

# L' *les cahiers de* AUDITION

REVUE D'INFORMATIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES - VOL. 18 - Sept./Oct. 2005 - N°5 - ISSN 0980-3482

## Dossier

### L'audiométrie de diagnostic (2<sup>ème</sup> partie)

634342

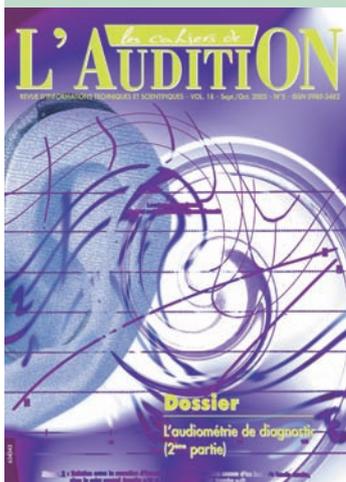
Figure 2 : Relations entre la sensation d'intensité et la sensation de tonalité pour des sons purs de haute fréquence, dans le sujet normal (courbe a-b) et dans le sujet sourd (courbe c-d)

# *Resound AiR Plus, le 2 en 1*



Resound AiR Plus™

**L'AIDE AUDITIVE  
QUE TOUT LE MONDE  
ATTENDAIT...**



**PUBLICATION DE  
LA S.A.R.L. GALATÉE**

12<sup>TH</sup>, RUE DE BONDY  
93600 AULNAY SOUS BOIS  
SONICLAIRE@INFONIE.FR

**GÉRANT**

DANIEL CHEVILLARD  
12<sup>TH</sup>, RUE DE BONDY  
93600 AULNAY SOUS BOIS  
TÉL. : 01 48 68 19 10  
FAX : 01 48 69 77 66

**RÉDACTEUR EN CHEF**

PROFESSEUR PAUL AVAN  
FACULTÉ DE MÉDECINE  
LABORATOIRE DE BIOPHYSIQUE  
28, PLACE HENRI DUNANT - BP 38  
63001 CLERMONT FERRAND CEDEX  
TÉL. : 04 73 17 81 35  
FAX : 04 73 26 88 18  
PAUL.AVAN@U-CLERMONT1.FR

**RÉDACTEURS**

FRANÇOIS DEGOVE  
FRANCOIS.DEGOVE@WANADOO.FR  
ARNAUD COEZ - ACOEZ@NOOS.FR  
ASSISTANTE : C. DEGOVE  
5, AVENUE MARÉCHAL JOFFRE  
92380 GARCHES  
TÉL. 01 47 41 00 14

**CONCEPTION - RÉALISATION**

MBQ  
32, RUE DU TEMPLE - 75004 PARIS  
TÉL. : 01 42 78 68 21  
FAX : 01 42 78 55 27  
STEPHANIE.BERTET@MBQ.FR

**PUBLICITÉ**

CHRISTIAN RENARD  
50, RUE NATIONALE - BP 116  
59027 LILLE CEDEX  
TÉL. : 03 20 57 85 21  
FAX : 03 20 57 98 41  
LABO.AUDIOLOGIE.LILLE@WANADOO.FR

**ABONNEMENTS**

FRANCE  
(1 AN / 6 NUMÉROS) 90 €  
PRIX DU NUMÉRO 20 €

**DEPOT LÉGAL**

5<sup>ÈME</sup> BIMESTRE 2005 (LOI DU 21.06.1943)  
SEPT./OCT. 2005 - VOL. 18 - N°45

**COMMISSION PARITAIRE**

N° 71357

**LISTE DES ANNONCEURS**

ACOUREX • BELTONE •  
BERNAFON • BIOTONE •  
GN RESOUND • NEWSON •  
PHONAK • OTICON •  
SIEMENS • STARKEY •  
+ AUDIO

LES CAHIERS DE L'AUDITION  
DÉCLINENT TOUTE RESPONSABILITÉ  
SUR LES DOCUMENTS QUI LEUR  
SONT CONFÉIÉS, INSÉRÉS OU NON.  
LES ARTICLES SONT PUBLIÉS  
SOUS LA SEULE RESPONSABILITÉ DE  
LEURS AUTEURS.

## 2 INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

## 5 ÉDITORIAL

Paul Avan

## 7 DOSSIER

Otoémissions acoustiques en pratique  
clinique quotidienne

*Evelyne Veuillet*

Explorations audiométriques chez l' enfant :  
d' un dépistage fiable à tout âge à une audiomé-  
trie précise

*Quitterie Daubech - Monique Delaroché*

Exploration auditive centrale

*Jean-Louis Collette - Didier Bouccara - Laurent Demanez*

## 38 MÉMOIRE

Les techniques de perfectionnement de la parole :  
réduction de bruit, réduction d' écho,  
déréverbération et séparation de sources.

*Jean-Philippe Puy - Christian Gelis*

## 50 VEILLE TECHNOLOGIQUE

*Robert Faggiano*

## 65 SYMPOSIUM

Symposium international sur l' audition binaurale  
Manchester 29-31 octobre 2005

*Arnaud Coez*

## 72 INFORMATIONS

# “LES CAHIERS DE L'AUDITION” SONT PLACÉS SOUS L'ÉGIDE DU COLLÈGE NATIONAL D'AUDIOPROTHÈSE

**Président :** Xavier RENARD

**Premier Vice-Président :** Eric BIZAGUET

**Chargé de Missions auprès du Président :**

Jean BANCONS

## Rédaction

**Rédacteur en Chef :** Professeur Paul AVAN

**Conception-Réalisation :** MBQ

**Comité Biotechnologie Electronique et Acoustique :**

Professeur Christian GELIS

Philippe VERVOORT

**Comité Techniques Prothétiques et Audiologie de l'Adulte et de l'Enfant :** François DEGOVE

Thierry RENGET - Frank LEFEVRE

Docteur Paul DELTENRE

**Comité Audiologie Expérimentale :**

Christian LORENZI

Stéphane GARNIER

Stéphane GALLEGRO

**Comité Sciences Cognitives et Sciences du Langage (phonétique) :** Benoît VIROLE

**Comité O.R.L. Audiophonologie :**

**Responsable :** Professeur Alain ROBIER

**Adjoint :** Professeur René DAUMAN

Docteur Dominique DECORTE

Docteur Christian DEGUINE

Docteur Olivier DEGUINE

Professeur Alain DESAULTY

Docteur Jocelyne HELIAS

Docteur Jacques LEMAN

Docteur Lucien MOATTI

Docteur Jean-Claude OLIVIER

Docteur Françoise REUILLARD

Professeur François VANECCLOO

Docteur Christophe VINCENT

**Comité Orthophonie Education et Rééducation de la Parole et du Langage :** Annie DUMONT

**Comité Veille Technologique :** Robert FAGGIANO

**Comité Veille Informatique :** Charles ELCABACHE

**Comité Bibliographie :**

François DEGOVE - Philippe LURQUIN

**Relations avec les Etats-Unis et le Québec :**

François LE HER - Jean BELTRAMI

**Comité de Lecture :**

**Au titre de la Société Française d'Audiologie :**

**Président :** Professeur Bruno FRACHET

**Au titre de Membres du Collège National d'Audioprothèse :**

Jean-Claude AUDRY

Bernard AZEMA

Jean-Paul BERAHA

Hervé BISCHOFF

Geneviève BIZAGUET

Daniel CHEVILLARD

Arnaud COEZ

Christine DAGAIN

Ronald DE BOCK

Jacques DEHAUSSY

Jean-Pierre DUPRET

Jack DURIVAUT

Thierry GARNIER

Eric HANS

Bernard HUGON

Jérôme JILLIOT

Stéphane LAURENT

Jean MONIER

Maryvonne NICOT-MASSIAS

Jean OLD

Georges PEIX

Christian RENARD

Benoît ROY

Claude SANGUY

Philippe THIBAUT

Joany VAYSSETTE

Jean-François VESSON

Frédérique VIGNAULT

Alain VINET

**Au titre de Membres Correspondants Étrangers du Collège National d'Audioprothèse :**

Roberto CARLE

Leon DODELE

Philippe ESTOPPEY

André GRAFF

Bruno LUCARELLI

Carlos MARTINEZ OSORIO

Juan MARTINEZ SAN JOSE

Christoph SCHWOB

**Au titre de Présidents des Syndicats Professionnels d'Audioprothésistes :**

Francine BERTHET

Frédéric BESVEL

Luis GODINHO

**Au titre de Membres du Bureau de l'Association Européenne des Audioprothésistes :**

Corrado CANOVI

Marianne FRICKEL

Hubert KIRSCHNER

Leonardo MAGNELLI

Fred VAN SCHOONDERWALDT

**Au titre de Membres du Comité Européen des Techniques Audiologiques :**

Herbert BONSEL

Franco GANDOLFO

Heiner NORZ

**Au titre de Directeurs de l'Enseignement de l'Audioprothèse :**

Professeur Julien BOURDINIÈRE

Professeur Lionel COLLET

Professeur Pascale FRIANT-MICHEL

Professeur Alexandre GARCIA

Professeur Jean-Luc PUEL

Professeur Patrice TRAN BA HUY

**Au titre de Membres du Conseil d'Administration de la Société Française d'Audiologie :**

Professeur Jean-Marie ARAN

Bernadette CARBONNIÈRE

Docteur Jean-Louis COLLETTE

Docteur Marie-José FRAYSSE

Professeur Eréa-Noël GARABEDIAN

Docteur Bernard MEYER

Docteur Sophie TRONCHE

**Au titre des Membres de la Fédération Nationale des Orthophonistes : 3 membres**

**Au titre des Membres du Syndicat National des Oto-Rhino-Laryngologistes : 3 membres**

**Au titre de Membres du Syndicat National des Phoniâtres : 2 membres**

# INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

## Généralités

Les travaux soumis à la rédaction des Cahiers de l'Audition sont réputés être la propriété scientifique de leurs auteurs. Il incombe en particulier à ceux-ci de recueillir les autorisations nécessaires à la reproduction de documents protégés par un copyright.

Les textes proposés sont réputés avoir recueilli l'accord des co-auteurs éventuels et des organismes ou comités d'éthique dont ils ressortent. La rédaction n'est pas responsable des textes, dessins ou photos publiés qui engagent la seule responsabilité de leurs auteurs.

L'acceptation par la rédaction implique le transfert automatique des droits de reproduction à l'éditeur.

## Esprit de la revue

De manière générale, les Cahiers de l'Audition sont une revue d'informations scientifiques et techniques destinée à un public diversifié : audioprothésistes, audiologistes, orthophonistes ou logopèdes, médecins en contact avec les différents secteurs de l'audition (généralistes, neurologues, électrophysiologistes, ORL, etc...).

Ce public souhaite une information qui soit à la fois à jour sur le plan scientifique et technique, et didactique. Le but des auteurs des Cahiers de l'Audition doit être de lui rendre accessible cette information, même aux non-spécialistes de tel ou tel sujet.

Bien que les Cahiers de l'Audition n'exigent pas d'un article qu'il présente des données originales, l'article lui-même doit être original c'est à dire ne pas avoir déjà été publié tel quel dans une autre publication sans l'accord explicite conjoint des auteurs et de la rédaction des Cahiers de l'Audition.

## Manuscrits

Ils sont à fournir en deux exemplaires (1 original + 1 copie, complets à tous égards). La remise de manuscrits électroniques (disquettes 3 pouces 1/2, format Macintosh ou PC Word 5 ou Word 6) est vivement encouragée. Elle est destinée à l'imprimeur et ne dispense pas de l'envoi des 2 exemplaires "papier". Ne pas faire soi-même de mise en page puisqu'elle sera faite par l'imprimeur.

Les schémas, dessins, graphiques doivent être ou des originaux ou des tirages bien contrastés, en trait noir sur papier blanc. Les tirages sur imprimante laser de qualité sont encouragés. Les diapositives de ces éléments ayant servi à une projection sont acceptées. L'encre bleue est prohibée pour des raisons techniques. Les photos doivent être de préférence des diapositives ou des tirages papier de grande qualité. Les illustrations doivent être référencées avec précision et leur emplacement souhaité dans le texte indiqué approximativement, ainsi que la taille souhaitée (noter que 1 colonne de revue = 5,3 cm de large).

En cas de demande expresse, les documents seront retournés aux auteurs après impression.

Les manuscrits, rédigés en français, devront comporter en 1<sup>ère</sup> page le titre de l'article, les noms des auteurs, leurs titres, leurs adresses, une table des matières et un résumé en français et en anglais indiquant brièvement le but général de l'article, les méthodes mises en œuvre et les conclusions proposées.

Le plan de l'article sera découpé en sections. La bibliographie ne sera pas forcément limitée à celle citée dans le texte : en effet, les auteurs peuvent rajouter quelques ouvrages de base dont ils recommandent la lecture à ceux qui souhaiteraient compléter leur information. Toutefois, l'usage extensif de références à des publications difficiles d'accès pour les lecteurs, ou trop spécialisées, n'est pas recommandé.

## Chronologie

Lorsque les auteurs ont été sollicités par un responsable de la rédaction, ils en reçoivent une confirmation écrite qui leur indique une date limite souhaitée pour la rédaction de leur article. Le respect de cette date est essentiel car il conditionne la régularité de parution de la revue. Lorsqu'un auteur soumet spontanément un article à la revue, la chronologie est indiquée ci-dessous.

Les manuscrits une fois reçus seront soumis au comité de lecture qui pourra demander des modifications ou révisions avant publication. L'avis du comité de lecture sera transmis aux auteurs dans un délai ne dépassant pas 1 mois. La publication doit donc survenir au plus tard 2 mois après réception de l'article sauf cas de force majeure (qui pourrait rajouter un délai de 3 mois). Ces indications n'ont pas valeur de contrat et le fait de soumettre un article aux Cahiers de l'Audition sous-entend l'acceptation des conditions de publication.

Une fois mis en page, l'auteur reçoit de l'imprimeur les épreuves de son article : celles-ci doivent être renvoyées corrigées sous les 3 jours. Les seules corrections admises portent sur ce qui n'a pas été respecté par rapport au manuscrit, ou sur la mauvaise qualité de la mise en pages ou de la reproduction de figures.

L'auteur ou l'équipe d'auteurs recevra 20 exemplaires gratuits du numéro de la revue où l'article est paru.

**Les manuscrits sont à adresser à :**

**Professeur Paul Avan**

**Les Cahiers de l'Audition**

**Laboratoire de Biophysique**

**Faculté de médecine, BP38**

**63001 Clermont-Ferrand cedex, France**

Beltone

mia™



Beltone MIA - les petits qui égalent les plus grands



## L'audiométrie de diagnostic, encore et toujours...

Dans le dernier éditorial, notre ami le Docteur Jean-Louis Collette avait presque l'air de solliciter notre indulgence pour avoir remis à l'honneur le sujet que tous connaissent pour l'avoir appris depuis de début de leurs études et pour le pratiquer au quotidien, celui de l'audiométrie de diagnostic. Qu'il me permette, au moment de la parution du deuxième volet du travail que lui et ses complices de longue date ont si soigneusement rassemblé, d'exprimer à toute son équipe tous nos remerciements : le travail était ambi-

tieux, novateur par beaucoup plus de côtés qu'il n'y paraît, exposé, car dans une synthèse volontairement concise auraient pu se glisser des raccourcis ou des assertions contestables.

