



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
24.05.2017 Bulletin 2017/21

(51) Int Cl.:
H04R 1/10 (2006.01) G10K 11/178 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **16195681.8**

(22) Date de dépôt: **26.10.2016**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
MA MD

(72) Inventeurs:
• **HOANG CO THUY, Vu**
75012 Paris (FR)
• **MICHAU, Marc**
75009 Paris (FR)
• **PONÇOT, Rémi**
San Francisco, CA 94110 (US)

(30) Priorité: **19.11.2015 FR 1561109**

(74) Mandataire: **Dupuis-Latour, Dominique et al**
Bardehle Pagenberg
10, boulevard Haussmann
75009 Paris (FR)

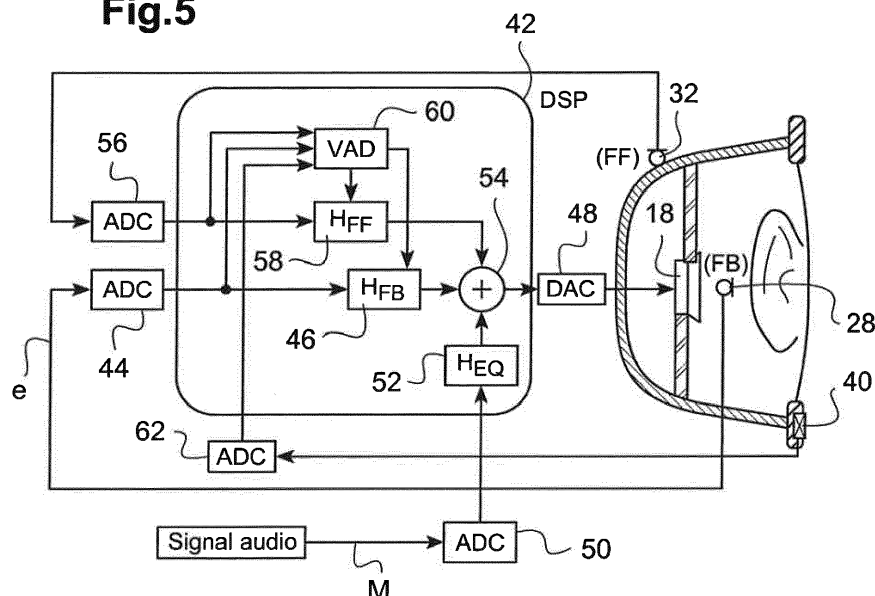
(71) Demandeur: **Parrot Drones**
75010 Paris (FR)

(54) **CASQUE AUDIO À CONTRÔLE ACTIF DE BRUIT, CONTRÔLE ANTI-OCCLUSION ET ANNULATION DE L'ATTÉNUATION PASSIVE, EN FONCTION DE LA PRÉSENCE OU DE L'ABSENCE D'UNE ACTIVITÉ VOCALE DE L'UTILISATEUR DE CASQUE**

(57) Le casque comporte un contrôle actif de bruit avec un microphone interne (28) et un microphone externe (32). Un processeur (42) comprend une branche *feedback* (46), ajustée de manière à atténuer les basses fréquences correspondant à une composante d'un signal de voix transmise par conduction osseuse, et une branche *feedforward* (58) ajustée de manière à compenser l'atténuation introduite par le filtrage *feedback* et l'atté-

nuation acoustique passive introduite entre l'extérieur et l'intérieur du casque. Un détecteur d'activité vocale (60) opère une commutation dynamique entre deux couples (H_{FB} , H_{FF}) de fonctions de transfert différentes appliquées aux filtres *feedback* (46) et *feedforward* (58). Ceci permet de restituer de la manière la plus naturelle à l'utilisateur tous les sons extérieurs, y compris sa propre voix.

Fig.5



Description

[0001] L'invention concerne un ensemble de type "micro-casque", comprenant un casque audio muni d'un système de "contrôle actif de bruit", combiné avec un ensemble microphonique apte à capter la voix du porteur du casque. Le casque audio comprend généralement deux écouteurs réunis par un arceau. Chaque écouteur comprend une coque fermée, logeant un transducteur de reproduction sonore et destinée à être appliquée autour de l'oreille de l'utilisateur avec interposition d'un coussinet circumaural isolant l'oreille de l'environnement sonore extérieur.

[0002] Il existe également des écouteurs de type dit "intra-auriculaire" avec un élément à placer dans le conduit auditif et ne comportant donc pas de coussinet entourant ou recouvrant l'oreille, ou encore "intra-conque", où cet élément débordant dans le creux du pavillon de l'oreille au-delà du conduit auditif.

[0003] Dans la suite, on fera principalement référence à des écouteurs de type "casque" avec un transducteur logé dans une coque entourant l'oreille (casque "circum-aural") ou en appui sur celle-ci (casque "supra-aural"), mais cet exemple ne doit pas être considéré comme limitatif, l'invention pouvant être aussi bien appliquée, comme on le comprendra, à des écouteurs de type "intra-auriculaire", "intra-conque" ou analogues.

[0004] Dans tous les cas, le casque peut être utilisé pour l'écoute d'une source audio (musique par exemple) provenant d'un appareil tel qu'un lecteur MP3, radio, *smartphone*, etc. auquel il est relié par une liaison filaire ou bien par une liaison sans fil, notamment une liaison de type *Bluetooth* (marque déposée).

[0005] Grâce à l'ensemble microphonique, il est également possible d'utiliser ce casque pour des fonctions de communication telles que des fonctions de téléphonie "mains libres", en complément de l'écoute de la source audio. Le transducteur du casque reproduit alors la voix du locuteur distant avec lequel le porteur du casque est en conversation.

[0006] Un tel ensemble combiné micro-casque est par exemple décrit dans les EP 2 518 724 A1, EP 2 930 942 A1 et EP 2 945 399 A1 (tous trois au nom de Parrot).

[0007] Lorsque le casque est utilisé dans un environnement bruyant (métro, rue passante, train, avion, etc.) le porteur est partiellement protégé du bruit par les écouteurs du casque, qui l'isolent grâce à la coque fermée et au coussinet circumaural. En effet, de par sa structure mécanique le casque atténue de manière passive le niveau du bruit ambiant comme un filtre passe-bas, atténuant plus fortement les hautes fréquences. Le niveau d'atténuation est directement lié aux paramètres mécaniques du casque, essentiellement sa masse et sa raideur. Des documents tels que les EP 0 414 479 A2 et US 8 358 799 B1 décrivent diverses techniques d'optimisation de cette fonction de filtrage passif.

[0008] Toutefois, cette protection purement passive n'est que partielle, une partie des sons, notamment dans la partie basse du spectre de fréquences, pouvant être transmis jusqu'à l'oreille au travers de la coque des écouteurs, ou encore via la boîte crânienne du porteur.

[0009] C'est pour cette raison qu'ont été développées des techniques dites de "contrôle actif de bruit" ou ANC (*Active Noise Control*), dont le principe consiste à capter la composante de bruit incidente et à superposer, temporellement et spatialement, à cette composante de bruit une onde acoustique qui est idéalement la copie inversée de l'onde de pression de la composante de bruit. Il s'agit de créer de cette manière une interférence destructive avec la composante de bruit et réduire, idéalement neutraliser, les variations de pression de l'onde acoustique parasite.

[0010] Le EP 2 597 889 A1 (Parrot) décrit un casque muni d'un tel système ANC combinant des filtrages de type *feedback*, en boucle fermée, et *feed-forward*, en boucle ouverte. La voie de filtrage *feedback* reçoit un signal recueilli par un microphone disposé à l'intérieur de la coque de l'écouteur à proximité de l'oreille, captant le son produit par le transducteur et le bruit résiduel, non neutralisé, encore perceptible dans la cavité de l'écouteur. La voie de filtrage *feedforward* utilise le signal capté par un microphone externe recueillant le bruit parasite régnant dans l'environnement immédiat du porteur du casque. Enfin, une troisième voie de filtrage traite le signal audio issu de la source musicale à reproduire. Les signaux de sortie des trois voies de filtrage sont combinés et appliqués au transducteur pour reproduire le signal de la source musicale associé à un signal de suppression du bruit environnant (le signal du microphone interne, duquel est soustrait le signal audio de la source musicale, constituant un signal d'erreur pour la boucle de rétroaction du système ANC).

[0011] Mais dans certaines situations l'atténuation du bruit environnant par le système ANC peut être gênante, rendant alors l'utilisation du casque inadaptée :

- ainsi, l'utilisateur souhaite parfois percevoir de manière naturelle sa propre voix : par exemple, lorsque le casque offre une fonctionnalité de téléphonie "mains libres", le porteur du casque souhaite pouvoir converser avec le locuteur distant, ou avec une personne physiquement présente près de lui, en percevant sa propre voix de la même manière que s'il ne portait pas de casque ;
- dans d'autres situations, l'utilisateur souhaite percevoir parfaitement son environnement, afin d'entendre par exemple la circulation automobile, évaluer la distance des véhicules ou entendre un signal d'alarme, un message diffusé par le conducteur d'un transport en commun, etc.

[0012] Ces deux phénomènes sont propres aux casques de type isolant ou "fermé". En effet, on distingue les casques

dits "fermés" des casques dits "ouverts" par le fait que les premiers possèdent une cavité arrière fermée totalement (ou partiellement, en cas de présence d'un événement), créant alors un certain niveau d'isolation, tandis que les seconds ne présentent qu'une impédance très faible à l'arrière du transducteur. Les casques ouverts n'ont qu'une faible isolation et de ce fait ne créent que peu d'occlusion. Mais du fait de leur caractère peu isolant, ils sont rarement utilisés de manière nomade, mais le sont plutôt comme casque haute-fidélité de salon ou comme casque de studio ; de plus, le transducteur radie vers l'extérieur une partie du son qui est reproduit, et ce son peut être entendu et perçu comme gênant par l'entourage.

[0013] Concernant le premier inconvénient précité, à savoir la perception de sa propre voix par l'utilisateur, lorsqu'une personne émet une composante de parole une vibration se propage depuis les cordes vocales jusqu'au pharynx et à la cavité bucco-nasale, où elle est modulée, amplifiée et articulée. La bouche, le voile du palais, le pharynx, les sinus et les fosses nasales servent de caisse de résonance à ce son et, leurs parois étant élastiques, elles vibrent à leur tour et ces vibrations sont transmises par conduction osseuse interne directement jusqu'à l'oreille du sujet.

[0014] En l'absence de casque, lorsque l'oreille n'est pas obstruée, les sons de voix transmis par conduction osseuse au canal auditif sont très faiblement perçus, car ils sont évacués vers l'extérieur de l'oreille, qui présente l'impédance acoustique la plus faible par rapport à celle de la membrane tympanique.

[0015] En revanche, lorsqu'un casque est porté, ce casque obstrue totalement ou partiellement le canal auditif, c'est-à-dire qu'il introduit une impédance acoustique importante à l'extrémité externe du canal auditif : cette impédance entraîne la mise en résonance au sein du canal auditif des sons transmis par conduction osseuse, et ainsi une amplification de la partie basse fréquence du signal de voix par rapport à une situation où le conduit auditif est ouvert, avec une élévation du niveau de l'ordre de 20 dB au-dessous de 500 Hz. L'utilisateur perçoit alors sa voix de manière beaucoup plus sourde.

[0016] Ce phénomène, ci-après désigné "occlusion" affecte de manière connue les porteurs de prothèses auditives et diverses solutions ont déjà été proposées pour y remédier dans ce contexte.

[0017] Une solution passive consiste à prévoir un événement d'égalisation de la pression entre la cavité du canal auditif et l'environnement extérieur, sous la forme d'un tube traversant la prothèse auditive.

[0018] Il a été également proposé des solutions actives, par utilisation d'un microphone et d'un filtrage *feedback*, comme dans le US 2006/0120545 A1 (US 7 477 754 B2), avec éventuellement un réglage adaptatif, comme dans le WO 2006/037156 A1 (EP 1 795 045 B1) : lorsque le filtrage *feedback* est activé pour supprimer l'effet d'occlusion, la branche de filtrage *feedforward* est alors modifiée de manière à ne pas être influencée par le filtrage *feedback* introduit.

[0019] De façon générale, si ces diverses méthodes permettent de supprimer l'effet d'occlusion, elles ne permettent pas de restituer les sons extérieurs à l'utilisateur comme s'il ne portait pas de casque.

