage corrigé A(R(t)) ;
- calculer la valeur Cs(t) à partir d'une fonction de ladite valeur moyenne, de la forme :

$$Cs(t) = (M(t))^{\frac{1}{(F+1)}}.$$

10. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** l'étape de calcul de la valeur Cw(t) liée au blanchiment du signal numérique temporel consiste, à partir dudit signal temporel, pour chacune des voies, en l'absence de détection d'une zone de silence :

- à calculer la matrice de covariance (Rg,Rd) du signal d'entrée et d'un signal aléatoire, compris entre les valeurs -1 et +1 ;
- à calculer la matrice inverse de la matrice de covariance ;
- à soumettre le signal d'entrée à un filtrage passe-bas anti-repliement et à une décimation d'un facteur deux, pour engendrer une matrice d'entrée gauche et droite (Eg, Ed) ;
- à calculer, à partir de la matrice d'entrée gauche et droite, une matrice de sortie gauche et droite (Sg, Sd) ;
- à calculer, à partir des matrices d'entrée et de sortie gauche et droite, un rapport entre l'énergie du signal de sortie et l'énergie du signal d'entrée ;
- à calculer, à partir des L dernières valeurs de rapport, un rapport moyen (r) entre l'énergie du signal de sortie et l'énergie du signal d'entrée ;
- à soumettre la valeur de ce rapport moyen à une comparaison de supériorité à une première valeur de seuil S'_1 et d'infériorité à une deuxième valeur de seuil S'_2 ;
- à calculer la valeur Cw(t) liée au blanchiment comme le rapport, augmenté d'une unité, de la différence du rapport moyen r et de la deuxième valeur de seuil S'_2 à la différence entre la deuxième S'_2 et la première S'_1 valeur de seuil.

Patentansprüche

1. Verfahren zur kontinuierlichen Kontrolle der Qualität von Tonsignalen zur Verteilung, wobei die digitalen Tonsignale in stereophonem Modus als ein digitales Signal verfügbar sind, das wenigstens einen rechten Kanal und einen linken Kanal repräsentiert, wobei das Verfahren darin beruht, eine statistische Analyse des Inhalts dieses digitalen Signals auf jedem der Kanäle durchzuführen, wobei die statistische Analyse darin beruht,

- das digitale Signal zeitlich in sukzessive Folgen von Abtastwerten zu zerlegen (1), die eine vorgegebene Zahl von Abtastwerten umfassen, und
- bei Vorliegen eines Programms von digitalen Tonsignalen eine spektrale Analyse (2) jeder der Folgen von Abtastwerten durchzuführen, um die Schwankungen von Energie und Umhüllender des digitalen Signals im Zeit- und Frequenzbereich zu beobachten, und einen Gesamtqualitätsindex zu berechnen;
- anhand der Energie- und Umhüllendenschwankungen und des Gesamtqualitätsindex einen End-Qualitätsindex zu berechnen (3), dessen Wert beschränkt und stetig in der Zeit ist, und der für die Qualität der digitalen Signale repräsentativ ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Folgen von Abtastwerten gebildet werden durch Folgen von Abtastwerten, die ein Überlappungsverhältnis, d.h. ein Verhältnis der Anzahl von zwei sukzessiven Folgen gemeinsamen Abtastwerten zur Anzahl von jede Folge von Abtastwerten bildenden Abtastwerten, von

zwischen 0 und 75 % aufweisen.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schritt, der darin beruht, bei Vorliegen eines Programms von verteilten digitalen Tonsignalen einen Gesamtqualitätsindex zu berechnen, wenigstens darin beruht, einen Gesamtqualitätsindex aus wenigstens einem Frequenzkriterium und einem Zeitkriterium der Schwankung von Energie und Umhüllender zu berechnen.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schritt, der darin beruht, aus den Energie- und Umhüllendenschwankungen und dem Gesamtqualitätsindex einen End-Qualitätsindex zu berechnen, wenigstens darin beruht,

- in dem digitalen Signal das Vorliegen wenigstens einer Übertragungsstörung des digitalen Signals zu erfassen und dem Vorliegen dieser Störung einen spezifischen Gewichtungskoeffizienten zuzuweisen, der für den Beitrag dieser Störung zur Beeinträchtigung der Qualität der digitalen Signale repräsentativ ist, wobei der Wert dieses Gewichtungskoeffizienten sonst gleich 1 ist;
- den Wert des Gesamtqualitätsindex mit dem Wert des Produkts der Gesamtheit der Gewichtungskoeffizienten zu gewichten, um einen gewichteten Gesamtqualitätsindex zu erhalten;
- den Wert einer Interkanal-Phasenverschiebung zu erfassen und diesem Phasenverschiebungswert einen spezifischen Wert eines Phasenverschiebungskriteriums zuzuweisen, wenn dieser Phasenverschiebungswert größer als 0 ist, und anderenfalls einen Phasenverschiebungskriteriumswert von 0 zuzuweisen;
- den End-Qualitätskoeffizienten durch Vergleich der Differenz zwischen dem gewichteten Qualitätskoeffizienten und dem Phasenverschiebungskriteriumswert mit dem Wert 0 zu bestimmen, und dem Gesamtqualitätskoeffizienten in Abwesenheit eines Programms von verteilten digitalen Tonsignalen einen Wert von 1 zuzuweisen.

5. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schritt des Berechnens des Gesamtqualitätsindex I(t) ausgehend von einem Wertkriterium Cb(t), das mit dem Durchgangsband verknüpft ist, einem Wertkriterium Cs(t), das mit den Stereophonieeigenschaften verknüpft ist, und einem Wertekriterium Cw(t) durchgeführt wird, das mit dem Ausbleichen des digitalen zeitlichen Signals verknüpft ist, wobei die Werte Cb(t), Cs(t) und Cw(t) durch positive reelle Werte zwischen 0 und 1 gebildet sind, und der Gesamtqualitätsindex I(t) definiert ist durch eine Linearkombination dieser Werte und gebildet ist durch einen realen Wert zwischen 0 und 1.

6. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schritt, der darin beruht, das Vorliegen wenigstens einer Übertragungsstörung auf dem digitalen Signal zu erfassen, darin beruht, eine Störung zu erfassen, die unter den Pfeif- oder Sättigungsstörungen, Mikrounterbrechungen und Brummen ausgewählt ist.

7. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schritt des Berechnens des mit dem Durchgangsband verknüpften Werts Cb(t) darin beruht, ausgehend von einer Frequenzzerlegung des zeitlichen digitalen Signals:

- das Vorhandensein einer Stillezone zu diskriminieren und, in Abwesenheit einer Stillezone,
- die Frequenzzerlegung des zeitlichen digitalen Signals in P Unterbänder mit K Spektrallinien bestimmter Energie zu zerlegen,
- für den linken und den rechten Kanal die in jedem Unterband vom Rang i enthaltene mittlere Energie Ei zu berechnen,
- den spezifischen Rang i_c des entsprechenden Unterbandes vom Rang i, für das die Trennfrequenz auftritt, zu bestimmen durch wenigstens einen Vergleich des Verhältnisses der in dem letzten Unterband enthaltenen Energie, die als Referenzniveau für das Untergrundrauschen genommen wird, zu der in den P-1 anderen Unterbändern enthaltenen Energie mit einem ersten Schwellwert, und, bei positiver Antwort auf diesen Vergleich,
- Speichern des Rangs i_c = i des Frequenzunterbandes, für welches die Trennfrequenz erfasst wird, in einer Rangwerttabelle;
- Suchen in dieser Tabelle, mit einem Sortierprogramm, den Wert des Rangs i, dessen Auftreten am stärksten ist, und dann Bestimmen der wahrscheinlichsten Trennfrequenz Fc für rechten und linken Kanal;
- Berechnen des Mittelwerts Q der linken und rechten Trennfrequenz, normiert auf die maximale theoretische Trennfrequenz P,

$$Q=\frac{F_c\text{gauche}+F_c\text{droite}}{2P},$$

- Normieren des Mittelwerts der Frequenzen auf ein psychoakustisches Kriterium, das durch wenigstens einen Schwellwert (Seuil3) guter audiodigitaler Codierqualität und einen Schwellwert (Seuil4) schlechter audiodigitaler Codierqualität definiert ist, durch Verschieben und Berechnen eines reduzierten Werts, der den mit dem Durchgangsband verknüpften Wert Cb(t) darstellt und die Beziehung

