

Microphones directionnels : Revue de technologie

Jean-Baptiste Delande

Audioprothésiste D.E., Annecy.

Alexandre Gault

Audioprothésiste D.E., Compiègne.

Les audioprothésistes ont maintenant depuis plus d'une quinzaine d'années une offre technique généralisée intégrant des systèmes de microphones aux capacités plus ou moins directives. Après en avoir fait un rappel historique et technique, l'objectif de cet article est d'éveiller le sens critique des professionnels de la correction auditive sur les différences technologiques de cet élément de base du traitement du signal dans les aides auditives en 2010. Nous essayerons de répondre à cette simple question : l'ensemble des systèmes de microphones directionnels de l'industrie se valent-ils et auront-ils le même intérêt pour nos patients ?

Notre défi principal en tant qu'audioprothésiste est : « d'aider les malentendants atteints de pertes auditives neurosensorielles à comprendre dans le bruit. ¹ » La sénescence cochléaire associée à une modification de la sonie, une dégradation de la discrimination en milieu bruyant, ce dernier élément est la problématique essentielle des industriels de la correction auditive. Le bruit est omniprésent dans l'écoute active, soit dans plus de 60% des situations où la discrimination de la parole est nécessaire. Près de 75% de ces environnements sont configurés de telle sorte que le signal utile est face à l'auditeur et que les sources de bruits proviennent d'autres directions ². Grâce à ses propriétés anatomophysiologiques, l'oreille est normalement apte à détecter et à discriminer la parole dans des situations mêmes critiques où le niveau sonore du bruit environnant peut atteindre celui généré par le signal utile. On considère ainsi que pour un rapport signal sur bruit d'un environnement sonore de

0dB, un bien entendant est en mesure de comprendre 50% de l'information utile ³. Pour les déficients auditifs presbycusiques, il existe une comparaison entre la perte auditive moyenne et le rapport signal/bruit (S/B). (Figure 1).

Perte auditive moyenne	Perte de rapport signal sur bruit
30 dB HL	4 dB
40 dB HL	5 dB
50 dB HL	6 dB
60 dB HL	7 dB
70 dB HL	9 dB
80 dB HL	12 dB*
90 dB HL	18 dB*

En conclusion, l'implémentation de traitements de signaux destinés à optimiser l'émergence de la parole dans le bruit est pertinente car chaque dB de S/B gagné induit une amélioration conséquente de la discrimination de la parole dans les situations difficiles. L'adjonction de systèmes microphoniques est donc une solution tout à fait convaincante pour conduire ces objectifs.

1

Technologies des systèmes microphoniques directionnels

Les microphones possèdent des qualités intrinsèques permettant aux industriels d'améliorer le S/B pour aider le déficient auditif appareillé.

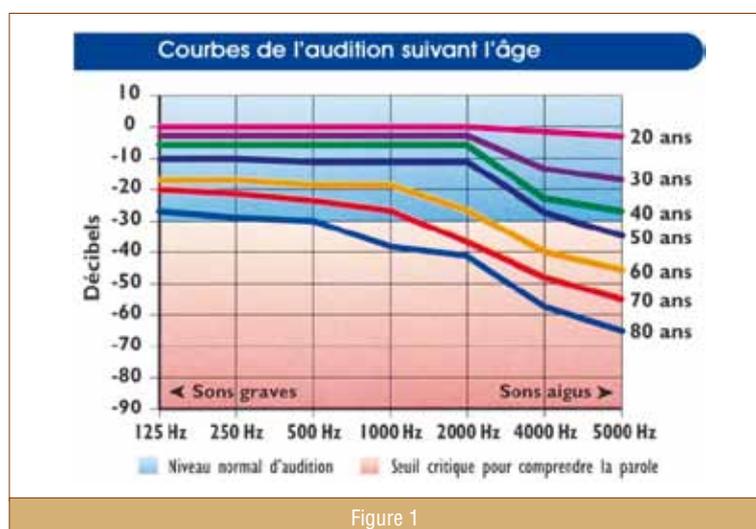
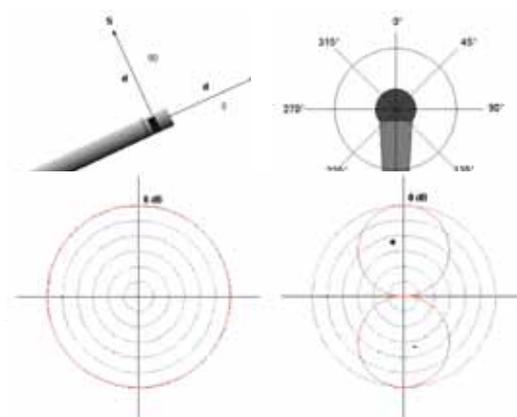


Figure 1



Le diagramme de directivité que l'on pourra alors déterminer, permettra de donner la sensibilité du microphone en fonction de l'angle d'incidence. L'appellation de la