[0020] En ce qui concerne la possibilité, dans certaines circonstances, de percevoir l'environnement sonore malgré le port du casque, il a été proposé diverses techniques comme, par exemple dans le US 2009/0034748 A1, qui adaptent le niveau d'atténuation active de la branche *feedforward* en fonction d'une évaluation automatique d'événements extérieurs. Dans un mode sécurisé, le niveau d'atténuation peut être réduit par exemple suite à la détection d'un niveau de bruit extérieur dépassant un seuil prédéfini, afin de permettre à l'utilisateur de percevoir plus clairement cet environnement extérieur. Cette fonctionnalité est également proposée par le US 2010/0272284 A1 (US 8 155 334 B2) où, à la suite d'une commande de l'utilisateur, seules les fréquences situées à l'extérieur de la bande passante de la parole restent atténuées, de manière à permettre à l'utilisateur d'entendre un locuteur extérieur. Dans une mise en oeuvre plus simple, il est également possible, par appui sur un bouton, de supprimer à la fois l'atténuation active du bruit et la musique diffusée par les écouteurs pour mieux percevoir l'environnement.

[0021] Mais ces diverses techniques, si elles permettent de compenser en partie l'atténuation passive du casque, sont sans effet sur le phénomène d'occlusion.

[0022] La difficulté du problème tient au fait que les palliatifs aux deux inconvénients précités (amplification de sa propre voix par l'utilisateur et atténuation variable du bruit extérieur) donnent lieu à des solutions contradictoires s'ils sont mis en oeuvre par des méthodes statiques.

[0023] Par exemple, si l'on désire atténuer l'amplification de la propre voix de l'utilisateur, il sera typiquement nécessaire d'atténuer (via les filtres *feedback/feedforward*) d'au moins 15 dB les fréquences au-dessous de 300 Hz. Et dans ce cas, la correction jouera également sur les bruits extérieurs situés dans ces fréquences, qui sont généralement des bruits parasites que l'on souhaite éliminer (bruit de roulement de voiture ou de train), de sorte qu'en palliant l'un des phénomènes, on va dégrader l'atténuation automatique des bruits parasites.

[0024] Le US 2014/0126736 A1 (US 8 798 283 B2) propose une solution dans laquelle le filtre *feedback* utilisé dans un mode de "restitution naturelle d'ambiance" (où l'utilisateur souhaite percevoir l'environnement sonore) est le même que celui d'un mode dit "d'annulation de bruit" (où le casque opère en mode ANC conventionnel), tandis que le filtre *feedforward* est modifié par rapport au mode ANC afin d'atteindre au mieux une réponse-cible dite "d'ambiance naturelle" telle qu'elle serait sans le port du casque. Le filtre *feedback* est principalement efficace au-dessous de 1 000 Hz et atténue l'effet d'occlusion, mais également tous les bruits extérieurs. Pour compenser cela, le filtre *feedforward* réinjecte le bruit extérieur à la fois dans toute la bande des fréquences audibles (au-dessous et au-dessus de 1 kHz).

[0025] Cette solution présente toutefois deux inconvénients majeurs :

- d'une part, la présence d'un filtre *feedback* de gain élevé (généralement plus de 20 dB dans un mode d'annulation de bruit) a pour effet de produire un souffle audible important, typique des systèmes ANC, dû au bruit introduit par le système électrique du microphone, et par le convertisseur analogique/numérique dans le cas d'un système numérique. D'autre part, réinjecter le bruit extérieur via le filtre *feedforward* va nécessiter également un gain élevé dans cette branche pour compenser l'atténuation du filtre *feedback*, ce qui va introduire un souffle supplémentaire ;
- un second inconvénient tient au fait qu'en réinjectant du bruit via un filtre *feedforward* à fort gain, le système devient très sensible aux effets engendrés par le vent : en effet, le signal produit par le microphone externe utilisé pour le filtrage *feedforward* sera dégradé en présence de vent, car ce dernier perturbe le déplacement de la membrane du microphone, notamment dans les fréquences situées au-dessous de 1 kHz. Cette dégradation produit des effets d'autant plus importants que le filtre *feedforward* i) a un gain élevé et ii) qu'il opère sur une plage de fréquences étendue - ce qui est précisément le cas en l'espèce.

[0026] Le US 2014/0126734 A1 décrit une variante du US 2014/0126736 A1 précité, où est prévue une détection automatique de la présence ou de l'absence de parole par analyse des ondes acoustiques captées par le microphone *feedback* interne (qui, du fait d'une transmission par conduction osseuse entre le larynx et le canal auditif, recueille des pressions acoustiques accrues lorsque l'utilisateur parle). En cas de parole détectée, le système anti-occlusion est activé, avec modification des réponses des filtres *feedforward* et *feedback*. Mais les inconvénients exposés ci-dessus demeurent irrésolus.

[0027] Le but de l'invention est de remédier à ces différents inconvénients et limitations, en proposant une technique permettant, par des moyens purement électroniques et numériques, de transformer un casque de type "fermé" pour simuler un casque "ouvert" avec :

- suppression du phénomène d'occlusion lorsque l'utilisateur parle, afin qu'il perçoive sa voix de manière naturelle comme s'il ne portait pas de casque et non plus de manière sourde ; et
- suppression active, à volonté, de l'isolation passive du casque, pour que l'utilisateur dispose d'une faculté soit d'utiliser normalement son casque fermé, avec l'isolation qui l'accompagne, soit d'"ouvrir" le casque fermé, par des moyens purement électroniques et numériques en activant une fonction lui permettant de percevoir fidèlement l'environnement pour écouter un message diffusé par un haut-parleur, mieux entendre la circulation automobile, etc.

[0028] Comme on le verra, la présente invention repose sur l'utilisation d'un système de détection d'activité vocale commandant une adaptation adaptée des couples de filtres *feedback* et *feedforward* en présence ou en absence de voix détectée.

[0029] L'invention s'applique à tous les casques fermés, qu'ils soient de type "circum-aural", "supra-aural", ou aux écouteurs de type "intra-auriculaire" comprenant un contrôle actif de bruit ANC hybride, incluant à la fois une voie de filtrage *feedback* et une voie de filtrage *feedforward*.

[0030] Plus précisément, l'invention a pour objet un tel casque comprenant, de manière en elle-même connue d'après le US 2014/0126734 A1 précité, deux écouteurs comportant chacun un transducteur de reproduction sonore d'un signal audio à reproduire, ce transducteur étant logé dans une cavité acoustique d'oreille.

[0031] Ce casque comprend un système de contrôle actif de bruit avec :

- un microphone interne, placé à l'intérieur de la cavité acoustique et apte à délivrer un premier signal ;
- un microphone externe, placé à l'extérieur de la cavité acoustique et apte à délivrer un second signal, et
- un processeur numérique de signal, comprenant :

une branche *feedback* en boucle fermée, comprenant un filtre *feedback* apte à appliquer une fonction de transfert H_{FB} de filtrage *feedback* audit premier signal délivré par le microphone interne ;

une branche *feedforward* en boucle ouverte, comprenant un filtre *feedforward* apte à appliquer une fonction de transfert H_{FF} de filtrage *feedforward* audit second signal délivré par le microphone externe ; et

des moyens de mixage, recevant en entrée les signaux délivrés par la branche *feedback* en sortie du filtre *feedback* et par la branche *feedforward* en sortie du filtre *feedforward*, ainsi qu'un éventuel signal audio à reproduire, et délivrant en sortie un signal apte à piloter le transducteur.

[0032] Ce casque comprend en outre des moyens propres à opérer un contrôle anti-occlusion et d'annulation de l'atténuation passive introduite par le casque, comprenant :

- des moyens de détection d'activité vocale de l'utilisateur du casque, aptes à discriminer entre une situation de

présence et une situation d'absence d'activité vocale de l'utilisateur du casque ; et

- des moyens de commutation dynamique, sélectivement en fonction du résultat courant de la détection d'activité vocale, entre deux couples de fonctions de transfert $\{H_{FB}, H_{FF}\}$ différentes appliqués aux filtres *feedback* et *feed-forward*.

[0033] De façon caractéristique de l'invention, en l'absence d'activité vocale les paramètres de la fonction de transfert de filtrage *feedforward* appliquée au filtre *feedforward* par les moyens de commutation dynamique pour opérer ladite annulation de l'atténuation passive sont choisis de manière à procurer, dans une plage de fréquences comprise au moins entre 100 et 300 Hz, un premier gain de filtrage *feedforward* inférieur à un second gain de filtrage *feedforward* de la fonction de transfert de filtrage *feedforward* appliquée au filtre *feedforward* par les moyens de commutation dynamique pour opérer ledit contrôle anti-occlusion en présence d'activité vocale.

[0034] Inversement, en présence d'activité vocale les paramètres de la fonction de transfert de filtrage *feedback* appliquée au filtre *feedback* par les moyens de commutation dynamique pour opérer ledit contrôle anti-occlusion peuvent être choisis de manière à procurer, dans une plage de fréquences comprise au moins entre 100 et 300 Hz, un premier gain de filtrage *feedback* supérieur à un second gain de filtrage *feedback* de la fonction de transfert de filtrage *feedback* appliquée au filtre *feedback* par les moyens de commutation dynamique en l'absence d'activité vocale.

[0035] Le premier gain de filtrage *feedforward* en l'absence d'activité vocale peut être notamment d'au plus 8 dB pour les fréquences au-dessous de 1 kHz, et le second gain de filtrage *feedforward* en présence d'activité vocale peut être notamment d'au moins 10 dB dans une plage de fréquences comprises au moins entre 100 et 300 Hz.

[0036] Le premier gain de filtrage *feedback* en présence d'activité vocale peut être notamment d'au moins 15 dB dans une plage de fréquences comprises au moins entre 100 et 300 Hz, et le second gain *feedback* en l'absence d'activité vocale peut être notamment d'au plus 5 dB pour les fréquences comprises entre 200 Hz et 1 kHz.

[0037] Par ailleurs, les paramètres des fonctions de transfert de filtrage *feedforward* et *feedback* appliquées par les moyens de commutation dynamique aux filtres *feedforward* et *feedback* en l'absence d'activité vocale peuvent être choisis de manière à procurer ensemble, pour les fréquences en deçà de 1 kHz, un souffle inférieur à celui procuré par les fonctions de transfert de filtrage *feedforward* et *feedback* appliquées par les moyens de commutation dynamique en présence d'activité vocale.

[0038] En particulier, les paramètres des fonctions de transfert de filtrage *feed-forward* et *feedback* appliquées par les moyens de commutation dynamique aux filtres *feedforward* peuvent être choisis de manière à procurer ensemble, pour les fréquences en deçà de 1 kHz, une restitution finale des bruits extérieurs voisine de celle procurée par les fonctions de transfert de filtrage *feedforward* et *feedback* appliquées par les moyens de commutation dynamique en absence d'activité vocale, de manière à éviter une discontinuité audible lors d'une commutation.

[0039] Dans une forme de réalisation particulière, avantageuse, de l'invention, le filtre *feedforward* est l'un d'entre une pluralité de filtres *feedforward* préconfigurés, sélectivement commutables. Le processeur numérique de signal comprend alors en outre : des moyens d'analyse dudit premier signal (e) délivré par le microphone interne, aptes à vérifier si des caractéristiques courantes de ce premier signal vérifient ou non un ensemble de critères prédéterminés ; et des moyens de sélection, aptes à sélectionner l'un des filtres *feedforward* préconfigurés en fonction du résultat de la vérification de l'ensemble de critères effectuée par les moyens d'analyse sur les caractéristiques du premier signal.

[0040] Les caractéristiques courantes du premier signal peuvent notamment comprendre des valeurs d'énergie de ce premier signal dans une pluralité de bandes de fréquences, les critères prédéterminés comprenant une série de seuils respectifs auxquels sont comparées lesdites valeurs d'énergie.

[0041] Enfin, l'ensemble de critères prédéterminés peut comprendre en outre un critère de présence ou non d'un signal audio à reproduire. Il est alors prévu deux séries différentes desdits seuils respectifs auxquels sont comparées lesdites valeurs d'énergie, l'une ou l'autre de ces deux séries étant sélectionnée selon qu'un signal audio à reproduire est ou non présent.

[0042] On va maintenant décrire un exemple de mise en oeuvre de l'invention, en référence aux dessins annexés où les mêmes références désignent d'une figure à l'autre des éléments identiques ou fonctionnellement semblables.

La Figure 1 illustre de façon générale un combiné micro-casque reposant sur la tête d'un utilisateur.

La Figure 2 est une représentation schématique montrant les différents signaux acoustiques et électriques ainsi que les blocs fonctionnels essentiels impliqués dans le fonctionnement d'un casque audio à contrôle actif de bruit. La Figure 3 est une coupe en élévation de l'un des écouteurs du casque selon l'invention, montrant la configuration des divers éléments mécaniques et organes électromécaniques de celui-ci.

Les Figures 4a et 4b illustrent les spectres de signal acoustique, respectivement de parole et de bruit environnant, obtenus avec et sans casque porté par l'utilisateur et en l'absence de tout traitement électronique du signal.