La perspective historique a été délibérée : Fournier, Terkildsen, Wever et Bray, Davis, plus récemment le toujours jeune Jewett, pour arriver à notre génération avec David Kemp. N'oublions pas qu'il a fallu une telle accumulation de génie pour permettre à nos outils de former une batterie cohérente, le moindre élément défectueux aurait invalidé l'ensemble.

La flamme de la création de nouveaux tests continue d'être entretenue avec, ne serait-ce que parmi nos auteurs, Laurent Demanez et l'école liégeoise créateurs d'une batterie d'étude des fonctions centrales à notre portée quotidienne, Evelyne Veuillet et ses contributions à la découverte des fonctions efférentes, Martine Ohresser et Jean-François Motsch et leurs techniques originales de mise en évidence de la dynamique des réponses neurales. Didier Bouccara n'en parle pas ici mais il teste et met au point de nombreuses méthodes de mesure audiolinguistiques encore trop prospectives pour faire partie de la panoplie quotidienne, mais qui pourraient trouver leur place dans un autre numéro. Les enseignements de l'école bordelaise devraient être passés dans le domaine public mais Monique Delarochette et Quiterie Daubech continuent à lutter contre une certaine paresse qui pousse parfois à ne pas avoir recours à leurs méthodes éprouvées. Et enfin, Jean-Louis Collette, comme son complice Jean-Claude Olivier, consacrent de nombreuses journées de loisirs à rassembler toute l'information utile ou potentiellement utile à l'audiologie du futur (mais ils n'ont aucun mérite, car ils ne font que s'adonner à une de leurs passions !).

A l'heure d'ouvrir ce numéro, revenons un peu en arrière : en 1980, par exemple. Pas d'otoémissions, seul David Kemp y croyait à l'époque. Pas de système efférent donc (on ne savait même pas ce que faisaient les cellules ciliées dans la cochlée). Les PEA étaient à la mode mais personne ne savait s'en servir. Les neuropathies auditives étaient inconnues, l'analyse centrale de la parole aussi. Evidemment, pas de troubles centraux du traitement de l'information auditive. On croyait que la grande majorité des surdités de l'enfant étaient infectieuses... ou anoxiques...rarement génétiques. Au fond, on savait à peine reconnaître un sourd d'un entendant. Cela n'avait guère d'importance, d'ailleurs, car il n'y avait pas d'aide auditive numérique, seuls quelques pionniers sur le terrain croyaient pouvoir aller plus loin, armés de leurs intuitions, de leur sens aigu de l'observation et d'un certain entêtement à agir : des Paul Veit ou Jean-Claude Lafon, par exemple.

Ce tableau est caricatural, bien sûr, les grands ouvrages d'audiologie d'avant 1980 contenaient déjà des trésors pour une véritable audiométrie de diagnostic. Mais les tests actuels nous ont forcé à inventer une nouvelle logique de réflexion, une nouvelle démarche diagnostique, une nouvelle lecture des résultats et de nouvelles stratégies de prise en charge et donc, avec ces deux numéros dirigés par Jean-Louis Collette, c'est à une véritable redécouverte que les Cahiers de l'Audition vous invitent. Dans le prolongement, puisque nous avons parlé plus haut de prise en charge et d'aides auditives numériques, Jean-Philippe Puy et Christian Gélis nous guident dans les secrets de celles-ci et nous montrent comment peuvent s'ouvrir quelques perspectives alléchantes, d'aides de plus en plus intelligentes. Diagnostic intelligent, aide intelligente, quel programme !

Les Cahiers de l'Audition, en partenariat avec le Collège National d'Audioprothèse, constituent la revue de formation et d'information de référence pour tous les professionnels de l'audiologie. L'acoustique, la psychoacoustique, l'audioprothèse, la physiologie et la pathologie de l'oreille, la psychologie et l'orthophonie sont autant de disciplines largement représentées dans Les Cahiers de l'Audition.

### Des rubriques variées, reflet de la richesse de la profession

■ Un dossier thématique par numéro (dont un entièrement dédié au Congrès annuel des Audioprothésistes) pour réactualiser vos connaissances sur des sujets aussi variés que l'acouphénométrie, l'hyperacousie, les implants cochléaires...

■ Des informations d'ordre économique, des données sur la publicité et le marketing, des comptes-rendus des principaux événements de votre profession ou encore des annonces concernant les formations.

■ Les rubriques **Veille Informatique**, **Veille Technologique** et **Banc d'essai** vous informent de l'avant garde des produits, matériels et équipements, disponibles récemment sur le marché.

■ La **Revue de Presse** vous informe des dernières nouveautés éditoriales indispensables pour votre exercice professionnel.

Que vous soyez audioprothésiste, médecin ORL, acousticien, physiologiste, orthophoniste ou psychologue, Les Cahiers de l'Audition vous offrent un moyen exceptionnel pour être informés des évolutions de votre spécialité !

**Rédacteur en chef : Prof. Paul AVAN**



### Bulletin d'abonnement 2005

à découper ou photocopier et retourner à : Masson - Service Abonnements  
21, rue Camille Desmoulins - 92789 Issy les Moulineaux cedex 9

Tél. : 01 73 28 16 34 Fax : 01 73 28 16 49 www.masson.fr e-mail :

Oui, je souhaite m'abonner à **Les Cahiers de l'Audition** pour 1 an, soit 6 numéros

Tarif (Je sélectionne le tarif dont je bénéficie)

#### INDIVIDUEL (tous pays)

Particulier 75 €

Étudiant 38 €

(fournir un justificatif)

Mon abonnement commence avec le numéro 1 - 2005

#### INSTITUTION

France+ Monaco et Andorre 99 €

Union européenne+ Suisse: 115 €

Reste du monde 125 €

U05405

#### Vos coordonnées

Mlle  Mme  M

Nom ..... Pr nom .....

Adresse.....

Code postal..... Ville.....

Pays ..... Tél .....

E-mail .....

Spécialité.....

#### Votre mode de règlement

Chèque bancaire ou postal 1 ordre de Masson

Carte bancaire :

Carte Bleue Nationale  Visa

Eurocard/MasterCard

N°: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Notez les 3 derniers chiffres du n°

au verso de votre carte bancaire: | | |

Expire fin | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Signature : \_\_\_\_\_

# OTOEMISSIONS ACOUSTIQUES EN PRATIQUE CLINIQUE QUOTIDIENNE

En 1978, la découverte par Kemp que notre oreille, stimulée acoustiquement, pouvait elle-même générer des sons, n' a pas été accueillie avec un grand enthousiasme par la communauté scientifique de l' époque. Pourtant, l' enregistrement dans le conduit auditif externe de cette énergie sonore, dénommée Otoémissions Acoustiques (OEA), reste encore à ce jour le seul moyen objectif et non invasif d' exploration du fonctionnement cochléaire et plus particulièrement des Cellules Ciliées Externes (CCE). Alors que certains spécialistes de l' audition refusaient de croire à un intérêt quelconque de cet épiphénomène auditif, il s' avère aujourd' hui que les OEA sont devenues un outil clinique dont le poids est loin d' être négligeable lorsqu' il s' agit d' établir un diagnostic d' une surdité.

L' objectif majeur de cet article est justement de montrer la place qu' occupent les OEA dans l' exploration fonctionnelle de l' audition en clinique. Nous montrerons ce qu' elles apportent dans la connaissance ou la reconnaissance d' une pathologie mais aussi leur intérêt pour détecter de futures modifications auditives. Pour cela, nous aurons recours, dans la mesure du possible, à l' expérience acquise par notre service, où nous pratiquons l' enregistrement des OEA en routine clinique depuis près de 20 ans. Nous allons d' abord faire quelques rappels et mises au point tant physiologiques

## Evelyne VEUILLET

Hôpital Edouard Herriot  
Pavillon U  
Service d' Audiologie et d' Explorations  
Orofaciales  
Place d' Arsonval  
69437 Lyon cedex 03

# 1

## QUE SONT LES OEA ?

A l'heure où les investigations cliniques reposent de plus en plus sur des techniques utilisant des méthodes de reconstruction de la fonction à partir de mesures indirectes (comme l'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf) ou la MagnétoEncéphaloGraphie (MEG)), les OEA, au contraire, fournissent une image fonctionnelle directe de la réaction de l'organe auditif au son. Ces signes auditifs peuvent revêtir différentes formes et pendant de nombreuses années on les distinguait uniquement sur la base du stimulus les provoquant. Avec l' avancement des connaissances sur la physiologie cochléaire, il semble plus juste à présent de différencier les OEA en fonction de leur mode de génération dans la cochlée (Shera et Guinan, 1999). Deux mécanismes différents d' émission de source ont

été identifiés conduisant ainsi à deux classes d' OEA. Il y a d' une part les réponses reposant sur les irrégularités cochléaires mais pas sur la non linéarité ; il s' agit des OEA générés par « *réflexion linéaire* ». Lorsqu'elles sont provoquées par des stimulus de faible intensité, elles sont très sensibles à de petits changements de gain de l' amplificateur cochléaire. Il y a d' autre part les réponses nécessitant la non linéarité cochléaire mais ne reposant pas sur l' irrégularité mécanique ; il s' agit des réponses naissant des « *distorsions non linéaires* », qui reflètent plus particulièrement la puissance de force produite par les CCE. Les premières qualifiées de « *réponses réfléchies* » englobent les OEA provoquées (OEAP) comme celles obtenues en réponse à un son bref et transitoire (appelées OEA transitoires) mais aussi les OEA spontanées (OEAS), obtenues en l' absence de stimulation. Les secondes qualifiées de « *réponses de distorsions* » englobent les Produits de distorsions acoustiques (PDA). Il s' agit de sons réémis par la cochlée en réponse à deux sons purs continus. Leur fréquence est une combinaison algébrique de ces deux

fréquences primaires f1 et f2. Ainsi, catégoriser les OEA en réponses « évoquées » (comprenant les OEAP et les PDA) et « spontanées » (avec les OEAS), conduirait à regrouper sous la même appellation des réponses cochléaires qui risquent d'être très différentes en spécificité et sensibilité.

Dans notre service, seules les réponses réfléchies (OEAP et OEAS) sont enregistrées de façon routinière en clinique, et nous axerons donc l'exposé sur ce type de réponses.

## 2 QUE REFLÈTENT LES OEA ?

A l'heure actuelle, si on ne connaît toujours pas avec précision comment une énergie sonore naît dans l'oreille interne, il est toutefois fort probable que le générateur cochléaire en soit la CCE et ses propriétés contractiles. On suppose que ces contractions actives engendrent des ondes hydromécaniques qui se déplacent le long des spires cochléaires. Par des mécanismes encore mal connus et qui font encore l'objet de travaux, ces ondes traversent en sens inverse l'oreille moyenne, passant à travers la chaîne ossiculaire jusqu'au tympan puis apparaissent sous forme d'une onde sonore dans le canal auditif. Si le niveau sonore ambiant est suffisamment faible, cette émission acoustique peut être recueillie au moyen d'un microphone récepteur sensible et miniaturisé placé juste à l'entrée du conduit auditif externe. L'état fonctionnel de l'oreille moyenne et les conditions de bruit sont les facteurs à contrôler très rigoureusement puisqu'ils influencent directement le recueil des OEA. En les négligeant, cela peut conduire à conclure à tort à une atteinte de l'intégrité fonctionnelle de l'oreille interne.

Car en effet, à ce jour, l'enregistrement des OEA est la seule exploration clinique non invasive permettant d'objectiver une pathologie de l'oreille interne associée à une altération des mécanismes actifs cochléaires siégeant dans la CCE. La cochlée présente deux types de cellules ciliées (CC) - Les CC internes (CCI), qui stimulent directement le nerf auditif et les CC externes (CCE) dont le rôle est loin d'être négligeable. En effet, du fait de leur contraction active, elles fonctionnent comme un amplificateur cochléaire agissant sur les CCI et améliorant ainsi la sensibilité auditive et la sélectivité fréquentielle. Leur exploration est donc importante puisqu'une atteinte de leur intégrité fonctionnelle va s'accompagner d'une élévation plus ou moins importante des seuils auditifs mesurés à l'audiométrie tonale. Leur origine exclusivement pré-neurale à laquelle s'ajoute leur statut de marqueurs spécifiques du fonctionnement des CCE, tributaires des mécanismes transmissionnels de l'oreille moyenne, font que l'enregistrement des OEA va en tout premier lieu apporter une aide précieuse dans

l'établissement d'un diagnostic différentiel face à un tableau clinique de surdiété neuro-sensorielle. De plus, la CCE est une cellule sensorielle fragile et vulnérable, souvent la première atteinte sous l'action de facteurs comme le bruit et les substances oto-toxiques. La dégradation des propriétés micromécaniques des CCE peut rester longtemps silencieuse, ne s'accompagnant que plus tardivement d'élévation des seuils auditifs. Un monitoring du fonctionnement de ces « sentinelles » cochléaires constitue donc un moyen précieux de surveillance cochléaire et le seul outil objectif et non invasif de prévention auditive. Enfin, leur rôle va être essentiel dans le dépistage des troubles auditifs. Avant de revenir sur chacun de ces points que nous illustrerons le plus possible par des exemples concrets tirés de notre expérience clinique journalière, nous allons d'abord rappeler quelques notions techniques concernant le recueil des OEA et caractériser les réponses chez les sujets normo-entendants. C'est en effet une étape primordiale pour une interprétation correcte de cet examen.