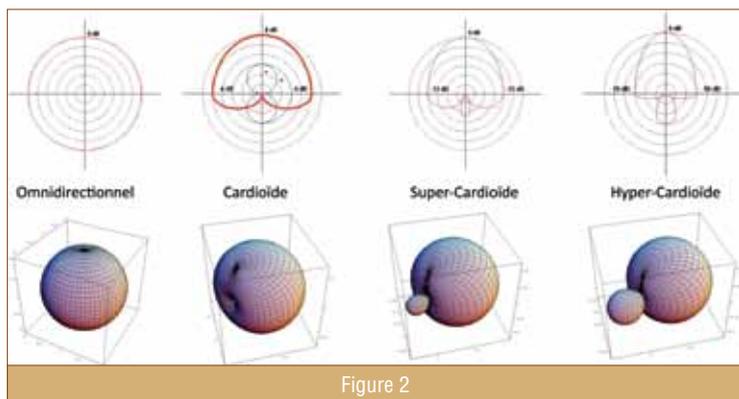


Figure 2

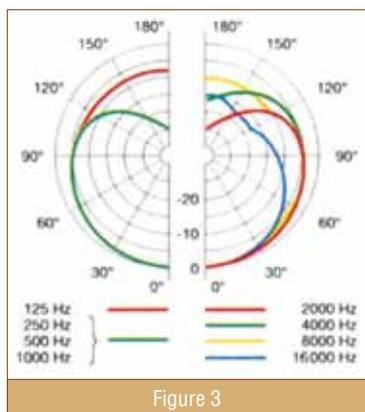


Figure 3

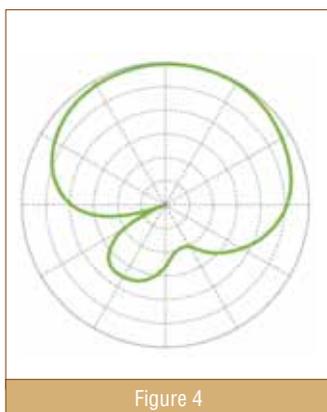


Figure 4

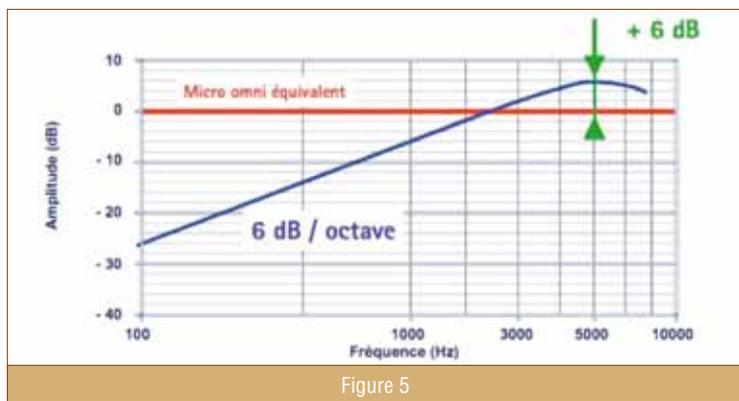
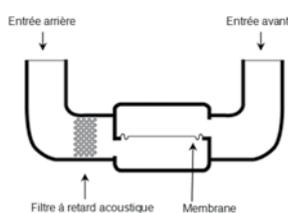


Figure 5

directivité d'un microphone sera fonction du diagramme polaire général de directivité de celui-ci. Les deux types primaires que l'on appelle « harmoniques sphériques » ; Omnidirectionnel et Bidirectionnel (ci-dessus), vont servir de base au développement d'une infinité de types composites, (Figure 2).



Bien que ces caractéristiques composites soient issues des 2 primaires, cela ne signifie pas que tous les microphones possédant ces directivités soient obligatoirement composés

de 2 capsules. De plus, lorsque l'on donne la directivité d'un microphone, on a tendance à simplement évoquer sa caractéristique directionnelle intrinsèque. Cette information est nécessaire mais pas pour autant suffisante, car la directivité varie en fonction de la fréquence (figure 3) et est sujette entre autre, à la diffusion de l'effet d'ombre de la tête et du torse (figure 4) dans le cas d'une aide auditive placée sur l'oreille de l'utilisateur.

1.1. Microphone directionnel fixe mécanique

Dans le domaine audioprothétique, du plus loin où nous avons retrouvé mention de microphone directionnel, nous renvoie à la fin des années 60 avec la série 568 d'Oticon qui intégrait un capteur à gradient de pression.

Grâce à un système ingénieux à double entrée, ce produit permettait d'obtenir un effet directionnel efficace, simple, petit, robuste et économique. Si l'on estime que l'entrée avant du microphone capture principalement un signal de parole (interlocuteur) bruité dont le signal perturbant est légèrement décalé par rapport à la capture du bruit plus ou moins isolé par l'entrée. Afin d'atténuer ce bruit, le système à double entrée possède un filtre à retard acoustique implémenté au niveau de l'entrée arrière afin de faire coïncider précisément les signaux de bruit arrivant de l'entrée avant et arrière. La membrane « microphonique » recevant les deux signaux synchronisés, le bruit sera neutralisé par simple opposition de phase. Le signal perturbant sera alors théoriquement éliminé et ne restera alors que le signal de parole qui lui vient presque exclusivement de l'avant (Figure 5).

Cette solution acoustique apporte beaucoup d'avantages mais est beaucoup moins sensible dans les basses que dans les hautes fréquences. Cette conséquence peut être saluée comme une contribution à l'amélioration de l'intelligibilité vocale, cependant la sonorité des aides auditives en sera moins naturelle dans des situations sonores ou justement la capture ne nécessite pas d'être directive. Les AA possédant cette technologie possèdent donc un mode directionnel difficilement débrayable qui malheureusement n'est pas adapté pour toutes les situations sonores rencontrées.

1.2. Système multi-microphones directionnel

Sur le principe de la gestion de l'effet retard entre la captation d'un signal avant et arrière, une nouvelle technologie a été mise au point dans les années 70. Son principe en est simple, à l'instar du microphone à double entrée, les deux entrées ont été remplacées par deux microphones omnidirectionnels. Par le biais d'une gestion électrique d'un retard sur le microphone arrière, les deux signaux de bruit vont « théoriquement » être en opposition et être maîtrisés.

Cette technologie est efficace mais un peu moins robuste. Elle donne l'avantage de pouvoir passer d'un mode directionnel à un mode omnidirectionnel via une commutation qui peut être mise à la disposition de l'utilisateur. C'est de plus une étape technologique indispensable ouvrant les portes aux algorithmes du traitement numérique (Fig.6).

La distance entre les microphones étant stable et connue, le délai ajouté au signal arrière va être facilement déterminé pour obtenir l'effet le plus directionnel possible. Le retard étant dans cette technologie géré électriquement (et plus physiquement), il va donc être possible de faire varier ce délai ou bien la sommation par pondération et créer ainsi un nombre infini de diagrammes polaires (Figure 7).

Dans cette logique de développement, de nombreuses équipes ont poussé le concept en utilisant des solutions multi-microphonique⁹. Celle-ci donne d'excellents résultats en termes de S/B pouvant aller de 5 à 12 dB d'amélioration, mais leurs dimensions et leurs difficultés d'usage ne les rendent pas compatibles avec l'utilisation dans une aide auditive (Figure 8).



Figure 8 : Source Oticon - Etymotic Research

1.3. Système multi-microphones directionnels adaptatif

Une des limites de performances de ces technologies est de ne pas prendre en compte la variabilité des situations du signal utile et du bruit sur l'azimut. Les 2 systèmes vus précédemment apportent un S/B très respectable dans la mesure où la parole est à l'azimut 0°, que le bruit se situe statiquement pour sa part à l'azimut 180° et que le bruit et le signal utile soient décorrélés. C'est la raison pour laquelle, la recherche en électroacoustique s'est orientée vers des systèmes ayant une directivité adaptative pour s'adapter à la situation d'écoute vivante (figure 9).

Sur le principe précédent à double microphones, ce système va avoir pour objectif d'évaluer les caractéristiques du filtre permettant d'obtenir la meilleure atténuation possible du bruit (Beamformer). Le filtre est continuellement asservi par le signal de sortie de telle sorte que l'erreur entre le signal perturbant capté par le microphone source et le signal filtré et délivré par le microphone de référence soit la plus faible possible.