$$Cb(t)=\frac{Q\text{-Seuil4}}{\text{Seuil3-Seuil4}}.$$

erfüllt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schritt, der darin beruht, den spezifischen Rang i_c des entsprechenden Unterbandes vom Rang i zu bestimmen, für das die Trennfrequenz auftritt, neben einem ersten Vergleich des Verhältnisses Ei/Ep der in dem letzten Unterband enthaltenen Energie mit der in den P-1 anderen Unterbändern enthaltenen Energie mit einem ersten Schwellwert, Seuil1, bei positiver Antwort auf diesen ersten Vergleich einen zweiten Schritt des Vergleichens des Verhältnisses Ei/Ei+1 der Energie des Unterbandes vom Rang i zur Energie des Unterbandes vom nachfolgenden Rang i+1 mit einem zweiten Schwellwert Seuil2, umfasst, wobei der nachfolgende Schritt des Speicherns des Rangs i_c = i des Unterfrequenzbandes, für welches die Trennfrequenz erfasst wird, bedingt ist durch die positive Antwort auf den ersten und den zweiten Vergleich, wobei auf die negative Antwort auf den ersten und zweiten Vergleichstest, wenn $i \neq 1$, eine Rückkehr zum ersten Vergleichstest und anderenfalls ein Aufrufen des Schritts des Suchens nach dem Rang i_c, dessen Auftreten stärker ist, folgt.

9. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schritt des Berechnens des mit den Stereophonieeigenschaften des zeitlichen digitalen Signals verknüpften Werts Cs(t) darin beruht, ausgehend von einer Frequenzzerlegung in Linien des Rangs k des zeitlichen digitalen Signals

- für jede Linie vom Rang k einen für die Stereophoniequalität des Signals repräsentativen Faktor Qk
- für jede Linie vom Rang k einen für die Stereophoniequalität des Signals repräsentativen Faktor Qk aus den Frequenzspektren S_k^G des linken Kanals und S_k^D des rechten Kanals zu berechnen, der eine normierte Differenz der Energien des rechten und des linken Kanals der Form

$$Q_k=\frac{\left|S_k^G - S_k^D\right|}{S_k^G + S_k^D},$$

ist,

- den Prozentsatz R(t) der zu einem gegebenen Frequenzband ΔF gehörenden Linien zu bestimmen, deren Faktor Q_k einen vorgegebenen Schwellwert S_1 übersteigt, R(t) = n/K, wobei n die Zahl der Male ist, wo $Q_k > S_1$ $\forall k \in \Delta F$;
- Korrigieren des Wertes des Prozentsatzes R(t) durch eine spezifische Funktion A, so dass $0 \leq A(R(t)) \leq 1$, um einen mittleren Prozentsatzwert M(t) aus einer vorgegebenen Zahl P von korrigierten Prozentsatzwerten zu erhalten

$$M(t)=\frac{1}{P}\sum_{t=1}^{P}A(R(t))$$

- in einem Zeitfenster von festgelegter Dauer die Anzahl von Malen F zu bestimmen, wo der korrigierte Prozentsatzwert A(R(t)) einen Alarmschwellwert S_2 überschritten hat;
- Berechnen des Werts Cs(t) anhand einer Funktion des Mittelwerts mit der Form

$$Cs(t)=(M(t))^{\frac{1}{(F+1)}}.$$

10. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schritt des Berechnens des mit der Ausbleichung des zeitlichen digitalen Signals verknüpften Werts Cw(t) darin beruht, ausgehend von dem zeitlichen Signal für jeden der Kanäle in Abwesenheit der Erfassung einer Stillezone:

- die Kovarianzmatrix (Rg, Rd) des Eingangssignals und eines zwischen den Werten -1 und +1 enthaltenen Zufallssignals zu berechnen;
- die zu der Kovarianzmatrix inverse Matrix zu berechnen;
- das Eingangssignal einer Anti-Aliasing-Tiefpassfilterung und einer Dezimierung um einen Faktor 2 zu unterziehen, um eine linke und rechte Eingangsmatrix (Eg, Ed) zu erzeugen;
- ausgehend von der linken und rechten Eingangsmatrix eine linke und rechte Ausgangsmatrix (Sg, Sd) zu berechnen;
- aus den linken und rechten Eingangs- und Ausgangsmatrizen ein Verhältnis zwischen der Energie des Ausgangssignals und der Energie des Eingangssignals zu berechnen;
- aus den L letzten Verhältniswerten ein mittleres Verhältnis (r) zwischen der Energie des Ausgangssignals und der Energie des Eingangssignals zu berechnen;
- den Wert dieses mittleren Verhältnisses einem Größervergleich mit einem ersten Schwellwert S'_1 und einem Kleinervergleich mit einem zweiten Schwellwert S'_2 zu unterziehen;
- den mit dem Ausbleichen verknüpften Wert Cw(t) als das um eine Einheit vermehrte Verhältnis zwischen der Differenz zwischen dem mittleren Verhältnis r und dem zweiten Schwellwert S'_2 und der Differenz zwischen dem zweiten Schwellwert S'_2 und dem ersten Schwellwert S'_1 zu berechnen.

Claims

1. A method for continuous monitoring of the quality of sound on distribution, the digital sound being available in stereophonic mode with a digital signal representing at least one right-hand channel and one left-hand channel, which consists in carrying out a statistical analysis of the content of this digital signal on each of said channels, said statistical analysis consisting:

- in segmenting said digital signal in the time domain (1) into successive series of samples, including a defined number of samples, and,
- when a program of digital sounds is present, in carrying out a spectral analysis (2) of each of the series of samples in order to observe the variations in energy and in envelope of said digital signal in the time and frequency domains, and to calculate an overall quality index;
- in calculating, on the basis of said variations in energy and in envelope and of the overall quality index, a final quality index (3), a value which is bounded and continuous in time, representative of the quality of said digital sound.

2. The method as claimed in claim 1, **characterized in that** said series of samples consist of series of samples featuring a degree of overlap which is a ratio of the number of samples common to two consecutive series to the number of samples constituting each series of samples, this degree lying between 0 and 75%.

3. The method as claimed in claim 1 or 2, **characterized in that** said stage consisting, upon the existence of a program of distributed digital sound, in calculating an overall quality index, consists at least in calculating an overall quality index on the basis of at least one frequency criterion and of a time-domain criterion of variation in energy and in envelope.

4. The method as claimed in one of claims 1, 2 or 3, **characterized in that** said stage consisting in calculating a final quality index on the basis of the said variations in energy and in envelope and of the overall quality index consists at least:

- in detecting the existence on said digital signal of at least one disturbance in transmission of said digital signal, and in assigning to the existence of this disturbance a specific weighting coefficient, representative of the contribution of this disturbance to the degradation of the quality of said digital signals, the value of this weighting

coefficient being equal to 1 otherwise;

- in weighting the value of said overall quality index by the value of the product of the set of weighting coefficients, in order to obtain a weighted overall quality index;
- in detecting the value of an inter-channel phase shift and in assigning a specific phase-shift criterion value to this phase-shift value when this phase-shift value is greater than zero, and a phase-shift criterion value equal to zero otherwise;
- in determining said final quality coefficient by comparison of the difference between said weighted quality coefficient and said phase-shift criterion value with the zero value and in attributing a value equal to 1 to said overall quality coefficient in the absence of a program of distributed digital sound.

5. The method as claimed in claim 3, **characterized in that** the stage of calculating said overall quality index I(t) is carried out on the basis of a criterion with value Cb(t) linked to the passband, of a criterion with value Cs(t) linked to the stereophonic properties and of a criterion with values Cw(t) linked to the whitening of the time-domain digital signal, said values Cb(t), Cs(t) and Cw(t) consisting of positive real values lying between 0 and 1, said overall quality index I(t) being defined by a linear combination of said values and consisting of a real value lying between 0 and 1.

6. The method as claimed in claim 4, **characterized in that** the stage consisting in detecting the existence on the said digital signal of at least one transmission disturbance consists in detecting a disturbance chosen from among the whistling or saturation, micro cut-off and hum disturbances respectively.

