

# PHONAK FOCUS

News/Ideas/High Technology/Acoustics No 7, 1989

## L'embout ouvert – L'adaptation haute fidélité idéale pour les pertes auditives aiguës faibles à moyennes.

Ora Bürkli-Halevy

### Introduction

La réussite d'un appareillage dépend autant du choix correct de l'embout, que de celui de l'appareil lui-même<sup>(21)</sup>. Il ne serait en principe plus nécessaire aujourd'hui d'utiliser des événements pour contrôler la courbe de réponse dans les basses fréquences: elle peut être prévue avec plus de précision et d'efficacité, grâce aux circuits électroniques disponibles dans les appareils modernes<sup>(5)</sup>. Ce serait cependant une erreur de penser que la plus grande souplesse des réglages électroniques actuels puisse suppléer les adaptations acoustiques appropriées. Même si des résultats identiques peuvent être obtenus par des moyens électroniques, les corrections acoustiques sont subjectivement mieux acceptées<sup>(5)</sup>.

### Indications d'une adaptation à embout ouvert

L'embout idéal, pour tous ceux qui souffrent d'une perte auditive dans les aigus, et dont l'audition est normale ou quasi-normale dans les gra-

ves, est celui qui n'obture pratiquement pas le conduit auditif.

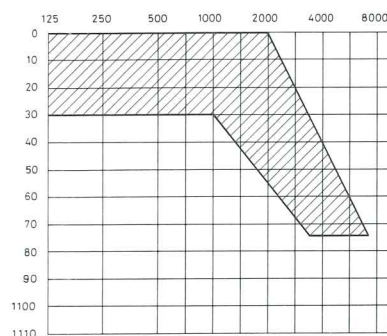
Les possibilités d'appareillages à embouts ouverts sont bien entendu étroitement liées au risque de larsen acoustique. Le gain d'insertion maximal que l'on puisse obtenir avec ce type d'adaptation est de 27 dB, en tenant compte d'une marge de sécu-

rité de 5 dB, avant l'apparition de l'effet larsen, si toutefois la profondeur d'insertion du tube n'excède pas 6 à 8 mm<sup>(12,13)</sup>.

Pour cerner avec plus de précision à quels cas de pertes auditives s'applique l'embout ouvert, l'on doit d'abord définir le gain d'insertion réellement nécessaire. La majorité des formules d'appareillages, qui se sont largement développées ces dernières années, sont basées sur la règle du "1/2 gain"<sup>(1,3,18)</sup>. Selon ce critère, les pertes allant jusqu'à environ 55 dB peuvent ainsi être corrigées. Des travaux récents montrent cependant que le gain d'insertion réellement souhaité par les utilisateurs est plus proche du "1/3 de gain"<sup>(10,14,15,16,17,19)</sup>. Ceci semble tout particulièrement vrai pour les pertes légères à pentes très marquées. La limite des pertes auditives appareillables avec un embout ouvert s'élève alors à environ 65 dB à 3000 Hz (Fig. 1). Pour de telles pertes, l'adaptation binaurale, lorsqu'elle est possible, est souhaitable afin d'obtenir un résultat optimal.

Fig. 1

*Estimation du domaine d'application des appareillages à embouts ouverts*



### Avantages de l'appareillage à embout ouvert

L'adaptation avec un embout ouvert est sensiblement plus délicate à réaliser qu'avec toute autre forme de couplage acoustique, mais les nombreux avantages qu'elle offre lèvent toutes les objections éventuelles.

**1. Suppression de l'effet d'occlusion** - Le but de l'appareillage est bien entendu d'amplifier les sons environnants, de telle sorte qu'ils soient convenablement compris. Mais il ne faut pas oublier que les sons internes (par exemple: sa propre voix, les bruits de mastication,...) sont également amplifiés par l'appareil. Lorsque le canal auditif est fermé, une accumulation importante de pressions sonores se produit dans le conduit <sup>(4)</sup>. Courtois et Col. <sup>(4)</sup> ont trouvé, dans une étude récente, que les sons internes, présents dans des oreilles fermées, étaient amplifiés d'environ 30 à 40 dB aux fréquences inférieures à 125 Hz (Fig. 2). Cet écart s'atténue progressivement, et disparaît aux alentours de 2000 Hz. Ils ont aussi trouvé que le seul moyen d'éliminer totalement le phénomène d'occlusion est d'utiliser des embouts complètement ouverts. Bien que des événements de grandes dimensions puissent considérablement réduire cet effet en dessous de 750 Hz, il peut encore subsister à 1000 Hz une suramplification de 20 dB. Dans les appareillages binauraux, l'addition des effets d'occlusion doit être prise en compte.