Exemple du système Griffiths Jim (Figure 10)

Adaptation d'un prétraitement destiné à réduire l'effet de la distance inter-microphone et de minimiser les effets liés à la capture du signal utile par le microphone de référence. Amélioration du S/B de 2,26 dB (Kemp 2008).

Exemples de concept d'application (Figures 11 et 12)

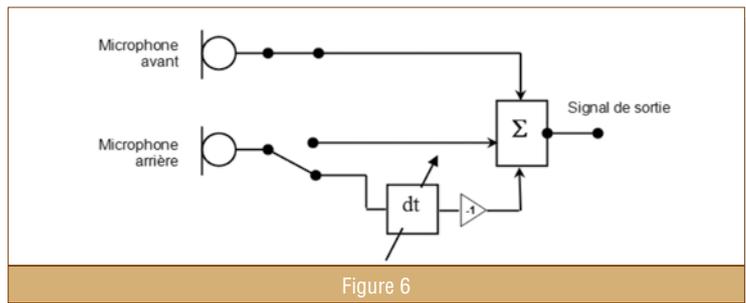


Figure 6

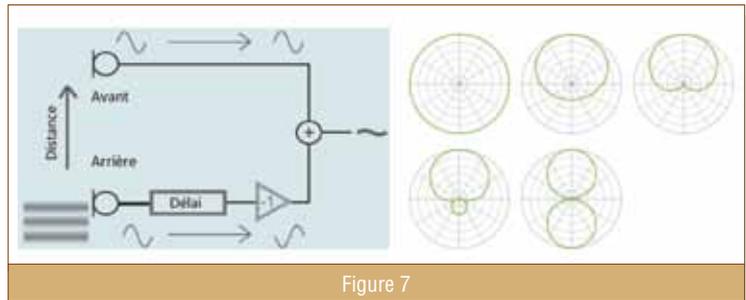


Figure 7

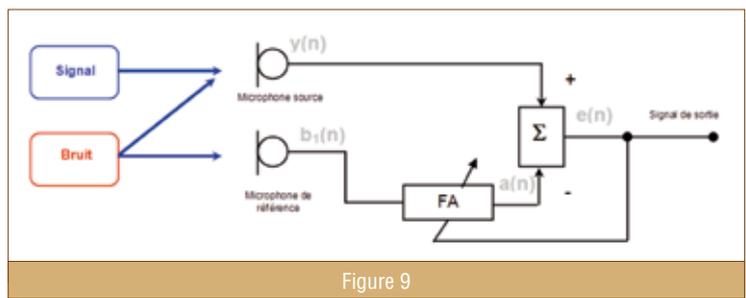


Figure 9

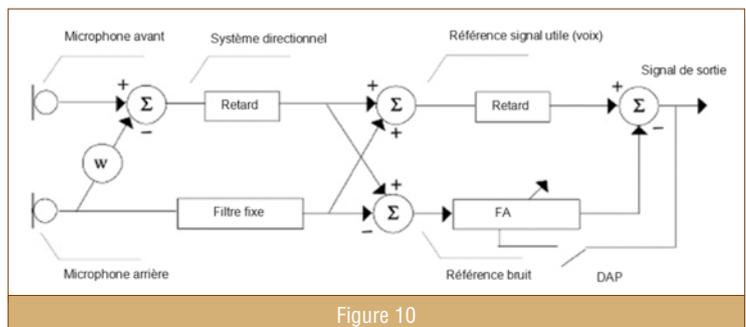


Figure 10

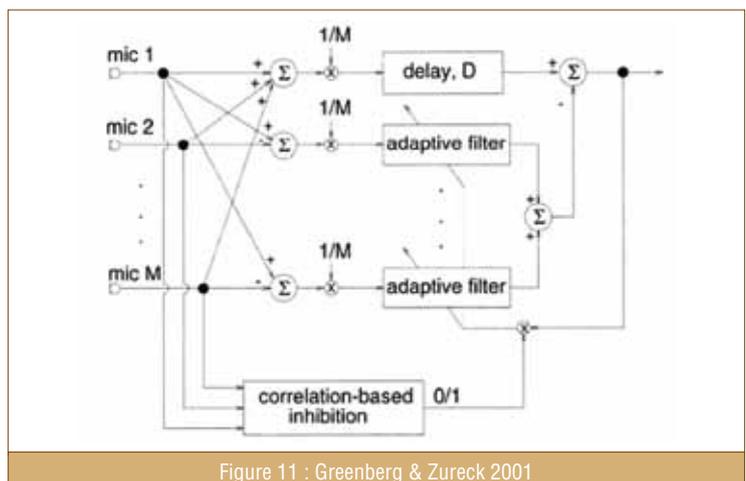


Figure 11 : Greenberg & Zureck 2001

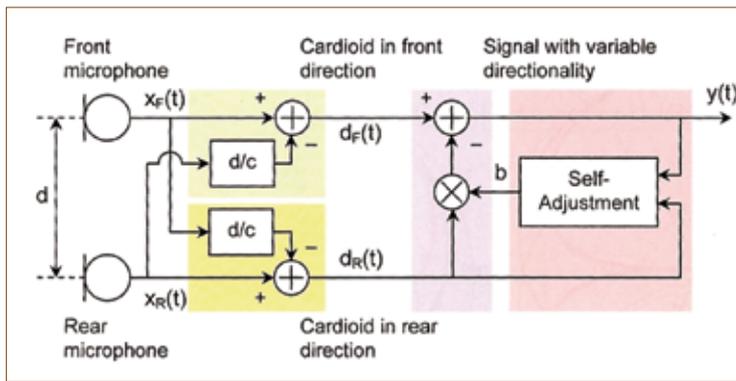


Figure 12 : Schaub 2008

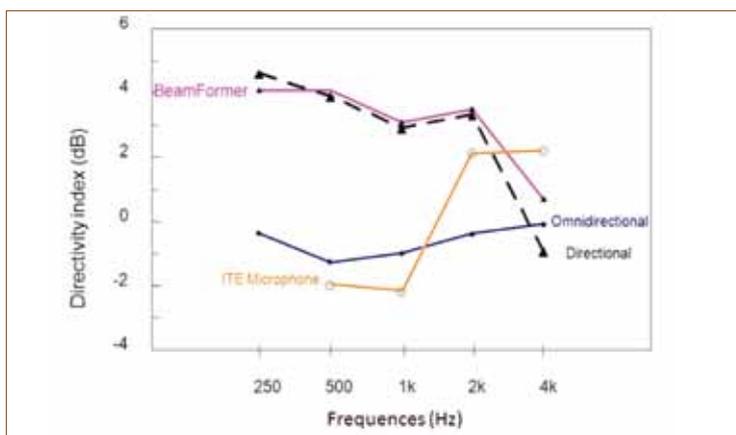


Figure 13

2

Influences des variabilités techniques

Comme nous l'avons vu précédemment les technologies améliorant la directivité microphonique ont des capacités variables. La caractéristique majeure permettant de quantifier en dB la capacité d'un élément à séparer le signal utile du bruit perturbant est l'indice de directivité (ID). Pour le déterminer, on réalise ces mesures avec un signal venant de l'azimut 0° et dans un bruit de fond diffus.