7. The method as claimed in claim 5, **characterized in that** the stage of calculating the value Cb(t) linked to the passband consists, on the basis of a frequency decomposition of the time-domain digital signal, in:

- discriminating the existence of a region of silence and, in the absence of a region of silence,
- segmenting into P subbands of K spectral lines of defined energy, said frequency decomposition of the time-domain digital signal;
- calculating, for the left-hand and right-hand channels, the average energy Ei contained in each subband of ranking i;
- determining the specific ranking i_c of the subband of corresponding ranking i for which the cut-off frequency occurs, via at least one comparison of the ratio of the energy contained in the last subband, taken as a background-noise reference level, to the energy contained in the other P-1 subbands, with a first threshold value; and, upon a positive response to this comparison,
- storing in memory the ranking $i_c = i$ of the subband of frequencies for which the cut-off frequency is detected, in a table of ranking values;
- searching in this table, via a sort program, for the value of the ranking i the occurrence of which is the greatest, then determining the most probable cut-off frequency Fc for the right-hand and left-hand channels;
- calculating the average value Q of the left-hand and right-hand cut-off frequencies, normalized by the maximum theoretical cut-off frequency, P,

$$Q = \frac{F_c \text{ left} + F_c \text{ right}}{2P}$$

- normalizing said average value of the frequencies on psycho-acoustic criterion defined by at least one threshold value (Threshold3) of good audiodigital coding quality and a threshold value (Threshold4) of poor digitalaudio coding quality by shifting and calculation of a reduced value constituting said value Cb(t) linked to the passband and satisfying the relation:

$$Cb(t) = \frac{Q - \text{Threshold4}}{\text{Threshold3} - \text{Threshold4}}.$$

8. Method as claimed in claim 7, **characterized in that** the stage consisting in determining the specific ranking i_c of the subband of corresponding ranking i for which the cut-off frequency occurs includes, in addition to a first comparison of the ratio Ei/Ep of the energy contained in the last subband to the energy contained in the other P-1 subbands with a first threshold value, Threshold1, upon a positive response to this first comparison, a second stage of comparison of the ratio Ei/Ei+1, of the energy of the subband of ranking i to the energy of the subband of next ranking i+1 with a second threshold value, Threshold2, the following stage of memory-storage of the ranking

i_c = i of the subband of frequencies for which the cut-off frequency is detected being conditioned by the positive response to said first and second comparisons, the negative response to said first and second comparison tests being followed, if i≠1, by a return to the first comparison test and by a call to the stage for searching for the ranking ic the occurrence of which is the greatest otherwise.

9. The method as claimed in claim 5, **characterized in that** the stage of calculating the value Cs(t) linked to the stereophonic properties of the time-domain digital signal consists, on the basis of a frequency decomposition into spectral lines of ranking k of the time-domain digital signal, in:

- calculating, for each spectral line of ranking k, a factor Qk representative of the stereophonic quality of the signal from frequency spectra S_k^G of the left-hand channel and S_k^D of the right-hand channel, standardized difference in the energies of the right-hand and left-hand channels of the form

$$Q_k = \frac{\left|S_k^G - S_k^D\right|}{S_k^G + S_k^D},$$

- determining the percentage R(t) of the spectral lines belonging to a given frequency band ΔF for which the factor Q_k exceeds a defined threshold value, S_1, R(t) = n/K, n being the number of times when $Q_k > s_1$ $\forall k \in \Delta F$;
- correcting the value of the percentage R(t) by a specific function A such that $0 \leq A(R(t)) \leq 1$, so as to generate a percentage value M(t), the average of a defined number P of corrected percentage values

$$M(t) = \frac{1}{P} \sum_{t=1}^{P} A(R(t))$$

- determining, in a time-domain window of defined duration, the number of times F when an alarm-threshold value S_2 has been crossed by the corrected-percentage value A(R(t));
- calculating the value Cs(t) on the basis of a function of the said average value, of the form:

$$Cs(t) = (M(t))^{\frac{1}{(F+1)}}.$$

10. The method as claimed in claim 5, **characterized in that** the stage of calculating the value Cw(t) linked to the whitening of the time-domain digital signal consists, on the basis of said time-domain signal, for each of the channels, in the absence of detection of a region of silence:

- in calculating the covariance matrix (Rg, Rd) of the input signal and of a random signal lying between the values - 1 and + 1;
- in calculating the matrix which is the inverse of the covariance matrix;
- in subjecting the input signal to an anti-aliasing low-pass filtering and to the division by a factor two, in order to generate a left-hand and right-hand input matrix (Eg, Ed);
- in calculating, from the left-hand and right-hand input matrix, a left-hand and right-hand output matrix (Sg, Sd);
- in calculating, from the left-hand and right-hand input and output matrices, a ratio between the energy of the output signal and the energy of the input signal;
- in calculating, on the basis of the last L ratio values, an average ratio (r) between the energy of the output signal and the energy of the input signal;
- in subjecting the value of this average ratio to a comparison as to whether it is higher than a first threshold value S'_1 and lower than a second threshold value S'_2;
- in calculating the value Cw(t) linked to the whitening as the ratio, increased by one unit, of the difference between the average ratio r and the second threshold value S'_2 to the difference between the second S'_2 and the first S'_1 threshold value.

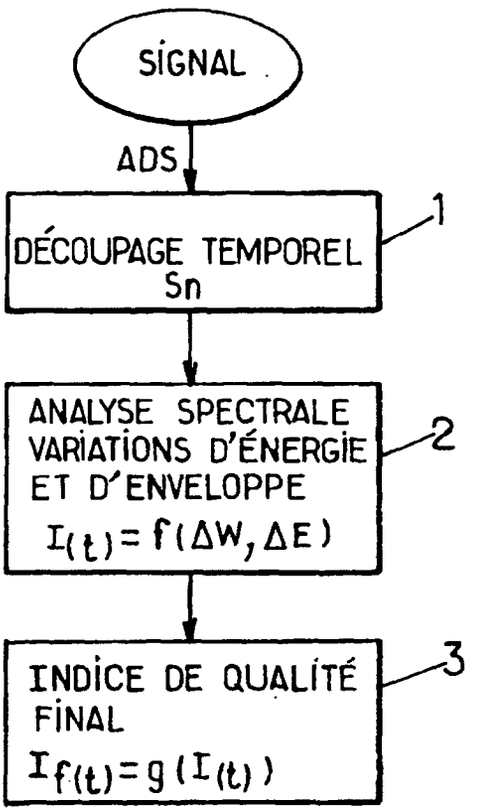

SIGNAL
ADS
DÉCOUPAGE TEMPOREL
Sn
1
ANALYSE SPECTRALE
VARIATIONS D'ÉNERGIE
ET D'ENVELOPPE
I(t) = f(ΔW, ΔE)
2
INDICE DE QUALITÉ
FINAL
If(t) = g(I(t))
3

FIG.1a.

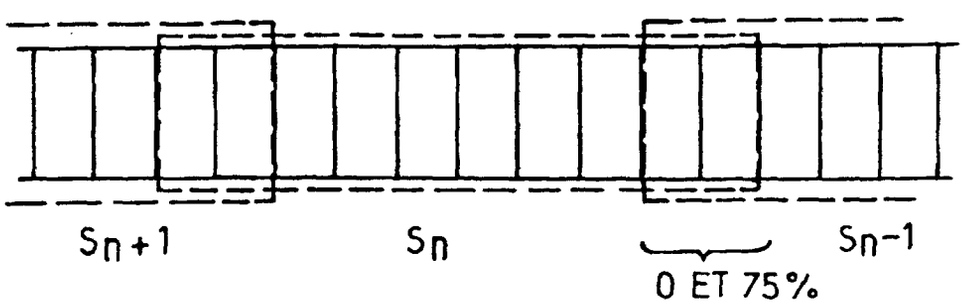

Sn+1
Sn
Sn-1
0 ET 75%

FIG. 1b.