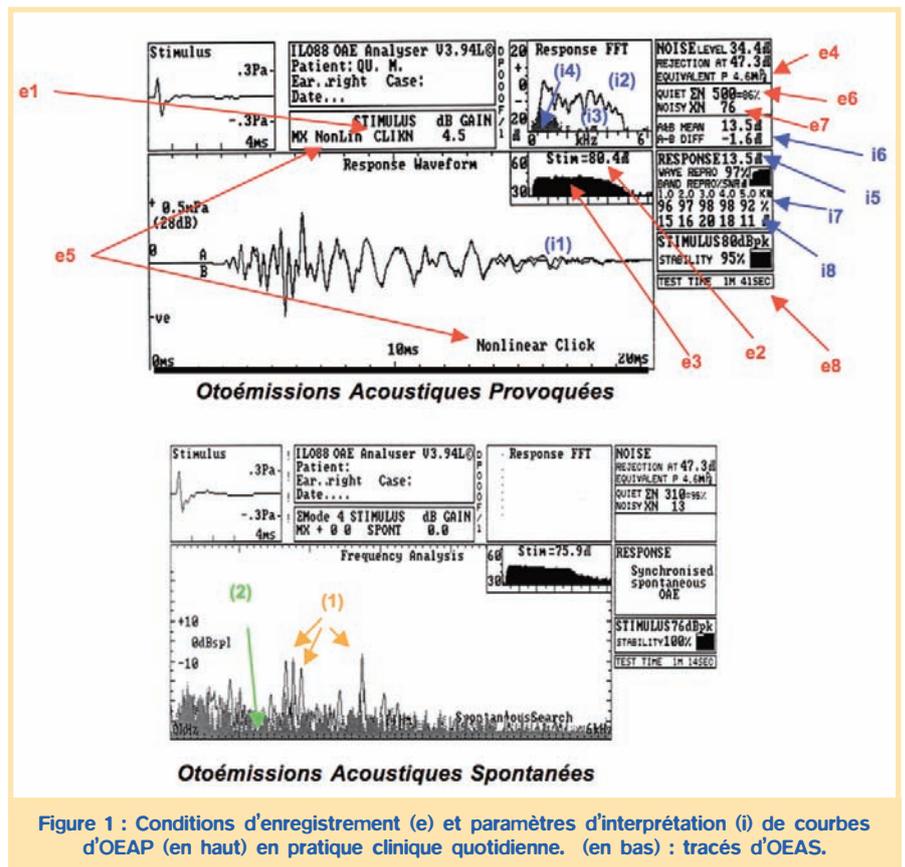


Figure 1 : Conditions d'enregistrement (e) et paramètres d'interprétation (i) de courbes d'OEAP (en haut) en pratique clinique quotidienne. (en bas) : tracés d'OEAS.

# 3 COMMENT S'ENREGISTRENT LES OEA ?

Le matériel de recueil le plus largement utilisé en clinique reste l'ILO88 mis au point par Kemp. La chaîne de mesure a beaucoup évolué depuis l'apparition du premier « ILO » mais la méthodologie restant la même, le lecteur pourra se référer à la monographie de Moulin et Collet (1996) pour plus de détails. La Figure 1 présente, chez un sujet normo-entendant, un tracé d'OEAP effectué dans les conditions utilisées en routine clinique et nous nous focaliserons sur les points essentiels à vérifier en clinique. Elles sont obtenues en réponse à des clics non filtrés (e1) administrés à  $80 \pm 3$  dBpeSPL (e2), soit environ 50 dBHL, dans des conditions rigoureusement contrôlées de position de la sonde (e3) mais ajustables d'acceptation de niveau de bruit de fond (e4). La seule consigne donnée au sujet est de rester le plus calme et le plus silencieux possible. L'intensité de stimulation, plutôt élevée, améliore le rapport signal/bruit de la réponse. Elle facilite donc l'émergence des réponses sur l'ensemble des fréquences testées, si le spectre du stimulus dessine bien un plateau entre 500 et 4500 Hz. En revanche, elle génère un long artefact de stimulation que l'on réduit en utilisant la procédure non linéaire (e5). Par ailleurs, la réponse s'extrait du bruit de fond grâce à un moyennage de 500 réponses (e6) et un rejet des traces trop parasitées (e7). Il faut environ 2 minutes (e8) pour obtenir un tracé chez un sujet coopérant. L'analyse de ces différents critères d'enregistrement permet déjà de juger des conditions de la mesure.

La réponse recueillie est filtrée spectralement et temporellement. Compte tenu du spectre de réponse du microphone et à condition que la sonde ait bien été placée,

la composition spectrale des réponses évoquée par un clic peut être étudiée de façon fiable entre 500 et 5 000 Hz. Afin de ne pas considérer comme composante cochléaire une fin de stimulus, le filtrage temporel de la réponse doit tenir compte de la longueur de l'artefact de stimulation. Normalement, lorsque la sonde est installée de façon optimale, la fenêtre temporelle s'étend de 2.6 ms à 20 ms pour les OEAP provoqués par des clics.

Concernant les OEAS, la procédure d'enregistrement utilisée est celle implémentée dans le logiciel ILO88. L'enregistrement est déclenché par un clic et 300 réponses sont moyennées. La procédure linéaire est utilisée ici car elle présente l'avantage de réduire considérablement le bruit de fond sachant par ailleurs que le risque de contamination du tracé par la fin du stimulus est négligeable puisque les réponses spontanées ne sont recherchées qu'entre 60 à 80 ms après le début de la stimulation.

# 4 COMMENT S'INTERPRÈTENT LES OEA ?

Interpréter des tracés d'OEA, c'est d'abord et avant tout rechercher la présence d'une onde acoustique sachant que l'on dispose à la fois du tracé dans le temps (i1) et de l'analyse spectrale du signal (i2). Il faut pouvoir décider, si dans le signal enregistré, des réponses reproductibles (i3) émergent suffisamment du bruit de fond aléatoire (i4) pour être retenues. Pour les OEAP, on peut déjà confronter entre elles les mesures d'intensité absolue de la réponse globale (i5) et du bruit contaminant résiduel (i6) et si la première est supérieure à la deuxième, en conclure qu'une réponse peut être présente. On peut aller plus loin dans l'interprétation des résultats en considérant les compo-

santes spectrales de cette réponse. Qu'elles soient fournies par octave comme dans les anciennes versions du logiciel ou à présent par 1/2 octave (ILOv6), on dispose pour chaque bande, d'une mesure de la qualité de la réponse (SNR), à savoir l'intensité de la réponse à laquelle est retranché le bruit (i7). Alors que les anciennes versions d'ILO fournissaient également une mesure de la reproductibilité (i8), les nouvelles versions séparent l'intensité absolue du signal et du bruit et proposent une détection automatique de présence ou d'absence de réponse dans chaque bande.

L'interprétation des tracés d'OEAS est beaucoup plus visuelle et qualitative puisqu'elle se base sur la recherche de pics (1) qui émergent suffisamment du bruit (2) en amplitude et en fréquence.

# 5 QU'APPORTENT LES OAES SUR L'AUDITION D'UN SUJET ?

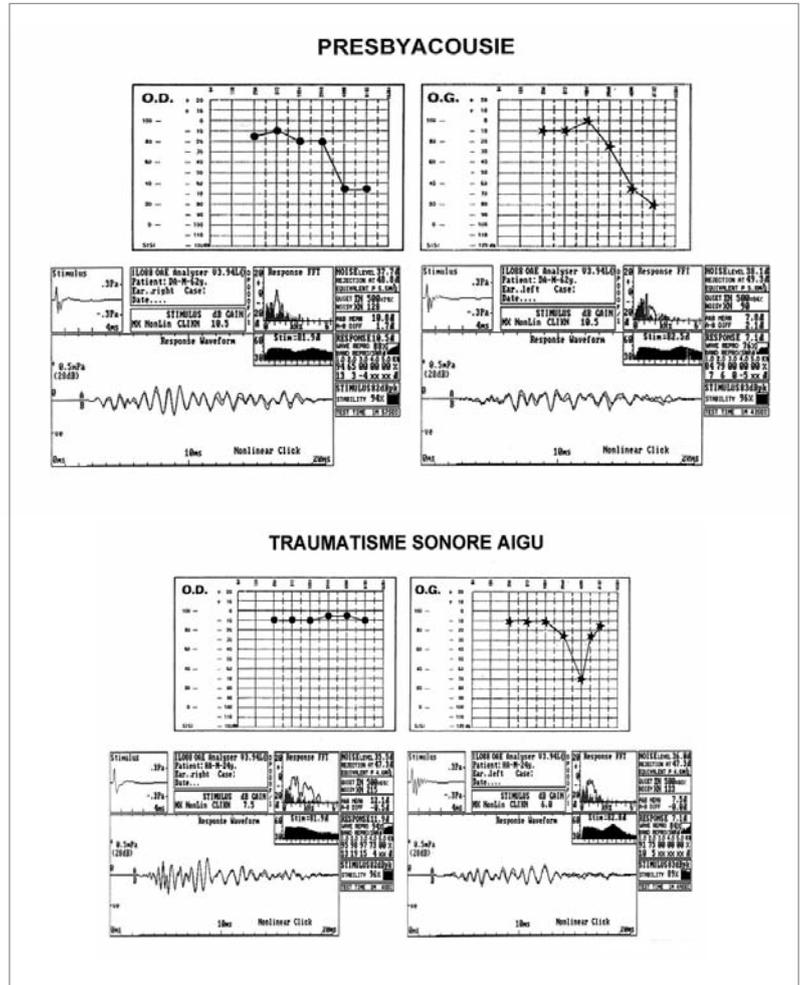
En pratique, les OEAP sont enregistrables dans toutes les oreilles normo-entendantes en condition d'enregistrement adéquate et en présence d'une bonne intégrité fonctionnelle de l'oreille moyenne. Elles peuvent être obtenues à tous les âges de la vie (du prématuré jusqu'à la personne âgée) chez les sujets dont les seuils auditifs sont normaux pour l'âge mais elles tendent à diminuer d'amplitude et s'appauvrir en fréquence avec l'âge. Alors que les mesures intra-sujets sont très stables, il existe, chez les sujets normo-entendants, une très forte variabilité interindividuelles de l'amplitude des OEAP rendant ce critère en lui-même peu caractéristique de la sensibilité auditive. Le cas des OEAS est différent car elles sont présentes chez

61% des nouveaux nés prématurés, leur taux passant à 35% vers 30 ans. Par contre, elles sont rarement présentes dès qu'une perte auditive sub-clinique existe. Ainsi leur présence témoignerait d'une meilleure qualité de l'audition voire d'une excellence des seuils auditifs chez les normo-entendants.

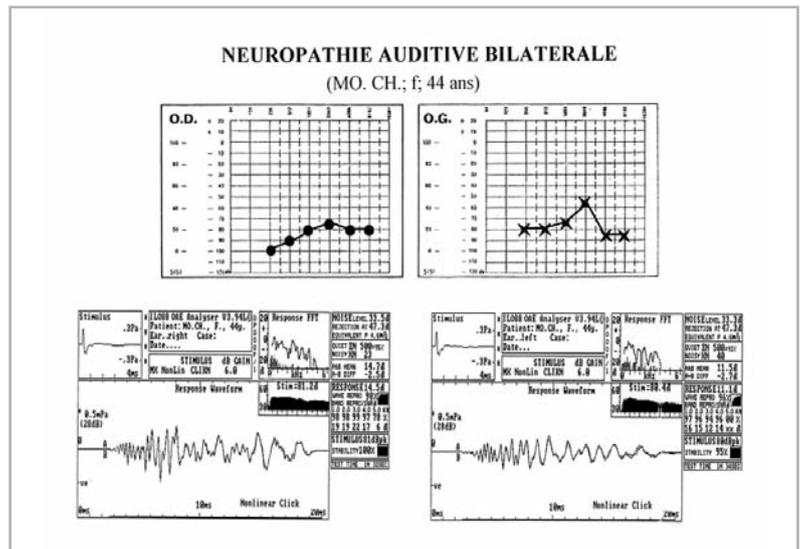
# 6 QUEL EST L'INTÉRÊT CLINIQUE DES OEAP ?

## Dans le diagnostic différentiel des surdités endo- et rétro-cochléaires

Les possibilités diagnostiques des OEAP reposent d'une part, sur le fait qu'elles sont absentes lors d'une atteinte cochléaire entraînant une perte auditive supérieure à 40 dBHL sur la meilleure fréquence et d'autre part sur le fait que leur spectre fréquentiel tend à évoquer la forme de l'audiogramme. En clinique, nous recherchons l'existence de concordances ou de discordances entre ces différents paramètres. Les OEAP sont donc complémentaires aux potentiels évoqués auditifs précoces (PEAP) par la zone cochléaire explorée. Devant un patient présentant sur certaines fréquences des pertes auditives ne dépassant pas 40 dBHL associées à des OEAP dont les composantes spectrales sont essentiellement centrées sur ces fréquences conservées, l'interprétation de cet examen apportera des arguments en faveur d'une atteinte endo-cochléaire (Figure 2 en haut). Avec toutefois les limites liées au fait que les OEAP ne renseignent pas sur l'audition des fréquences au-delà de 4.6 kHz et qu'en l'absence de réponse il est difficile de conclure. Toutefois, une atteinte endo-cochléaire peut très bien être suspectée chez un patient jeune présentant une perte auditive importante mais



Exemple de « concordance »



Exemple de « non concordance »

Figure 2 : Cas de concordance et de non-concordance entre les OEAP et les seuils en audiométrie tonale.

restreinte à la fréquence 8 kHz et une absence totale d'OEAP. Il faut bien sûr, pour établir un diagnostic correct s'assurer de la normalité d'autres tests du bilan, en particulier de l'audiométrie vocale et des PEAP. Cette non concordance (absence de OEAP et seuils normaux entre 250 et 4000 Hz) conduit ici à émettre l'hypothèse d'une atteinte endo-cochléaire limitée aux CCE. On voit que l'absence d'OEAP, qui traduit une souffrance de l'oreille interne, va être un moyen de détecter beaucoup plus précocement que d'autres tests une atteinte auditive. Nous reviendrons un peu plus tard sur le rôle important des OEA dans la surveillance fonctionnelle de l'oreille interne. Auparavant, signalons que d'autres non concordances peuvent être observées. C'est le cas lorsque des OEAP sont présentes alors que l'audiogramme montre des pertes auditives supérieures à 40 dBHL sur toutes les fréquences ou que des réponses spectrales sont présentes à des fréquences très dégradées à l'audiométrie tonale. Cela constitue des arguments en faveur d'une atteinte rétro-cochléaire. Enfin, plus récemment, des OEAP ont été trouvées en présence d'une perte auditive sévère de type cochléaire chez un patient présentant une fistule pérymphatique (Collisson et Pons, 2004). La Figure 2 présente plusieurs exemples pour illustrer cette démarche clinique de recherche de concordance. Les deux figures du haut dans la Figure 2 montrent des cas de concordance argumentant en faveur d'atteintes endo-cochléaires. La figure du bas dans le Figure 2 représente un cas typique de non concordance correspondant à une atteinte rétro-cochléaire. Il faut souligner dans ce cadre l'importante place actuelle occupée par l'enregistrement des OEAP dans la confirmation d'un diagnostic de neuropathie auditive chez l'adulte comme chez l'enfant. Dans cette pathologie, les sites possibles de dysfonctionnement sont soit les CCI, soit les fibres du nerf auditif (désynchronisation) ou les synapses entre les 2, alors que sont éparpillées, au moins dans les premiers temps, les CCE. Une neuropathie auditive doit être suspectée chaque fois que des OEAP sont détectées alors que les PEAP sont

absents ou très dégradés. Il est également important de les rechercher suite à une méningite en particulier chez le jeune enfant en les associant aux PEAP. Car en effet une surdité neurosensorielle peut apparaître et il est nécessaire de savoir si l'infection qui semble toujours atteindre la cochlée a aussi eu des conséquences négatives sur le fonctionnement du nerf auditif ou sur des structures du tronc cérébral. Cette recherche du site de lésion en combinant les OEAP, PEAP et chez le sujet en âge d'être testé une audiométrie comportementale est également importante suite à un traumatisme crânien (Nolle et coll. 2004). Il peut être également utile de conduire l'ensemble de ces investigations chez les patients présentant des atteintes neurologiques comme une sclérose en plaque dans laquelle il existe une démyélinisation du nerf auditif mais où les structures de l'oreille interne restent fonctionnelles.