La figure 13 nous permet de visualiser les différences d'ID d'un contour d'oreille omnidirectionnel, d'un contour directionnel fixe et d'un directionnel adaptatif. Puis d'un intra-auriculaire profitant de l'effet directionnel du pavillon. Pour ce dernier il est intéressant de constater que cette particularité de réponse liée au positionnement du microphone dans le méat acoustique externe a été appliquée dès 1967 par Widex et sa première génération de Locator (contour d'oreille à double tubulure) ou bien par Advanced Bionics en 2002 et l'accessoire microphone T-Mic.

2.1. Distance inter-microphones

La distance comprise entre les deux microphones d'une aide auditive est variable. Tout d'abord, cette distance est essentielle pour fournir une bonne sensibilité avant du système microphonique. Plus les entrées des microphones sont proches les unes des autres, plus le déphasage de

capture microphonique est petit ; donc moins le système est sensible par rapport à la réponse d'un microphone omnidirectionnel. Pour pallier à cette variabilité de sensibilité (plus importante dans les BF), il est possible de rectifier cette déperdition qui ne sera pas sans effet quant à l'adjonction de bruit équivalent à l'entrée. Le juste équilibre en distance inter-microphones et niveau de bruit de fond est donc pertinent. Cette distance inter-microphones est tout aussi importante quant à son impact sur l'effet directif. Nous pouvons déduire que plus cette distance est petite, plus la corrélation entre les signaux capturés par les microphones est importante. Il n'est pas possible d'attendre d'un système les mêmes capacités avec deux transducteurs ayant un espacement variant du simple au triple. Si l'on prend par exemple, le cas des aides auditives à écouteur déporté haut de gamme disponibles sur le marché en 2009, la distance inter-microphones varie de 4 à 13mm avec une moyenne s'établissant autour de 8mm¹⁰. A l'évidence, les performances de ces systèmes ne vont pas être comparables. Il est intéressant de faire une simulation à l'aide d'un logiciel de simulation tel que celui de la société Gennum (Sound Design Technologies) qui a créé et mis en ligne ce genre d'outil très instructif : http://www.sounddesigntechologies.com/support_Education.php

Si nous faisons varier par exemple la distance inter-microphonique de 4 à 13mm pour une fréquence de 1kHz. Nous obtiendrons alors un indice de directivité de 4,7 dB pour un espacement de 4mm, alors que cet indice passera à 6 dB pour un espacement de 13mm. Un dernier point lié à cette variable dépend de la différence de temps d'arrivée d'un signal incident entre les microphones d'un même système. Si le signal présente des caractéristiques spectrales telles qu'elles correspondent à un multiple du double de la distance inter-microphonique, le système induira une atténuation totale de ces mêmes caractéristiques. Ainsi plus la distance inter-microphonique est importante, plus le système a des chances d'inhiber des informations spectrales contenues dans la bande passante de l'aide auditive. A titre d'exemple, pour une distance de 12 mm, la réponse du système présentera une encoche aux alentours des 14,2 kHz soit au-dessus de la bande passante d'une aide auditive. Tandis que pour une distance de 20mm cette encoche sera aux alentours des 8,5 kHz soit dans la bande passante de l'aide auditive.

2.2. Appairage des microphones

Selon les données vues précédemment sur le principe de fonctionnement des systèmes directifs, il va donc être indispensable que les deux microphones soient correctement appairés. C'est-à-dire que l'évolution de leurs caractéristiques intrinsèques soit connue et prise en charge l'un vis-à-vis de l'autre.

L'appairage en amplitude (figure 16, 17 a et 17 b)

Si le microphone arrière, par ses modifications des caractéristiques intrinsèques, apporte une légère distorsion en amplitude du signal (fig. 16). Cela va fortement influencer la directivité du système. Dans l'exemple ci-dessous, une

variation de 0,25dB d'amplitude à 250 Hz va faire passer d'un mode hyper-cardioïde à un mode omnidirectionnel. Cette très légère variation en amplitude peut réduire à néant tout effet directionnel s'il n'est pas identifié et surtout pris en considération.

Exemples de données des industriels de l'audio-prothèse sur les ID de leurs produits (Fig.14 et 15)