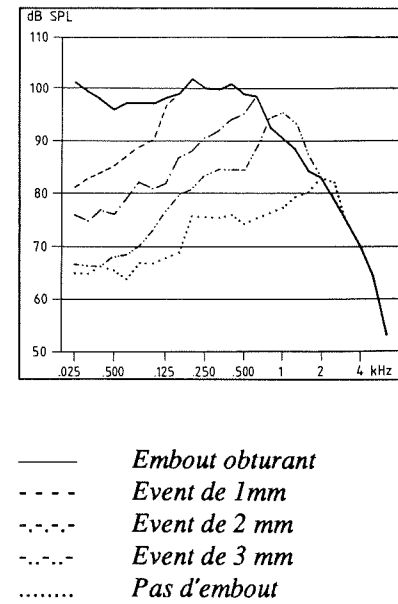
**2. Conservation de la résonance de l'oreille externe** - Trois structures de base contribuent aux effets de résonances et de diffractions de l'oreille externe: le pavillon, la conque et le canal auditif. L'embout ouvert a peu d'influence sur la résonance naturelle de l'oreille externe (Fig. 3), dont

on peut mettre en évidence l'évolution en fermant progressivement l'oreille, au moyen de couplages acoustiques de plus en plus obturants <sup>(20)</sup>. Cette expérience montre que l'amplification des aigus, résultant de la résonance naturelle de l'oreille externe, n'est exploitable qu'avec un embout ouvert.

**3. Appréciation subjective de la qualité du son** - Lorsque l'oreille externe reste ouverte, quand un appareil auditif est adapté, l'utilisateur peut entendre par deux canaux parallèles <sup>(20)</sup>: il perçoit directement le son naturel par son oreille ouverte, et en même temps le son amplifié par l'appareil à travers l'ensemble embout/tube. Dans de tels cas, même si l'appareil est arrêté, le sujet peut encore percevoir des informations acoustiques significatives, transmises directement dans son conduit auditif. C'est parce que la voie directe, qui subsiste dans un appareillage à embout ou-

Fig. 2

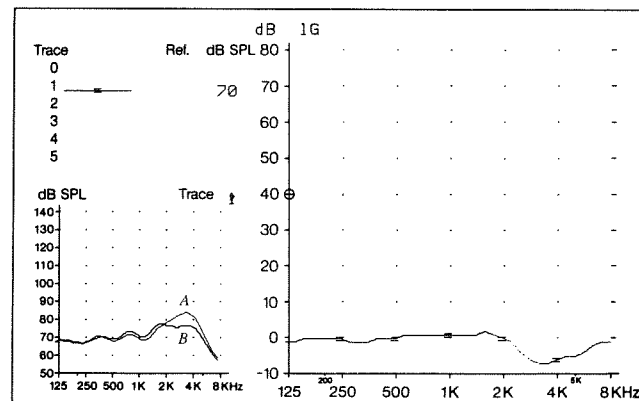
Effet de l'évent sur le phénomène d'occlusion.



(d'après Courtois et Col. <sup>(4)</sup>)

Fig. 3

La courbe de résonance du canal auditif change à peine en présence d'un embout ouvert.

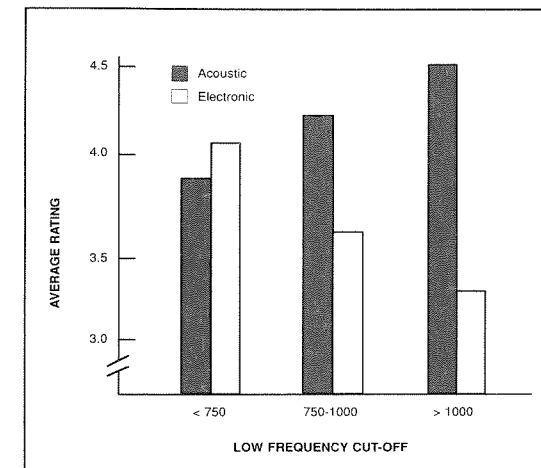


Courbe A - résonance du canal auditif ouvert.