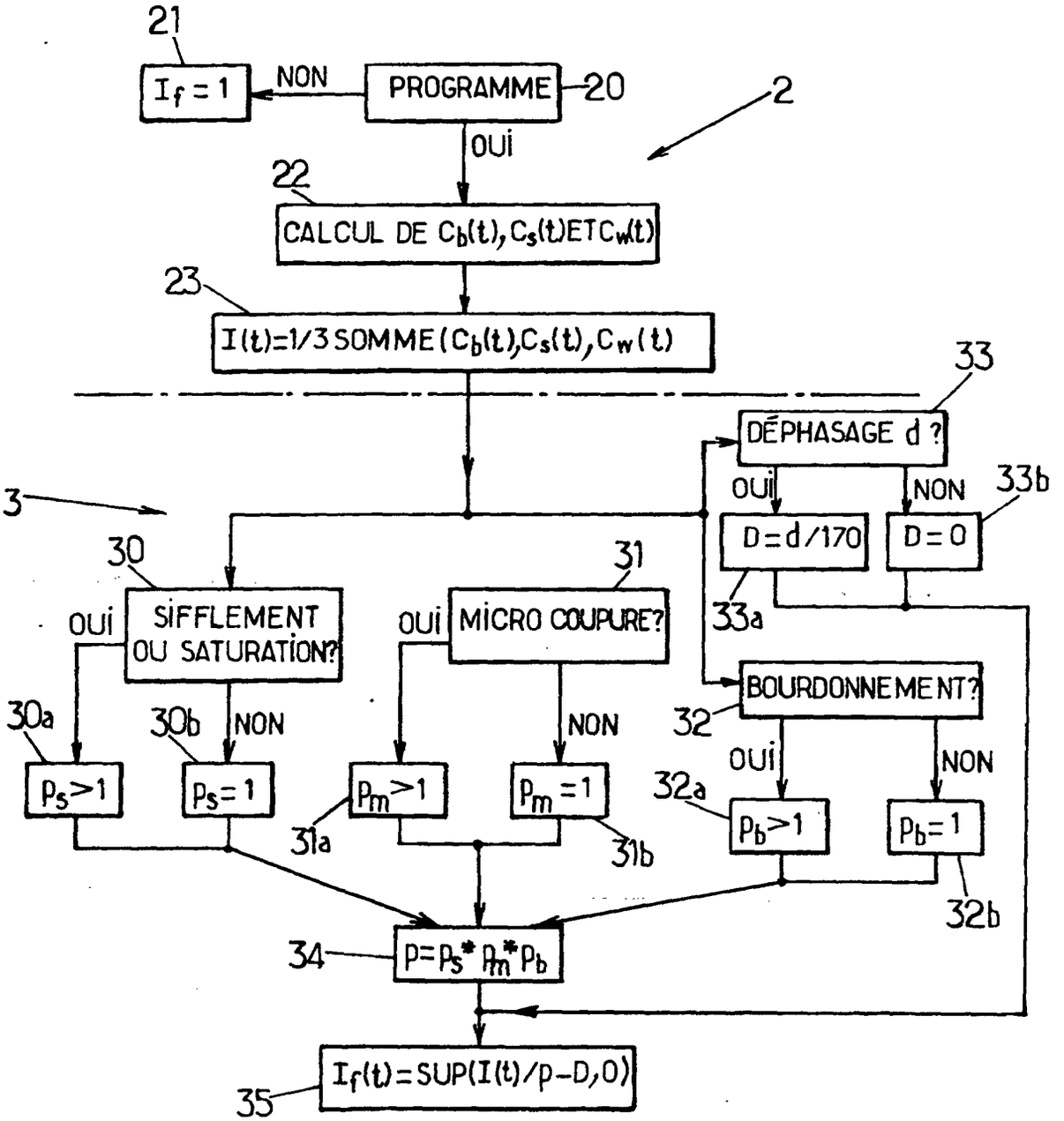

21
$I_f = 1$
NON
PROGRAMME
20
2
OUI
22
CALCUL DE $C_b(t), C_s(t)$ ET $C_w(t)$
23
$I(t)=1/3$ SOMME $(C_b(t), C_s(t), C_w(t)$
33
DÉPHASAGE d ?
OUI
NON
33b
3
D=d/170
D=0
33a
30
SIFFLEMENT OU SATURATION?
31
MICRO COUPURE?
BOURDONNEMENT?
32
30a
30b
$P_s>1$
$P_s=1$
$P_m>1$
$P_m=1$
31a
31b
32a
$P_b>1$
$P_b=1$
32b
34
$P=P_s * P_m * P_b$
35
$I_f(t)=SUP(I(t)/p-D,0)$

FIG.2.

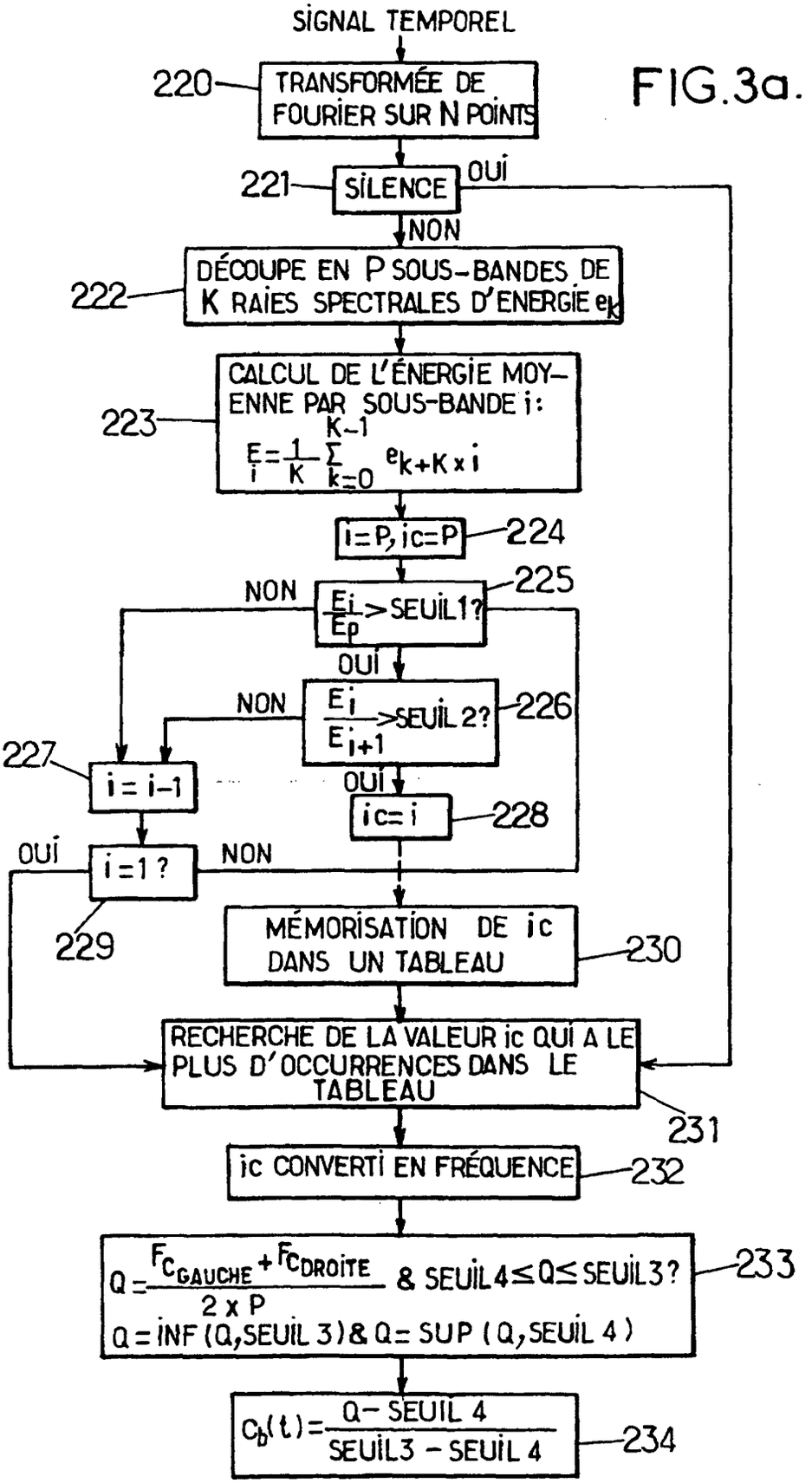

SIGNAL TEMPOREL
220
TRANSFORMÉE DE FOURIER SUR N POINTS
221
SILENCE
OUI
NON
222
DÉCOUPE EN P SOUS-BANDES DE K RAIES SPECTRALES D'ENERGIE e_k
223
CALCUL DE L'ÉNERGIE MOYENNE PAR SOUS-BANDE i:
$E_i = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} e_{k+K \times i}$
i=P, ic=P
224
NON
$\frac{E_i}{E_p}$ > SEUIL1?
225
OUI
NON
$\frac{E_i}{E_{i+1}}$ > SEUIL 2?
226
227
i = i-1
OUI
ic=i
228
OUI
i=1 ?
NON
229
MÉMORISATION DE ic DANS UN TABLEAU
230
RECHERCHE DE LA VALEUR ic QUI A LE PLUS D'OCCURRENCES DANS LE TABLEAU
231
ic CONVERTI EN FRÉQUENCE
232
$Q = \frac{Fc_{GAUCHE} + Fc_{DROITE}}{2 \times P}$ & SEUIL4 ≤ Q ≤ SEUIL3?
Q = INF (Q, SEUIL 3) & Q = SUP (Q, SEUIL 4)
233
$C_b(t) = \frac{Q - SEUIL\ 4}{SEUIL3 - SEUIL\ 4}$
234

FIG.3a.