La Figure 5 illustre de façon schématique, sous forme de blocs fonctionnels, les principaux éléments permettant de réaliser le traitement anti-occlusion selon l'invention.

La Figure 6 est un schéma de principe illustrant la manière dont sont combinés entre eux les différents signaux

recueillis par le dispositif, ainsi que les fonctions de transfert appliquées.

Les Figures 7a et 7b illustrent des spectres de signal acoustique, respectivement de parole et de bruit environnant, captés au niveau de l'oreille du porteur du casque, avec et sans le traitement électronique selon l'invention permettant d'obtenir l'effet anti-occlusion et d'annulation de l'atténuation passive.

La Figure 8 illustre, en amplitude et en phase, le diagramme d'un filtre *feedback* mis en oeuvre par l'invention, en situation de présence de parole et en situation d'absence de parole.

La Figure 9 illustre, en amplitude et en phase, le diagramme d'un filtre *feedforward* mis en oeuvre par l'invention, en situation de présence de parole et en situation d'absence de parole.

La Figure 10 illustre de façon schématique, sous forme de blocs fonctionnels, les principaux éléments permettant, dans un perfectionnement de l'invention, d'adapter dynamiquement le traitement anti-occlusion en fonction du type et du niveau de bruit ambiant.

La Figure 11 illustre plus précisément les éléments mettant en oeuvre la fonction d'analyse du signal microphonique recueilli sur la branche *feedback* et de sélection des filtres à appliquer aux signaux traités dans la branche *feedforward*.

La Figure 12 est un organigramme décrivant le fonctionnement de la machine d'états de la fonction d'analyse et de sélection de la Figure 11.

[0043] On va maintenant décrire un exemple de mise en oeuvre de la technique de l'invention.

[0044] Sur la Figure 1, on a représenté un combiné micro-casque audio posé sur la tête de son utilisateur. Le casque comporte, de manière en elle-même classique, deux écouteurs 10, 10' réunis par un arceau de maintien 12, et chaque écouteur comprend une coque extérieure 14 venant s'appliquer sur le contour de l'oreille de l'utilisateur, avec interposition entre la coque 14 et la périphérie de l'oreille d'un coussinet souple circumaural 16 destiné à assurer une étanchéité satisfaisante, du point de vue acoustique, entre la région de l'oreille et l'environnement sonore extérieur.

[0045] Comme on l'a indiqué en introduction, cet exemple de configuration de type "casque" avec un transducteur logé dans une coque entourant l'oreille ou en appui sur celle-ci ne doit pas être considéré comme limitatif, l'invention pouvant être aussi bien appliquée à des écouteurs de type intra-auriculaire ou intra-conque comprenant un élément à placer dans le conduit auditif, donc des écouteurs dépourvus de coque et de coussin entourant ou recouvrant l'oreille.

[0046] La Figure 2 est une représentation schématique montrant les différents signaux acoustiques et électriques ainsi que les blocs fonctionnels essentiels impliqués dans le fonctionnement d'un casque audio ANC (à contrôle actif de bruit).

[0047] L'écouteur 10 enferme un transducteur de reproduction sonore 18, ci-après dénommé simplement "transducteur", porté par une cloison 20 définissant deux cavités, à savoir une cavité avant 22 du côté de l'oreille et une cavité arrière 24 du côté opposé.

[0048] La cavité avant 22 est définie par la cloison intérieure 20, la paroi 14 de l'écouteur, le coussinet 16 et la face externe de la tête de l'utilisateur dans la région de l'oreille. Cette cavité est une cavité fermée, à l'exception des inévitables fuites acoustiques dans la région de contact du coussinet 16. La cavité arrière 24 est une cavité fermée, à l'exception d'un événement acoustique 26 permettant d'obtenir un renforcement des fréquences basses dans la cavité avant 22 de l'écouteur.

[0049] Pour le contrôle actif du bruit, un microphone interne 28 est disposé au plus près du conduit auditif de l'oreille pour capter le signal acoustique dans la cavité interne 22, signal dans lequel est présente une composante de bruit résiduel qui sera perçue par l'utilisateur. La neutralisation du bruit n'étant jamais parfaite, ce microphone interne permet d'obtenir un signal d'erreur e qui est appliqué à une branche de filtrage *feedback* 30 en boucle fermée.

[0050] D'autre part, un (ou plusieurs) microphone(s) externe(s) 32 est(sont) placé(s) sur la coque des écouteurs du casque, pour capter les signaux acoustiques environnants présents à l'extérieur de l'écouteur. Le signal recueilli par le microphone externe 32 est appliqué à un étage de filtrage *feedforward* 34 du système de contrôle actif du bruit. Les signaux issus de la branche *feedback* 30 et de la branche *feedforward* 34 sont combinés en 36 pour piloter le transducteur 18.

[0051] Le transducteur 18 peut en outre recevoir un signal audio à reproduire issu d'une source musicale (baladeur, radio, etc.), ou bien un signal de voix provenant d'un locuteur distant dans une application de téléphonie. Comme ce signal subit les effets de la boucle fermée qui le distord, il devra être prétraité par une égalisation de manière à présenter la fonction de transfert désirée, déterminée par le gain de la boucle ouverte et la réponse cible sans contrôle actif.

[0052] Le casque comporte en outre un autre microphone externe 38 (Figure 1) destiné à des fonctions de communication, notamment pour assurer des fonctions de téléphonie "mains libres". Ce microphone externe additionnel 38 est destiné à capter la voix du porteur du casque, il n'intervient pas dans le contrôle actif du bruit et, dans la suite, on ne considérera comme microphone externe utilisé par le système ANC que le microphone 32 dédié au contrôle actif du bruit.

[0053] La Figure 3 illustre, en coupe, un exemple de réalisation des différents éléments mécaniques et électroacoustiques représentés schématiquement sur la Figure 2 pour l'un des écouteurs 10 (l'autre écouteur 10' étant réalisé identiquement). On y retrouve la cloison 20 divisant l'intérieur de la coque 14 en une cavité avant 22 et une cavité arrière

24 avec, montés sur cette cloison, le transducteur 18 et le microphone interne 28 porté par une grille maintenant celui-ci à proximité du conduit auditif de l'utilisateur.

[0054] Un capteur de vibrations 40 (capteur accélérométrique) est avantageusement incorporé au coussinet 16 de l'un des écouteurs du casque de manière à venir en contact avec la mâchoire de l'utilisateur à travers la matière recouvrant ce coussinet. Il joue ainsi un rôle de capteur physiologique permettant de recueillir des vibrations vocales au niveau de la joue et de la tempe, vibrations qui présentent la caractéristique d'être, par nature, très peu corrompues par le bruit environnant : en effet, en présence de bruits extérieurs, les tissus de la joue et de la tempe ne vibrent quasiment pas et ceci, quelle que soit la composition spectrale du bruit extérieur.

[0055] L'intérêt d'un tel capteur de vibrations 40 tient aussi au fait qu'il permet d'obtenir un signal dans les basses fréquences (en raison du filtrage engendré par la propagation des vibrations jusqu'à la tempe), et que ce signal est naturellement dépourvu de composante parasite de bruit, alors même que les bruits généralement rencontrés dans un environnement habituel (rue, métro, train...) sont majoritairement concentrés dans les basses fréquences.

[0056] Les Figures 4a et 4b illustrent les spectres des signaux acoustiques, respectivement de parole et de bruit environnant, recueillis au niveau de l'oreille avec et sans casque porté par l'utilisateur et en l'absence de tout traitement électronique du signal.

[0057] Plus précisément, la Figure 4a illustre le spectre d'un signal de voix de l'utilisateur, mesuré à l'emplacement de son oreille : la caractéristique en tiretés correspond à une situation où aucun casque n'est porté, et la caractéristique en trait plein à celle où un casque est porté, mais sans aucun traitement anti-occlusion selon l'invention : on note que dans les basses fréquences, jusqu'à environ 550 Hz, le signal de voix est amplifié jusqu'à +20 dB du fait du phénomène d'occlusion. Au contraire, au-delà de cette fréquence, le signal de voix est principalement transmis par voie aérienne, et il se trouve atténué de l'ordre de -15 dB par les éléments mécaniques passifs du casque.

[0058] La Figure 4b illustre les spectres d'un signal de bruit rose généré à l'extérieur du casque, et mesuré à l'emplacement de l'oreille de l'utilisateur. La caractéristique en trait plein correspond à la situation où aucun casque n'est porté, et la caractéristique en tiretés à celle où un casque est porté, mais toujours sans aucun traitement anti-atténuation selon l'invention : on note que le bruit extérieur est atténué d'environ -15 dB au-delà d'une fréquence d'environ 200 Hz.

[0059] La Figure 5 illustre de façon schématique, sous forme de blocs fonctionnels, le système de contrôle actif du bruit ANC et de traitement anti-occlusion et anti-atténuation selon l'invention. Il s'agit avantageusement d'un système ANC de type numérique, mis en oeuvre par un processeur numérique de signal (DSP) 42. On notera que, bien que ces schémas soient présentés sous forme de circuits interconnectés, la mise en oeuvre des fonctions est essentiellement logicielle, cette représentation n'étant qu'illustrative.

[0060] On retrouve la branche *feedback* dont le principe a été décrit plus haut en référence à la Figure 2, avec numérisation au moyen d'un convertisseur analogique-numérique (ci-après "ADC") 44 du signal d'erreur *e* capté par le microphone interne 28. Ce signal d'erreur numérisé est traité par un filtre 46, puis converti en analogique par un convertisseur numérique-analogique ("ci-après "DAC") 48 afin d'être restitué par le transducteur 18 dans la cavité 22 de l'écouteur 10. Le signal reproduit est éventuellement combiné à un signal audio *M* (par exemple un signal de musique, ou encore le signal de voix d'un locuteur distant lorsque la fonction de téléphonie est active) qui, après conversion éventuelle par un ADC 50 et égalisation en 52, est combiné en 54 au signal d'annulation du bruit pour conversion par le DAC 48 et reproduction par le transducteur 18.

[0061] On retrouve également la branche *feedforward* dont le principe a été décrit plus haut en référence à la Figure 2, avec numérisation au moyen d'un ADC 56 du signal capté par le microphone externe 32. Le signal numérisé est traité par un filtre 58, puis combiné en 52 au signal de la branche *feedback* et au signal audio égalisé éventuellement présent.

[0062] Le DSP 42 met par ailleurs en oeuvre un détecteur d'activité vocale (ci-après "VAD") 60 dont la fonction consiste à analyser l'activité de parole de l'utilisateur du casque sur la base des signaux numériques fournis par un capteur qui peut être :

- le microphone interne 28, et/ou
- le microphone externe 32, et/ou
- l'accéléromètre (capteur physiologique) 40.

[0063] L'analyse de l'activité vocale peut mettre en oeuvre des algorithmes de type connu, par exemple ceux décrits dans les WO 2007/099222 A1 (Parrot SA) et EP 2 772 916 A1 (Parrot SA), auxquels on pourra se référer pour de plus amples détails. Ces algorithmes délivrent en temps réel, en fonction des signaux analysés, une valeur de probabilité de présence (ou absence) de parole comprise entre 0 et 100 % pour chaque trame du signal numérique analysé. La comparaison de la valeur courante de cette probabilité à un seuil donné, prédéterminé ou dynamique, permet d'obtenir pour chaque trame une indication binaire de présence/absence de parole dans le signal recueilli.

[0064] Le détecteur d'activité vocale 60 pilote les filtres *feedback* 46 et *feedforward* 58 de manière à en modifier les caractéristiques selon que l'on est, ou non, en présence d'une activité vocale de l'utilisateur du casque, c'est-à-dire selon que celui-ci est en train de parler ou non, situation typique d'une conversation téléphonique en fonction "mains

libres" avec un interlocuteur distant, ou d'une conversation avec un interlocuteur physiquement présent à proximité.

[0065] La Figure 6 est un schéma de principe illustrant la manière dont sont combinés entre eux les différents signaux recueillis par le dispositif, ainsi que les fonctions de transfert appliquées.

[0066] Le signal capté par le microphone extérieur 32 (microphone *feedforward* FF) est formé de la combinaison des éléments suivants :

- le bruit extérieur environnant, noté B par la suite ; et
- le signal de voix de l'utilisateur transmis par voie aérienne, noté V_a .

