



Nos appareils auditifs : performances actuelles et perspectives ?

Beaucoup d'idées fausses circulent au sujet des audioprothèses. La surenchère publicitaire des fabricants utilisant des mots plus trompeurs les uns que les autres (Zoom, qualité du CD laser...) ajoutent souvent à la confusion... De quoi peut-on être sûr aujourd'hui ? Quel avenir ou progrès pour l'audioprothèse ? Essayons de faire le point avec Jacques Schlosser.

Personnellement atteint d'otospongiose dite cochléaire, j'ai vécu tous les stades de la surdité de 20 % de pertes en 74 à 85 % aujourd'hui. Ma compréhension des audioprothèses est basée sur cette expérience particulière, sur mes 28 années d'appareillage et sur mes connaissances scientifiques "de base" puisque l'électronique est loin de mes spécialités actuelles d'ingénieur (sorti de l'école des Mines de Paris en 1972, j'ai d'abord travaillé dans l'informatique puis je suis passé à la mécanique, thermomécanique et thermohydraulique).

Un appareil auditif, "type contour d'oreille" est en théorie très simple : un micro capte le son

et le transforme en signal électrique, un amplificateur ou plutôt une chaîne d'amplification l'amplifie et le transforme en signal de puissance, l'écouteur transforme finalement ce signal en onde sonore (cf. Fig. 1).

On remarquera que la qualité de l'ensemble va être en quelque sorte "plafonnée" par le composant le plus médiocre. C'est à celui-ci qu'il faudra s'attaquer en premier, si l'on veut améliorer la qualité de l'ensemble.

“Nombre de personnes appareillées depuis longtemps développent une voix nasillarde correspondant à ce qu'ils entendent avec leurs prothèses”

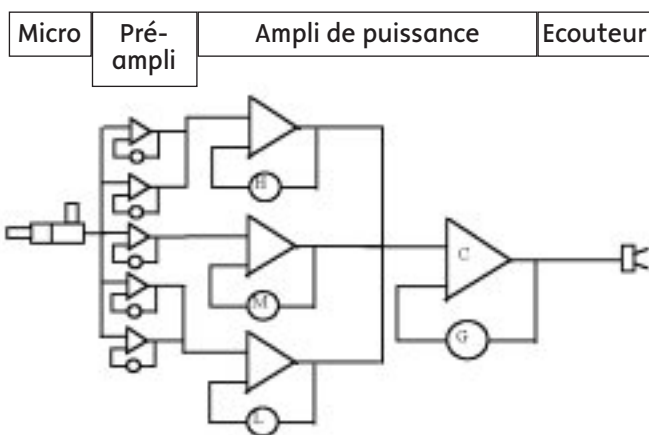


Fig. 1 : Schéma théorique d'un appareil auditif, peu ou beaucoup de réglages sont accessibles suivant qu'il s'agit d'un appareil à trimmers ou réglable par ordinateur (de gauche à droite : micro, pré-ampli, ampli, écouteur).

■ Le micro

Tous les appareils auditifs d'aujourd'hui sont équipés avec un même type de micros : les micros miniatures électret, développés au départ pour l'espionnage américain ; ils sont en quelque sorte une retombée civile des recherches militaires.

Tous les appareils auditifs sont équipés de ce même micro qui, placé à 1 ou 2 mètres de la personne qui parle, a une bonne efficacité malgré sa petite taille (la miniaturisation limite les performances). Le son est cependant "métallique et nasillard" la voix

perd une bonne partie de ses sonorités graves et chaleureuses.

Tous les petits appareils auditifs quelque soit leur marque sont équipés du même type de microphone.

Ces micros, souvent équipés de 2 entrées décalées dans l'espace, permettent de créer un effet directionnel. Dans ce cas les sons graves sont encore davantage filtrés (c'est-à-dire

diminués) tandis que l'effet directionnel est sensible et observé sur une certaine plage de fréquences. On a vu apparaître avec Phonak le double microphone qui permet d'obtenir l'effet directionnel électroniquement (en soustrayant partiellement le signal du micro arrière au signal du micro avant). Des problèmes peuvent apparaître si les 2 micros identiques au départ vieillissent différemment.