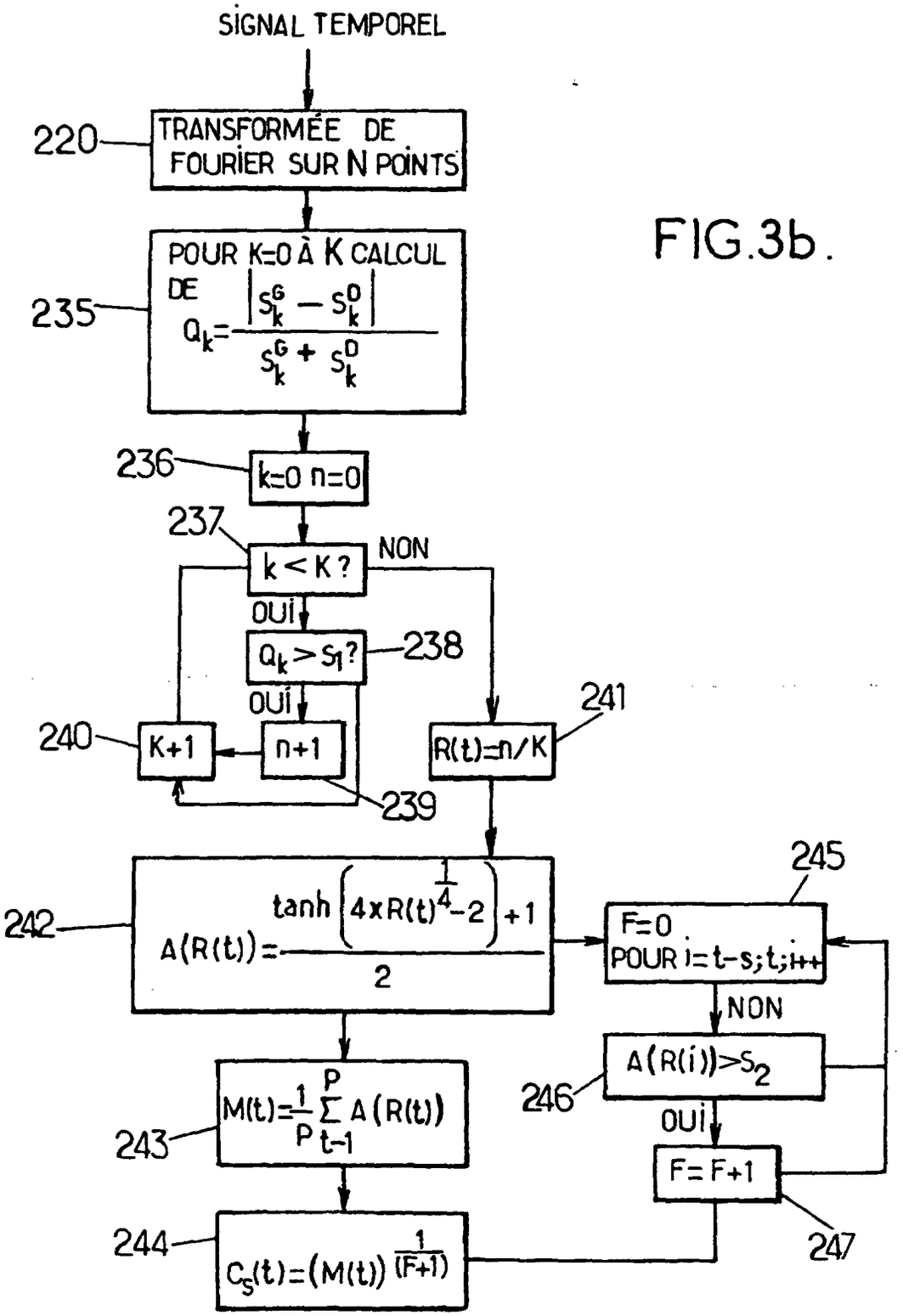

SIGNAL TEMPOREL
220
TRANSFORMÉE DE FOURIER SUR N POINTS
235
POUR K=0 À K CALCUL DE $Q_k = \frac{|S_k^G - S_k^D|}{S_k^G + S_k^D}$
236
k=0 n=0
237
k < K ?
NON
OUI
$Q_k > S_1$?
238
OUI
240
K+1
n+1
239
241
R(t)=n/K
242
$A(R(t)) = \frac{\tanh\left(4 \times R(t)^{\frac{1}{4}} - 2\right) + 1}{2}$
243
$M(t) = \frac{1}{P} \sum_{t-1}^{P} A(R(t))$
244
$C_S(t) = (M(t))^{\frac{1}{(F+1)}}$
245
F=0
POUR i=t-s;t;i++
NON
246
$A(R(i)) > S_2$
OUI
F=F+1
247

FIG.3b.