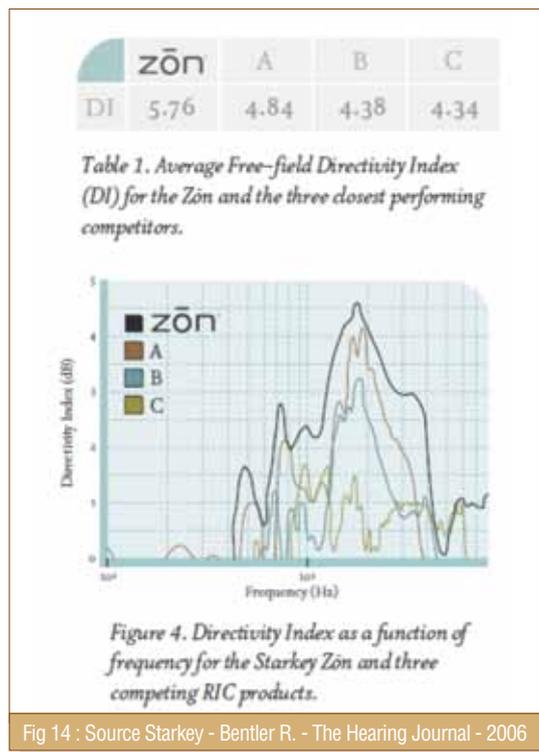
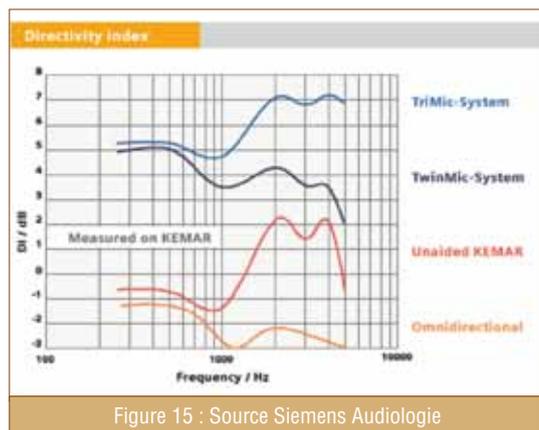
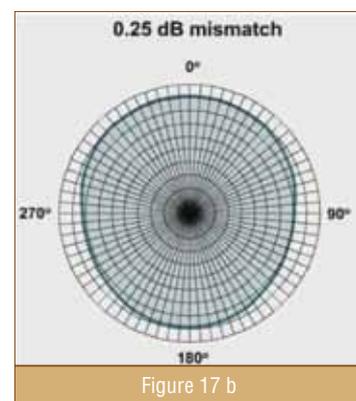
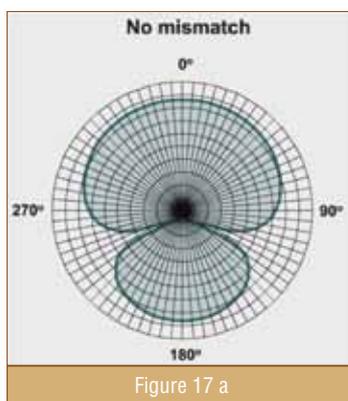
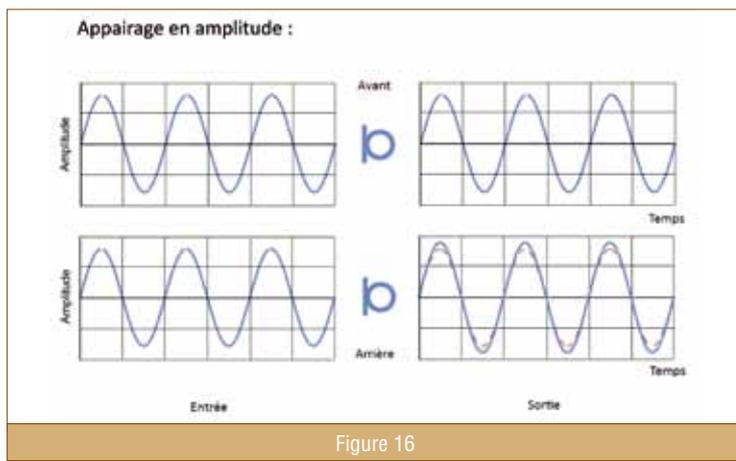


Fig 14 : Source Starkey - Bentler R. - The Hearing Journal - 2006



L'appairage en phase (figure 18, 19 a, b et c)

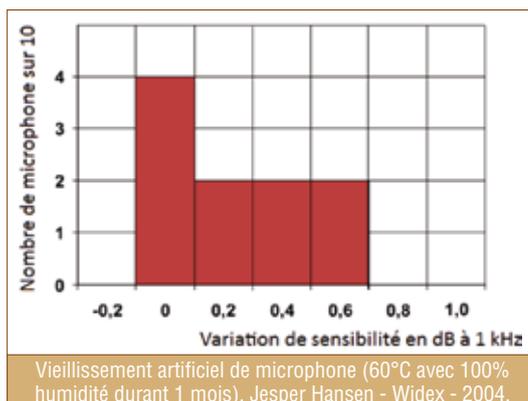
De même pour la phase, si le microphone arrière apporte une distorsion de seulement +2° ou -2° à 250 Hz (figure 11 a et b). Notre système multi-microphonique va passer d'un mode hyper-cardioïde à un mode cardioïde suite à une variation de +2° de phase. De même, il va passer d'un mode hyper-cardioïde à l'azimut 0° à un mode hyper-cardioïde inverse à 180°. Par suite les indices de directivité de ces systèmes vont passer de 6dB (référence) à 4,7dB et même à -0,9dB pour une variation de phase de -2° seulement.

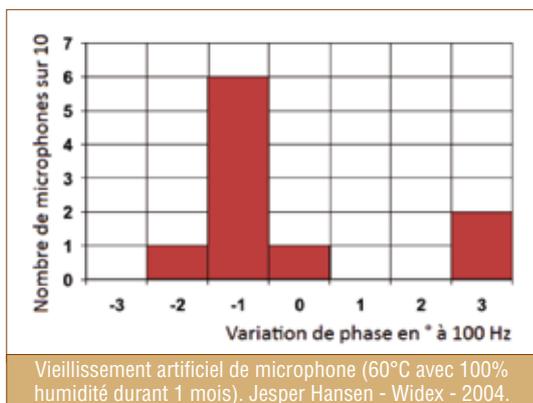
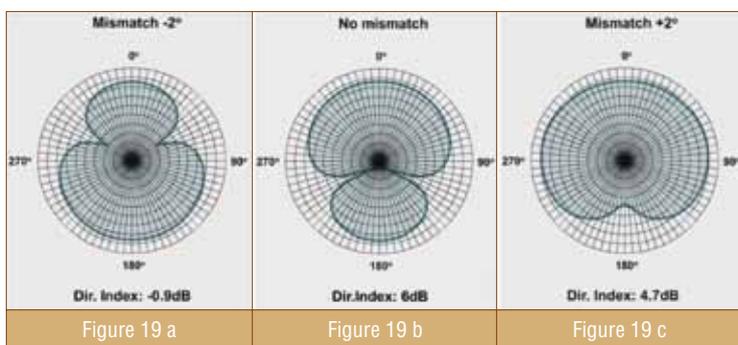
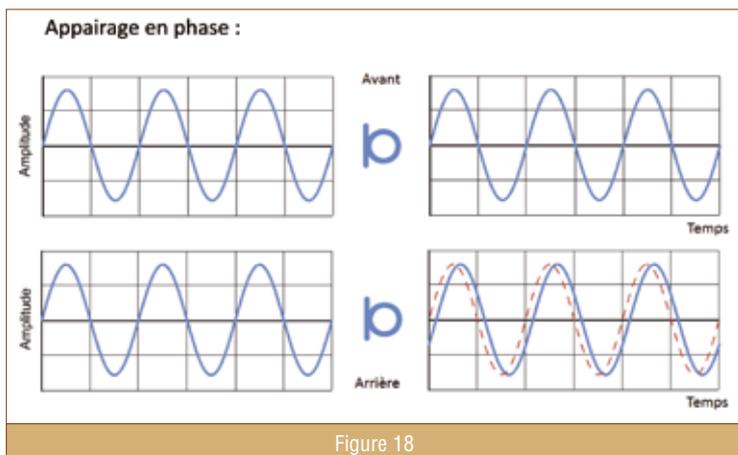


Nous ne pouvons pas remettre en doute l'influence considérable des risques d'une faible distorsion entre les deux microphones pour maintenir la directivité attendue. Par contre, nous nous sommes interrogés sur la prévalence de ces distorsions. Est-ce que ces distorsions arrivent fréquemment dans nos aides auditives ?