Courbe B - appareillage avec embout ouvert, l'appareil étant arrêté.

Fig. 4

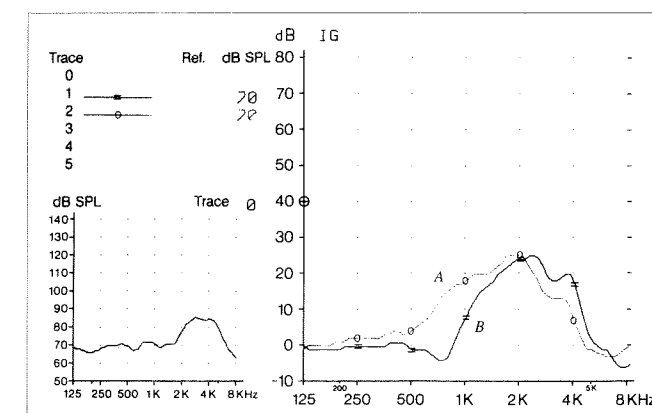
Taux moyens de qualité attribués à des éléments vocaux, traités acoustiquement et électroniquement, pour chaque groupe d'appareillages. Des nombres plus élevés indiquent un meilleur taux de qualité.



(d'après Cox et Alexander <sup>(4)</sup>)

Fig. 5

Modifications de la courbe de réponse d'un appareillage, obtenues en ouvrant l'embout.



Courbe A - embout fermé

Courbe B - embout ouvert

vert, reste presque intacte, que la reproduction du son paraît plus naturelle (plus transparente), presque comme si l'appareil n'était pas là. Ceci en raison du rôle essentiel que jouent les basses fréquences dans l'appréciation subjective de qualité, en donnant au message tout son caractère. L'embout ouvert rétablit ainsi un meilleur équilibre entre les graves et les médiums <sup>(4)</sup>.

**4. Atténuation naturelle des basses fréquences** - Les malentendants, pour lesquels l'adaptation à embout ouvert est typiquement indiquée, n'ont aucun besoin d'amplification dans les graves. Pour eux, l'élimination du gain excessif dans les basses fréquences est importante, en particulier pour améliorer l'intelligibilité dans le bruit. Le niveau des graves peut être contrôlé soit par des moyens acoustiques, soit par des moyens électroniques. Lorsque l'embout est ouvert, cette correction acoustique des graves est automatique (jusqu'à 30 dB de réduction du gain à 500 Hz). Bien que ce résultat puisse également être atteint par des procédés électroniques, la comparaison subjective des deux systèmes montre une nette préférence des utilisateurs pour la solution acoustique (autant pour ce qui est de la qualité du son, que de l'intelligibilité) <sup>(5)</sup>. Cox et Alexander <sup>(5)</sup> ont comparé les résultats d'appareillages réglés électroniquement ou acoustiquement, avec trois fréquences de coupure basses différentes (en-dessous de 750 Hz, de 750 à 1000 Hz, et au-dessus de 1000 Hz). Ils ont trouvé que, sur les plans de la qualité de reproduction comme de l'intelligibilité, la préférence était très marquée pour la solution acoustique, dans les deux groupes où la fréquence de coupure basse est supérieure ou égale à 750 Hz (Fig. 4). Cette préférence croît en même temps que la fréquence de coupure, aussi bien

dans le silence, que dans un environnement peu ou très bruyant. Il semble que la préférence pour la solution acoustique résulte, au moins en partie, de la meilleure qualité sonore d'un signal transmis sans traitement électronique. Une autre explication possible peut être que, si les mesures sur coupleur donnent les mêmes résultats pour les modifications électroniques et acoustiques, les performances réelles, dans les aigus, obtenues sur l'oreille, sont sensiblement différentes. La figure 5 met en évidence le gain complémentaire que l'on obtient, dans les hautes fréquences, lorsque le canal n'est pas bouché. Si la coupure des graves peut être réalisée par des procédés électroniques, ce n'est pas le cas du gain complémentaire dans les aigus.