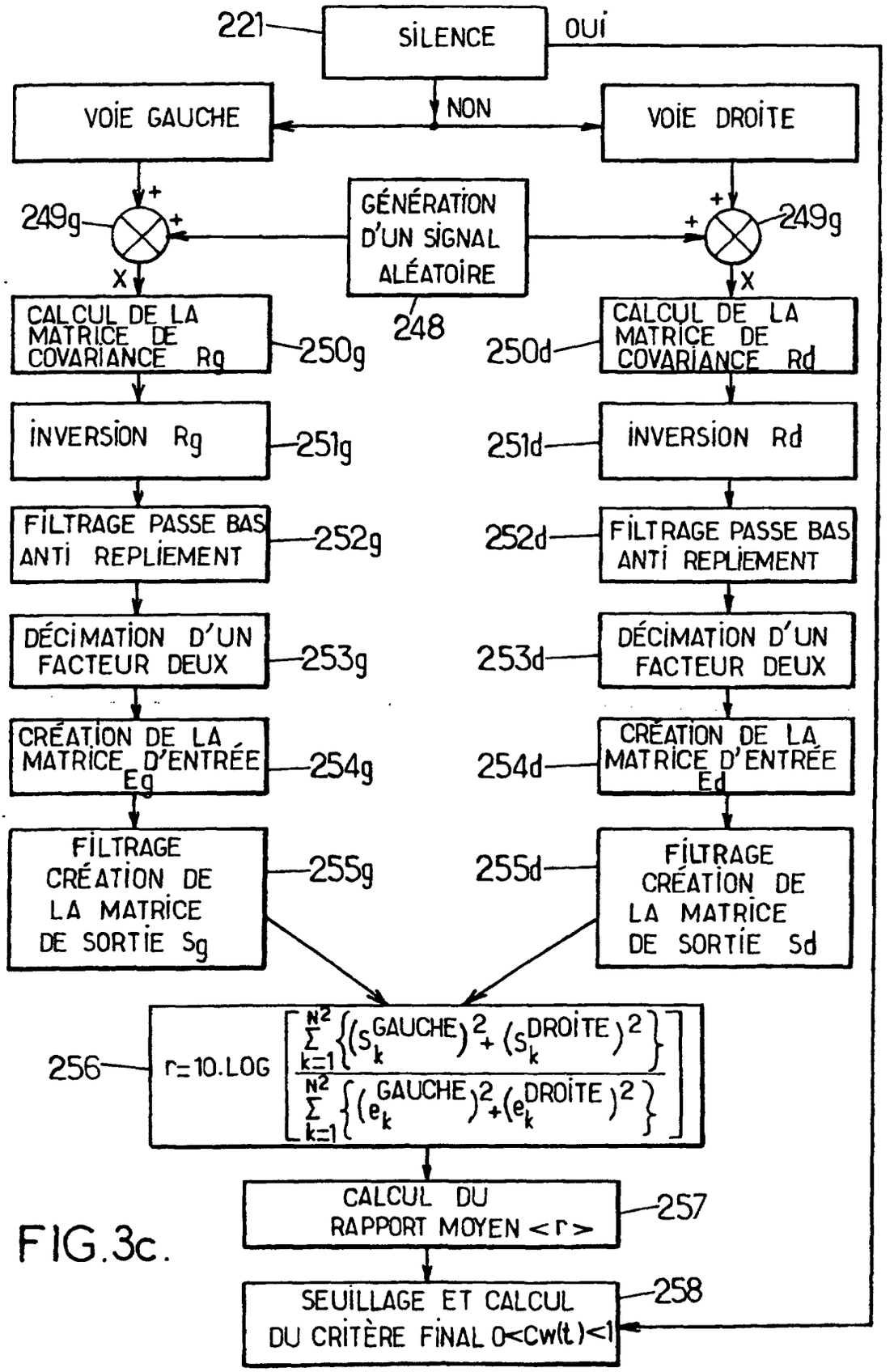

221
SILENCE
OUI
NON
VOIE GAUCHE
VOIE DROITE
249g
GÉNÉRATION D'UN SIGNAL ALÉATOIRE
248
249g
CALCUL DE LA MATRICE DE COVARIANCE Rg
250g
CALCUL DE LA MATRICE DE COVARIANCE Rd
250d
INVERSION Rg
251g
INVERSION Rd
251d
FILTRAGE PASSE BAS ANTI REPLIEMENT
252g
FILTRAGE PASSE BAS ANTI REPLIEMENT
252d
DÉCIMATION D'UN FACTEUR DEUX
253g
DÉCIMATION D'UN FACTEUR DEUX
253d
CRÉATION DE LA MATRICE D'ENTRÉE Eg
254g
CRÉATION DE LA MATRICE D'ENTRÉE Ed
254d
FILTRAGE CRÉATION DE LA MATRICE DE SORTIE Sg
255g
FILTRAGE CRÉATION DE LA MATRICE DE SORTIE Sd
255d
256
$r = 10.\log \left[\sum_{k=1}^{N2} \left\{ (s_k^{GAUCHE})^2 + (s_k^{DROITE})^2 \right\} \Big/ \sum_{k=1}^{N2} \left\{ (e_k^{GAUCHE})^2 + (e_k^{DROITE})^2 \right\} \right]$
CALCUL DU RAPPORT MOYEN $< r >$
257
SEUILLAGE ET CALCUL DU CRITÈRE FINAL $0 < Cw(t) < 1$
258

FIG.3c.

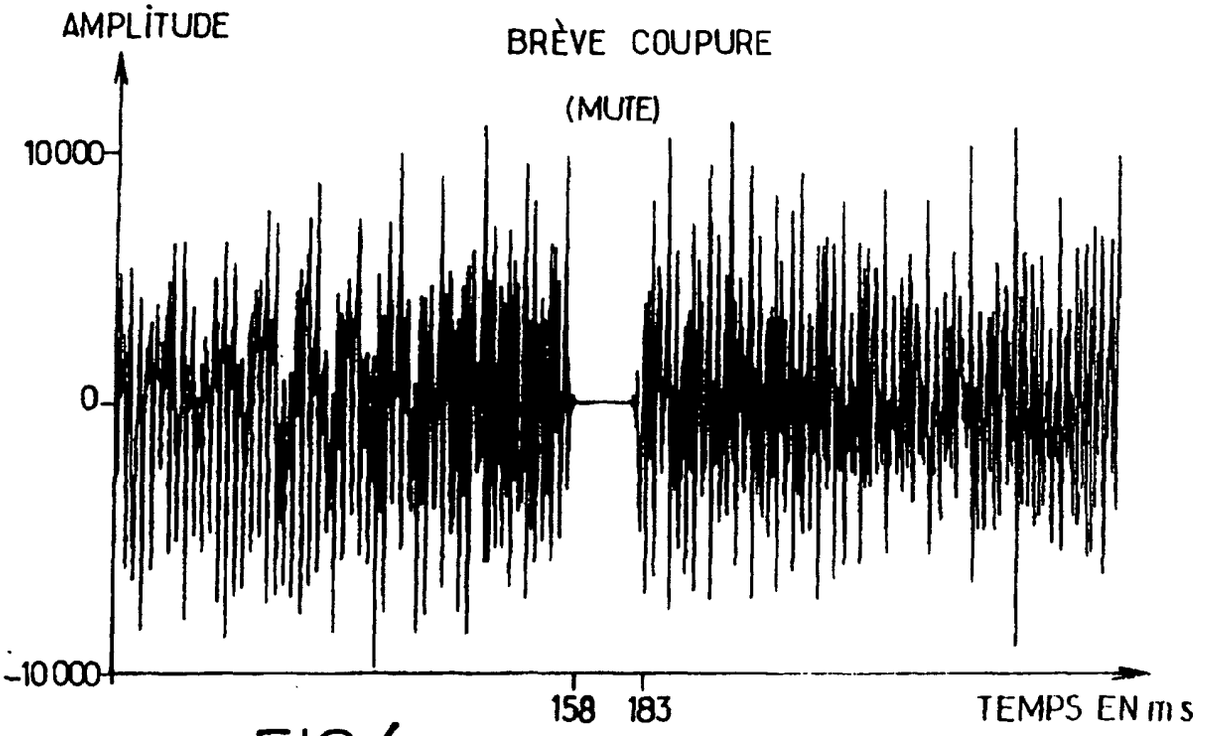

AMPLITUDE
BRÈVE COUPURE
(MUTE)
10000
0
-10000
158
183
TEMPS EN ms

FIG.4a.

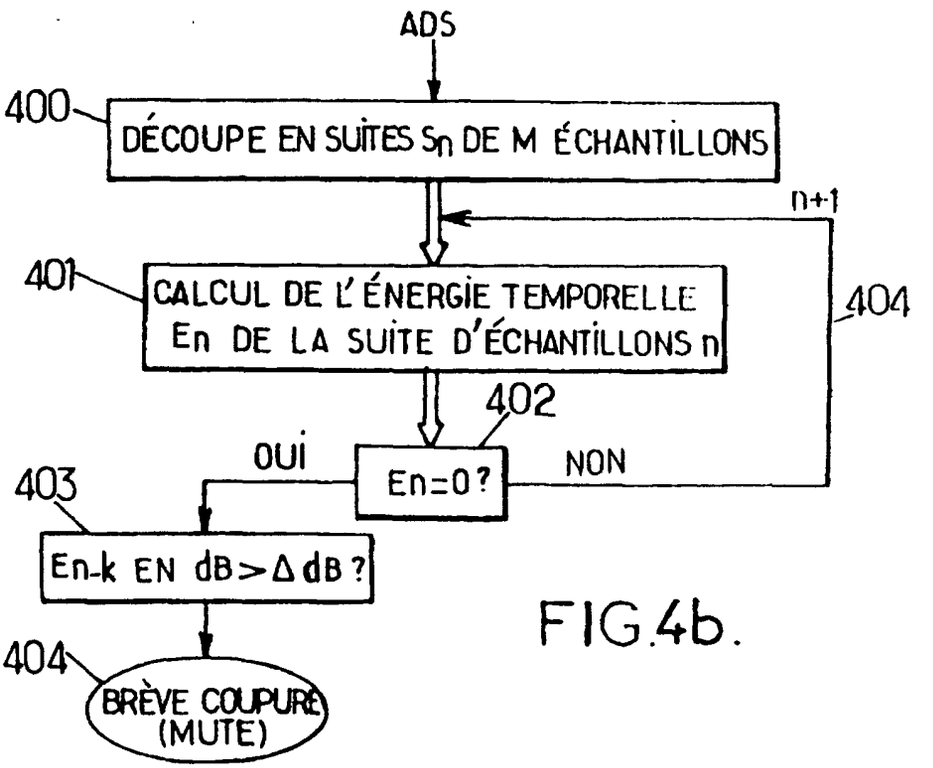

ADS
400
DÉCOUPE EN SUITES Sn DE M ÉCHANTILLONS
n+1
401
CALCUL DE L'ÉNERGIE TEMPORELLE
En DE LA SUITE D'ÉCHANTILLONS n
404
402
OUI
En=0?
NON
403
En-k EN dB>Δ dB ?
404
BRÈVE COUPURE
(MUTE)

FIG.4b.