Le micro exerce un premier filtrage, il a ce qu'on appelle une bande passante limitée. Pour se rendre compte de l'effet de filtrage du micro, il faut utiliser un micro branché sur l'entrée audio de l'appareil auditif ou bien passer par l'induction magnétique, on retrouve alors une voix beaucoup plus chaleureuse (le micro portatif handmic de Phonak ne convient pas pour l'expérience car il utilise des micros identiques à ceux des prothèses).

Nombre de personnes appareillées depuis longtemps développent une voix nasillarde correspondant à ce qu'ils entendent avec leurs prothèses.

■ L'écouteur

Il est beaucoup plus difficile de se rendre compte du filtrage ou des distorsions introduits par l'écouteur puisqu'il n'existe pas de sortie audio qui permettrait 'd'écouter' le signal envoyé à l'écouteur. Là aussi, il n'y a qu'un seul type d'écouteur quelque soit la prothèse. L'écouteur de la prothèse est tout petit et a de fortes distorsions, notamment dans les graves (si bien que tout essai de transposition des aigus vers les graves est très certainement vouée à l'échec dans un contour d'oreille actuel). Une oreillette walkman a un bien meilleur rendu sur toutes les fréquences dans les graves comme dans les aigus (bien sûr la taille n'est pas la même). Certains utilisateurs retrouvent un meilleur confort en retirant leur appareil et en écoutant directement l'oreillette du kit mains libres de leur mobile ou encore le casque infrarouge de leur télévision.

L'écouteur est un des maillons faibles de la prothèse auditive, une oreillette de "walkman" grand public offre un bien meilleur rendu sur toutes les fréquences.

■ Le larsen

Le Larsen est une résonance de l'appareil auditif: le micro entend le son de l'écouteur, l'appareil l'amplifie, le micro l'entend encore davantage et on va jusqu'à la saturation. Le larsen se produit plus volontiers dans les aigus, c'est une question de demi-longueur d'onde ($L/2 \sim 0,5 \text{ m}$ à 240 Hz, 5 cm à 2400 Hz, 2,5 cm à 4800 Hz). Le larsen est toujours un problème de communication entre l'écouteur et le micro, c'est classiquement un problème d'étanchéité de l'embout dans l'oreille (par exemple quand on mange, l'embout a tendance à ressortir et le larsen apparaît) mais c'est parfois aussi un manque d'étanchéité dans l'appareil lui-même entre le micro et l'écouteur qui sont tout près l'un de l'autre (ce qui se produit notamment lorsque les caoutchoucs internes de la prothèse vieillissent), on appelle cela un larsen interne. (cf. Fig. 2)

Dans les appareils actuels 2 systèmes anti-larsen ont été développés.

- Le premier consiste par réglage à réduire le gain au pic de fréquence qui résonne (l'ordinateur recherche lui-même le pic qui résonne et le réduit). Cela conduit bien sûr à une sous correction dans les aigus et donc à une perte d'intelligibilité.
- Le second consiste à pré-programmer un signal en opposition (son négatif) dès que le signal de sortie atteint un certain niveau. Le gain en dessous n'est, en principe, pas affecté, cependant le système a tendance à prévoir une marge ce qui empiète tout de même sur l'amplification. Mauvaise surprise également l'écoute du téléphone ou d'un mobile (hors position T)

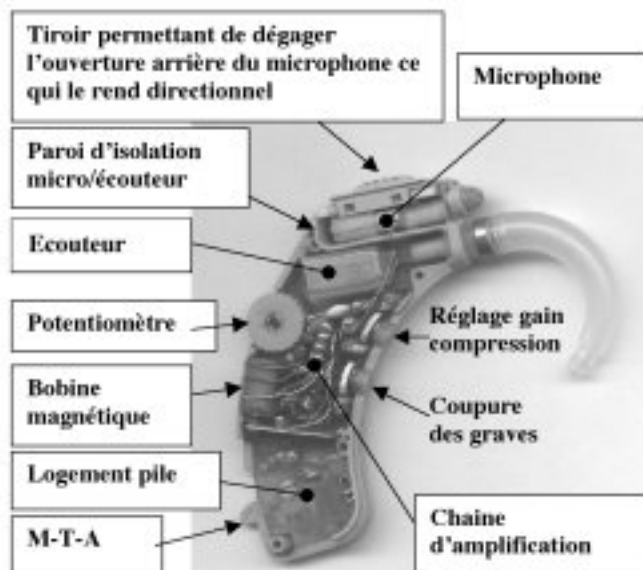


Fig. 2 : Intérieur d'un contour d'oreille des années 80 (Oticon E24 C)

peut être perturbée (la génération d'un signal en opposition coupant littéralement le son).