En 2004, Jesper Hansen a soumis des aides auditives neuves de même marque (ce qui a peu d'influence car les transducteurs utilisés par l'industrie de l'audioprothèse sont à plus de 80% fournis par la société Knowles) n'ayant subi aucune chute ou autre mauvais usage, à un vieillissement accéléré. Pour cela les aides auditives ont été placées durant un mois dans un environnement saturé en humidité (100%) et à une température de 60°C.

Voici les résultats de ces tests :





On notera premièrement que seulement 4 appareils auditifs sur 10 n'ont pas présenté de variation d'amplitude et seulement 1 sur 10 n'a pas présenté de variation de sa phase. Les variations d'amplitude ont pu s'élever jusqu'à 0,6 dB à 1 kHz ce qui est considérable ! (Cf. l'explication précédant avec seulement une variation de 0,25 dB)

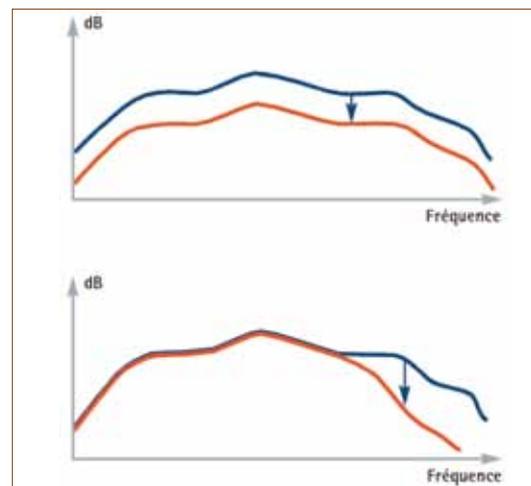
Pour les distorsions de phase, Hansen a retrouvé des variations allant de -2° à +3° à 10Hz. Ces variations sont également très importantes et comme nous l'avons vu précédemment, elles auront une forte influence dans les performances du traitement du signal souhaité. Nous pouvons donc conclure de manière croisée que l'ensemble des microphones des aides auditives vont présenter une distorsion en amplitude et/ou en phase rapidement et que sans contrôle d'appairage, la directivité microphonique va disparaître ou pire va être opposée. Les industriels ont rapidement pris en compte ce risque et le gèrent dans leurs aides auditives selon différentes philosophies.

Le premier point essentiel est de savoir à quel moment l'aide auditive contrôle l'appairage de ces microphones. On retrouve des produits en cours de commercialisation en France, qui sont appairés lors :

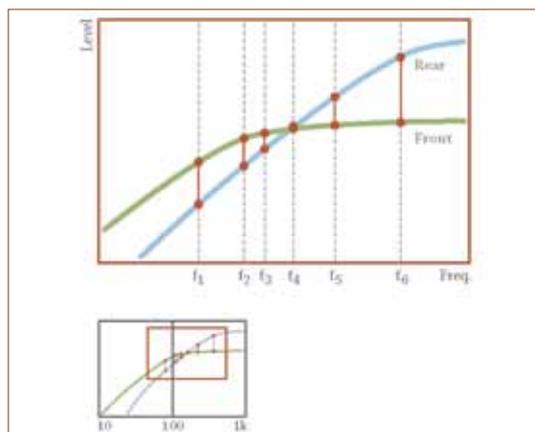
- de la fabrication du produit à l'usine,
- du retour de l'aide auditive chez le fabricant ou distributeur pour une réparation ou un contrôle qualité,
- de chaque programmation chez l'audioprothésiste,
- de la mise en route de l'aide auditive,
- de chaque intervention de l'utilisateur (changement de programme, volume, etc...),
- d'un contrôle automatique toutes les x minutes,
- d'un contrôle automatique continu, soit plusieurs fois pas seconde.

Cet élément est fondamental à connaître, mais difficile à obtenir en toute transparence de la part des industriels. Il va sans dire qu'une aide auditive ayant un appairage de ses microphones uniquement lors d'une visite chez l'audioprothésiste ne va pas pouvoir maintenir correctement son comportement dans le bruit. D'où la problématique présentée lors de l'AAA en 2008 par une étudiante en audiologie : « Pourquoi les appareils auditifs omnidirectionnels donnent de meilleurs résultats dans le bruit que les appareils auditifs directionnels au-delà de la 5ème année de port ? »

Le second point important concernant l'appairage des microphones est de savoir comment celui-ci est réalisé



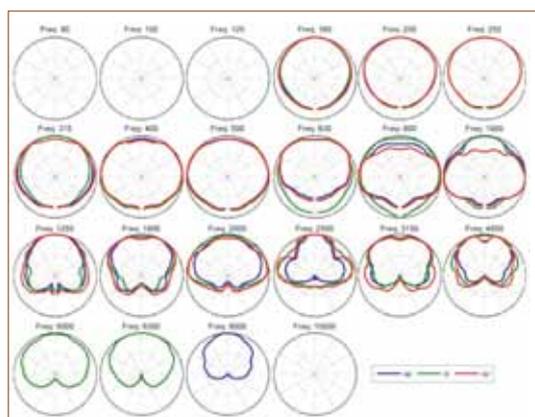
Il est souhaitable que cet appairage se fasse précisément pour prendre en compte le fait qu'une distorsion due au vieillissement du microphone n'a pas une action uniforme sur l'ensemble de ses caractéristiques. L'intérêt de procéder à un traitement multi-canaux augmente donc les chances d'aboutir à un comportement plus robuste dans le temps. Il en va de même pour l'appairage en phase où la gestion multi-points proposée par certains industriels est également la solution de sécurité pour maintenir les performances de l'aide auditive délivrée à nos patients.



2.3. Traitement multi-canal

La technologie numérique offre des possibilités d'algorithmes infinies. Au niveau de la directivité des aides auditives, cela permet de développer une « série de microphones directionnels discrets ». En d'autres termes, les appareils auditifs de dernières générations possèdent un certain nombre de systèmes apportant une directivité à chaque canal fréquentiel. L'origine du traitement de la directivité multi-canal est double.