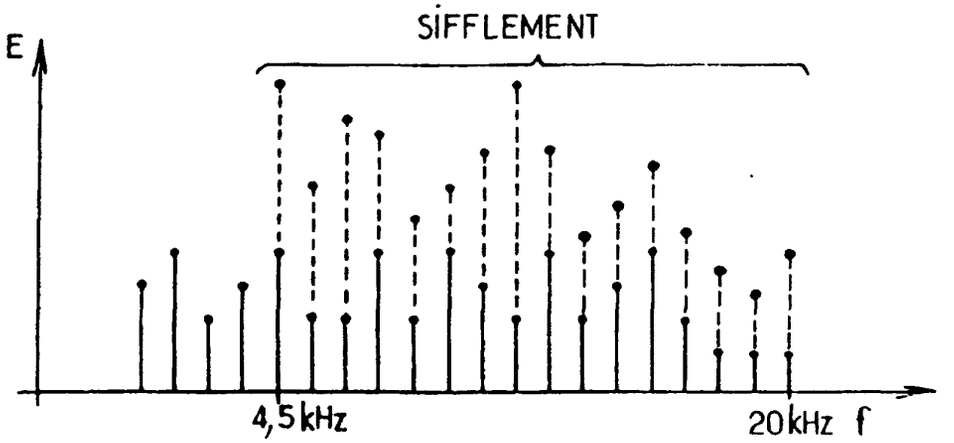

SIFFLEMENT
E
4,5kHz
20kHz
f

FIG.5a

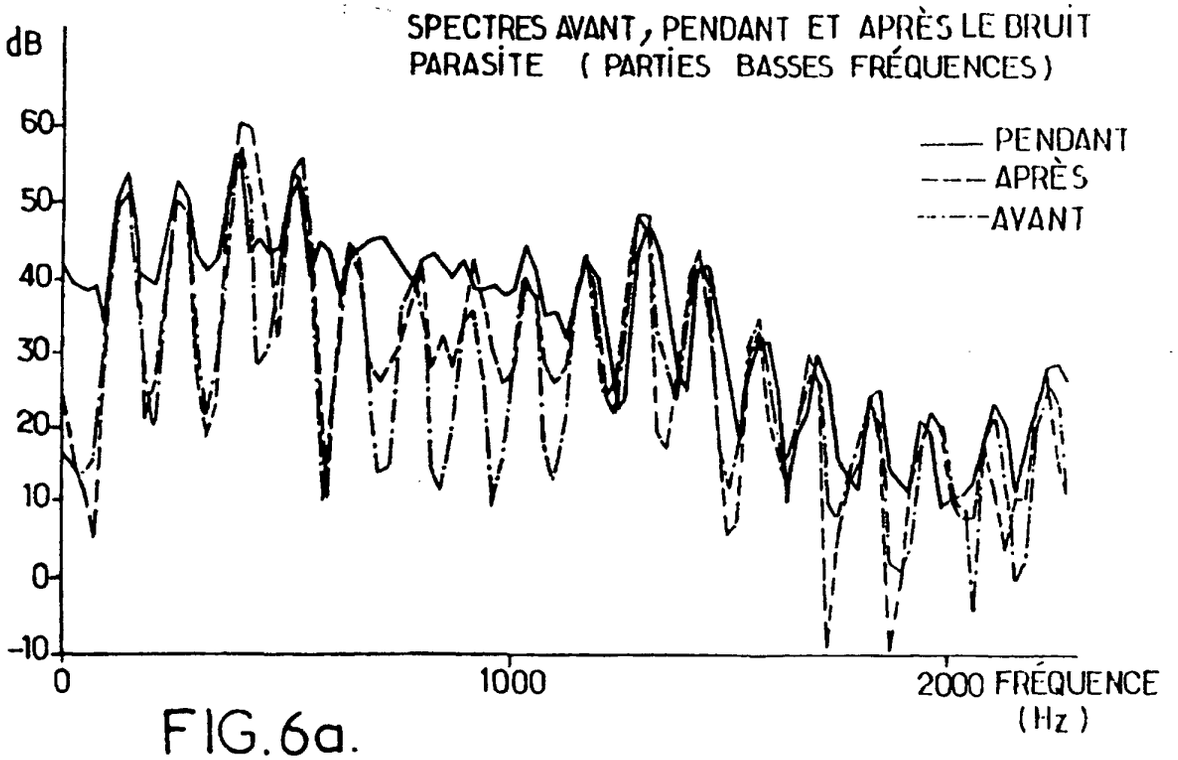
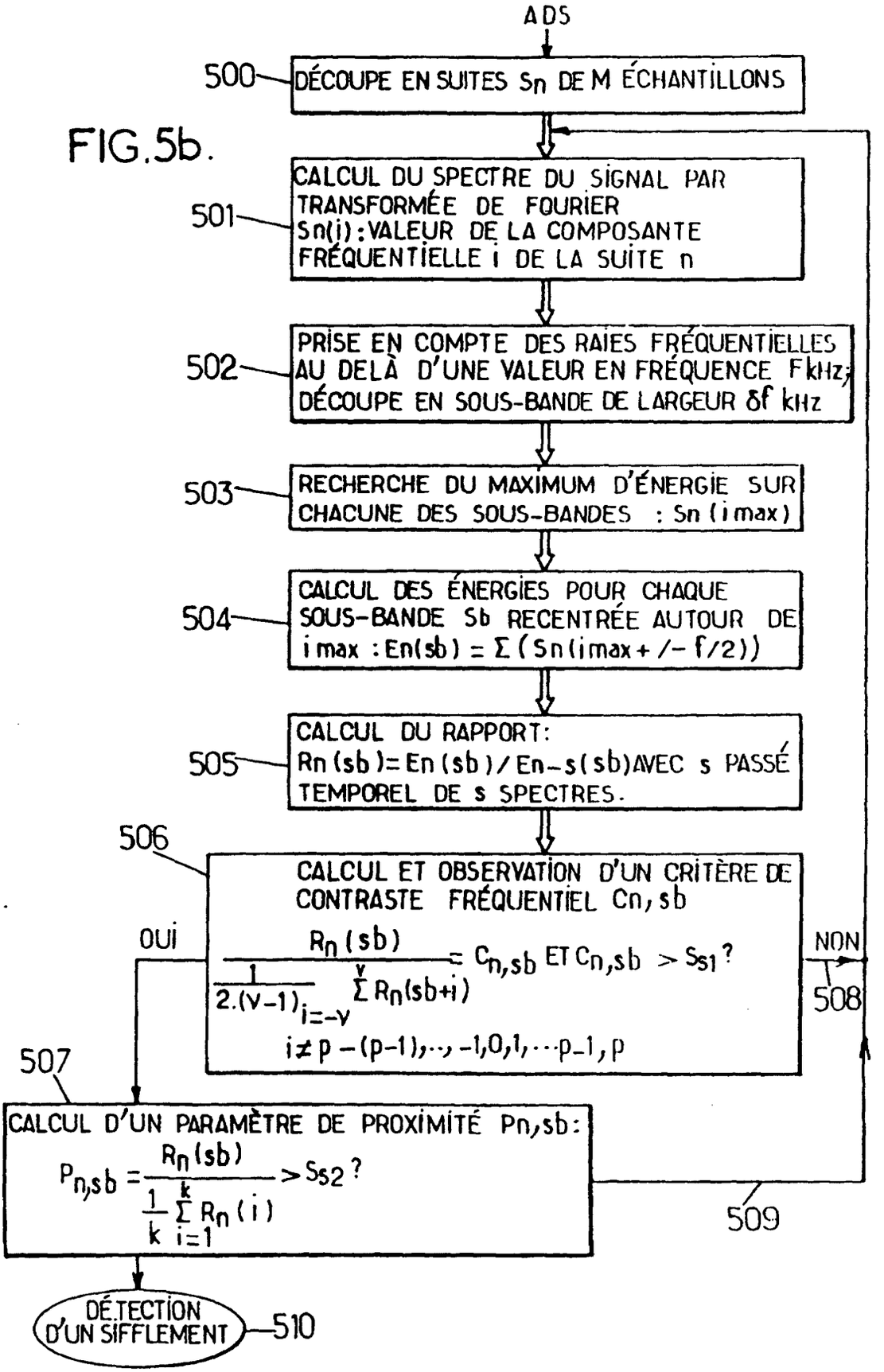

SPECTRES AVANT, PENDANT ET APRÈS LE BRUIT PARASITE (PARTIES BASSES FRÉQUENCES)
dB
60
50
40
30
20
10
0
-10
0
1000
2000 FRÉQUENCE (Hz)
PENDANT
APRÈS
AVANT

FIG.6a.