Il y a toujours un risque de trop négliger l'isolation interne micro-écouteur, ce qui conduit inévitablement, par sous correction, à une moindre satisfaction du consommateur.

Tous les systèmes anti-larsen actuels conduisent à des sous corrections et peuvent donc entraîner une perte d'intelligibilité.

On pourrait envisager 2 autres systèmes anti-larsen :

- Le premier consisterait à transposer en fréquence les sons, ce qui détruirait les résonances (une voix de soprano deviendrait légèrement une voix d'alto etc.) De tels systèmes de transposition existent mais à notre connaissance aucune application de ce type dans l'audioprothèse n'a encore vu le jour.
- Le second consiste tout simplement à éloigner l'écouteur du micro. Tout le monde a pu constater qu'en utilisant le micro sans fil Handymic ou le système Conversor il y a beaucoup moins ou plus du tout de larsen. S'il y avait une sortie audio écouteur il serait possible de mettre le contour d'un côté et l'écouteur de l'autre. Ce système existait par le passé sur des lunettes auditives mais n'existe plus aujourd'hui. Un espoir existe pour les malentendants avec le développement, s'il se réalise, du standard "bluetooth": micros sans fil et/ou prothèses auditives communiqueront entre eux sans fil, ce qui permettra de croiser micros et écouteurs (ce standard permettra à la fois des connexions sans fil digitales, type ordinateur avec son imprimante, mais aussi des connexions sans fil audio, type kit mains libres avec le mobile). Sans attendre ce standard un cordon reliant les 2 audioprothèses (type cordon de lunettes de presbytie) ferait très bien l'affaire, aucun constructeur ne semble

l'avoir développé car on comprend que ce n'est ni esthétique ni très pratique ! Par ailleurs le tube en plastique qui amène le son à l'oreille est source de distorsions et ce, d'autant plus que le tube est long et étroit. Lorsqu'il durcit avec le temps, il favorise le Larsen.

L'amplificateur

L'amplificateur est le cœur de nos contours d'oreille. C'est sur lui qu'ont porté les progrès des dernières années. Par souci de clarté nous distinguerons le pré ampli et l'ampli de puissance (même si les 2 sont étroitement mêlés). Dans les années 70-80 seuls existaient les appareils analogiques à trimmers, c'est à dire de petites vis qui permettaient quelques réglages, typiquement le gain global (G), le réglage des aigus (H), des médiums (M) et des basses (L) ainsi que le réglage de la compression (C) (Fig. 1). Ces trimmers sont en fait des résistances réglables qui permettent d'ajuster le gain de certains filtres-amplis, réalisant ainsi les ajustements souhaités. Pour caractériser un appareil on a l'habitude de montrer sa réponse en gain (dB) en fonction de la fréquence. Il s'agit d'une caractérisation de l'appareil qui peut se pratiquer chez l'audioprothésiste à l'aide d'un appareil appelé chaîne de mesure ; cela permet d'apprécier les différences entre les générations d'appareils.