**5. Conservation des facteurs directionnels** - L'appareillage avec des contours traditionnels, associés à des embouts fermés standards, conduit à une dégradation des possibilités de localisation spatiale du son. Les utilisateurs de telles adaptations acceptent rarement que le bénéfice qu'ils tirent du gain prothétique, soit annihilé par ces difficultés (7,9). Beaucoup d'entre eux peuvent cependant tirer profit des avantages du contour d'oreille, sans subir les inconvénients d'une moins bonne capacité de localisation. En laissant l'oreille ouverte, la plupart des facteurs permettant la localisation spatiale, tels que les différences interauriculaires d'intensité, ou le spectre du signal reçu à chaque oreille (analyse spectrale monaurale) restent inchangés. Hausler et Col. (9) ont montré qu'il était essentiel de conserver le spectre des informations. Le résultat de leurs travaux indique que les sujets qui ont de mauvaises performances spectrales monaurales, se plaignent souvent de difficultés dans la vie quotidienne, même si leurs capacités de discri-

mination des différences interauriculaires de temps et d'intensité restent bonnes. A l'inverse, les sujets dont la perception spectrale monaurale est bonne ne se plaignent pas, même si les informations interauriculaires de temps et d'intensité qu'ils perçoivent sont insuffisantes. Ils concluent que: "...les informations spectrales monaurales ne sont pas si facilement compensées par les informations interauriculaires de temps et d'intensité".

**6. Amélioration du confort de l'utilisateur** - L'utilisation d'un embout ouvert atténue les sensations de pression et de plénitude liées aux appareillages à embouts fermés. L'utilisateur accepte son appareil et s'y adapte beaucoup plus vite.

**7. Masquage du bruit interne de l'audioprothèse** - Les fabricants persévèrent dans leurs efforts de réduction du bruit interne des appareils. Les résultats possibles sont cependant limités par le niveau de bruit propre des transducteurs (écouteurs et microphones). Les valeurs obtenues sont ainsi encore souvent au-dessus des seuils auditifs des graves, lorsque l'audition est normale ou quasi-normale à ces fréquences. L'utilisateur est en conséquence fréquemment gêné par le bruit interne propre de l'appareil, lorsque ses réglages favorisent les aigus, et que l'appareillage est réalisé avec un embout fermé. Ce fait peut souvent être à l'origine de plaintes de la part du malentendant. Le problème est généralement résolu en laissant l'oreille ouverte, et en permettant aux basses fréquences d'être directement perçues: l'appareillage est alors notablement mieux accepté.