[0067] Le signal capté par le microphone interne 28 (microphone *feedback* FB) est formé de la combinaison des éléments suivants :

- le bruit extérieur atténué passivement par les éléments mécaniques du casque, soit B^*H_{ext} , H_{ext} étant la fonction de transfert entre la source externe et le microphone interne 28 ;
- le signal de voix, dont i) une partie, notée V_c , est transmise par conduction osseuse jusqu'au canal auditif et ii) l'autre partie V_a est transmise par voie aérienne et atténuée passivement par les éléments mécaniques du casque, soit $V_a^*H_{ext}$; et
- le signal généré par le transducteur 18, combinant le signal audio M égalisé et les signaux issus des filtres *feedforward* 58 et *feedback* 46, dont on notera les fonctions de transfert respectivement H_{FF} et H_{FB} .

[0068] Par ailleurs, l'accéléromètre 40 capte sur plusieurs axes un signal A_m issu des micromouvements de la mâchoire,

[0069] De façon caractéristique, le principe de l'invention consiste à opérer un réglage différencié des filtres H_{FB} et H_{FF} en fonction de la présence ou de l'absence d'une activité vocale, de manière à en optimiser le fonctionnement.

[0070] Tout d'abord, en présence d'activité vocale, il convient d'opérer un ajustement des deux filtres *feedback* 46 et *feedforward* 58 pour :

- privilégier la réduction du niveau du signal de voix V_c transmis par conduction osseuse à un niveau tel qu'il serait entendu sans casque, en d'autres termes d'annuler V_c ; et
- dans le même temps, augmenter le niveau du signal de voix V_a transmis par voie aérienne à un niveau tel qu'il serait entendu sans casque en annulant l'atténuation passive liée aux éléments mécaniques par compensation de l'effet de H_{ext} .

[0071] On notera H_{FB1} et H_{FF1} le couple de filtres H_{FB} et H_{FF} réglés pour cette première situation.

[0072] En l'absence d'activité vocale, on cherchera en revanche à :

- privilégier l'augmentation du bruit extérieur B à un niveau tel qu'il serait perçu si l'utilisateur ne portait pas de casque, en compensant l'effet de H_{ext} par un autre couple de filtres H_{FB} et H_{FF} .

[0073] On notera H_{FB2} et H_{FF2} le couple de filtres H_{FB} et H_{FF} réglés pour cette seconde situation.

[0074] Le couple de filtres H_{FB2} et H_{FF2} devra garantir :

- un niveau de souffle acoustique inférieur à celui du couple H_{FB1} et H_{FF1} , typiquement un niveau inférieur d'au moins 10 dB ; et
- une immunité au vent meilleure que celle du couple H_{FB1} et H_{FF1} , typiquement une immunité telle que le rapport signal/bruit de vent SWNR soit amélioré d'au moins 12 dB.

[0075] On définit SWNR comme étant le rapport signal/bruit de vent ressenti par l'utilisateur ou mesuré par le microphone interne lorsqu'un mode d'anti-occlusion ou annulation de l'atténuation est activé.

[0076] L'invention repose sur la différenciation des signaux captés par le microphone interne *feedback* 28 et ceux captés par le microphone externe *feedforward* 32.

[0077] En effet, le premier est sensible à l'amplification dans les basses fréquences liées au signal de voix transmis au canal auditif par conduction osseuse, tandis que cette amplification, liée à l'occlusion du canal, n'est pas perçue par le microphone externe *feedforward* 32, qui est monté sur la partie externe du casque.

[0078] D'un point de vue mathématique, on peut écrire :

$$e = \frac{1}{1 - H_a H_{FB}} \left((H_{ext} + H_{FF} H_a) * (B + V_a) + V_c \right) + \frac{H_a}{1 - H_a H_{FB}} H_{EQ} M$$

[0079] H_a étant la fonction de transfert acoustique entre le transducteur 18 et le microphone *feedback* 28 et M étant le signal audio.

[0080] Les résultats obtenus par la mise en oeuvre de l'invention sont présentés par les flèches sur les Figures 7a et 7b, qui sont des spectres de signal acoustique, respectivement de parole et de bruit environnant, captés au niveau de l'oreille du porteur du casque, avec (en trait plein) et sans (en tiretés) le traitement électronique de l'invention permettant d'obtenir de manière optimisée l'effet anti-occlusion et d'annulation de l'atténuation passive.

[0081] Pour atténuer l'effet d'occlusion (Figure 7a), le traitement applique le couple de filtres H_{FF1} et H_{FB1} : le filtre *feedback* H_{FB1} a pour effet d'atténuer cet effet d'occlusion, et le filtre *feedforward* H_{FF1} opère i) la réinjection des basses fréquences de bruit et de voix extérieurs qui avaient été atténués par le filtre *feedback*, en plus de ii) la réinjection de ces sons dans les fréquences plus hautes, qui avaient été atténuées par les éléments mécaniques passifs du casque (Figure 7b).

[0082] Dans ce mode, c'est-à-dire dans le cas où on a détecté une présence de voix de l'utilisateur, le souffle dû au bruit électrique des microphones, ainsi que la sensibilité au vent, sont supérieurs à ce qu'ils sont dans l'autre mode, c'est-à-dire dans le cas où aucune voix d'utilisateur n'a été détectée.

[0083] En revanche, en l'absence de détection d'activité vocale de l'utilisateur, un couple de filtres H_{FB2} et H_{FF2} avec des gains plus faibles permettra de réinjecter les sons extérieurs sur toute la bande des fréquences audibles, avec l'avantage de présenter moins de souffle et moins de sensibilité au vent que pour le couple H_{FF1} et H_{FB1} .

[0084] On va maintenant décrire plus en détail les deux modes de fonctionnement alternatif, en présence ou en absence de parole détectée de l'utilisateur du casque.

[0085] On examinera en premier lieu le cas où le VAD détecte la présence de parole.

[0086] Le traitement anti-occlusion consistera alors en une annulation de l'effet d'occlusion, tel que caractérisé sur la courbe de la Figure 4a.

[0087] Pour atténuer l'augmentation des basses fréquences sur la voix du locuteur, un contrôle *feedback* est utilisé en réglant le filtre *feedback* H_{FB1} de la manière suivante :

$$H_{FB1} = H_a^{-1} \cdot \left(1 - \left(H_{ext} + \frac{V_c}{V_a} \right) \right) \quad (1)$$

[0088] La Figure 8 illustre, en amplitude et en phase, la fonction de transfert d'un tel filtre *feedback*, en trait plein.

[0089] Comme on peut le constater, le filtrage H_{FB1} applique un gain d'atténuation maximal dans les basses fréquences, dans cet exemple un gain d'atténuation d'au moins 15 dB entre 100 Hz et 300 Hz, ce qui permet d'annuler le signal de voix V_c transmis par conduction osseuse.

[0090] Le filtre H_{FB1} répond également aux contraintes générales des systèmes de type ANC de type *feedback*, c'est-à-dire qu'il alloue des marges suffisantes en gain et en phase pour que le système reste stable dans toutes les conditions d'utilisation, en prévenant ainsi tout effet d'oscillation (effet Larsen).

[0091] Afin de compenser l'atténuation des basses fréquences contenues dans le signal de bruit extérieur ambiant et améliorer la transition entre le mode avec parole présente et sans parole, un contrôle *feedforward* H_{FF1} est ajouté.

[0092] La Figure 9 illustre, en amplitude et en phase, le diagramme d'un tel filtre *feedforward*. Dans cet exemple, le *feedforward* présente un gain d'au moins 10 dB entre 100 Hz et 300 Hz.

[0093] On va maintenant décrire la situation dans laquelle le VAD ne détecte pas de présence de parole.

[0094] Le traitement anti-occlusion consiste alors uniquement en une réinjection du bruit extérieur, tel que caractérisé sur la courbe de la Figure 4b, au moyen d'un contrôle *feedforward*.

[0095] Le filtre *feedforward* H_{FF2} est réglé conformément à l'expression suivante :

$$H_{FF2} = H_a^{-1} \cdot (1 - H_{ext}) \quad (2)$$

[0096] Le diagramme en amplitude et en phase d'un tel filtre *feedforward* est illustré en tiretés sur la Figure 9. Dans cet exemple, le filtre présente un gain d'au plus 8 dB pour les fréquences en dessous de 1 kHz.

[0097] Un contrôle par un filtre *feedback* H_{FB2} est ajouté afin de rendre moins dérangeants les effets tels que ceux

produits par les mouvements du corps de l'utilisateur qui porte le casque, sa respiration, les battements de son coeur, etc.

[0098] Le filtre *feedback* H_{FB2} utilisé à cet effet est choisi spécifiquement pour le mode d'annulation de l'atténuation passive. La performance souhaitée pour ce contrôle *feedback* combiné avec le contrôle *feedforward* H_{FF2} est de diminuer d'environ 5 dB les basses fréquences (au-dessous de 1 kHz) sur la réponse mesurée par le microphone interne 28, afin de rendre plus confortable l'"expérience utilisateur" dans ce mode.

[0099] Dans l'exemple illustré, représenté sur la Figure 8 en tiretés, le gain du filtre *feedback* H_{FB2} est d'au plus 5 dB pour les fréquences comprises entre 200 Hz et 1 kHz. On notera que dans la zone comprise entre 100 Hz et 300 Hz, le gain du filtre *feedback* H_{FB2} utilisé en l'absence de parole est notablement inférieur à celui du filtre *feedback* H_{FB1} utilisé en présence de parole, ceci d'au moins 15 dB.

[0100] On va maintenant exposer un mode de réalisation particulièrement avantageux de l'invention, mettant en oeuvre un filtrage adaptatif évitant l'apparition d'un souffle perceptible gênant pour l'utilisateur.

[0101] Ainsi, le système adaptatif anti-occlusion pourra non seulement s'adapter automatiquement à une situation de présence ou d'absence de voix de l'utilisateur du casque, comme on l'a expliqué plus haut, mais également s'adapter automatiquement en fonction de la nature et du niveau du bruit ambiant.

[0102] En effet, l'application de la technique décrite ci-dessus et de l'équation donnant H_{FF} fait en sorte que plus l'atténuation passive H_{ext} du casque est importante, plus le gain appliqué dans la branche de filtrage *feedforward* devra être élevé, avec pour conséquence que le souffle, c'est-à-dire le bruit électrique intrinsèque à la chaîne de restitution, peut devenir audible lorsque l'utilisateur se trouve dans un environnement calme - alors que dans un environnement plus bruyant, le bruit acoustique extérieur masque le bruit électrique intrinsèque, et le souffle n'est pas perçu.

[0103] Pour pallier cet inconvénient, il est avantageux de compléter le filtrage *feedforward* H_{FF} , tel qu'ajusté selon l'invention, par un réglage adaptatif en fonction du bruit extérieur : si le gain requis par l'application de l'équation ci-dessus donnant H_{FF} est tel que le bruit électrique devient perceptible, alors un algorithme d'adaptation ajustera à la baisse le gain en milieu calme et rétablira ce gain dans un milieu plus bruyant, dès que le bruit acoustique extérieur sera suffisant pour masquer le bruit électrique intrinsèque de la chaîne de restitution.

[0104] La Figure 10 illustre de façon schématique, sous forme de blocs fonctionnels, les principaux éléments permettant de mettre en oeuvre ce perfectionnement visant à adapter dynamiquement le traitement anti-occlusion en fonction du type et du niveau de bruit ambiant.

[0105] Les différents éléments mis en oeuvre sont les mêmes que ceux illustrés et décrits plus haut en référence aux Figures 5 et 6, avec en outre un bloc fonctionnel supplémentaire 64 recevant en entrée le signal produit par le microphone interne 28 de la branche *feedback*, et délivrant en sortie un signal de commande au filtre *feedforward* H_{FF} 58.

[0106] Ce bloc fonctionnel 64 peut être implémenté par une programmation appropriée du DSP 42, en association avec des composants ADC et DAC à très faible délai (retard de quelques millisecondes) permettant l'utilisation de filtres numériques efficaces.

[0107] Le réglage adaptatif du filtrage *feedforward* 58 peut être très avantageusement obtenu par commutation en temps réel d'une configuration de filtrage particulière choisie parmi une pluralité de X configurations de filtrage prédéterminées implémentées au sein du bloc 58, chacun de ces X filtres permettant d'obtenir une atténuation plus ou moins forte, de manière à réduire le niveau du souffle en tant que de besoin lorsque celui-ci ne peut être masqué par le bruit extérieur environnant.

[0108] On notera que le choix d'un système numérique permet de programmer aisément un nombre élevé de filtres (à la différence d'un système analogique, où un grand nombre de composants électroniques serait nécessaire pour avoir cette équivalence), et surtout de pouvoir intégrer une intelligence algorithmique, par exemple de type machine d'états, permettant d'analyser en temps réel le signal et de commuter avec un très faible temps de réponse celui des filtres qui procurera le meilleur compromis atténuation/souffle.