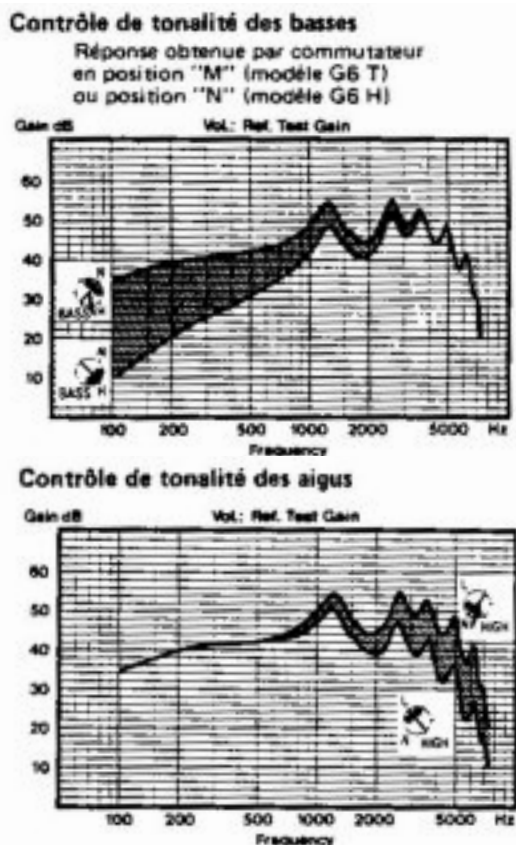


Fig. 3 : Courbes de réponse en gain du Widex G6 (années 70)

Ainsi, nous montrons fig. 3 ces réponses pour un appareil analogique des années 70 (Widex G6) et fig. 4 pour un appareil récent (Danavox Canta 7, source Web). Pour le Widex G6 on remarque les vagues (pics et creux) que l'on redonne la table 1 ci-dessous :

Fréq. (Hz)	1200	1800	2500	3000	3500	4200	5000	5500	6200	7000
Rép. (dB)	48	40	52	46	52	46	50	38	42	30

On voit que le G6 avait encore un gain substantiel de 42 dB à 6 200 Hz pour des gains maxi de 50-52 dB à 2500, 3 500 et 5 000 Hz. En comparaison, le Canta 7 est à 33 dB à 4 500 Hz pour un gain maxi de 50 dB à 2 500 Hz. On peut regretter que les appareils modernes valorisent peu les aigus qui aident à distinguer les consonnes. Avec la courbe de réponse de la figure 4 telle qu'elle est, on sera gêné pour distinguer par ex le "f" du "s" (Le Canta 7 est néanmoins un excellent appareil).

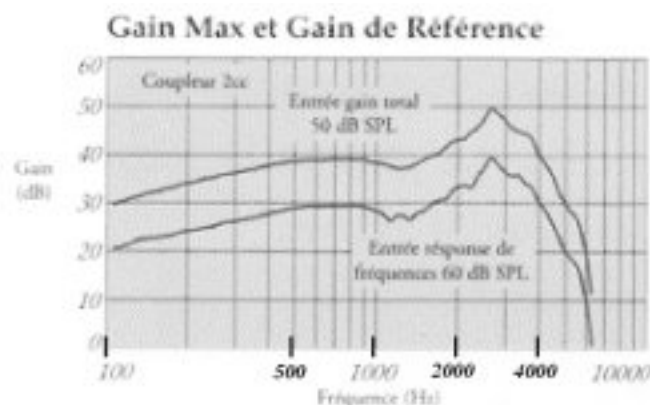


Fig. 4 : Courbe de réponse en gain du Danavox Canta 7

Il ne faut jamais oublier que l'appareil numérique d'aujourd'hui ne diffère de son cousin analogique que par le pré-ampli ; à la place on trouve un convertisseur A/D (analogique-digital) un processeur et un convertisseur D/A, Dans un appareil numérique il y a toujours un micro, un ampli analogique et un écouteur, ses performances essentielles sont donc très proches d'un appareil analogique (cf. Fig. 5). Vous avez tous vu les jeunes avec leurs compilations MP3 sur ordinateur il leur faut un bon vieil ampli de chaîne Hi-Fi pour écouter la musique sur des baffles.

Pendant alors que sur une chaîne Hi-Fi on impose que les pics et les creux soient dans une fourchette de $\pm 0,5$ dB, on atteint fréquemment sur nos appareils auditifs ± 6 dB, ce qui est beaucoup plus. C'est un défaut qui reste encore à corriger.

Un appareil numérique, en plus du processeur, contient toujours un micro, un ampli analogique et un écouteur, ses performances essentielles sont très proches d'un appareil analogique. Toutefois on peut espérer moins de distorsions avec les appareils numériques.