**8. Aspect esthétique** - Il est toujours très important de prendre également en compte l'aspect esthétique au cours

Fig. 6

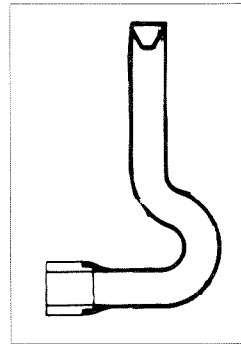
*Tube seul*

Fig. 7a

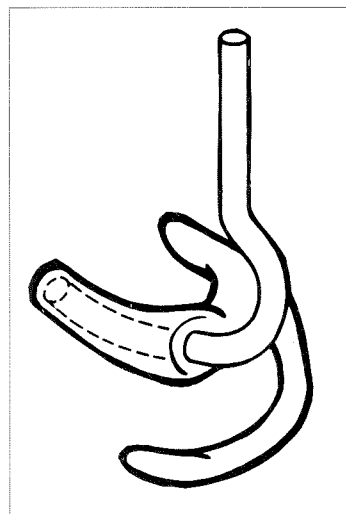
*L'embout Janssen*

Fig. 7b

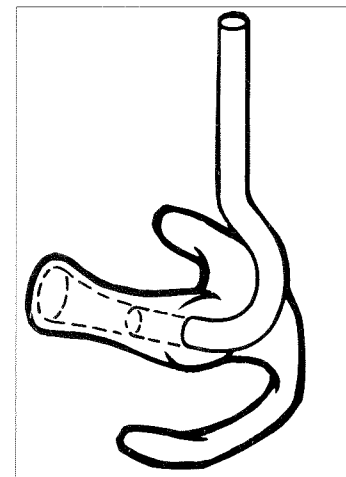
*L'embout Janssen "cuvette"*

Fig. 8

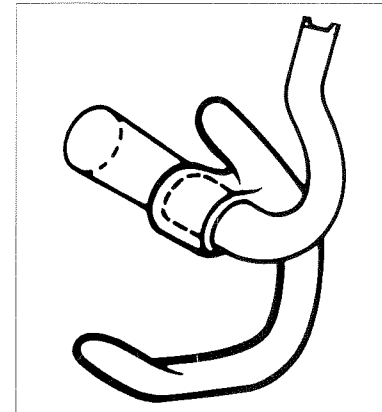
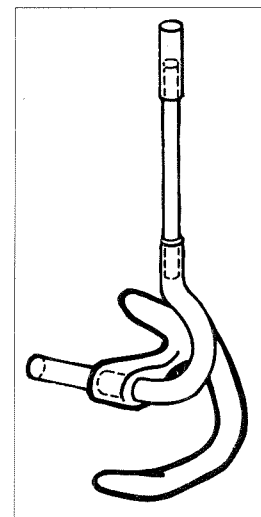
*L'embout ouvert de Libby*

Fig. 9

*L'embout de Lybarger à deux diamètres*

d'un appareillage. La taille et l'aspect de l'embout ouvert en font le moyen le plus attrayant d'adapter un contour d'oreille.

#### Choix de l'embout ouvert

Les laboratoires d'embouts modernes proposent différents types d'embouts ouverts (le manuel d'embouts sur mesure de Microsonic (6) présente une revue d'ensemble des différents modèles). Ce sont tous des dérivés de l'embout ouvert, utilisé à l'origine pour les appareillages CROS classiques. Des différences, petites mais néanmoins significatives, existent cependant.

**Le tube seul** - Il a l'avantage d'être le moins obstruant. Il peut en outre être réalisé sur place, permettant ainsi un essai immédiat (Fig. 6).

**L'embout Janssen** - Aux avantages du tube, il ajoute une meilleure tenue, et une mise en place plus aisée dans l'oreille. Si la taille de l'oreille le permet, il peut aussi être formé en "cuvette" pour améliorer encore, par l'effet cor, la réponse dans les aigus (Fig. 7a, 7b).

**L'embout ouvert de Libby** - Le tube de Libby peut être monté dans un embout de type CROS classique, ce qui permet de bénéficier à la fois des avantages de l'embout ouvert, et de l'effet cor. Selon les dimensions de l'oreille, un tube de 4mm ou de 3mm pourrait être utilisé. Il faut cependant noter qu'un tube trop grand, qui ne dégagerait pas complètement l'oreille, aurait pour conséquence d'augmenter le gain dans les graves (Fig. 8).

**L'embout de Lybarger à deux diamètres** - Le tube spécial à deux diamètres, utilisé dans cette application, a pour effet d'augmenter en moyen-

ne de 12 dB, le gain de la bande 4000/7000 Hz. Cet embout est conçu pour les sujets dont l'audition reste normale jusqu'à 2000 Hz, et donne sa plus grande efficacité lorsqu'il est utilisé conjointement avec le coude acoustique passe-haut de Etymotic Research (12,13). Une modification du tube de l'embout permet de le connecter au coude normal d'un appareil auditif (Fig. 9).

#### Choix de l'audioprothèse

Le développement croissant des intra-auriculaires permet désormais d'appareiller beaucoup de ceux dont la perte est localisée dans les aigus, et dont l'audition est normale ou quasi-normale jusqu'à 1000 Hz. Deux types différents d'appareils intra-auriculaires sont généralement employés: l'intra-hélix et l'intra-canal.

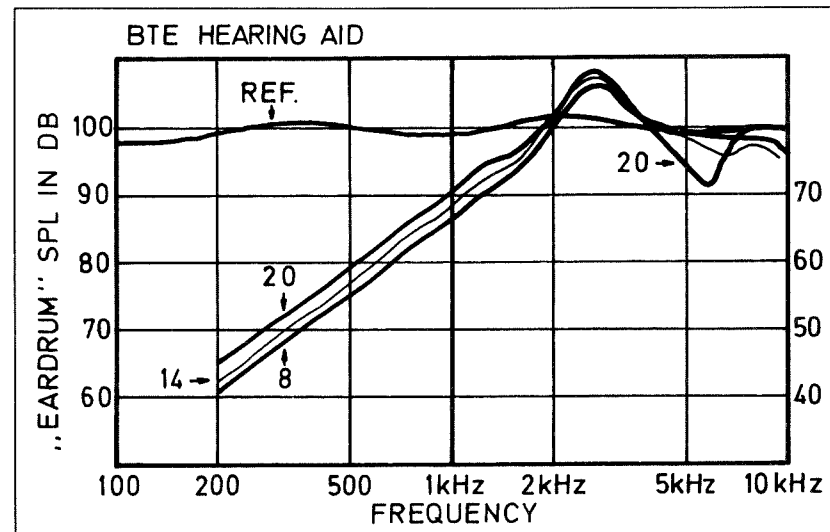
C'est avec l'intra-hélix, que les chances de succès sont les plus grandes. Cet appareil particulier donne la possibilité de dégager complètement l'oreille, et de bénéficier ainsi de la plupart des avantages d'une véritable adaptation à embout ouvert (8). Nous nous devons cependant d'observer que certaines des caractéristiques acoustiques typiques des intra-auriculaires ne se retrouvent pas avec l'intra-hélix.