[0109] On notera par ailleurs qu'il est important que le basculement entre les différents filtres sélectionnables soit opéré à partir du signal capté par le microphone interne 28, car c'est celui-ci (et non le microphone externe 32), proche de l'oreille de l'utilisateur, qui fournit au système ANC une image du bruit résiduel réellement perçu par l'utilisateur, tenant notamment compte des éventuelles fuites acoustiques entre l'intérieur et l'extérieur de la coque de l'écouteur : la commutation entre les différents filtres de la branche *feedforward* 58, visant à optimiser le compromis atténuation/souffle, dépendra ainsi du niveau et du contenu spectral à l'intérieur de la cavité avant 22 de l'écouteur du casque.

[0110] La Figure 11 illustre plus précisément les éléments mis en oeuvre par le bloc CTRL 64 pour l'analyse du signal et la sélection des filtres de la branche *feedforward* 58.

[0111] Le signal e numérisé recueilli par le microphone interne 28 est soumis à une décomposition fréquentielle par une batterie de filtres 66 (par exemple *Filtre 1* pourra être un filtre passe-bas, *Filtre 2* un filtre passe-bande, etc.) afin de calculer en 68 l'énergie Rms_i de ce signal e dans chacune de ses N composantes fréquentielles.

[0112] En particulier, dans le cadre d'un contrôle actif de bruit par un casque audio, il est très utile de pouvoir étudier la "couleur" du bruit environnant via son analyse spectrale pour distinguer diverses situations significatives : par exemple, pour une utilisation du casque dans un environnement bruyant de type transport (avion, train), le rapport entre basses et hautes fréquences est bien plus important que dans un environnement plus calme tel que dans un bureau. On peut

alors déterminer la puissance Rms_1 du signal en dessous de 100 Hz, la puissance Rms_2 du signal autour de 800 Hz, etc.

[0113] Les valeurs obtenues $Rms_1, Rms_2 \dots Rms_N$ sont appliquées à une machine d'états 70, qui compare ces valeurs d'énergie à des seuils respectifs et détermine en fonction de ces comparaisons celui des X filtres de la branche *feed-forward* 58 qui doit être sélectionné pour modifier en temps réel les coefficients de filtrage de la fonction de transfert H_{FF} du traitement anti-occlusion.

[0114] La Figure 12 illustre plus précisément la manière dont opère cette machine d'états 70.

[0115] La machine d'états décide, en fonction des niveaux courants d'énergie $Rms_1, Rms_2 \dots Rms_N$, ainsi que de la présence ou non d'un signal audio tel que de la musique (dont le signal restitué par le haut-parleur 18 est également restitué par le microphone interne 28) s'il y a lieu ou non de modifier la fonction de transfert H_{FF} telle qu'elle est à l'état initial.

[0116] La présence ou l'absence d'un signal de musique (test 72) est déduite d'un indicateur fourni par la chaîne de restitution, par exemple par une simple comparaison à un seuil du signal présent sur le chemin destiné à la musique. En présence de musique, les seuils qui seront utilisés ensuite sont ajustés à des valeurs respectives différentes (blocs 74, 74'), pour tenir compte du fait que la musique joue, comme le bruit extérieur, un rôle de masquage sur la perception du souffle électrique introduit par le contrôle anti-occlusion et d'annulation de l'atténuation passive.

[0117] Si les niveaux courants d'énergie $Rms_1, Rms_2 \dots Rms_N$ sont inférieurs à des seuils respectifs prédéfinis (test 76) :

$$Rms_1 < Seuil(1,1) \ \&\& \ Rms_2 < Seuil(2,1) \ \&\& \dots \ \&\& \ Rms_N < Seuil(N,1),$$

alors l'algorithme considère que le bruit extérieur est faible, ce qui nécessite une adaptation du filtre H_{FF} (bloc 78).

[0118] Dans le cas contraire, c'est-à-dire si la condition précédente n'est pas vérifiée, une nouvelle comparaison est effectuée (test 76') :

$$Rms_1 < Seuil(1,2) \ \&\& \ Rms_2 < Seuil(2,2) \ \&\& \dots \ \&\& \ Rms_N < Seuil(N,2)$$

avec des seuils plus hauts, c'est-à-dire que $Seuil(1,2) > Seuil(1,1)$, $Seuil(2,2) > Seuil(2,1) \dots Seuil(N,2) > Seuil(N,1)$.

[0119] Si ce dernier test est positif, alors le filtre H_{FF} est modifié (bloc 78'), mais avec des paramètres différents du cas précédent.

[0120] Dans la négative, l'algorithme continue de manière itérative de la même façon (test 76'', bloc 78'' etc.), avec des seuils progressivement plus élevés.

[0121] On peut ainsi déterminer X configurations de filtre H_{FF} , correspondant à autant de niveaux/types de bruit extérieur, l'algorithme choisissant le filtre H_{FF} optimal parmi les X filtres sélectionnables pour la branche *feedforward* 58, le principe étant d'appliquer un filtre *feedforward* introduisant un souffle imperceptible tout en s'approchant au plus près de la valeur de H_{FF} définie par l'équation (2) donnée plus haut.

[0122] On notera enfin que la technique de l'invention que l'on vient de décrire avec ses différentes mises en oeuvre possibles est parfaitement compatible avec d'autres techniques agissant sur les fonctions de transfert H_{FB} et/ou H_{FF} des boucles de contrôle *feedback* et *feedforward*.

[0123] On peut ainsi utiliser en complément des fonctions de débruitage (ANR) et anti-occlusion (AOC) décrites plus haut, une fonction de type "anti-plop" telle que décrite dans le EP 2 930 942 A1 précité.

[0124] Cette technique vise à neutraliser un phénomène qui se produit lors de la manipulation du casque, ou lorsque l'utilisateur marche lourdement ou court : les mouvements du casque créent alors de brusques suppressions dans la cavité avant de l'écouteur. Ces suppressions sont captées par le microphone interne et se traduisent par un pic parasite du signal d'entrée de la branche *feedback*, avec une saturation du filtre produisant en sortie par le transducteur un signal audible ou "plop", désagréable pour l'utilisateur.

[0125] Pour remédier à ce défaut, le DSP analyse concurremment le signal microphonique délivré par le microphone interne et le signal accélérométrique délivré par le capteur physiologique, de manière à commuter de façon temporaire et sélective un filtre anti-saturation prévu en amont du filtre ANC *feedback*, de manière à ramener le niveau du signal appliqué en entrée de ce filtre *feedback* à un niveau compatible avec un fonctionnement normal de ce dernier. On pourra se référer au document précité pour de plus amples détails d'implémentation.

Revendications

1. Un casque audio, comprenant deux écouteurs (10) comportant chacun un transducteur (18) de reproduction sonore d'un signal audio à reproduire, ce transducteur étant logé dans une cavité acoustique d'oreille (22), ce casque

comprenant un système de contrôle actif de bruit avec :

- un microphone interne (28), placé à l'intérieur de la cavité acoustique (22) et apte à délivrer un premier signal (e) ;
- un microphone externe (32), placé à l'extérieur de la cavité acoustique (22) et apte à délivrer un second signal, et
- un processeur numérique de signal (42), comprenant :

- une branche *feedback* en boucle fermée (30), comprenant un filtre *feedback* (46) apte à appliquer une fonction de transfert H_{FB} de filtrage *feedback* audit premier signal délivré par le microphone interne (28) ;
- une branche *feedforward* en boucle ouverte (34), comprenant un filtre *feedforward* (58) apte à appliquer une fonction de transfert H_{FF} de filtrage *feedforward* audit second signal délivré par le microphone externe (32) ; et
- des moyens de mixage (54), recevant en entrée les signaux délivrés par la branche *feedback* en sortie du filtre *feedback* (46) et par la branche *feedforward* en sortie du filtre *feedforward* (58), ainsi qu'un éventuel signal audio à reproduire (M), et délivrant en sortie un signal apte à piloter le transducteur (18),

ce casque audio comprenant en outre des moyens propres à opérer un contrôle anti-occlusion et d'annulation de l'atténuation passive introduite par le casque, comprenant :

- des moyens (60) de détection d'activité vocale de l'utilisateur du casque, aptes à discriminer entre une situation de présence et une situation d'absence d'activité vocale de l'utilisateur du casque ; et
- des moyens (60) de commutation dynamique, sélectivement en fonction du résultat courant de la détection d'activité vocale, entre deux couples de fonctions de transfert $\{H_{FB}, H_{FF}\}$ différentes appliqués aux filtres *feedback* (46) et/ou *feedforward* (58),

caractérisé en ce que :

- en l'absence d'activité vocale, les paramètres de la fonction de transfert de filtrage *feedforward* (H_{FF2}) appliquée au filtre *feedforward* (58) par les moyens de commutation dynamique pour opérer ladite annulation de l'atténuation passive sont choisis de manière à procurer, dans une plage de fréquences comprise au moins entre 100 et 300 Hz, un premier gain de filtrage *feedforward* inférieur à un second gain de filtrage *feedforward* de la fonction de transfert de filtrage *feedforward* (H_{FF1}) appliquée au filtre *feedforward* (58) par les moyens de commutation dynamique pour opérer ledit contrôle anti-occlusion en présence d'activité vocale, et
- en présence d'activité vocale, les paramètres de la fonction de transfert de filtrage *feedback* (H_{FB1}) appliquée au filtre *feedback* (46) par les moyens de commutation dynamique pour opérer ledit contrôle anti-occlusion sont choisis de manière à procurer, dans une plage de fréquences comprise au moins entre 100 et 300 Hz, un premier gain de filtrage *feedback* supérieur à un second gain de filtrage *feedback* de la fonction de transfert de filtrage *feedback* (H_{FB2}) appliquée au filtre *feedback* (46) par les moyens de commutation dynamique en l'absence d'activité vocale.

2. Le casque de la revendication 1, dans lequel ledit premier gain de filtrage *feedforward* en l'absence d'activité vocale est d'au plus 8 dB pour les fréquences au-dessous de 1 kHz.
3. Le casque de la revendication 1, dans lequel ledit second gain de filtrage *feedforward* en présence d'activité vocale est d'au moins 10 dB dans une plage de fréquences comprises au moins entre 100 et 300 Hz.
4. Le casque de la revendication 1, dans lequel ledit premier gain de filtrage *feedback* en présence d'activité vocale est d'au moins 15 dB dans une plage de fréquences comprises au moins entre 100 et 300 Hz.
5. Le casque de la revendication 1, dans lequel ledit second gain *feedback* en l'absence d'activité vocale est d'au plus 5 dB pour les fréquences comprises entre 200 Hz et 1 kHz.
6. Le casque de la revendication 1, dans lequel les paramètres des fonctions de transfert de filtrage *feedforward* (H_{FF2}) et *feedback* (H_{FB2}) appliquées par les moyens de commutation dynamique aux filtres *feedforward* (58) et *feedback* (46) en l'absence d'activité vocale sont choisis de manière à procurer ensemble, pour les fréquences en deçà de 1 kHz, un souffle inférieur à celui procuré par les fonctions de transfert de filtrage *feedforward* (H_{FF1}) et *feedback* (H_{FB1}) appliquées par les moyens de commutation dynamique en présence d'activité vocale.
7. Le casque de la revendication 6, dans lequel les paramètres des fonctions de transfert de filtrage *feedforward* (H_{FF1})

et *feedback* (H_{FB1}) appliquées par les moyens de commutation dynamique aux filtres *feedforward* (58) et *feedback* (46) en présence d'activité vocale sont choisis de manière à procurer ensemble, pour les fréquences en deçà de 1 kHz, une restitution finale des bruits extérieurs voisine de celle procurée par les fonctions de transfert de filtrage *feedforward* (H_{FF2}) et *feedback* (H_{FB2}) appliquées par les moyens de commutation dynamique en absence d'activité vocale, de manière à éviter une discontinuité audible lors d'une commutation.

8. Le casque de la revendication 1, dans lequel :

- le filtre *feedforward* (58) est l'un d'entre une pluralité de filtres *feed-forward* préconfigurés, sélectivement commutables ; et
- le processeur numérique de signal (42) comprend en outre :

des moyens (64) d'analyse dudit premier signal (e) délivré par le microphone interne (28), aptes à vérifier si des caractéristiques courantes de ce premier signal (e) vérifient ou non un ensemble de critères prédéterminés ; et

des moyens (70) de sélection, aptes à sélectionner l'un des filtres *feedforward* préconfigurés en fonction du résultat de la vérification de l'ensemble de critères effectuée par les moyens d'analyse sur les caractéristiques du premier signal (28).