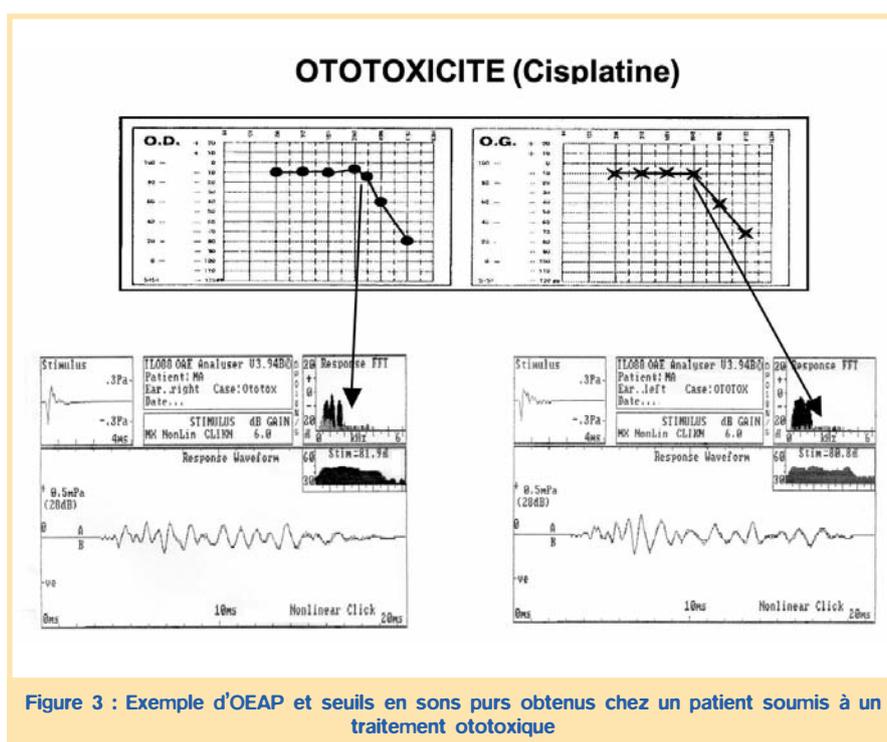
Les OEAP apportent donc une aide incontestable pour localiser le site de la pathologie mais elles ne permettent pas d'estimer les seuils en sons purs étant parfois présentes alors qu'une surdité profonde existe. Elles ne constituent donc pas un test objectif de la sensibilité auditive mais plu-

tôt une mesure du degré de perte auditive non présente. Elles sont aussi un outil potentiel pour surveiller l'état de l'audition.

## Dans la prévention de la fonction cochléaire chez les sujets à risque de surdité

### • Prise d'ototoxiques :

Certains agents anti-tumoraux (comme le cisplatine), certains antibiotiques de la classe des aminoglycosides (comme la gentamicine) mais aussi des substances chimiques comme la quinine ou l'aspirine sont à l'origine d'une détérioration cellulaire et fonctionnelle des tissus de l'oreille interne et des neurones du nerf cochléaire. Il a été bien démontré que le site primaire de ces atteintes ototoxiques est périphérique et que les CCE du tour basal de la cochlée constituent une cible de prédilection. Comme le montre la Figure 3, un traitement chimiothérapique (haute dose de cisplatine) peut s'accompagner d'une perte auditive sur les fréquences aiguës (à partir de 4 kHz) et une altération des réponses cochléaires sur les fréquences moyennes (2 kHz). Ainsi, en cas d'administration d'une



substance potentiellement cochléo-toxique, la surveillance des OEAP peut donc se révéler utile pour identifier précocement un changement de l'audition qui pourra alors conduire à une modification de protocole thérapeutique ou à la mise en place de mesures de réhabilitation auditive afin de limiter les effets négatifs d'une perte sensorielle sur les fréquences aiguës.

### • Exposition au bruit

L'exposition au bruit peut induire une surdité temporaire ou permanente reposant sur des mécanismes différents mais dans lesquels il est clairement établi que les CCE sont les premières atteintes. Nous observons classiquement en clinique des OEAP dégradés chez des sujets exposés au bruit avec un spectre concordant aux seuils mesurés à l'audiométrie tonale. Mais il est aussi fréquent de ne pas trouver de réponses cochléaires chez les sujets exposés au bruit depuis de nombreuses années dans le cadre de leur activité professionnelle. Une étude fait d'ailleurs état de 56 % de sujets dans ce cas (Desai et coll., 1999). Dans le cas de traumatisme sonore aigu, soit les réponses cochléaires diminuent puis récupèrent à mesure que l'audiogramme s'améliore soit ne récupèrent pas en dépit du retour vers des valeurs normales de seuil. Cela signifie-t-il pour autant que les OEAP soient un outil permettant de détecter des changements sub-cliniques avant l'apparition d'une perte auditive ? Au vu de la littérature, la réponse tend à être affirmative puisque les OEAP seraient plus sensibles aux dommages causés par le bruit que l'audiométrie comportementale mais cette conclusion établie à partir d'études de cas même typiques se doit d'être validée à plus grande échelle.

### • Surdité brusque et hydrops endolymphatique

Le suivi des OEAP dans les surdités d'apparition soudaine présente un intérêt à deux niveaux. D'une part, elles pourraient permettre de prédire une récupéra-

tion de l'audition puisque leur présence lors du premier test est corrélée avec l'amélioration des seuils auditifs et plus de la moitié des sujets qui récupèrent auditivement présentent initialement des OEAP malgré une perte auditive dépassant 40 dBHL sur toutes les fréquences. D'autre part, leur enregistrement est utile pour tester l'efficacité d'un traitement comme cela a été montré dans le cas des maladies auto-immunes de l'oreille interne où une apparition des OEAP est décrite sous l'effet d'un traitement immunosuppresseur (Quaranta et coll., 2002).

L'intérêt clinique principal de mesurer les OEAP chez les patients pour qui une maladie de Ménière est suspectée reposerait essentiellement sur le fait que les OEAP sont très sensibles à la pression intra-labyrinthique. Par extension, leur enregistrement serait d'ailleurs un moyen non invasif de contrôle de l'hypertension intracrânienne, facteur important à prendre en considération lors d'opérations de neurochirurgie et en unité de soins intensifs. Elles peuvent être présentes alors qu'une perte auditive considérable existe, indiquant ainsi que les CCE et donc l'oreille interne sont encore fonctionnelles. Cette recherche des OEAP peut ainsi influencer sur la démarche thérapeutique et est encore parfois utilisée pour suivre les effets de l'administration d'une substance hyperosmotique comme le glycérol qui peut induire une augmentation de leur amplitude sans modifications concomitantes des seuils auditifs. Quand ces derniers s'améliorent, des OEAP peuvent apparaître très spécifiquement dans des portions cochléaires correspondant aux fréquences mieux perçues après glycérol, faisant espérer que les OEAP puissent contribuer à améliorer la sensibilité du test au glycérol dans le diagnostic d'hydrops endolymphatique. Dans l'attente d'autres confirmations concrètes, il n'en reste pas moins que leur mesure permet de mieux localiser le site de l'atteinte dans cette pathologie et de mieux surveiller son évolution.

A côté de ce rôle majeur dans la prévention ou la prévision de récupérations des pertes auditives, les OEAP jouent un rôle

essentiel dans le dépistage des atteintes de la fonction auditive.

### • Dépistage des troubles auditifs dans la période néonatale

Les conséquences négatives induites par une privation sensorielle par surdité sur le développement du langage et de la communication suffisent pour comprendre l'obligation de disposer de méthodes suffisamment sensibles et spécifiques pour avancer au maximum l'âge de détection d'une surdité et ainsi mettre en place une réhabilitation efficace. Depuis près de 10 ans, un dépistage systématique des bébés à la naissance (2 jours minimum après celle-ci) incluant les OEAP (Harrison, 2000) est imposé par la loi dans la plupart des états aux Etats-Unis. Il a amélioré l'identification des nouveaux-nés qui naissent avec une surdité moyenne à profonde, mais son efficacité sur l'amélioration à long terme de la survie du langage reste encore à démontrer. En Europe, où l'on estime que sur 1000 enfants naissant à terme, 1 ou 2 sont atteints de surdité, ce dépistage universel est recommandé. En France par exemple, il n'est systématique que chez les nouveaux-nés (qu'ils soient prématurés ou non) s'ils présentent des facteurs de risque de surdité, et ne comporte que les OEAP car le risque de perte auditive due à une atteinte rétro-cochléaire est très élevé dans ce type de population. Or une étude prospective incluant les OEAP a montré qu'elles étaient plus fréquemment absentes chez les bébés présentant des facteurs de risque comme une infection néonatale, une médication ototoxique, un poids de naissance inférieur à 1500g, une hyperbilirubinémie, un score d'Apgar anormal, une détresse respiratoire (Morlet et coll., 2001) argumentant en faveur de l'utilité des OEAP recueillies simplement et non invasivement. Mais alors que les enfants à risque ne sont qu'un faible pourcentage à présenter ultérieurement une perte auditive, un nombre significatif d'enfants, qui n'étaient pas catégorisés à risque, est porteur d'une surdité. Ce fait motive largement la mise en place de programmes universel d'identifi-

cation précoce de la surdité (Cone-Wesson et coll., 2000) comme cela se fait aux Etats-Unis et où les OEAP sont contrôlées. Car même si leur recueil est dépendant des conditions de bruit et de placement de sonde et fortement tributaire de l'état de l'oreille moyenne et externe, ces réponses spécifiques des CCE sont aisément et rapidement mesurables. Même dans des conditions différentes de bruit, ce qui est le cas entre un recueil effectué chez un prématuré placé en couveuse dans un service de soins intensifs et un nouveau-né à terme dormant dans un berceau placé dans la chambre, les réponses se révèlent être comparables en qualité avec très souvent une impossibilité pratique de mesurer les réponses émises avant et autour de 1 kHz (Figure 4), probablement du fait des niveaux très élevés de bruit basse fréquence comme ceux induits par la succion et/ou la respiration. L'enregistrement sur des fenêtres temporelles plus courtes (Quickscreen) est un moyen d'amélioration de la qualité des réponses. Du fait que la sensibilité des réponses augmente avec l'ampleur de la perte, les chances sont plus grandes de dépister plus précocement les enfants qui auront besoin d'une prise en charge. Enfin, leur capacité prédictive est satisfaisante comme en témoigne la bonne adéquation d'une part entre le pourcentage d'enfants sans OEAP à la naissance et la prévalence des pertes auditives neurosensorielles dans la population générale et d'autre part entre les réponses enregistrées à la naissance et les seuils mesurés vers 8-10 mois au moyen de l'audiométrie à renforcement visuel.

Mais il faut rester prudent face aux OEAP comme seul et unique outil dans le dépistage d'une surdité à la naissance. En effet, par leur absence et si aucun examen otoscopique n'a été préalablement effectué, elles peuvent conduire à poser un diagnostic erroné de surdité de perception. Si l'otoscopie est normale et les OEAP absentes, les PEAP, en tant qu'examen de grande fiabilité seront alors indispensables.

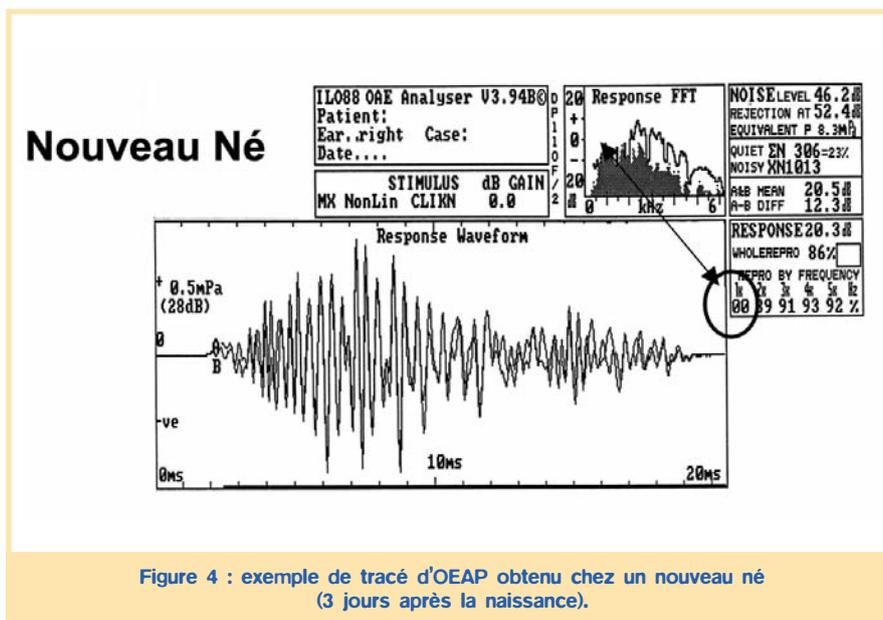


Figure 4 : exemple de tracé d'OEAP obtenu chez un nouveau né (3 jours après la naissance).

A l'inverse, par leur présence et parce qu'elles sont insensibles aux lésions atteignant les CCI et/ou certaines structures auditives centrales, elles peuvent masquer une surdité qui serait d'origine rétrocochléaire. Cette situation où les OEAP sont présentes et les PEAP absentes sont rares. Elle peut se rencontrer chez les très jeunes enfants du fait d'une maturation neuronale encore incomplète mais aussi chez les nouveaux-nés présentant des taux anormalement élevés de bilirubine. Dans ces deux cas les PEAP sont à reconstruire à distance car des normalisations sont possibles. Elle peut aussi s'expliquer par le fait que les deux examens n'explorent pas les mêmes fréquences (fréquences moyennes pour les OEAP et fréquences plus élevées pour les PEAP) mais aussi par une synchronisation neuronale perturbée qui va être à l'origine de PEAP dégradés mais pas nécessairement d'importantes pertes auditives. Mais cette anomalie dans le dépistage peut également être l'indicateur d'une perte auditive évolutive avec disparition plus tardive des OEAP comme cela vient d'être récemment décrit dans certain type de neuropathie d'origine génétique (Rodriguez-Ballesteros et coll., 2003).

Ces différences entre OEAP et PEAP et les coûts médico-économiques expliquent que selon les pays ou les régions, différents outils de dépistage systématique aient été mis en place.