1. L'écouteur n'est plus placé à proximité du tympan, ce qui fait perdre l'avantage du gain. De plus, la position du microphone dans l'oreille réduit sensiblement le seuil d'apparition de l'effet Larsen. Ce type d'appareillage ne s'applique donc qu'aux utilisateurs dont la perte dans les aigus est relativement faible.

2. Le circuit acoustique d'un tel appareil, qui conduit le son dans le canal par l'intermédiaire d'un tube, est assez proche de celui d'un con-

Fig. 10a

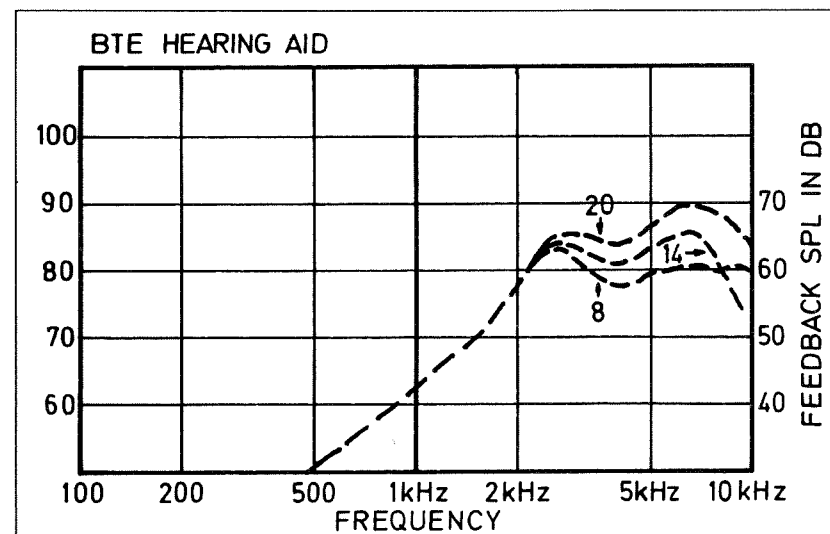
Influence, sur la courbe de réponse d'un contour d'oreille, de la profondeur d'insertion du tube



(adapté de Killion et Wilson <sup>(13)</sup>).

Fig. 10b

Influence, sur le niveau de pression acoustique réinjecté au microphone de l'appareil, de la profondeur d'insertion du tube



(adapté de Killion et Wilson <sup>(13)</sup>).

tour d'oreille. Les avantages d'une transmission directe du son, sans tube, disparaissent.

3. La réception des composantes directionnelles monaurales est affectée par la présence de l'appareil au voisinage de l'hélix.

4. La dimension de l'oreille de l'utilisateur peut également limiter l'indication de l'appareillage intra-auriculaire IROS.

L'intra-canal - Bien que cet appareil puisse délivrer suffisamment de gain pour les pertes hautes fréquences décrites plus haut, il est très difficilement compatible avec un embout réellement ouvert. L'appareillage de sujets dont l'audition est normale ou quasi-normale dans les graves est très hasardeuse <sup>(8)</sup>, et conduit souvent au refus de l'audioprothèse. L'effet d'occlusion est le principal obstacle à la réussite de ces appareillages (Il résulte de l'impossibilité d'aérer suffisamment le canal, pour simuler l'effet de l'embout complètement ouvert). Dans une analyse détaillée de 500 cas d'appareillages intra-canal, Johnson <sup>(11)</sup> a dénombré 90 échecs. La majorité d'entre eux se rapportait à des personnes dont l'audition était normale jusqu'à 1000 Hz, et dont la perte augmentait rapidement dans les aigus. La cause n° 1 de rejet de l'amplification, citée par les patients eux-mêmes, était l'effet d'occlusion. On notera avec intérêt que, parmi ces 90 personnes qui ont rejeté l'intra-canal, 65 ont finalement opté pour un contour d'oreille.