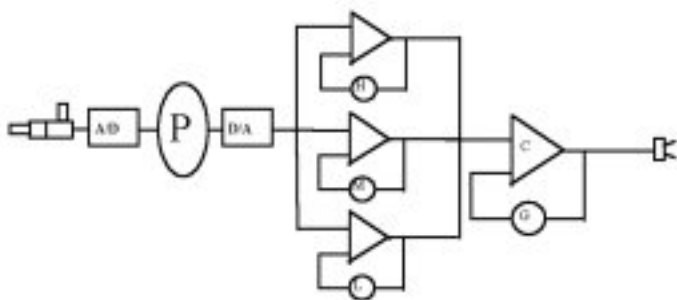


Fig. 5 : Schéma simplifié d'un appareil numérique (le processeur (P) et les convertisseurs A/D et D/A viennent en quelque sorte en remplacement du pré-ampli)

■ Entendre dans le brouhaha

Chacun sait que c'est le point faible des appareils auditifs. On connaît 2 mécanismes qui permettent à une oreille normale d'entendre dans le bruit :

- Un petit muscle de l'oreille moyenne, le muscle de l'étrier permet en se contractant de couper les sons graves, ceux qui contiennent le plus de puissance et qui sont très dangereux pour l'oreille interne. L'essentiel du message sonore qui est dans les aigus se trouve ainsi préservé (il s'agit du fameux réflexe stapédien qui lorsqu'il est absent confirme le diagnostic d'otospongiose).
- Un second mécanisme au sein de l'oreille interne vient parfaire ce premier filtrage : les cellules ciliées externes en se contractant (action volontaire du cerveau même si elle est inconsciente) permettent d'accorder les vibrations de la membrane de l'oreille interne (membrane basilaire) à la voix de la personne que l'on souhaite écouter.

Il est extrêmement facile de reproduire le premier mécanisme : il suffit de rajouter à la prothèse un interrupteur de coupure des graves (on pourra l'appeler programme bruit ou restaurant).

Le second mécanisme qui est déjà dégradé dans une oreille malade est en fait contrarié par les résonances de l'appareil auditif c'est à dire les pics et les creux de la courbe de réponse en fréquence. Si la prothèse était Hi-Fi, c'est à dire sans pics et creux, certaines oreilles de malentendants conserveraient la faculté de s'accorder sur leur interlocuteur. C'est ce qui trouble beaucoup un entendant lorsqu'il essaie une prothèse auditive dans le bruit, les bruits paraissent amplifiés et toutes les voix paraissent mélangées : il n'arrive plus à s'accorder sur un interlocuteur particulier.

Tous les systèmes des appareils numériques pour faire "émerger" la parole d'un brouhaha de voix (restaurant,

cantine) s'avèrent à l'usage courant décevants même si en laboratoire et/ou dans des conditions très précises un bénéfice peut être observé. En attendant la prothèse Hi-Fi, les seuls mécanismes efficaces pour comprendre dans le bruit sont le filtrage des graves et le micro directionnel (qui permet malgré tout de choisir l'interlocuteur à privilégier).

En attendant la prothèse Hi-Fi les seuls mécanismes efficaces pour comprendre dans le bruit sont le filtrage des graves et le micro directionnel.

Si une prothèse Hi-Fi voit le jour il sera alors possible d'imaginer un curseur permettant de créer et de 'promener' une bosse sur la réponse en fréquence pour rechercher le meilleur accord avec l'interlocuteur choisi. Comme pour les verres variables, il faut inventer des amplis variables avec possibilité pour le malentendant de se régler en temps réel sur le "timbre" de la voix qu'il veut écouter.

■ Les réglages et la compression

Dans la version analogique avec trimmers (vis de réglages) il n'y a qu'un petit nombre de possibilité de réglages (graves, mediums, aigus, gain, compression cf. Fig. 1), l'avantage cependant est que le malentendant lui-même peut rechercher avec un petit tournevis le réglage qui lui convient le mieux. Avec l'apparition du réglage sur ordinateur, il est possible, pour l'audioprothésiste, d'accéder aux réglages de l'en-

semble des filtres aussi bien dans le pré-ampli que dans l'ampli de puissance (dans le cas du numérique on l'a vu le pré-ampli est en quelque sorte remplacé par le processeur et le convertisseur digital/analogique). Chaque fabricant a son logiciel particulier qui permet de modifier, en cabine, la courbe de réponse. Grosso