#### • Détection et/ou confirmation d'atteinte auditive

Les OEAP ont un intérêt clinique irréfutable chaque fois qu'il s'agit d'évaluer l'audition d'un sujet qui présente des difficultés pour répondre dans les tests conventionnels subjectifs comme l'audiométrie tonale ou vocale. C'est le cas de certains enfants difficilement conditionnables car présentant ou non un trouble du comportement et/ou de la communication, mais aussi d'adultes répondant de façon incohérente aux tests. C'est ainsi qu'une pseudo-hypoacousie doit être suspectée devant un patient dont les seuils à l'audiométrie tonale sont très dégradés alors que les seuils vocaux sont ceux d'un sujet à une audition normale. Ici l'enregistrement des OEAP est un moyen simple, rapide et à faible coût d'éclaircir le diagnostic et évite le recours à des explorations auditives plus poussées.

En outre, leur recherche peut paraître intéressante dans certains dysfonctionnements métaboliques où s'associe une surdité. C'est ainsi qu'une altération des OEAP est décrite chez des patients diabétiques de type I et chez des sujets présentant des taux anormalement élevés de lipoprotéines sans élévation des seuils auditifs (respectivement Ottaviani et coll. 2002, Erdem et coll., 2003).

Dans d'autres pathologies comme la myopathie mitochondriale, il est décrit une absence des OEAP en présence d'une audition strictement normale (Korres et coll. 2002).

Enfin, les OEAP en tant que mesure très sensible de l'intégrité fonctionnelle cochléaire sont utilisées dans le dépistage phénotypique de divers types de surdité génétique. Des OEAP réduites voire absentes sont décrites dans plusieurs atteintes auditives non syndromiques mais aussi dans les atteintes syndromiques comme par exemple la maladie de Fabry (Germain et coll., 2002). Ces OEAP dégradés sont en faveur d'une atteinte cochléaire. En revanche des réponses sont présentes dans l'ataxie de Friedreich, maladie neurodégénérative atteignant le nerf auditif (Lopez-Diaz et coll., 2003). Ainsi les OEAP sont un outil clinique intéressant comme marqueur du phénotype auditif chez les individus porteurs d'une surdité génétique mais aussi des membres de leur famille. Des OEAP d'amplitude réduite sont d'ailleurs décrites chez des porteurs sains de la mutation Cx26 (Morell et coll., 1998) et plus récemment il a été montré que les PDA pouvaient même différencier les porteurs des non porteurs (Engel-Yates et coll., 2002), les CCE étant les structures auditives les plus susceptibles à cette mutation (Engel-Yates et coll., 2003). Ainsi l'enregistrement des OEAP chez des sujets porteurs de surdité génétique permet d'une part de les identifier en l'absence de troubles auditifs et de caractériser et localiser l'atteinte. Cela peut être essentiel dans le conseil génétique de ces sujets. D'autre part, leur suivi longitudinal devrait permettre de mieux comprendre l'impact de la mutation sur la fonction auditive (Rodriguez-Ballesteros et coll., 2003).

Plus de 25 années après leur découverte, les OEAP sont toujours utilisées en clinique en tant que procédure de diagnostic mais aussi pour le dépistage des surdités. Elles sont les seules à nous renseigner objectivement et non invasivement sur l'état fonctionnel des CCE qui sont parfois les premières structures auditives qui dysfonctionnent et cela de façon souvent

irréversible. Anticipant parfois la modification des seuils audiométriques, leur suivi va ainsi permettre, par une détection précoce, de prévenir l'installation d'une perte auditive et/ou d'en surveiller l'aspect évolutif.

Mais malgré les potentialités de cet outil, il doit être utilisé au sein d'une batterie d'autres tests d'exploration auditive afin de pouvoir confronter entre eux les résultats. Chez l'adulte, il est utile pour confirmer un diagnostic de surdité neurosensorielle lorsque le profil est bien défini et pour l'affiner en cas de tableau clinique moins clair. Chez l'enfant, il aide au dépistage d'une surdité et en précise l'origine; mais pour cela il est impératif de rechercher les OEAP et les PEAP mais aussi, et dans la mesure du possible, d'effectuer une audiométrie comportementale afin de limiter le risque de passer à côté d'une surdité. L'arrivée sur le marché du dépistage de la surdité d'appareils automatisés alliant les OEAP aux PEAP (Meier et coll. 2004) s'inscrit nettement dans cette démarche également dictée par une politique de coût. Enfin, concernant les PDA, c'est le PDA de type 2f1-f2, largement le plus ample à faible intensité de stimulation, qui est le plus étudié en clinique. Un audiogramme des PDA ou « PDAGramme » peut être facilement réalisé en faisant varier la fréquence des primaires avec un rapport f2/f1 optimum. Leur utilité en clinique tient surtout dans le fait qu'elles permettent d'explorer des fréquences plus élevées que les OEAP mais en revanche, elles sont de qualité moindre aux basses fréquences. Cependant leur présence à forte intensité de stimulation chez certains patients porteurs d'une perte auditive supérieure à 30-40 dB a fait douter d'une origine uniquement cochléaire. Il semble de plus en plus probable que si ces réponses obtenues à forte intensité sont de très mauvais indicateurs audiométriques, elles permettent toutefois d'étudier certains mécanismes siégeant dans la CCE (Avan et coll., 2003). Ceci pourrait donner aux PDA un nouvel élan comme test d'exploration fonctionnelle cochléaire.

Le recueil des OEA en clinique est donc un moyen unique et irremplaçable d'obtenir des données qui au fil des années ont non seulement permis de faire avancer nos connaissances sur la physiopathologie de l'oreille interne mais aussi sur les bases physiques et sur la physiologie de l'audition.

*J'adresse mes remerciements au Professeur Lionel Collet qui me fait sans cesse partager ses infaillibles connaissances dans le domaine de la physiologie de l'audition.*

## Bibliographie

- Avan P, Bonfils P, Gilain L, Mom T.** Physiological significance of distortion-product otoacoustic emissions at 2f1-f2 produced by high-versus low-level stimuli. *J. Acoust. Soc. Am.* 2003, 113: 430-441.
- Collison PJ, Pons KC.** « Spontaneous » perilymph fistula: a case report. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2004, 113: 329-334.
- Cone-Wesson B, Bohr BR, Sininger S et coll.** Identification of neonatal hearing impairment: infants with hearing loss. *Ear & Hearing*, 2000, 21: 488-507.
- Desai A, Reed D, Cheyne A et Coll.** Absence of otoacoustic emissions in subjects with normal audiometric thresholds implies exposure to noise. *Noise Health* 1999, 1: 58-65.
- Engel-Yates B, Zaaroura S, Zlotogora J et coll.** Otoacoustic emissions and brainstem evoked potentials in compound carriers of connexion 26 mutations. *Hear Res* 2003, 175: 140-151.
- Engel-Yates B, Zaaroura S, Zlotogora J et Coll.** The effects of a connexion 26 mutation -35delG- on otoacoustic emissions and brainstem auditory evoked potentials. Homozygotes and carriers. *Hear Res* 2002, 163: 93-100.
- Erdem T, Ozturan O, Miman MC, Ozturk C, Karatas E.** Exploration of the early auditory effects of hyperlipoproteinemia and diabetes mellitus using otoacoustic emissions. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2003, 260: 62-66.

**Germain DP, Avan P, Chassaing A et coll.** Patients affected with Fabry disease have an increased incidence of progressive hearing loss and sudden deafness: an investigation of twenty-two hemizygous male patients. *BMC Med Genet* 2002, 3: 1-10.

**Harisson WA, Dunnell JJ, Mascher K et coll.** Identification of neonatal hearing impairment : experimental protocol an database management. *Ear & Hearing*, 2000, 21 : 357-372.

**Kemp DT.** Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system. *J Acoust Soc Am* 1978, 64: 1386-1391.

**Korres S, Balatsouras D, Manta P et coll.** Cochlear dysfunction in patients with mitochondrial myopathy. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* 2002, 64: 315-320.

**Lopez-Diaz de Leon E, Silva-Rojas A, Ysunza A et coll.** Auditory neuropathy in Freidreich ataxia. A report of two cases. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2003, 67: 641-648.

**Meier S, Narabayashi O, Probst R, Schmuziger N.** Comparison of currently available devices designed for newborn hearing screening using automated auditory brainstem and/or otoacoustic emission measurements. *Int J Ped Otorhinolaryngol* 2004, 68: 927-934.

**Morell R, Kim HJ, Hood LJ et coll.** Mutations in the connexion 26 gene (GJB2) among Ashkenasi Jews with nonsyndromic recessive deafness. *N Engl J Med* 1998, 339: 1500-1505.

**Morlet T, Moulin A, Putet G et coll.** Dépistage de troubles auditifs chez des nouveaux-nés à risque. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac* 2001, 118 : 11-18.

**Moulin A, Collet L.** Les otoémissions acoustiques en exploration fonctionnelle. 1996.

**Nolle C, Todt I, Seidl RO, Ernst A.** Pathological changes of the central auditory pathway after blunt trauma of the head. *Neurotrauma*, 2004, 21: 251-258.

**Ottaviani F, Dozio N, Neglia CB, Riccio S, Scavani M.** Absence of otoacoustic emissions in insulin-dependent diabetic patients. Is there evidence for diabetic cochleopathy ? *J. Diabetes Complications*. 2002, 16: 338-343.

**Quaranta A, Scaringi A, Sallustio V, Quaranta N.** Cochlear function in ears with immunomediated inner ear disorder. *Acta Otolaryngol* 2002, (Suppl) 548: 15-19.

**Rodriguez-Ballesteros M, del Castillo FJ, Martin Y et coll.** Auditory neuropathy in patients carrying mutations in the Otoferlin Gene (OTOF). *Human Mutation*, 2003, 22: 451-456.

**Shera CA, Guinan JJJr.** Evoked otoacoustic emissions arise by two fundamentally different mechanisms: a taxonomy for mammalian OEAs. *J Acoust Soc Am*; 1999, 105: 782-798.

**VOS IDÉES, VOS SUGGESTIONS, VOS REMARQUES  
nous sont indispensables pour que  
les "Cahiers de l'Audition" puissent traiter  
les sujets qui vous tiennent à cœur.**

**Merci de nous écrire aux "Cahiers de l'Audition"  
12, ter rue de Bondy - 93600 Aulnay sous Bois**

# Une révolution technique et esthétique

## Le PAC

(HiFi AC™) Post Auricular Canal

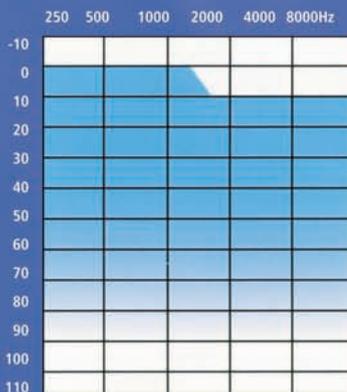
Les avantages du système auditif PAC

- Processeur numérique
- Discrétion totale
- Haute fidélité acoustique
- Haute résistance à l'humidité
- Durée de pile prolongée (3 à 4 semaines)
- 4 situations sonores personnalisées
- Surdités de légères à sévères
- Service après vente immédiat
- Fiabilité intégré
- Haute résistance aux chocs
- Garantie 2 ans « Processeur et Ecouteur »

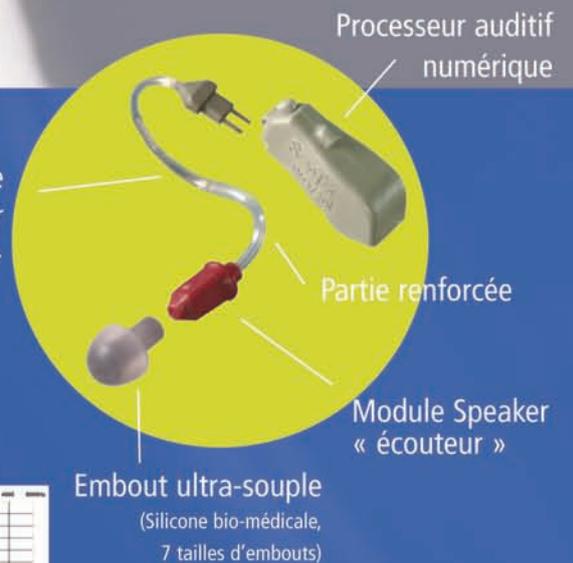
### Des solutions complètes d'adaptation

Surdités légères, moyennes et sévères

Sans effet d'occlusion et sans Larsen.



Electro-tube  
« Liaison écouteur  
3 tailles OD-OG »



# EXPLORATIONS AUDIOMETRIQUES CHEZ L'ENFANT : D'UN DÉPISTAGE FIABLE À TOUT ÂGE À UNE AUDIOMÉTRIE PRÉCISE

**Quitterie DAUBECH**

ORL  
Directrice du CAMSP d'audiologie

**Monique DELAROCHE**

Orthophoniste - Audiométriste

CHU Pellegrin  
Unité d'Audiologie  
Professeur René DAUMAN  
Place Amélie Raba-Léon  
33076 Bordeaux Cedex

À la lumière de cas cliniques, cet article développera ce que peut et doit faire un ORL en pratique courante pour :

- ne pas méconnaître une surdité,
- ne pas faire une annonce erronée de diagnostic de surdité,
- savoir évaluer l'audition avant d'adapter un traitement ou savoir orienter l'enfant vers un ORL ou un service spécialisés en audiométrie infantile.

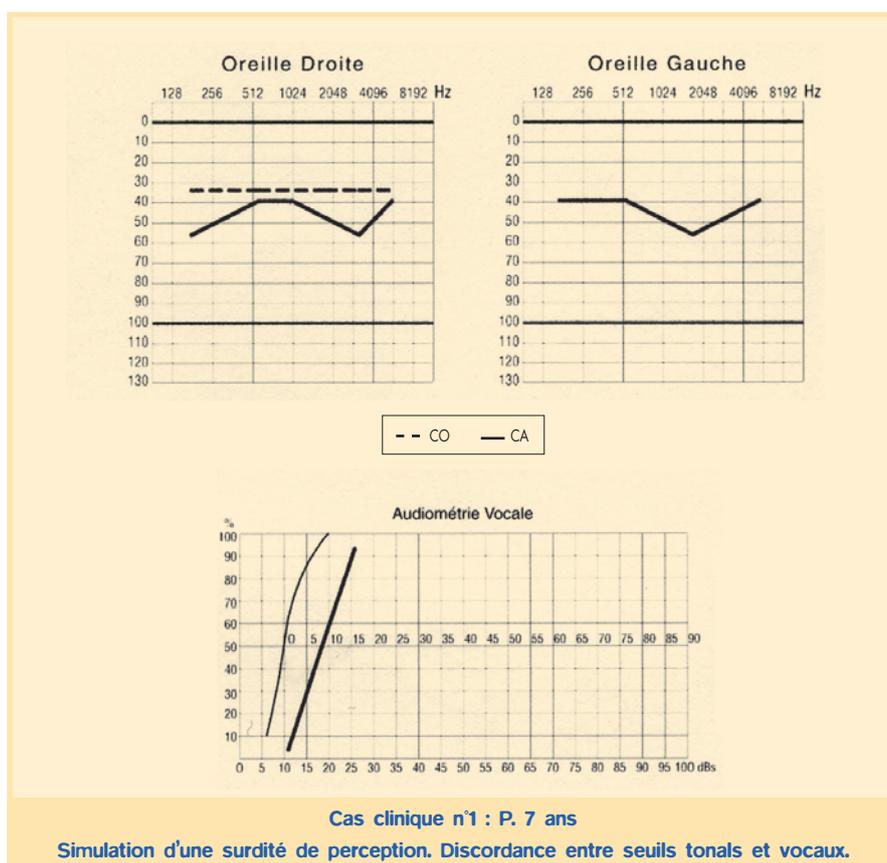
Les techniques plus spécialisées, déjà détaillées dans de nombreux articles

(cf bibliographie), ne seront que rapidement abordées.