#### Limitation de l'effet larsen

Les risques d'effet larsen dans un appareillage à embout ouvert, peuvent être limités de plusieurs façons.

1. **Adaptation et positionnement de l'embout** - Le gain le plus élevé sans

larsen peut être atteint lorsque le tube de l'embout ne pénètre pas de plus de 6 à 8 mm à l'intérieur du conduit auditif. En comparaison avec les performances d'un tube profondément enfoncé dans le conduit, un gain supplémentaire de 10 à 15 dB dans les aigus peut être obtenu, avant que n'apparaisse l'effet larsen <sup>(2, 13)</sup> (Fig. 10a, 10b).

**Choix du contour d'oreille** - Outre le placement correct de l'embout, les caractéristiques mêmes du contour utilisé sont cruciales pour atteindre la plus grande amplification possible sans larsen:

2. **Courbe de réponse** - La courbe de réponse étymotique, qui compense la perte d'insertion, est toujours préférable lorsque l'appareil est utilisé avec un embout fermé. Avec un embout ouvert, par contre, cette suramplification des aigus peut être gênante. Comme dans ce type d'appareillage la résonance naturelle de l'oreille externe reste presque intacte, il n'est plus nécessaire de la compenser par l'addition de gain dans les aigus. Avec la réponse étymotique, la tendance à l'effet larsen s'accroît. La courbe de réponse doit en conséquence être aussi plate que possible, afin que des gain élevés sans larsen, puissent être atteints dans une large bande fréquentielle.

3. **Gain maximal** - Le gain maximal de l'appareil doit être soigneusement

choisi pour permettre l'utilisation sans problèmes de la totalité de la course du potentiomètre. Comme le gain d'insertion maximal sans larsen est d'environ 30 dB, le gain de l'appareil mesuré sur coupleur (2cc) ne doit pas excéder 50 à 55 dB. L'utilisateur peut ainsi toujours manipuler son potentiomètre, à chaque fois que cela est nécessaire.

4. **Blocage du contrôle de gain** - Lorsque le gain maximal avant larsen est du même ordre de grandeur que celui qui est nécessaire à rétablir le niveau de confort du malentendant (c'est-à-dire qu'il ne peut pas augmenter son gain sans larsen), il est judicieux de bloquer le contrôle de gain. L'appareil tout à fait indiqué pour cette application comporte un circuit d'AGC à temps de retour adaptatif (a.R.T. = adaptive Release Time). Le système AGC/a.R.T. agit essentiellement comme un contrôle de gain (AVC), qui maintient aisément le niveau de confort, sans manipulation du potentiomètre.

#### Recommandations aux nouveaux utilisateurs

Les nouveaux utilisateurs d'appareillages à embouts ouverts ont besoin de conseils particuliers.

En effet, beaucoup d'entre eux ne ressentent pas, au début, le bénéfice de cette forme d'adaptation, car elle délivre précisément un son parfaite-

ment naturel et "transparent". Comme ils ne peuvent pas entendre d'amélioration de la sensation d'intensité sonore (car les basses fréquences ne sont pas amplifiées), ils doivent apprendre à entendre et apprécier la différence de clarté du son. Le meilleur moyen de la révéler, est de laisser l'utilisateur porter son appareil pendant un certain temps dans un environnement normalement bruyant (rue, cafétéria, etc...), puis de l'enlever. La différence entre l'audition corrigée et non corrigée est alors très rapidement mise en évidence.