modo l'audioprothésiste rentre l'audiogramme tonal du patient dans l'ordinateur, il recherche ensuite les niveaux de confort et les seuils d'inconfort pour chaque fréquence. Le logiciel détermine une cible c'est à dire une courbe de réponse conseillée pour la prothèse puis propose un réglage de la prothèse qui s'approche au mieux de la cible recherchée. Ce premier réglage n'est qu'une première approche. Idéalement, l'audioprothésiste doit pouvoir ensuite affiner ce premier réglage à partir d'un nouvel audiogramme tonal (avec la prothèse pré-réglée), et d'une recherche des nouveaux seuils de confort et d'inconfort, il retrouve la courbe de réponse réellement ressentie par le patient et peut la corriger. Cela peut se faire en plusieurs itérations. Ce type de protocole n'a rien d'un

“Malgré les progrès réalisés, nous sommes encore loin d'une qualité de son adéquate”

“scoop” et est calqué sur ce qui se fait pour les réglages d’un implant cochléaire. Mais ce travail de l’audioprothésiste serait facilité si les fabricants fournissaient un protocole d’affinage des réglages, ce qui n’est pas le cas actuellement. Un protocole de réglage pour la compréhension dans le brouhaha serait également nécessaire, davantage centré sur le vocal en prenant en compte les confusions observées entre les consonnes.

Les fabricants d’appareils ne fournissent pas de protocole d’affinage des réglages basé sur ce qu’entend vraiment le patient avec son appareil.

Une possibilité intéressante serait de fournir au patient un boîtier de réglage sans fil (semblable à un mobile). En situation réelle le patient pourrait faire apparaître sur l’écran un égaliseur et des systèmes de compression, il rechercherait, en jouant sur les paramètres, ce qui convient le mieux à la situation dans laquelle il est. Des mémoires permettraient de stocker ces réglages en leur donnant un nom (exactement comme on donne un nom à un numéro de téléphone sur un mobile). Il serait alors possible de revisiter ensuite tout cela avec son audioprothésiste.

■ Conclusion

Les malentendants ont besoin d’une qualité de son irréprochable d’autant plus que leurs oreilles sont malades et moins performantes. Or, malgré les progrès réalisés avec l’introduction des réglages par ordinateur et les technologies numériques nous sommes encore loin d’une qualité de son adéquate. Pourtant les technologies actuelles en électronique et acoustique permettraient d’obtenir pour les prothèses auditives la même qualité de son que les systèmes grand public quitte à sacrifier un peu sur la miniaturisation. Malentendants et professionnels unissons nos efforts pour préparer ensemble la prothèse Hi-Fi de demain. Il nous revient, à nous devenus sourds et malentendants d’exprimer nos besoins, nos insatisfactions, nos désirs... sur ces audioprothèses qui malgré toutes leurs lacunes nous permettent de rester intégrés dans la société... Le débat continue dans les prochains numéros, que vous soyez malentendant ou professionnel, merci de réagir à cet article par mail : surdi13@wanadoo.fr ou par lettre à l’adresse postale. ■

Fréquences : les sons suivant leurs hauteurs correspondent à différentes fréquences : les graves 100 à 750 Hz, les médiums 750 à 2000 Hz, les aigus de 2000 à 11 000 Hz. Les fréquences se mesurent en Hertz (Hz), c’est à dire en nombre de vibrations par seconde.

Plage de fréquences : il s’agit d’un intervalle de fréquence, la plage de fréquence de la parole est de 250 à 10 000 Hz.

La bande passante est la plage de fréquences sur laquelle l’appareil électronique a une réponse suffisamment conséquente. En dehors de la bande passante, la réponse est faible ou inexistante.

Les ondes sonores reçues par le micro se propagent dans l’air à la vitesse d’environ 330 m à la seconde, la longueur d’onde est la distance entre le début et la fin d’une onde. Si l’on compare le train d’ondes à un train de wagons, la longueur d’onde est la longueur de chaque wagon.

L’intensité des sons se mesure de façon relative en décibels (dB), les sons doublent en puissance tous les 3 dB. Un appareil auditif consiste à amplifier le son d’entrée d’un certain nombre de dB, on parlera du gain en dB. Le gain n’est pas le même à toutes les fréquences, il est donc possible de tracer une courbe de gain en fonction de la fréquence. Les appareils auditifs étant munis d’un système de compression le gain n’est pas le même également suivant que le son d’entrée est faible ou fort, on pourra ainsi avoir un gain max de 50 dB pour une entrée à 40 dB (soit 90 dB en sortie) et un gain max réduit à 30 dB pour un son de 90 dB en entrée (soit 120 dB en sortie).