9. Le casque audio de la revendication 8, dans lequel les caractéristiques courantes du premier signal comprennent des valeurs d'énergie de ce premier signal ($Rms1$, $Rms2$, ...) dans une pluralité de bandes de fréquences (*Filtre1*, *Filtre2*, ...), et les critères prédéterminés comprennent une série de seuils respectifs ($Seuil(1,1)$, $Seuil(2,1)$, ...) auxquels sont comparées lesdites valeurs d'énergie.

10. Le casque audio de la revendication 9, dans lequel :

- l'ensemble de critères prédéterminés comprend en outre un critère de présence ou non d'un signal audio (M) à reproduire ; et
- il est prévu deux séries différentes desdits seuils respectifs auxquels sont comparées lesdites valeurs d'énergie, l'une ou l'autre de ces deux séries étant sélectionnée (74, 74') selon qu'un signal audio à reproduire est ou non présent.

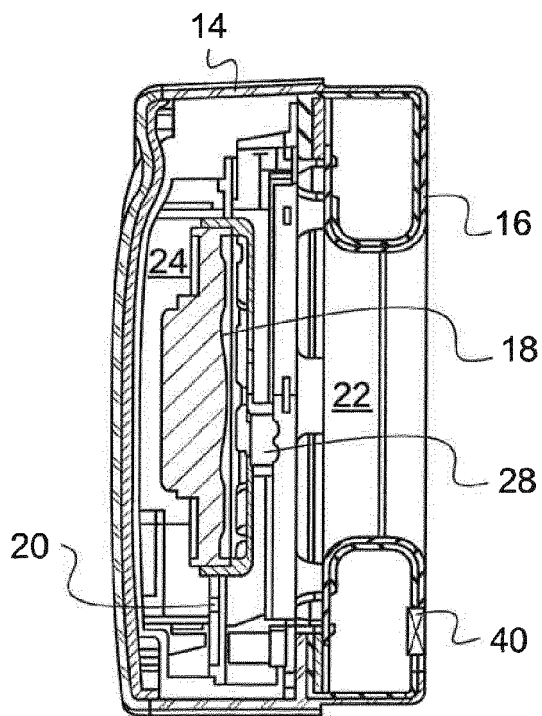
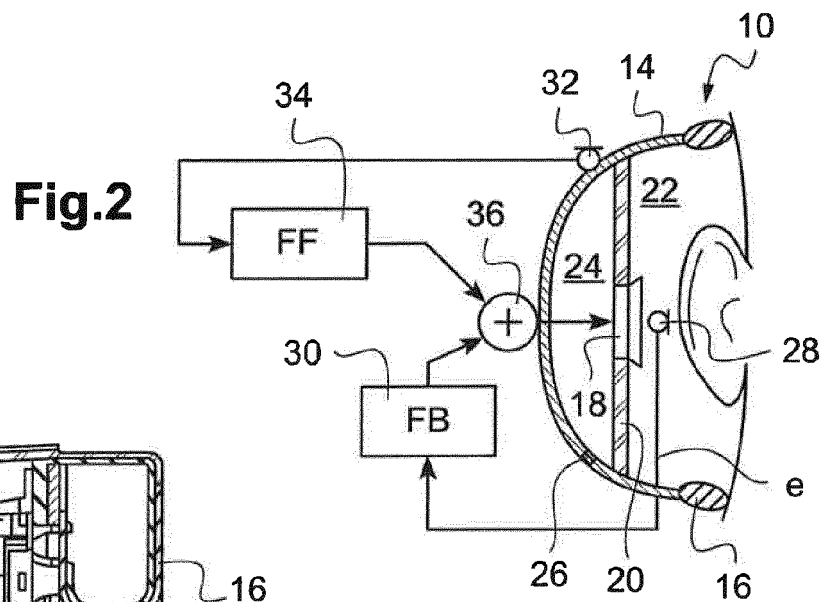
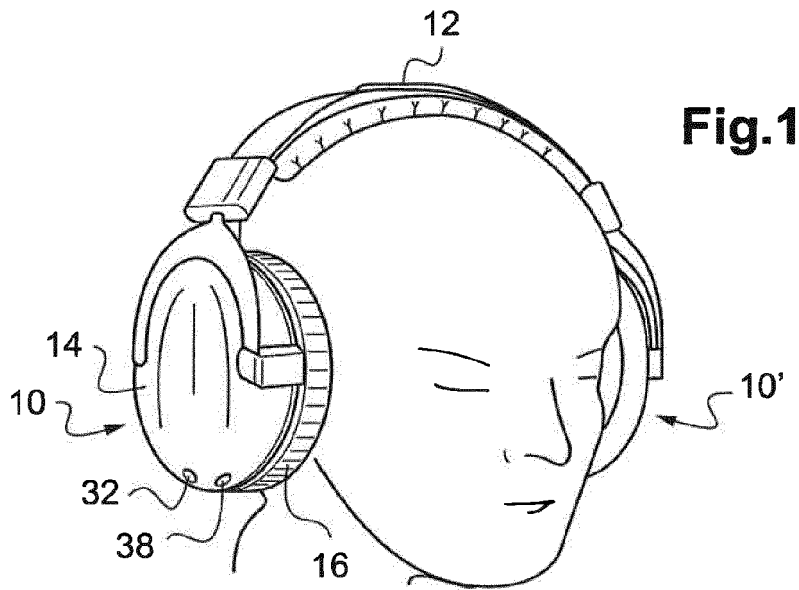
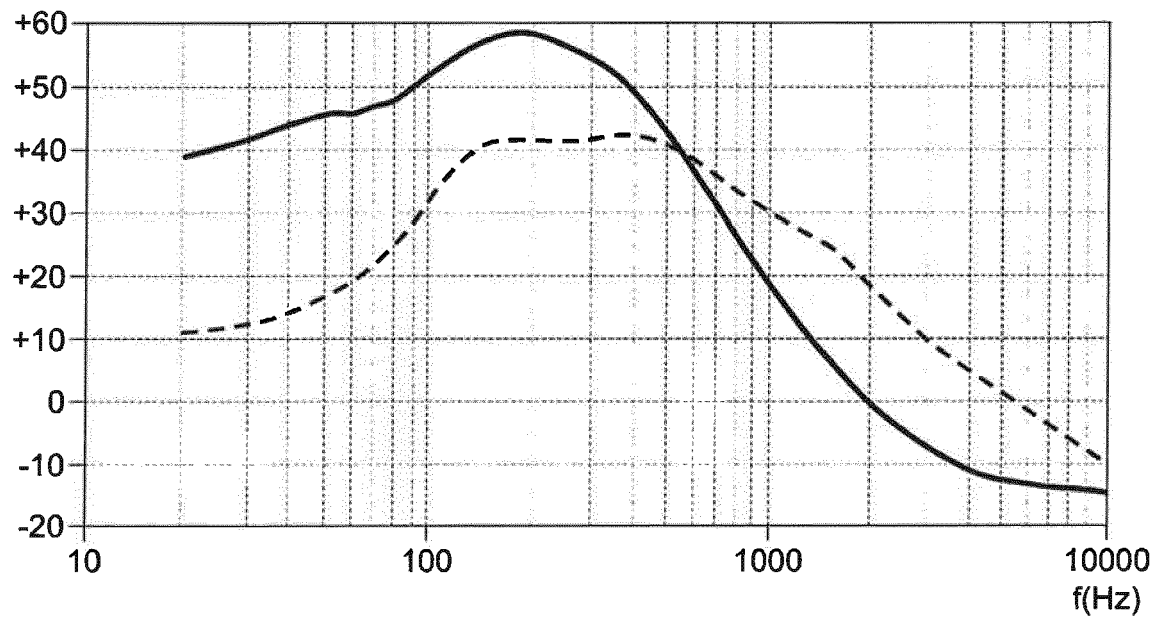


Fig.4a

Niveau de parole
RMS (dB)

**Fig.4b**

Niveau de bruit
RMS (dB)