## 1° cas

P. âgé de **7 ans** vient pour confirmation d'une surdité de perception découverte récemment avant décision d'amplification prothétique. La discordance entre les seuils tonals et vocaux interroge à juste titre l'ORL.

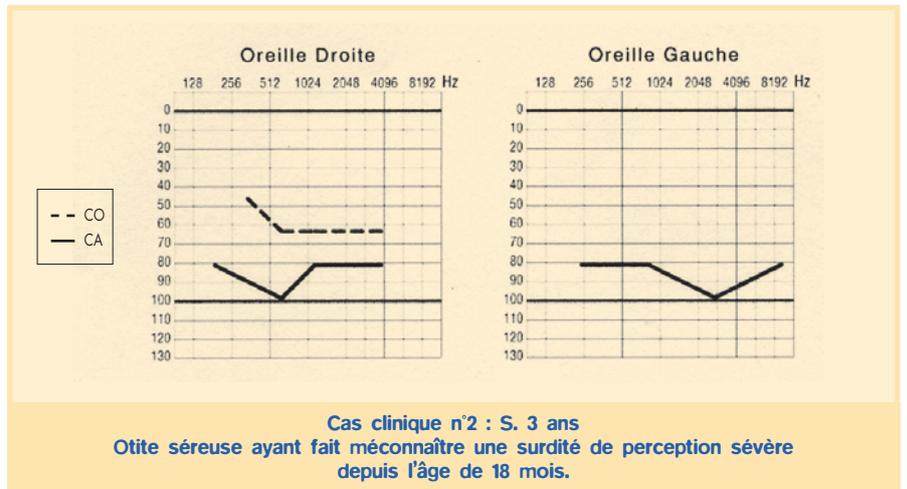
L'audiogramme de contrôle met en évidence une **simulation de surdité** chez un enfant souffrant d'une séparation parentale.



2° cas

S. âgé de **3 ans** est suivi depuis l'âge de 18 mois pour des otites séreuses dépistées lors d'un examen pour doutes sur l'audition. L'ablation des végétations avec paracentèses puis la pose de diabolos ont amélioré le comportement auditif. À 3 ans, deux mois après la chute des diabolos, un audiogramme est demandé devant l'absence de langage.

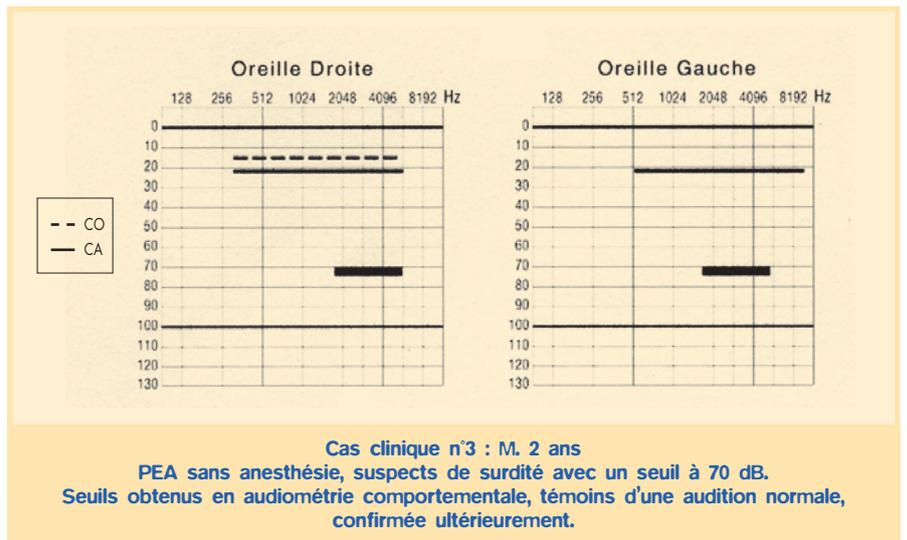
Une **surdité mixte sévère méconnue, car masquée par le facteur transmissionnel surajouté**, est diagnostiquée.



3° cas

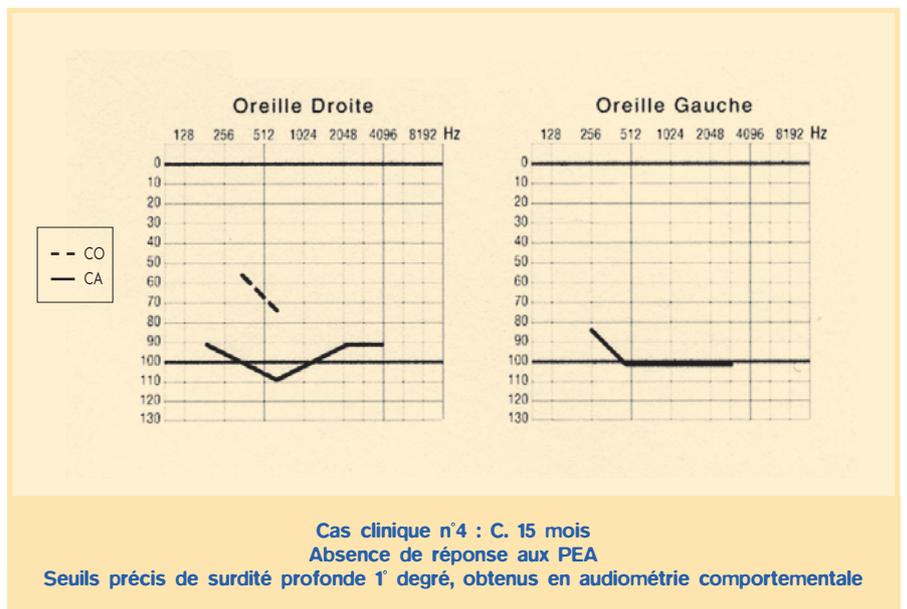
M. âgée de **2 ans** présente un retard de langage. Des PEA sont pratiqués chez une enfant agitée. Ils font suspecter une surdité qui est annoncée aux parents. Devant l'anxiété massive déclenchée par ce diagnostic, un audiogramme est demandé en urgence.

Il rassure les parents en montrant une **audition normale et un excellent comportement relationnel**.



4° cas

C. inquiète ses parents depuis l'âge de 8 mois par ses absences de réactions à l'environnement sonore, mais leur médecin les rassure. À **15 mois**, l'ORL pratique des PEA chez une enfant endormie. Devant l'absence de réponses à 100 dB, il fait une annonce de surdité totale qui anéantit les parents. L'audiogramme pratiqué en urgence montre une **surdité de perception bilatérale profonde 1° degré qui permet une amplification prothétique rapidement efficace**.



Dans ces différentes situations que PEUT et DOIT faire l'ORL ?

# 1 IMPORTANCE DE L'ENTRETIEN ET DE L'OBSERVATION POUR :

## Ne pas banaliser les motifs de consultation

Le piège peut résider dans la **banalité du motif de consultation** :

- avis thérapeutique pour des otites ou rhinopharyngites à répétition,
- otite séreuse connue à laquelle sont attribués à priori les troubles auditifs ou de comportement et le retard de langage,
- retard de langage fréquent chez un enfant de 18 à 24 mois,
- intolérance aux bruits...

## Repérer les signes d'alerte et être à l'écoute des parents

Les signes d'alerte d'un déficit auditif sont variables en fonction de l'âge.

Ils peuvent ne pas être décelés par les parents. Ils peuvent révéler :

- un déficit auditif,
- un retard de langage,
- un trouble comportemental ou relationnel.

Ils doivent inciter l'ORL à évaluer l'audition de l'enfant et à l'orienter si nécessaire pour un bilan spécialisé auditif, orthophonique ou/et psychologique.

De 0 à 3 mois :

- absence de sursaut ou de réveil aux bruits,
- absence de réaction à la voix.

À partir de 6 mois :

- absence de réaction à l'appel et de recherche de la source sonore,
- pas d'enrichissement des vocalises.

Entre 9 et 12 mois :

- absence de réactions aux ordres simples sans l'aide de gestes, mimiques ou hors contexte,
- pas de répétition disyllabique.

À partir de 18 mois :

- pas de compréhension des consignes sans gestes, mimiques ou hors contexte,
- aucun mot compréhensible.

En fonction de l'intensité du stimulus sonore ou de la voix à laquelle ne réagit pas le bébé, un déficit auditif plus ou moins important sera soupçonné .

À partir de 2 ans :

- absence ou retard d'apparition du langage,
- trouble comportemental ou relationnel.

À partir de 3 ans :

- en plus des signes précédents il faut repérer les troubles de parole et d'articulation.

## Rechercher les facteurs de risque

- Troubles auditifs familiaux qui peuvent ne pas être signalés par les parents.

- Facteurs médicaux essentiels à rechercher s'ils ne sont pas le motif de consultation :

- poids de naissance < 2000 g et /ou âge gestationnel < 34 semaines,
- foetopathies : CMV, rubéole, toxoplasmose,
- anoxie néonatale sévère avec APGAR 4, à 5 minutes,
- pathologie respiratoire néonatale sévère avec ventilation mécanique de plus de 12 heures,
- traitement ototoxique,
- méningite et traumatisme céphalique.

- Examen de l'enfant à la recherche de malformations affectant la tête et le cou.

## Apprécier le comportement et le développement

### 1° L'enfant ayant acquis la marche

Le comportement global de l'enfant qui a acquis la marche et qui en est au début du langage apporte des informations dès son arrivée dans la salle d'attente ou le bureau de consultation.

### Signes rassurants

- enfant calme, joyeux, se tourne vers le médecin qui lui dit bonjour,
- vient sans difficulté avec ses parents, marche seul ou en tenant la main,
- communique de façon adaptée à son âge, dit quelques mots compréhensibles ou fait de petites phrases, répond aux questions par une mimique, un geste, un mot, une phrase,
- demande à jouer ou à dessiner, manipule correctement le jouet ou le crayon.

### Signes inquiétants sur le plan auditif

- l'enfant ne se retourne pas à l'arrivée du médecin, vient si on lui fait signe mais pas à l'appel,
- répond au sourire, regard, mimiques, gestes mais pas aux questions ou consignes,
- tente de communiquer par sa mimogestualité ou par un langage difficile à comprendre ou asyntaxique.

### Signes inquiétants sur le plan relationnel

- enfant agité, anxieux, déambule sans but ou reste accroché à sa mère, cramponné à sa tétine, à son « doudou »,
- ne se retourne pas à l'appel ou détourne le regard, se met à pleurer quand on lui demande de venir et réclame les bras,
- touche à tout, porte n'importe quoi à la bouche, sent les objets, n'utilise pas les jouets de façon adaptée, colle ses mains ou les jouets sur les murs, a des mouvements répétitifs des mains ou de la tête, grimpe sur tout ce qui le permet,
- se met facilement en colère et s'oppose à toute proposition,
- est silencieux ou a un jargon incompréhensible ou répète les questions en écholalie,
- face à chacune de ces situations, quel est le comportement parental ? Est-il adapté, efficace, rassurant, contenant ?

## 2° L'enfant n'ayant pas acquis la marche

En fonction de l'âge, certains points essentiels seront repérés :

### - Sur le plan psychomoteur :

Tenue de la tête, préhension des objets avec les deux mains pour les porter à la bouche, position assise avec ou sans soutien, préhension palmaire, passe un jouet d'une main à l'autre, préhension fine, station debout, premiers pas...

### - Sur le plan comportement :

Qualité du regard et des interactions, réponse au sourire...

### - Sur le plan auditif :

Réaction à l'appel, vocalisations, répétition disyllabique, premiers mots.

**Entretien et observation donnent des informations sur le développement et la qualité relationnelle :**

- **Rassurantes** = choisir des épreuves adaptées à l'âge

- **Inquiétantes** = extrême prudence dans le choix des épreuves, ne jamais surestimer les compétences de l'enfant

risque de lassitude ou de fausses réponses est fréquent et fait souvent préférer une technique par conditionnement ludique qui permet le maintien de l'attention.

Le test se déroulera comme celui de l'adulte avec assourdissement si nécessaire.

## Deux situations sont particulières à cet âge :

### 1. L'enfant simulateur

Les résultats de l'audiométrie vocale doivent toujours concorder avec ceux de l'audiométrie tonale pour écarter tout risque de simulation, plus fréquemment rencontrée qu'une surdité d'apparition récente chez les enfants à partir de l'âge de la scolarité.

*Souçons dès l'entretien car :*

- aucune étiologie évidente ne peut expliquer cette surdité et les surdités génétiques évolutives sont relativement rares,

- les réponses de l'enfant aux questions concernant sa plainte (moment d'apparition, intensité, répercussion de la gêne à l'école ou à la maison...) sont floues et évasives,

- l'enfant répondra sans difficulté aux questions posées à voix faible et sans lecture labiale sur les sujets qui l'intéressent (sports, loisirs...).

*Savoir mettre d'emblée en évidence la simulation en recherchant les seuils en conduction osseuse, en commençant par les fréquences graves à forte intensité :*

- s'il se plaint d'une surdité unilatérale, l'enfant simulateur ne répond pas ou mal au stimulus du vibreur, placé du côté de l'oreille déclarée sourde, ignorant les lois de la latéralisation des sons,

- s'il se plaint d'une surdité bilatérale, il répond avec temps de latence, effort, froncements de sourcils à des intensités qui témoigneraient d'une surdité importante incompatible avec sa perception non altérée de la parole mise en évidence lors de l'entretien,

- il faut alors lui signaler l'incohérence de ses réponses.

*Si l'enfant continue à ne pas donner ses seuils, passer au test vocal :*

- celui-ci permet facilement de démasquer l'enfant simulateur,

- le test, démarré à 50 dB et l'intensité diminuée de 5 dB tous les 2 à 3 mots ou en passant d'une oreille à l'autre ou par intensité alternée, amène toujours l'enfant à un seuil d'intelligibilité normal (cas clinique n°1).