FIG.5b.


ADS
500
DÉCOUPE EN SUITES Sn DE M ÉCHANTILLONS
501
CALCUL DU SPECTRE DU SIGNAL PAR TRANSFORMÉE DE FOURIER
Sn(i): VALEUR DE LA COMPOSANTE FRÉQUENTIELLE i DE LA SUITE n
502
PRISE EN COMPTE DES RAIES FRÉQUENTIELLES AU DELÀ D'UNE VALEUR EN FRÉQUENCE F kHz;
DÉCOUPE EN SOUS-BANDE DE LARGEUR δf kHz
503
RECHERCHE DU MAXIMUM D'ÉNERGIE SUR CHACUNE DES SOUS-BANDES : Sn (imax)
504
CALCUL DES ÉNERGIES POUR CHAQUE SOUS-BANDE Sb RECENTRÉE AUTOUR DE imax : En(sb) = Σ (Sn(imax + /- f/2))
505
CALCUL DU RAPPORT:
Rn (sb) = En (sb) / En-s(sb) AVEC s PASSÉ TEMPOREL DE s SPECTRES.
506
CALCUL ET OBSERVATION D'UN CRITÈRE DE CONTRASTE FRÉQUENTIEL Cn, sb
$\frac{R_n(sb)}{\frac{1}{2.(v-1)}\sum_{i=-v}^{v} R_n(sb+i)} = C_{n,sb}$ ET $C_{n,sb} > S_{s1}$?
$i \neq p-(p-1),\ldots,-1,0,1,\ldots p-1,p$
OUI
NON
508
507
CALCUL D'UN PARAMÈTRE DE PROXIMITÉ Pn,sb:
$P_{n,sb} = \frac{R_n(sb)}{\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} R_n(i)} > S_{s2}$?
509
DÉTECTION D'UN SIFFLEMENT
510

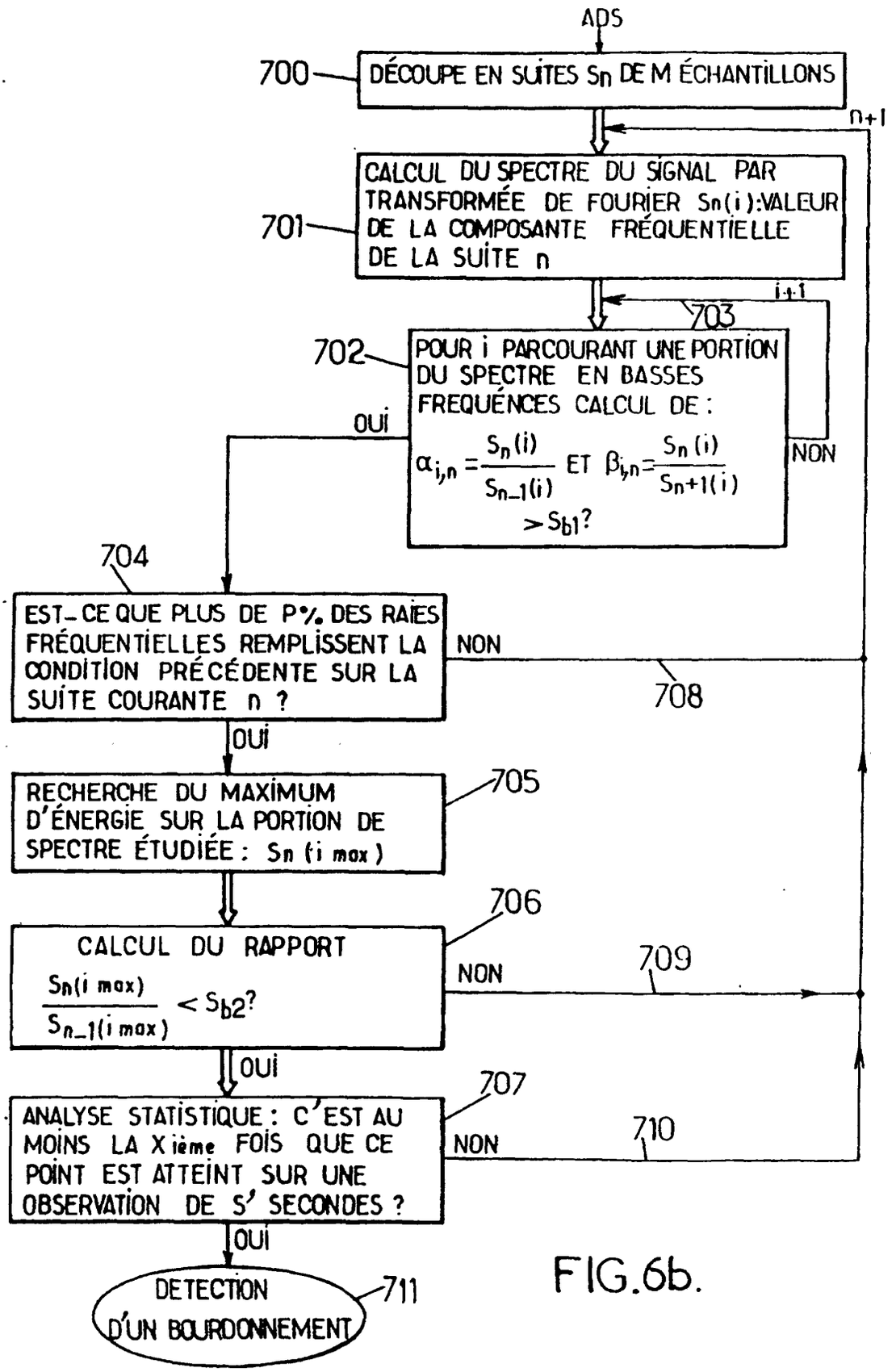

ADS
700
DÉCOUPE EN SUITES Sn DE M ÉCHANTILLONS
n+1
CALCUL DU SPECTRE DU SIGNAL PAR TRANSFORMÉE DE FOURIER Sn(i):VALEUR DE LA COMPOSANTE FRÉQUENTIELLE DE LA SUITE n
701
i+1
703
702
POUR i PARCOURANT UNE PORTION DU SPECTRE EN BASSES FREQUENCES CALCUL DE :
$\alpha_{i,n} = \frac{S_n(i)}{S_{n-1}(i)}$ ET $\beta_{i,n} = \frac{S_n(i)}{S_{n+1}(i)}$ > S_{b1}?
OUI
NON
704
EST-CE QUE PLUS DE P% DES RAIES FRÉQUENTIELLES REMPLISSENT LA CONDITION PRÉCÉDENTE SUR LA SUITE COURANTE n ?
NON
708
OUI
RECHERCHE DU MAXIMUM D'ÉNERGIE SUR LA PORTION DE SPECTRE ÉTUDIÉE : Sn (i max)
705
706
CALCUL DU RAPPORT $\frac{S_n(i\,max)}{S_{n-1}(i\,max)} < S_{b2}$?
NON
709
OUI
707
ANALYSE STATISTIQUE : C'EST AU MOINS LA X ième FOIS QUE CE POINT EST ATTEINT SUR UNE OBSERVATION DE S' SECONDES ?
NON
710
OUI
DETECTION D'UN BOURDONNEMENT
711

FIG.6b.

FIG.7.