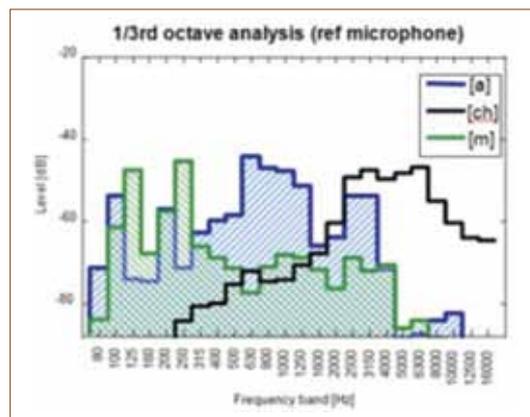
- D'une part, comme nous l'avons vu précédemment, les microphones omnidirectionnels, cardioïdes et hyper-cardioïdes n'ont pas les mêmes performances en fonction de la fréquence du signal à traiter. De plus, les caractéristiques acoustiques des environnements clos rencontrés par les utilisateurs sont d'autant plus variables : elles induisent des phénomènes de diffusion dépendant du spectre du signal sonore qui influencent considérablement la capture de ce dernier.
- D'autre part, à la fois les scènes sonores et plus précisément les phonèmes présentent de grandes variations spectrales qu'il vaudra mieux traiter de manière différentes.



Le traitement multi-canal va alors permettre d'améliorer spécifiquement le S/B dans les BF, les médiums et les HF. Cela réduira l'impact du bruit dans certains cas et conservera un maximum d'informations spectrales pour préserver la meilleure intelligibilité possible dans d'autres canaux.

Plus l'appareil auditif présentera de canaux pour ce traitement spécifique, plus l'utilisateur de cette aide auditive sera susceptible d'avoir un S/B en sa faveur. En 2009, sur une analyse de 7 RIC haut de gamme, le nombre de canaux de traitement de la directivité adaptative pouvait aller de 4 à 33 canaux¹⁰.

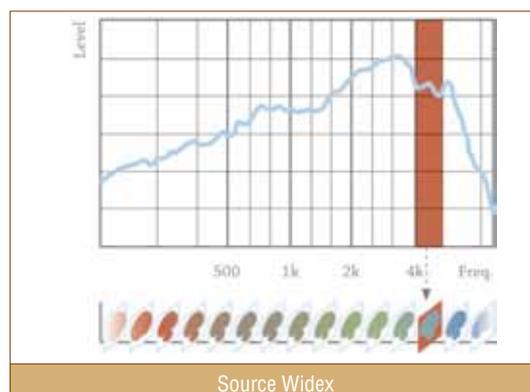
Cet écart est très important et n'est donc pas sans conséquence sur la performance de l'amélioration du S/B recherché par tous les malentendants appareillés.

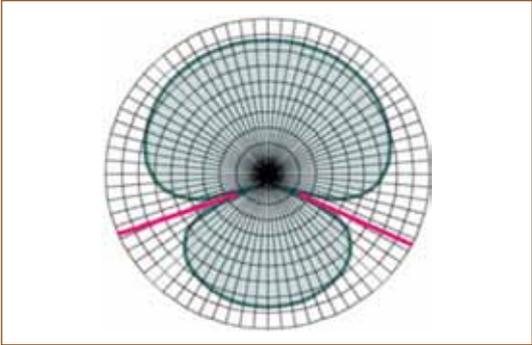
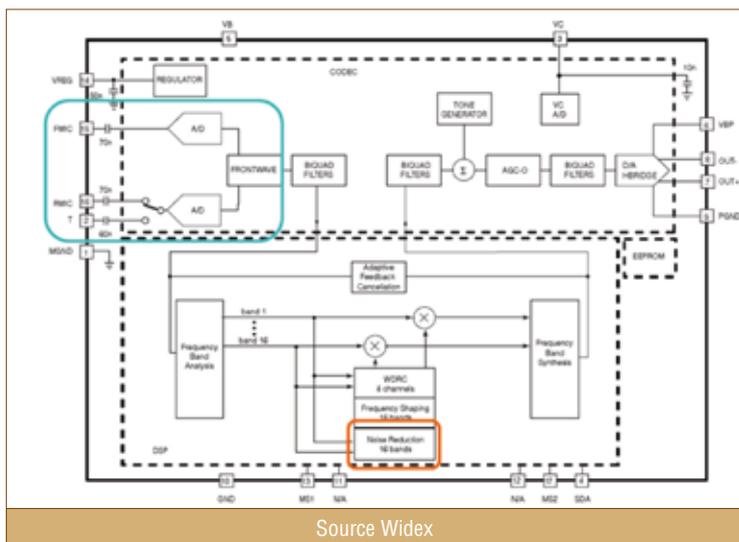


2.4. Autres conséquences et intérêts de la directivité

Jusqu'à présent, nous nous sommes intéressés à la partie du diagramme polaire qui présente l'indice de directivité maximum d'un microphone ou d'un système multi-microphones. Mais ce diagramme polaire présente également des zones où l'ID est faible voir nul, c'est ce que l'on appellera : cuspide d'atténuation. (en rose sur le graphe de droite).

Certaines aides auditives utilisent ces caractéristiques polaires de leur système microphonique pour la gestion du Larsen. Après identification des caractéristiques du Larsen, la gestion multi-canal de la directivité va pouvoir limiter voire éliminer ce phénomène acoustique « polluant » uniquement dans les canaux incriminés. D'où encore une fois, l'importance d'un système à traitement multicanal car une atténuation de la réponse d'un des microphones induit indéniablement une modification de l'effet directif du système.





Comme nous l'avons vu dans la partie A., les systèmes directionnels réalisent aisément des courbes polaires avant ou arrière, mais dans une configuration à 2 microphones, il est impossible d'obtenir une focalisation latérale. Cette capacité est envisageable avec 4 microphones via la communication inter-aurale que proposent depuis quelques mois les principaux fabricants d'aides auditives.

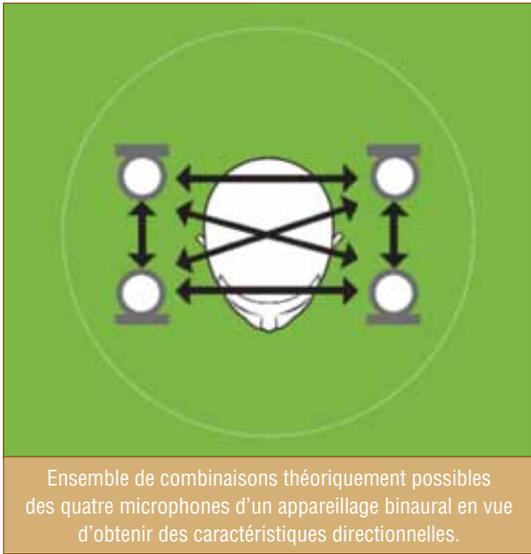
Avec cette communication ainsi que la gestion des modes de directivité en temps réel, la technologie de la correction auditive s'approche toujours un peu plus près de la nature. La gestion de l'effet d'ombre de la tête et du pavillon permet de maintenir une localisation spatiale tout en améliorant le plus possible le S/B qui cause tant de soucis au déficient auditif.