*Dans ces cas de simulation, toujours laisser à l'enfant une chance de sortir de son symptôme lors de l'examen :*

« Tu n'avais pas compris que tu devais répondre même aux sons très faibles... »

« Tu étais fatigué, pas assez attentif... »

« Tu as très bien répété les mots, je suis rassuré sur ton audition... »

« Tu étais inquiet et cela t'a empêché de bien répondre. On va recommencer, je sais que tu peux y arriver. »

Il peut cependant arriver que **seul le recours aux PEA** permette de convaincre l'enfant de la normalité de son audition.

Ces simulations sont en général l'expression d'un malaise psychologique. Il faut en faire prendre conscience aux parents et orienter l'enfant vers un psychologue ou un pédopsychiatre.

Il ne faut cependant jamais oublier qu'un enfant présentant une **surdité centrale** ne pourra pas préciser ses seuils alors que les PEA sont parfaits.

**A l'inverse**, l'enfant de cet âge qui présente une **surdité légère méconnue** jusque-là ou une **exceptionnelle surdité évolutive**, répond toujours au vibreur avec une extrême rapidité, précision et reproductibilité.

# 2 LES TESTS À PRATIQUER EN FONCTION DE L'ÂGE

## À partir de 5/6 ans

L'enfant, qui a un développement normal et un comportement normal, sera en mesure de répondre comme un adulte en levant la main ou en signalant la perception verbalement.

Beaucoup d'enfants peuvent répondre de cette manière dès quatre ans mais le

## 2. L'enfant présentant des troubles de la discrimination auditive dans le bruit

Les motifs de consultation qui doivent alerter sont :

- des troubles des apprentissages scolaires, des confusions phonétiques...
- des troubles de l'attention, une grande instabilité,
- une lenteur, des difficultés de mémorisation...

L'audiométrie tonale et vocale est parfaite et l'on méconnaîtra le trouble si l'on ne pratique pas le test d'intégration phonétique de Lafon dans le bruit.

Il faut toujours le faire ou le demander devant ce type de difficultés. Le plus souvent il confirmera d'importants troubles de discrimination auditive.

Ce test est réalisable dès quatre ans chez l'enfant sans trouble d'articulation.

**Une rééducation très spécifique de l'écoute chez une orthophoniste formée à cette technique aidera efficacement ces enfants.**

### Avant 5/6 ans

**Mots clefs : temps, patience, disponibilité, imagination, expérience**

Afin de repérer toute atteinte de perception bilatérale il est essentiel de mesurer, en priorité, les **seuils d'audition par voie osseuse**.

En raison du passage transcrânien, une seule courbe osseuse (CO) suffit pour assurer l'intégrité du système auditif d'au moins une oreille ou l'altération des 2 et ce même en présence d'affections de l'oreille moyenne, affections qui masquent souvent la nature réelle d'un déficit auditif. (Cas clinique n°2)

Les techniques de conditionnement utilisées doivent être ludiques et respecter la maturation neuro-cérébrale. Elles s'articulent autour de **deux stades charnières : 5/6 mois et 28/30 mois**.

Nous aborderons successivement :

- 1 - Age de développement  $\geq$  28/30 mois
- 2 - Age de développement = 6 - 30 mois
- 3 - Age de développement  $\leq$  6 mois

### Que peut faire un ORL chez un enfant ayant un développement > 28/30 mois ?

#### 1. Une Courbe osseuse, les courbes aériennes droite et gauche au casque

À partir de 28/30 mois, la maturation de certaines régions cérébrales frontales permet à l'enfant de **contrôler volontairement son attention**, donc d'attendre activement le stimulus avant d'exprimer la perception par une réponse motrice, dite « volontaire » pour la différencier des réponses purement réflexes.

- Il peut s'agir d'appuyer sur un bouton pour déclencher un « spectacle ». C'est le principe du peep-show qui nécessite une installation technique spécifique. Le support cinéma ou vidéo peut être trop attractif et détourner l'attention auditive.
- Il peut s'agir très simplement mais très efficacement de poser un à un les éléments de jeux d'empilement très variés (comme le respect des tailles, des couleurs etc...) qui risquerait de trop monopoliser l'attention. De plus ce procédé ne nécessite aucune installation particulière, d'où son avantage.

#### Comment établir un conditionnement volontaire fiable avec des jeux d'empilement ?

*Toujours mettre l'enfant en confiance :*

Jusqu'à l'âge de 4/5 ans, le test se fait en présence du ou des parents. Le petit enfant est assis sur les genoux de l'un d'eux pour être rassuré. On lui propose immédiatement un jeu tout en lui montrant le vibreur avec lequel il va écouter et que l'on

peut faire écouter d'abord aux parents.

*Délivrer d'emblée, avec le vibreur, un 500 Hz à 55/60 dB, en son volubé.*

Cette stimulation **vibro-tactile**, que l'on fera sentir auparavant sur la main, permet d'installer le conditionnement même dans les cas de surdités sévères et profondes.

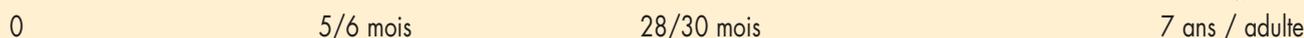
- L'examineur dirige la main de l'enfant, l'invite à prendre un élément, à le **porter à l'oreille pour « écouter »** (geste très favorable à la concentration) et à l'enfiler sur une tige, à l'encaster ou à le mettre dans une boîte ou... dès qu'il perçoit un son.
- Les premières réponses sont ainsi « pilotées » jusqu'à ce que le réflexe spontané de l'enfant indique qu'il a bien compris le système, qu'il est bien « conditionné ».
- L'installation de ce procédé ne réclame **aucune explication verbale**, ce qui le met à la portée des enfants présentant une absence totale de langage ou des troubles de langage, quelle qu'en soit la cause.
- Pour la plupart des enfants, **l'installation** du conditionnement volontaire est **très rapide** souvent au grand étonnement des parents.

**Lorsque l'enfant a des troubles d'attention ou de comportement, l'installation du conditionnement peut être plus longue et peut nécessiter des « astuces » particulières** (faire écouter au testeur, ou à une peluche ou à l'objet transitionnel).

*Progression des mesures :*

Après avoir déterminé le seuil du 500 Hz, en mode descendant, on recherche les seuils des autres fréquences avant de préciser les courbes tonales avec le casque facilement accepté après ce premier test au vibreur qui a mis l'enfant en confiance.

Dans le cas d'une **audition normale**, il faut



savoir **se contenter de seuils à 10 dB** pour ne pas saturer inutilement l'attention de l'enfant.

**Si les ressources attentionnelles semblent limitées lors du premier examen :**

- Rechercher **les seuils au casque en bilatéral** (les sons arrivent en même temps et à la même intensité dans l'oreille droite et l'oreille gauche).
- Rechercher ensuite le **seuil du 1000 HZ à droite et à gauche** pour ne pas ignorer d'emblée une importante asymétrie et **se contenter d'un seuil à 15/20 dB**.

**Chez les très jeunes enfants concentrés et attentifs, l'assourdissement est réalisable.**

Il suffit d'augmenter très progressivement l'intensité du son masquant jusqu'au niveau nécessaire calculé comme chez l'adulte et de reprendre le conditionnement aux jeux pour l'oreille testée.

**L'échec d'un conditionnement peut être dû au testeur :**

- Il veut aller trop vite ou ne varie pas le rythme des stimuli, l'enfant répond alors automatiquement sans attendre le son.
- Il ne respecte pas le mode de réponse de l'enfant, certains enfants posent le jouet dès qu'ils entendent, d'autres à l'arrêt de la stimulation, d'autres après un temps de latence...
- Il ne remarque pas que l'enfant « décroche », regarde ailleurs...
- Il a surestimé les compétences de l'enfant qui n'était pas prêt pour ce type de conditionnement.
- Il ne faut pas hésiter à *relancer le conditionnement* en reprenant une stimulation largement au-dessus du seuil et en changeant de jeu.

**L'échec d'un conditionnement peut être dû à la pathologie de l'enfant :**

- *Troubles du comportement* à type d'inhibition, anxiété massive, opposition, instabilité, ou troubles de l'attention qui n'avaient pas été remarqués par le testeur ou signalés par les parents et qui

perturbent les compétences de l'enfant.

- *Troubles centraux de l'audition* pouvant rendre impossible l'obtention de seuils précis malgré la bonne volonté de l'enfant et la patience du testeur.

**Pour l'enfant hyperacousique, le test ne s'arrête pas à l'obtention des seuils tonals**

Dès le plus jeune âge il est possible de différencier la phonophobie excessivement fréquente et qui disparaît lorsque l'enfant grandit de l'hyperacousie, véritable pathologie auditive que l'on peut rencontrer chez certains enfants hyperkinétiques.

Une fois le test tonal terminé, on laisse l'enfant jouer et l'on augmente progressivement l'intensité de 5 en 5 sur chaque fréquence jusqu'à 120 dB.

L'enfant **phonophobique**, quel que soit son âge, ayant été habitué au son présenté, continue à jouer sans aucune manifestation de douleur ou d'anxiété.

L'enfant **hyperacousique** manifeste son intolérance dès que le stimulus atteint 80 dB.

**L'intérêt des tests en champ libre** reste essentiel pour les rares enfants qui n'acceptent ni le vibreur ni le casque.

Mais seule la conduction aérienne en bilatérale est alors obtenue et pour des intensités inférieures à 100 dB.

## 2. L'audiométrie vocale

Dans l'idéal, elle nécessite une **double cabine**. Les stimuli verbaux, délivrés en champ libre ou à travers un casque, seront choisis « à la carte » en fonction des acquis langagiers. L'usage de listes de mots enregistrés est donc impossible.

L'enfant est invité, *sans l'aide de la lecture labiale* :

- Soit à répéter des mots (mots choisis ou listes pour enfants),
- Soit à désigner des images, sélectionnées avec l'aide des parents, toujours présents,
- Soit à désigner les parties du corps, ou les vêtements ou les objets de la pièce (la table, la porte, la lumière, la chaise, les lunettes, le « doudou » etc...).

Les épreuves de désignation évaluent la

reconnaissance du message verbal, reconnaissance en rapport direct avec le niveau d'audition.

Le niveau des seuils tonals indiquera l'intensité souhaitable pour démarrer le test vocal : environ 20 dB au-dessus du niveau des 2000/4000 Hz.

**Le seuil d'intelligibilité doit concorder avec le niveau des seuils tonals de ces mêmes fréquences.**

À titre de repère, un enfant de 3 ans ayant une audition normale doit répéter ou désigner correctement à 20/30 dB.

**Si les conditions techniques ne permettent pas une audiométrie vocale bien quantifiée :**

L'examineur peut proposer les mêmes épreuves de répétition ou de désignation, sans lecture labiale, à des niveaux de **voix « nue »** différents : voix moyenne (50/60 dB), voix forte (70 dB), voix chuchotée (30 dB), voix criée (80 dB).

Pour certains enfants très instables ou opposants, ces tests à voix directe et pratiqués tout près de l'enfant, peuvent être plus faciles à réaliser qu'en double cabine.

**Un test de désignation d'images, d'objets, de parties du corps à voix chuchotée rassure sur la normalité de l'audition bilatérale de l'enfant, quel que soit son âge.**

Une bonne pratique de ce test très simple est d'une importance capitale.

## 3. La tympanométrie avec ou sans recherche des réflexes stapédiens

Sera toujours pratiquée après l'examen audiométrique afin de ne pas compromettre l'acceptation du vibreur ou du casque. Les jeunes enfants peuvent redouter toute intrusion dans le conduit auditif, surtout dans un contexte de pathologie otologique.

Examen essentiel en complément diagnostique, **il ne peut en aucun cas permettre soit d'affirmer une audition normale soit de dire qu'il s'agit d'un déficit de 30 à 40 dB.**

- Certains parents refusent actuellement une *proposition d'acte chirurgical* sur cette seule estimation dans le cas des otites séreuses.

- Un facteur transmissionnel peut toujours masquer une surdité de perception.

**Un diagnostic d'audition normale ou de déficit auditif de transmission et encore plus d'une surdité de perception ne pourra être annoncé qu'à partir de tests fiables, précis et cohérents** tels que nous venons de les décrire en détail.

Nous allons voir, dans les schémas des conduites à tenir, **la place des potentiels évoqués auditifs (PEAP)** en fonction des résultats obtenus aux tests comportementaux. (Tableaux 1 et 2)

## Que peut faire un ORL avec un enfant âgé de 6 à 30 mois ?

Des OEAP ? des PEA ? une tympanométrie ? des jouets sonores ? des tests vocaux ? une mesure des seuils avec le vibreur et casque ? ...

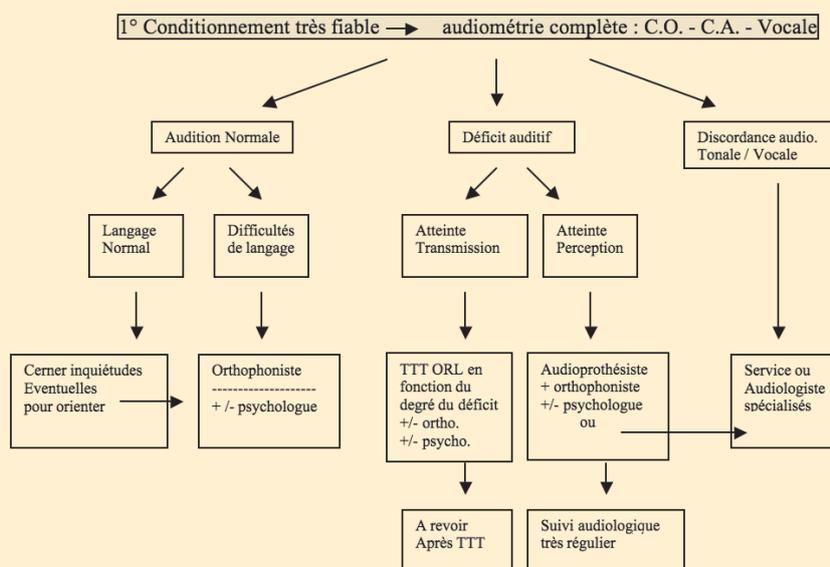
**Les OEAP** sont un excellent test de dépistage à condition de pouvoir les réaliser dans des conditions de calme et de silence. À cet âge, elles sont encore rarement réalisables en cabinet par absence de matériel et de conditions satisfaisantes.

Elles sont souvent pratiquées dans les services spécialisés, en test de dépistage ou en examen complémentaire d'un diagnostic de surdité, leur présence permettant de poser un diagnostic de neuropathie auditive.