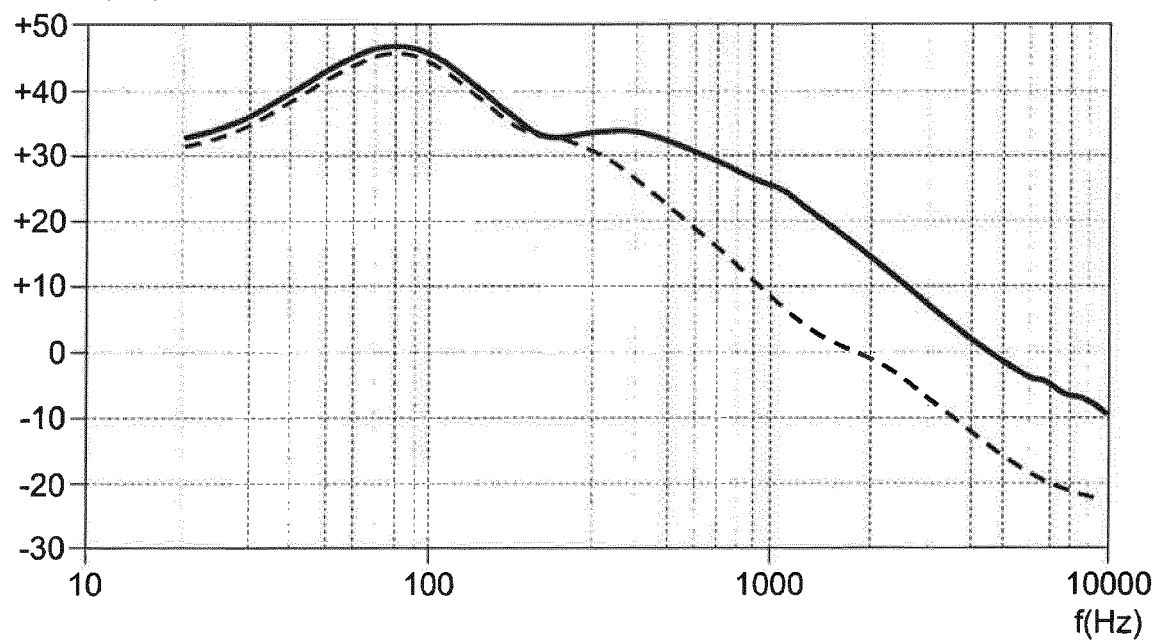


Fig.5

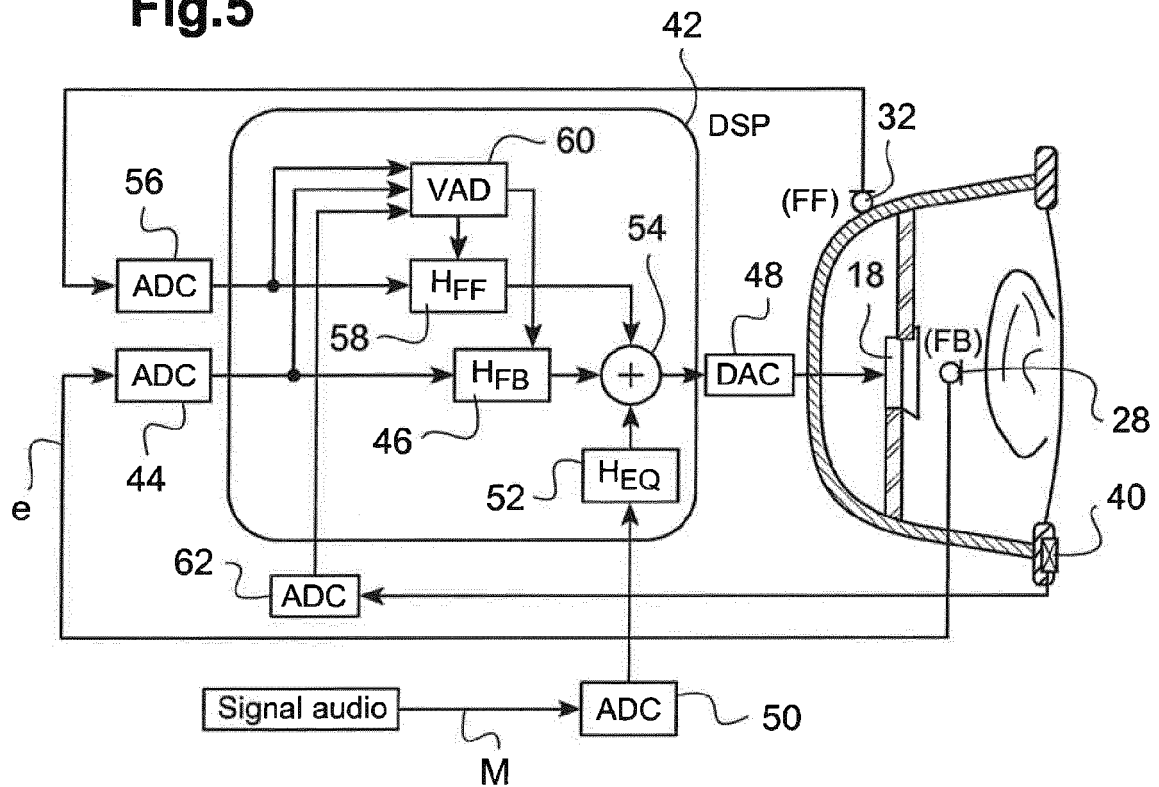
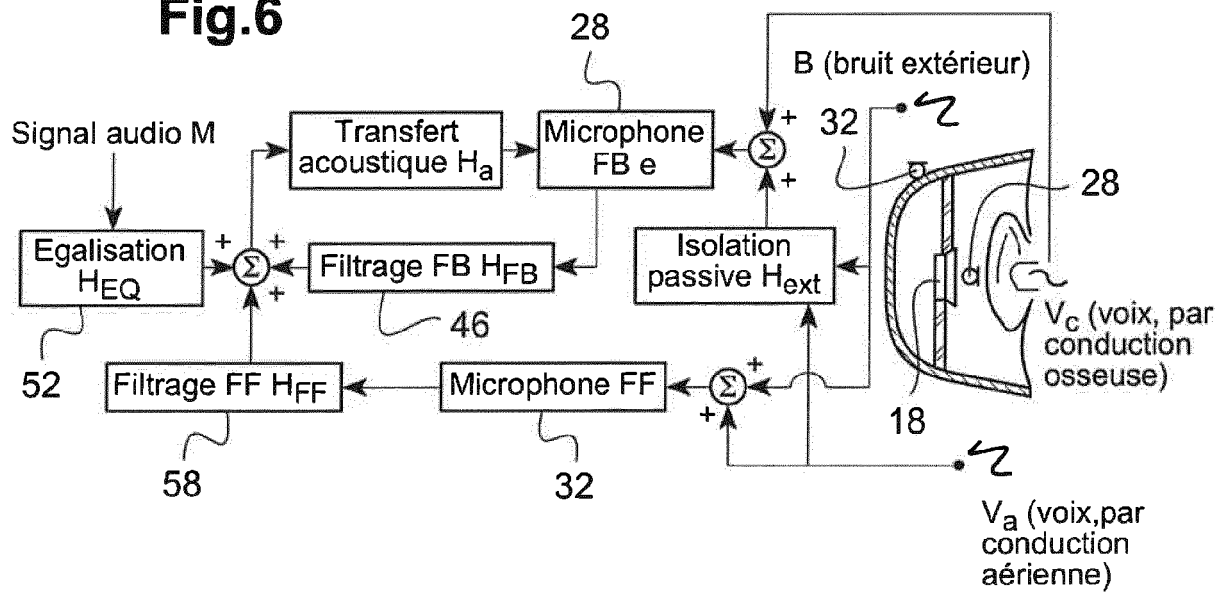
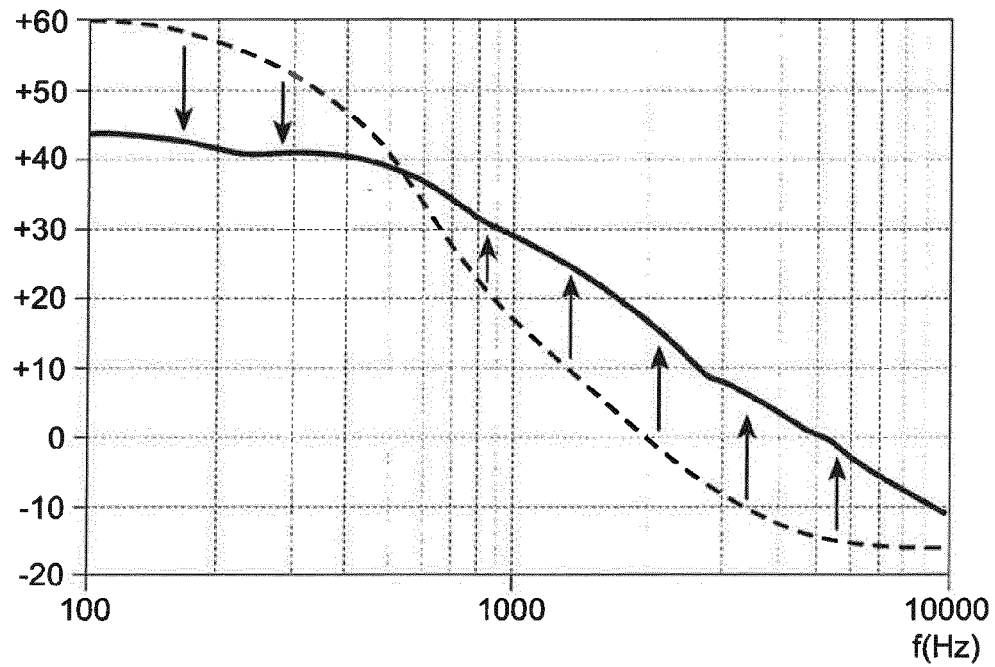


Fig.6



Niveau de parole
RMS (dB)

Fig.7a

Niveau de bruit
RMS (dB)

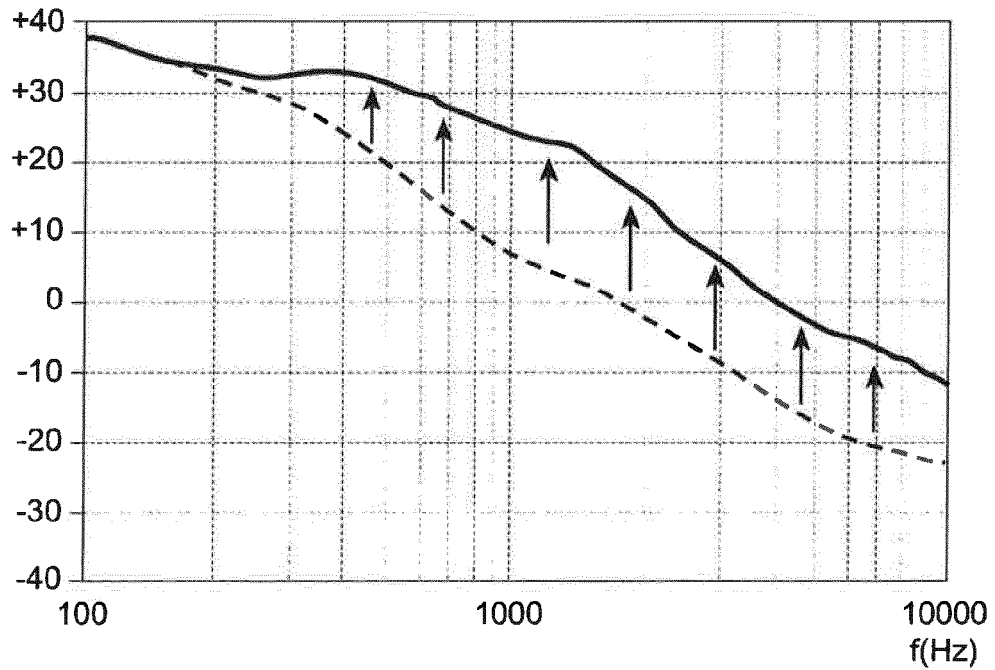
Fig.7b

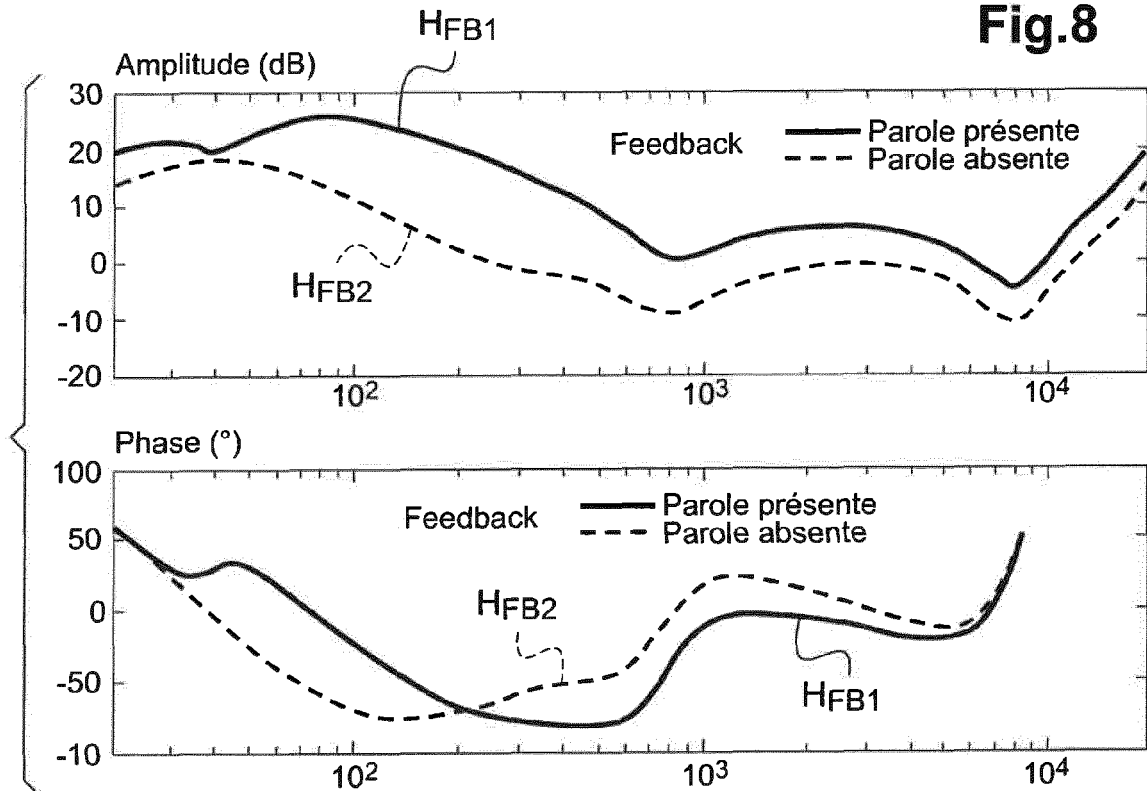
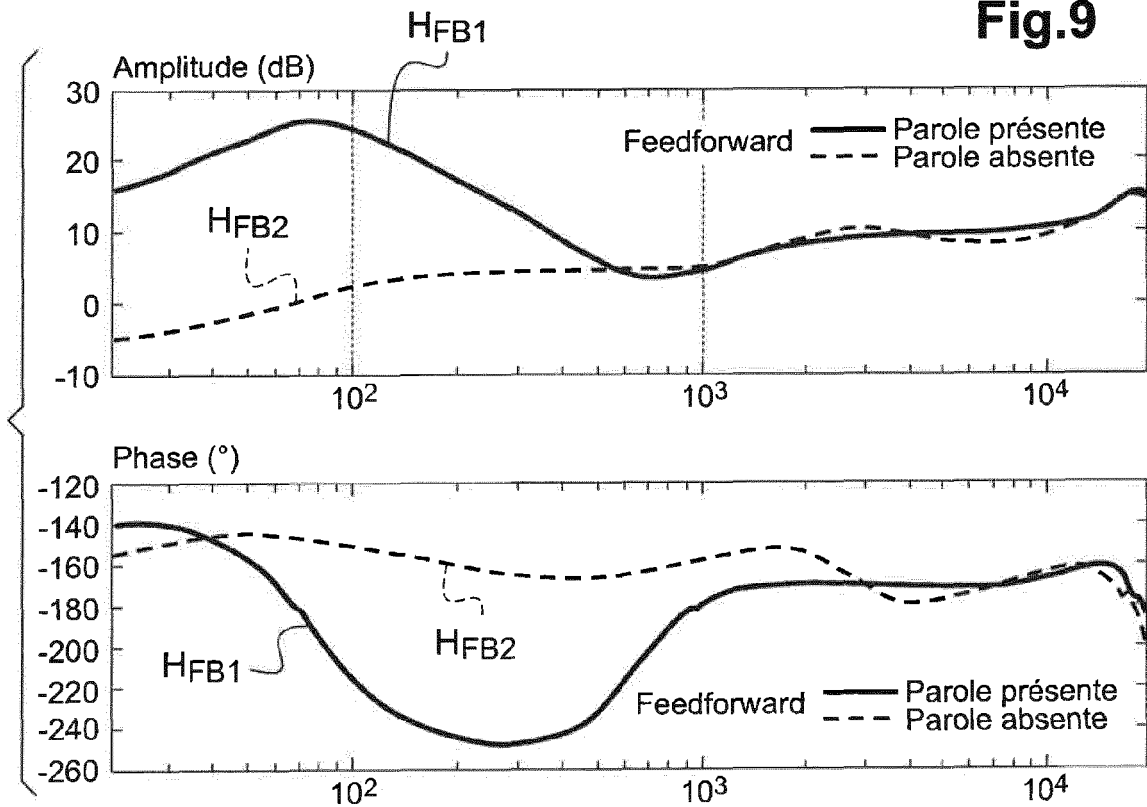
Fig.8**Fig.9**