	Omnidirectionnel	Directionnel
Effet de proximité	Non	Oui
Localisation spatiale	Possible	Délicate
Dynamique de la sonie	Fort	Faible
Coloration hors-axe	Légère et lisse	Marquée et irrégulière
Sensation de sonie	Bonne	Faible
Dynamique des plosives	Faible	Plus élevée
Sensibilité au vent		
Distorsion harmonique	Faible	Supérieure

3 Conclusion

- Les microphones directionnels présentent une sensibilité inférieure dans les BF, ce qui réduit les capacités de localisation spatiale et la sensation de sonie. Ces conséquences sont variables en fonction de la distance inter-microphones.
- Les systèmes microphoniques directionnels sont technologiquement différents et donc leur influence sur l'amélioration du S/B peut être performante, nulle voir catastrophique pour l'utilisateur d'une aide auditive.
- Dans le cas des adaptations de type 'Open' les systèmes directifs ont une influence réduite par rapport à une adaptation plus occlusive. Néanmoins, ce traitement garde un intérêt dans les HF¹⁸ et même un apport réduit sur le reste de la bande passante est utile pour une optimisation de la discrimination de la parole dans le bruit²².
- Dans le cas de surdités sévères à profondes, les systèmes directifs ont une influence faible mais notable pour l'amélioration du S/B pour les primo-correction¹⁹.
- Dans l'état actuel des technologies, même si de nombreux scientifiques travaillent sur l'intérêt des microphones directionnels dans la vie quotidienne des enfants^{20,21}, ce traitement du signal n'est pas optimisé aux stations couchées ou semi-couchées du jeune enfant.
- En termes de psychoacoustique, les influences du type de diagramme polaire d'un microphone ont de grande variabilité. (Cf. tableau ci-contre)

Le choix d'une aide auditive « directionnelle » n'est pas anodin dans le résultat prothétique immédiat et permanent.



Mais au même titre que la gestion du Larsen, le système microphonique directionnel adaptatif est au cœur du traitement numérique du signal. Il va donc, en fonction des différentes philosophies acoustiques et audiolgiques des industriels, avoir une action indirecte sur les réducteurs de bruit, la gestion de la dynamique, la gestion de l'acoustique de l'aide auditive, etc. . .

Une des raisons pour laquelle, cet élément du traitement du signal d'une aide auditive fait l'objet de cet article, est son importance capitale dans l'ensemble de l'amélioration du S/B du malentendant appareillé.

4

Bibliographie

1. Dillon Harvey - Hearing Aids - 1999.
2. Vanpoucke Filiép - Spectral subtraction algorithms and experiments - Lernout 1 Hauspie Speech products, Report L1H-SH-97-003 - Janvier 1997.
3. Haykin S., Adaptive Filter Theory, Second Edition - Prentice-Hall - 1991.
4. Poiron Gwendal - Objectif Image - avril 2004.
5. Katz, Brian F.G. & d'Alessandro Christophe, Directivity measurements of the singing voice - 19th ICA, Madrid - septembre 2007. LIMSI CNRS.
6. Gault Alexandre - Les systèmes d'annulation de bruit dans les aides auditives - Examen de probatoire diplôme d'ingénieur CNAM. 25 juin 2007.
7. Kühnel Volker, Checkley Paul C. - Focus 26 - Phonak.
8. Bentler, R., Wu, Y., & Jeon, J. (2006). Effectiveness of directional technology in open-canal hearing instruments. The Hearing Journal, 59, 40-47.
9. André Philippe - « Principe de fonctionnement et directivité des microphones utilisés dans les aides auditives. Etude d'un nouveau traitement de directivité microphonique : pondération multipolaire ». Prix du C.N.A. 2009.
10. Chan-Ckong Romy, Duhoux Chloé et Porte Bastien - TP d'audioprothèse 3ème année Fougères - 24 novembre 2009.
11. Hansen Jensen - Diva Locator technology - Widex internal training - 2004.
12. Rybak Fanny - Mémoire acoustique chez les oiseaux : aspects neurobiologiques et comportementaux.
13. Ching T., Dillon H., Does directional microphone technology in hearing aids benefit young children in real life ? - The Hearing CRC.
14. Yacullo William S. SNR advantage of binaural HA and Mic Dir in different level of reverberation
15. Renard Christian - Stéréophonie : Tests psychoacoustiques - E.P.U. 2008.
16. Torreani Marco - Inteo, considérations sur une aide auditive pas comme les autres - 1er juin 2006.
17. Delande Jean-Baptiste - Microphones Directionnels et Psychoacoustique - E.P.U. 2009.
18. Kuk Francis - Directional microphone with hearing aids in open fitting - Hearing Journal 2007.
19. Potts L, Valente M, Voll L. Performance of a dual-microphone hearing aid with severely hearing-impaired individuals. Presented at American Academy of Audiology Annual Convention; 2000 Mar 17; Chicago, IL.
20. Ching Teresa, Prescription of directional microphones for children - Research group Melbourne - 2009.
21. Kuk Francis - Directional fitting adjustments with young patient - Hearing Journal - 2007.
22. Klempe Emily J et al. - Speech perception in noise using directional microphone in Open-Canal hearing aids - Journal of American Academy of Audiology - 2008
23. Griffiths Lloyd J, & Jim Charles W, - An alternative approach to linearly constrained adaptive beamforming - IEEE - 1982



Précis d'audioprothèse

Production, phonétique acoustique
et perception de la parole.
Édité par ELSEVIER MASSON SAS
ISBN N° 978-2-294-06342-8

Logiciel La Cible Méthodes de Choix Prothétique

Pré-réglage : Xavier Renard - Membre du CNA
CTM : François Le Her - Membre du CNA
Production : Collège National d'Audioprothèse
Réalisation : Audition France Innovation



Précis d'audioprothèse - Production, phonétique acoustique et perception de la parole

99,00 € x	exemplaire(s)	=	€
+ frais de port France :	8,50 € x	=	€
+ frais de port Etranger :	10,00 € x	=	€

La Cible - Méthodes de Choix Prothétique - Pré-Réglage - CTM

150,00 € x	exemplaire(s)	=	€
+ Frais de port France :	3,50 € x	=	€
+ Frais de port Etranger :	4,50 € x	=	€

Soit un règlement total (exonéré de TVA) €

Nom..... Prénom.....
 Société

Adresse

Code postal Ville

Tél Fax

E-mail

Bon de commande à envoyer avec votre chèque à : Collège National d'Audioprothèse
 10 rue Molière - 62220 CARVIN - Tél 03 21 77 91 24 - College.Nat.Audio@orange.fr - www.college-nat-audio.fr