Chaque amplificateur électronique a en fait une bande passante bien spécifique, on parle alors de filtre. Pour réaliser une amplification sur une bande large, il est nécessaire de mettre en parallèle plusieurs filtres. A chaque filtre va correspondre un pic sur la courbe de réponse en fréquences de l’appareil.



Extrait d'une publicité pertinente de Starkey sur la technologie numérique

La technologie numérique permet de convertir les sons captés en signaux informatiques ou "bits", qui peuvent être traités ou manipulés de manière extrêmement complexe [...] grâce à des formules mathématiques appelées "algorithmes" [qui] procurent au microprocesseur une formidable souplesse et une aptitude à reconnaître les "ingrédients" principaux d'un son. De la même manière qu'un égaliseur analogique dans une chaîne haute fidélité, les algorithmes divisent les signaux sonores en plusieurs bandes de fréquences. Cela permet de préserver et d'améliorer les fréquences aiguës qui contiennent les consonances primordiales pour la parole. Par exemple, de faire ressortir les composantes "S" et "C" du mot "SAC" parmi un brouhaha.

Les algorithmes peuvent également gérer le bruit grâce à sa durée. En effet, alors que l'intensité des signaux de la parole peut varier radicalement en un millième de secondes, le bruit est acoustiquement plus "stable" sur des durées plus longues.

Grâce à cette différence temporelle, le microprocesseur atténue précisément le niveau des sons continus comme par exemple, le bruit de la circulation automobile ou celui des appareils ménagers. De même, il réagit instantanément en rétablissant l'amplification nécessaire lorsque des sons d'une durée plus brève, comme ceux de la parole, sont détectés.

La même sensibilité est aussi utile dans les environnements plus calmes. Un dispositif audio appelé "expansion" enregistre tous les bruits d'ambiance, tels que ceux produits par un réfrigérateur ou un système de ventilation et les réduit automatiquement. [...]

Quelque soit la technologie numérique et son degré de sophistication, le microprocesseur ne peut pas deviner ce que vous souhaitez entendre [...]

Cette magie ne peut se faire que dans votre cerveau [...]

Votre volonté de réapprendre à entendre avec aide auditive est le facteur le plus important de votre succès.

LES RÉBUS DE MARCEL DUSSART

Aimez-vous nos rébus ? En voici de nouveaux et pour ne plus vous faire attendre, nous vous proposons les solutions dans ce même numéro... mais ne trichez pas ! Ces rébus sont fondés sur l'existence de "sosies labiaux" que tout malentendant qui se respecte connaît et reconnaît ! Mais dans la vie on parle souvent trop vite en articulant mal ce qui multiplie les confusions. Quelle chance pour le malentendant et le sourd qui ont ainsi l'occasion quotidiennement d'exercer leur esprit !

NOUVEAUX PROBLÈMES

- Il y avait des fourmis dans les chambres car il avait du souk dans les broches.
- Souffrants, les prêtes baisent la traîne pour briller.
- Il est tarifé au bourg du goulot et a été au hangar.
- Posséder la pose des pannes ne suffit pas pour être un bon madré praticien.
- Le maître chanteur tari par sa frappe et par ses habits a du cacher le monceau aux champs d'arbres.
- Raide à poil, c'est raide nu comme un fer... un fer à poils ? Misère, misère comme c'est étanche !
- L'arête du roc est tressée alors que celle de la boule semble avalée.

SOLUTIONS

- Il avait des fourmis dans les jambes car il avait du sucre dans les poches.
- Souvent les prêtres baissent la tête pour prier.
- Il est arrivé au bout du rouleau et il a été mis au rencart.
- Posséder la bosse des maths ne suffit pas pour être un bon mathématicien.
- Le maître chanteur trahi par sa femme et par ses amis a du cracher le morceau aux gendarmes.
- Être à poil, c'est être nu comme un ver... un ver à poil ? Bizarre, bizarre comme c'est étrange !
- La crête du coq est dressée alors que celle de la poule est affalée.