Fig.10

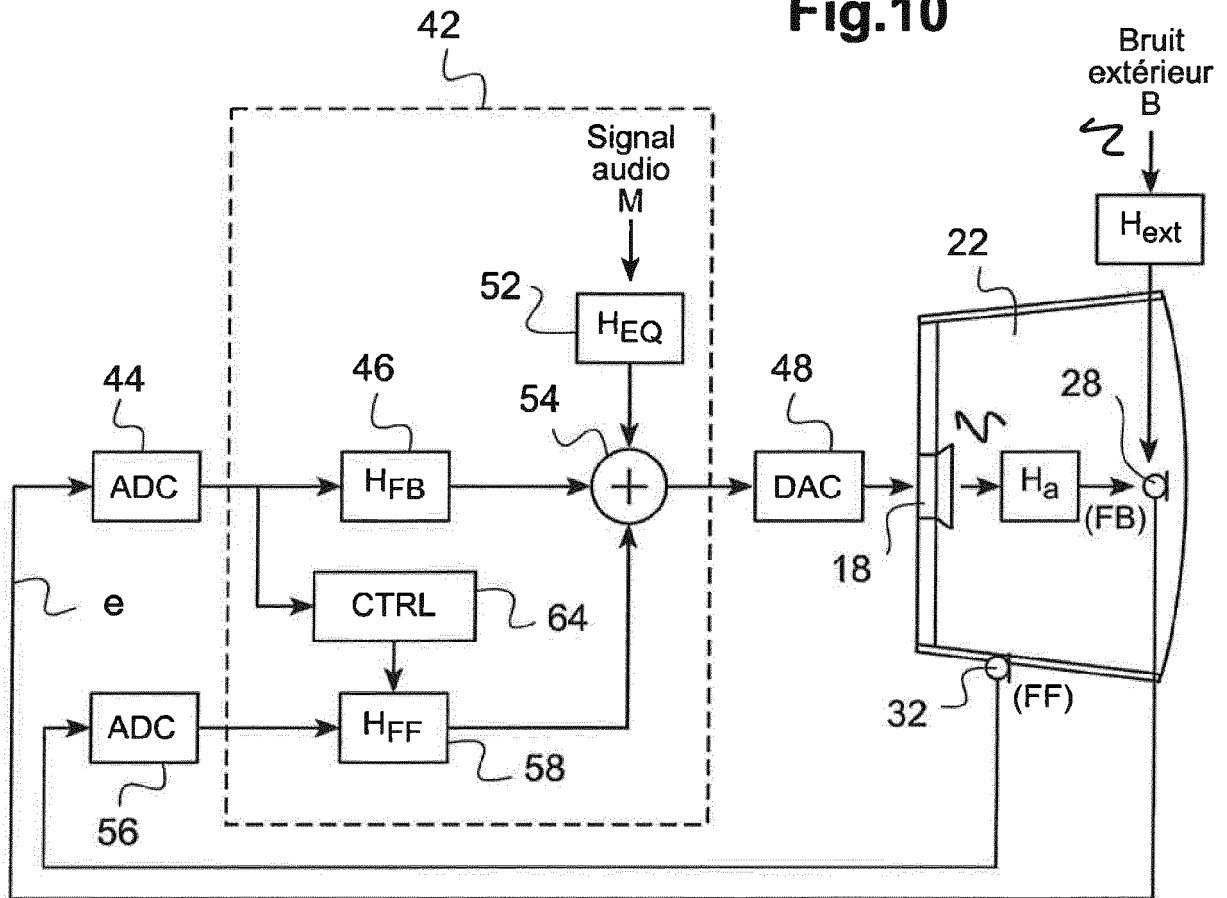


Fig.11

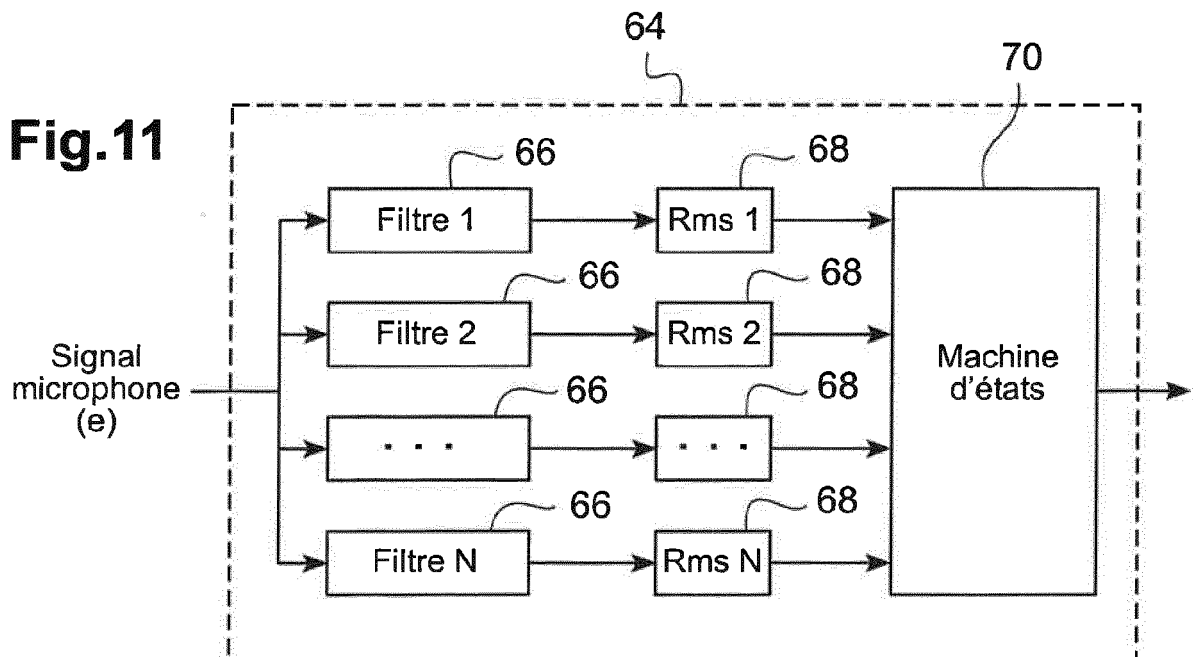
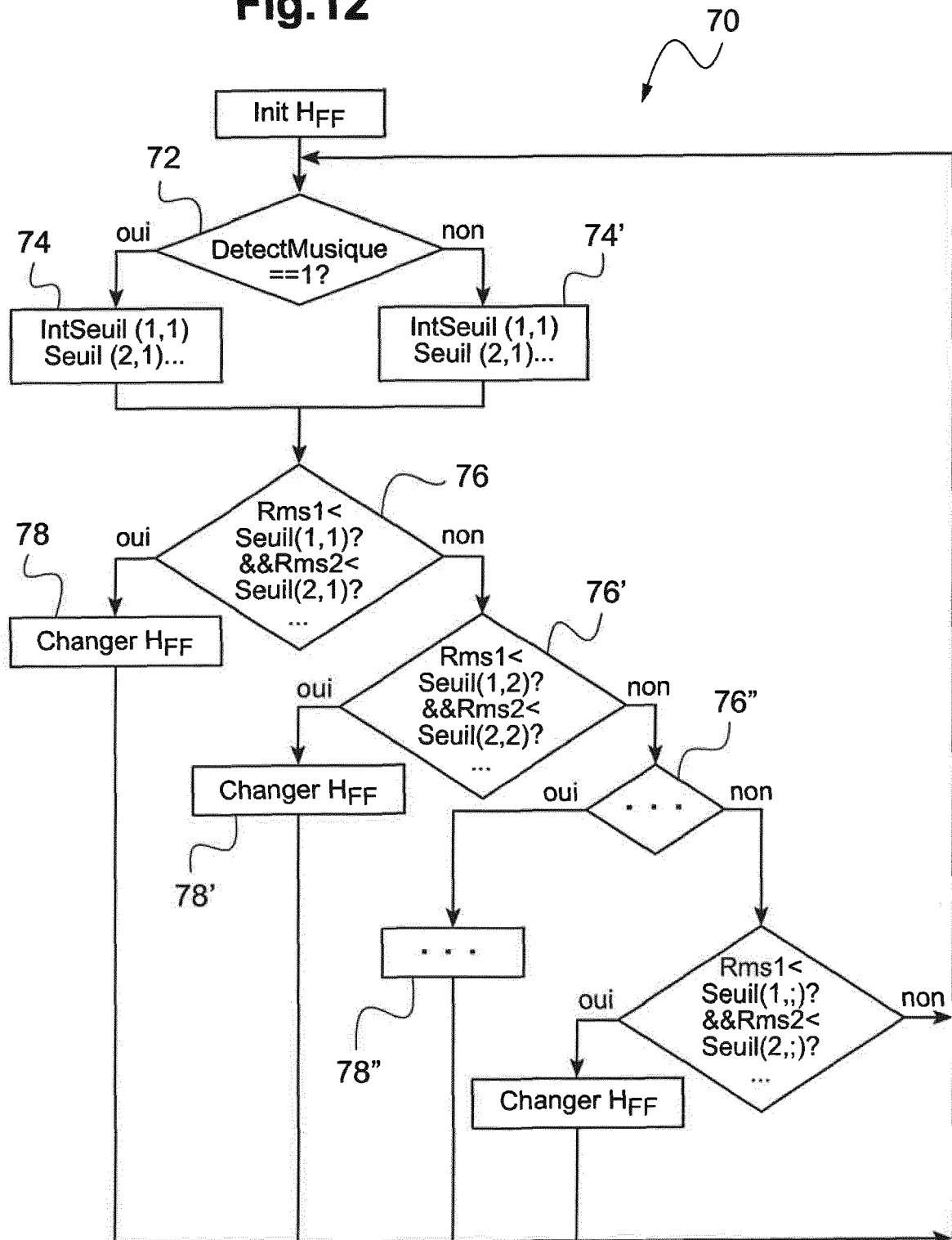


Fig.12





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 16 19 5681

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	US 2014/126734 A1 (GAUGER JR DANIEL M [US] ET AL) 8 mai 2014 (2014-05-08) * alinéas [0001] - [0012], [0023], [0036] - [0057], [0064] - [0084], [0095]; figures 1-8 *	1-10	INV. H04R1/10 ADD. G10K11/178
A,D	EP 2 930 942 A1 (PARROT [FR]) 14 octobre 2015 (2015-10-14) * alinéas [0001] - [0019], [0032] - [0059]; figures 4-9 *	1-10	
A	US 2010/260364 A1 (MERKS IVO [US]) 14 octobre 2010 (2010-10-14) * alinéas [0019], [0025], [0033]; figure 8 *	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H04R G10K
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 24 mars 2017	Examineur Joder, Cyril
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 16 19 5681

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

24-03-2017

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2014126734 A1	08-05-2014	CN 105247885 A	13-01-2016
		EP 2915339 A1	09-09-2015
		JP 2015537465 A	24-12-2015
		US 2014126734 A1	08-05-2014
		US 2014341387 A1	20-11-2014
		US 2016210958 A1	21-07-2016
		US 2016351183 A1	01-12-2016
		WO 2014070825 A1	08-05-2014

EP 2930942 A1	14-10-2015	CN 104980846 A	14-10-2015
		EP 2930942 A1	14-10-2015
		FR 3019961 A1	16-10-2015
		JP 2015204627 A	16-11-2015
		US 2015296297 A1	15-10-2015

US 2010260364 A1	14-10-2010	EP 2242289 A1	20-10-2010
		US 2010260364 A1	14-10-2010
		US 2014010397 A1	09-01-2014
		US 2016029131 A1	28-01-2016

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- EP 2518724 A1 [0006]
- EP 2930942 A1 [0006] [0123]
- EP 2945399 A1 [0006]
- EP 0414479 A2 [0007]
- US 8358799 B1 [0007]
- EP 2597889 A1, Parrot [0010]
- US 20060120545 A1 [0018]
- US 7477754 B2 [0018]
- WO 2006037156 A1 [0018]
- EP 1795045 B1 [0018]
- US 20090034748 A1 [0020]
- US 20100272284 A1 [0020]
- US 8155334 B2 [0020]
- US 20140126736 A1 [0024] [0026]
- US 8798283 B2 [0024]
- US 20140126734 A1 [0026] [0030]
- WO 2007099222 A1 [0063]
- EP 2772916 A1, Parrot SA [0063]