#### Conclusion

Les appareillages à embouts ouverts doivent toujours être envisagés pour les malentendants dont l'audiogramme, normal ou quasi-normal dans les graves, montre une perte auditive marquée dans les aigus. Ces utilisateurs potentiels, qui souvent sont appareillés pour la première fois, sont relativement nombreux. Courtois et Col. <sup>(4)</sup> affirment utiliser l'embout ouvert dans 40% de leurs adaptations. Ils concluent que "Nous devons veiller à corriger l'audition de nos clients, non seulement d'une façon quantitative, mais aussi avec un souci constant d'efficacité. L'appareillage à embout ouvert est souvent une nécessité pour aider réellement les sujets atteints de pertes auditives

# **BIBLIOGRAPHIE**

1. Berger K.: A prescriptive method for hearing aid selection. in Zelnick E. (ed), Hearing Instrument Selection and Evaluation, National Institute for Hearing Instrument Studies, 1987.
2. Buerkli-Halevy O.: Response modifying earhooks - special fitting solutions for hard-to-fit losses. Hearing Instruments Vol. 39, No. 4, 1988.
3. Byrne D., Dillon H.: The National Acoustic Laboratory (NAL) new procedure for selecting the gain and frequency response of a hearing aid. Ear and Hearing Vol. 7, No. 4, 1986.
4. Courtois J., Johansen P., Larsen B. Christensen P. and Beilin J.: Open Molds. In Hearing Aid Fitting, theoretical and practical views. Jensen J.H. (ed), 13th Danavox Symposium, 1988.
5. Cox R.M., Alexander G.C.: Acoustic versus electronic modifications of hearing aid low-frequency output. Ear and Hearing, Vol. 4, No. 4, 1983.
6. Custom Earmold Manual, Revised 4th Edition. Microsonic, Inc. 1986.
7. Decroix, G., Dehaussy, J., Restauration de l'audition binaurale par audioprothèses stéréophoniques. L'audioprothésiste Français - 1er trimestre, 1985.
8. Gitle, T., Kaiser H., Tanner M. and Freant M.: The custome in-the-helix style instrument for fitting high frequency hearing impairment. Hearing Instruments, Vol. 40, No. 7, 1989.
9. Häusler, R., Colburn S. and Marr E.: Sound localization in subjects with impaired hearing. Acta Oto-Laryngologica, Supplement 400, 1983.
10. Humes L.: An evaluation of several rationales for selecting hearing aid gain. Journal of Speech and Hearing Disorders, Vol 51, Aug. 1986.
11. Johnson E.W.: An analysis of 500 intracanal hearing aid fittings. Hearing Instruments, Vol 36, No. 10, 1985.
12. Killion M.C.: Special fitting problems and open-canal solutions. In Hearing Aid Fitting, theoretical and practical views. Jensen J.H. (ed), 13th Danavox Symposium, 1988.
13. Killion M.C., Wilson D.L.: Response-modifying earhooks for special fitting problems. Audecibel, Fall 1985.
14. Leijon A., Eriksson-Mangold M. and Bech-Karlsen A.: Preferred hearing aid gain and bass-cut in relation to prescriptive fitting. Scandinavian Audiology 13, 1984.
15. Leijon A. Lindkvist A. and Ringdahl A.: Clinical evaluation of half-gain rule prescription. In Hearing Aid Fitting theoretical and practical views, Jensen J.H (ed), 13th Danavox Symposium, 1988.
16. Libby R.: The 1/3-2/3 insertion gain hearing aid selection guide. Hearing Instruments, Vol. 37, No. 3, 1986.
17. Libby R.: State-of-the-art of hearing aid selection procedures. Hearing Instruments Vol. 36, No. 1, 1985.
18. McCandless G., Lyregaard P.: Prescription of Gain/Output (POGO) for hearing aids. Hearing Instruments, Vol. 34, No. 1, 1983.
19. Preves D., Ruzicka J and Peterson E.: Maximizing ITE and ITE fitting potentials. Hearing Instruments, Vol. 36, No. 4, 1985.
20. Sullivan R., An acoustic coupling-based classification system for hearing aid fittings. Part I No. 9 and parts II and III No. 12, Hearing Instruments, Vol. 36, 1985.
21. Surr R., Scherr C. and Williams B.: Earmold selection for high frequency hearing loss. Hearing Instruments, Vol. 35, No. 11, 1984.

Pour de plus amples informations:



Madame Ora Bürkli-Halevy est audiologiste chez Phonak, Suisse. Elle obtint son Bachelor's et Master's degree (grade universitaire) au Collège Hunter à New York et à l'université "San Francisco State". Outre une activité pratique avec des enfants multi-handicapés, Madame Bürkli travailla dans une importante clinique universitaire et possède une grande expérience dans l'adaptation d'appareils auditifs.