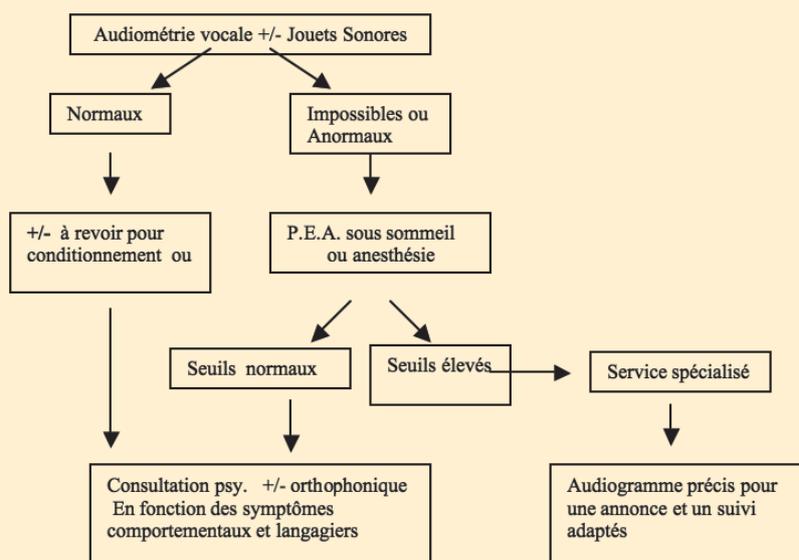
**Les PEA** restent un examen objectif primordial à tout âge.

Ils apportent des informations d'un intérêt capital pour le dépistage d'une surdité ou pour confirmer un diagnostic audiométrique, **mais** :

**Tableaux 1 et 2 :**  
Conduites à tenir en fonction des résultats obtenus chez un enfant > 28/30 mois



2° Conditionnement volontaire non proposé, impossible ou non fiable



- Ils ne doivent jamais être le seul élément diagnostique (cas clinique n°4).
- Leur pratique et leur interprétation doivent obéir à des impératifs rigoureux :
  - sommeil ou anesthésie générale indispensables (celle-ci devient de plus en plus souvent difficile à réaliser en fonction des impératifs de sécurité et de disponibilité des anesthésistes - cas clinique n°3),
  - analyse précise des latences, reproductibilité des seuils...).
- Il est indispensable d'en connaître les pièges :
  - anomalie des PEA dans certaines pathologies neurologiques avec audition proche de la normale,
  - normalité des PEA dans les surdités avec remontée sur les fréquences aiguës,
  - absences de réponse dans les surdités sur les aiguës avec conservation des graves et médiums...).

**La tympanométrie** obéit à cet âge aux mêmes impératifs que ceux décrits pour l'enfant de plus de 30 mois.

**Les Jouets Sonores (J.S.)**

**Cette épreuve, très simple en apparence, doit être réalisée de manière très méthodique et rigoureuse.**

Pratiquée dans de mauvaises conditions, elle peut être responsable d'erreurs de diagnostic

2 ou 3 jouets sonores suffisent. Par exemple :

- Une mini-cloche et une maracas pour explorer le secteur des fréquences aiguës
- Un tambourin ou un gong pour explorer le secteur des fréquences graves.

L'enfant, assis sur les genoux d'un parent, ne doit pas être « en attente » mais légèrement occupé à manipuler, seul, des petits jouets non bruyants, dans un contexte de silence absolu. Les jouets ont pour but d'obtenir de l'enfant une certaine stabilité et de maintenir son regard dans une direction donnée (= coordination oculo-manuelle).

Ainsi, la perception d'un stimulus inattendu va surprendre l'enfant et entraîner :

- des modifications de l'activité en cours,
- des modifications dans la trajectoire du regard,
- et la recherche de la source de stimulation, donc un Réflexe d'Orientation- Investigation (R.O.I.), bien installé à partir de 6 mois chez le bébé ayant un développement normal.

Pour ne pas que l'enfant cherche l'examineur et donc se retourne avant toute perception, ce dernier, placé sur le côté et légèrement en retrait, doit « faire semblant » de jouer avec l'enfant d'une main et stimuler de l'autre.

Sa position doit lui permettre d'observer discrètement le visage et les mains de l'enfant pour décrypter la moindre réaction explicite pouvant précéder ou remplacer le réflexe d'orientation.

Toujours **démarrer les stimulations à intensité minima**, à une distance de 1m20/1m50, correspondant à l'envergure du bras.

Délivrer des stimulations brèves et rythmées car elles sont plus réactogènes.

Forcer l'intensité et réduire la distance en l'absence de réactions.

Stimuler à droite et à gauche pour déceler d'éventuelles différences de niveau auditif entre les deux oreilles.

L'évaluation de l'audition à l'aide des jouets sonores reste très approximative (tableau n°3).

Les niveaux de réaction intermédiaires s'articulent entre ces deux extrêmes (minima, maxima) mais leur précision réclame alors une grande expérience de l'examineur.

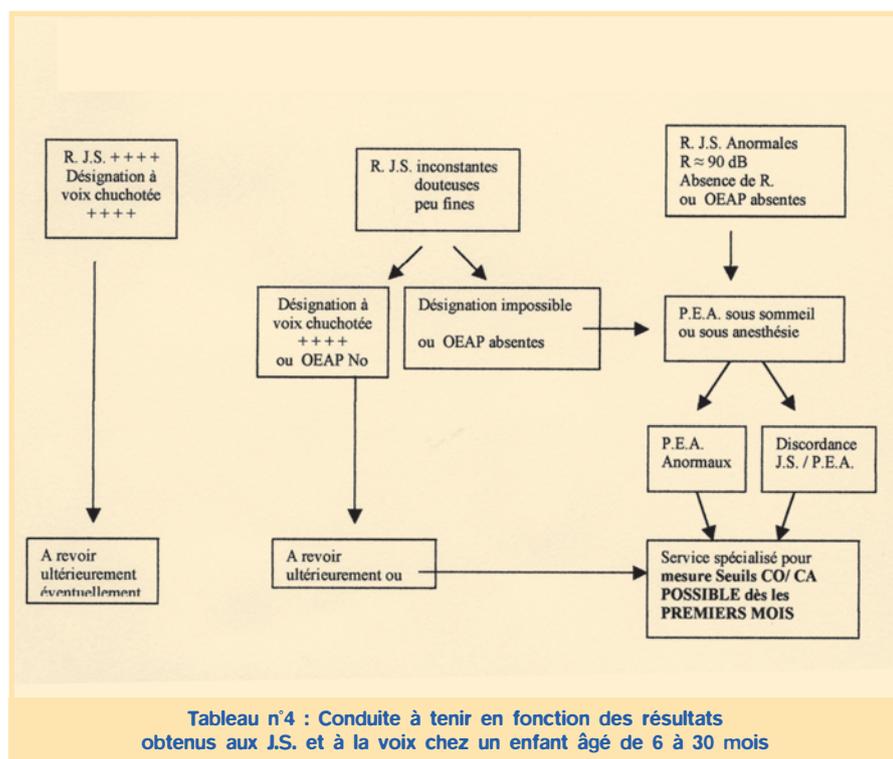
**Attention :**

- Les premières réactions sont les plus sûres.
- Ne pas multiplier les stimulations. Si l'enfant est saturé, il ne répondra plus.
- Nous voyons souvent arriver en consultation des bébés qui n'ont, soit disant, pas réagi au claquement de mains : une stimulation trop forte, chez un bébé entendant, peut bloquer la réponse.
- Nous voyons des bébés de 4/5 mois qui n'ont pas tourné la tête vers la source de stimulation : le ROI n'est vraiment installé qu'à 6 mois, plus tard chez les bébés prématurés.
- Certains enfants, sur-stimulés, dans leur milieu de vie quotidienne, par des jeux « sonorisés », style tableaux d'éveil et autres, peuvent rester indifférents aux J.S. qui ne les surprennent plus.

Aussi, **en complément, à partir de 18 / 20 mois**, pourra-t-on, sans faire de gestes, demander à l'enfant de désigner des objets présents ou les parties du corps, en démarrant à voix moyenne et en ajustant l'intensité de la voix en fonction des réponses.

Intensité	Distance	Réaction	Niveau audi. approximatif
Minima	Envergure du bras = 1m20 / 1m50	+++	Audition comprise entre 10 et 40 dB
Maxima	Derrière l'oreille	+	90 dB
		0	Perte auditive ≥ 100 dB

**Tableau 3 : Cotation des Jouets Sonores**



### Comment mesurer les seuils d'audition par voie osseuse et aérienne à partir de 6 mois ?

Le ROC en champ libre, longtemps modèle de référence, ne permet pas ces mesures.

D'où l'utilisation d'une méthodologie différente, déjà bien rôdée depuis plus de 25 ans : le « protocole Delaroché ». Trois paramètres le caractérisent :

- Une mise en condition particulière qui favorise l'émergence des réactions, dites « de surprise », avec le vibreur et le casque.
- Une stratégie de stimulation rigoureuse, élaborée, pour chaque enfant, en fonction des informations obtenues à une première épreuve faite en champ libre.
- La nature du renforcement, lequel repose sur un jeu relationnel très personnalisé qui active la vigilance et donne un sens à la perception.

Notre objet n'est pas ici de nous arrêter sur cette technique très largement détaillée dans de nombreuses publications et qui nécessite une formation spécifique.

Nous rappellerons simplement les résultats qu'elle permet d'obtenir. Une première étude statistique (9) a montré que chez **68 bébés âgés de 4 à 12 mois**, atteints d'une surdité de perception bilatérale, **une courbe osseuse et une courbe aérienne bilatérale au casque avaient été obtenues, avant 12 mois, dans 82,4% des cas.**

Une deuxième étude longitudinale (10) porte sur **50 bébés âgés de 4 à 18 mois**, atteints d'une surdité de perception bilatérale, sans facteur transmissionnel rajouté. Cette étude compare les seuils obtenus en conduction aérienne entre 4 et 18 mois (S.1) et les seuils obtenus ultérieurement, chez ces mêmes enfants, entre 3 et 4 ans (S.2). **Dans 94% des cas, S.1 / S.2 concordent à 10 dB près sur les fréquences 1000, 2000 et 4000 Hz, à 15 dB près sur la fréquence 500 Hz.**

### Que peut faire un ORL chez un bébé de moins de 6 mois ?

#### Les jouets sonores

Ils peuvent être difficiles à réaliser chez un bébé qui peut ne pas avoir acquis le réflexe d'orientation. Il s'agit alors de

rechercher des réponses réflexes lorsque le bébé est calme ou, idéalement, en voie d'endormissement.

### Les OEAP et les PEA

Ces techniques ont à cet âge toute leur importance et doivent répondre aux mêmes exigences qu'à tout âge.

Tous les ORL en libéral ne possèdent pas un appareil à OEAP. Cet examen sera très souvent pratiqué en première approche diagnostique en milieu hospitalier. Sa normalité permettra d'attendre quelques mois avant de pratiquer une audiométrie comportementale.

L'absence de réponse conduira à pratiquer d'emblée des PEA.

**La conduite à tenir sera ensuite la même que pour le bébé de 6 et 30 mois (tableau 4)**

## 3 CONCLUSION

Quelles que soient les compétences du testeur et celles de l'enfant, il existe de **multiples possibilités** pour dépister un déficit auditif et évaluer le niveau d'audition d'un enfant dès le plus jeune âge.

#### Sont à la portée de tous :

- la recherche des facteurs de risque et des signes d'alerte,
- l'observation de l'enfant,
- la pratique rigoureuse des jouets sonores
- des tests vocaux très simples.

Ces différentes épreuves permettent de dépister un déficit auditif.

**Avec un minimum de formation** pour en connaître les règles essentielles, avec un peu de patience et si on en prend le temps, peuvent être réalisés :

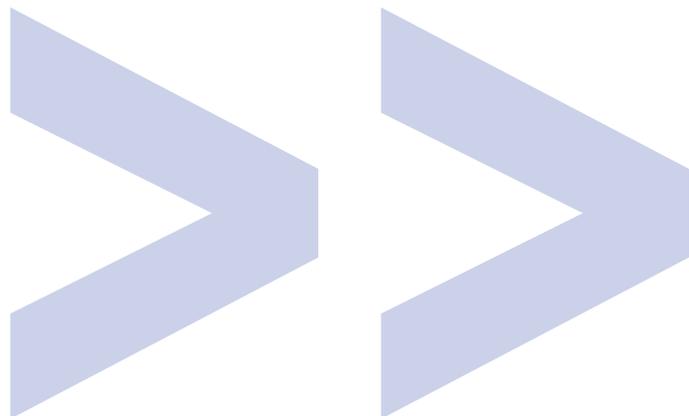
- Les tests de conditionnement au vibreur et au casque chez l'enfant de plus de 3 ans, sans trouble du comportement. Au moindre doute sur la fiabilité des seuils obtenus chez un enfant présentant un retard de langage les courbes devront être confirmées par un spécialiste en audiométrie infantile.

Les OEAP et les PEAP nécessitent un matériel que ne possèdent pas tous les ORL et une formation suffisante pour les réaliser et analyser de manière rigoureuse et fiable. Quelle que soit la pratique de l'ORL sa responsabilité est de **ne pas hésiter à orienter l'enfant vers un service spécialisé pour un diagnostic précis.**

L'audiométrie comportementale de l'enfant difficile ou de moins de 3 ans nécessite une **formation spécialisée**. Une réelle compétence ne peut s'acquérir qu'au fil de l'expérience et permet d'obtenir des seuils audiométriques d'une grande précision et d'une grande fiabilité qui permettront de rassurer les parents, de proposer un traitement ou une aide prothétique et un mode de communication parfaitement et précocement adaptés.

## Bibliographie

1. **Portmann C, Delaroche M.** Le diagnostic audiométrique chez le très jeune enfant : étude sur 608 cas de 6 mois à 3 ans, *Rev Laryngol* (Bordeaux) 1986 ; 107 : 176-179
2. **Delaroche M.** L'audiométrie précoce, *Rev Laryngol* (Bordeaux) 1989 ; 110 : 259-365
3. **Portmann C, Delaroche M.** À propos de l'audiométrie infantile : la stratégie bordelaise, *Rev Laryngol* (Bordeaux) 1991 ; 112 : 27-31
4. **Delaroche M.** L'examen audiométrique au casque entre 6 mois et 3 ans, *Bull Audiophonol Ann Sc Univ Franche Comté* 1991 ; 7 : 101-114
5. **Delaroche M, Daubech Q.** Audiométrie comportementale du nourrisson et du très jeune enfant : priorité à la conduction osseuse, *Les cahiers de l'audition* 1995 ; 8 : 29-34
6. **Daubech Q, Gavilan-Cellié I.** Dépistage et diagnostic de la surdité de l'enfant *Rev Laryngol* (Bordeaux) 1996 ; 117 : 287-291
7. **Delaroche M.** Audiométrie comportementale du très jeune enfant. Enjeux et modalités ; Bruxelles : De Boeck Université ; 2000.
8. **Delaroche M.** Audiométrie comportementale du jeune enfant. Le ROC surpassé ? OPA pratique 165, Avril 2003, 166, Mai 2003
9. **Delaroche M, Thiébaud R, Dauman R.** Behavioral audiometry : protocols for measuring hearing thresholds in babies aged 4-18 months, *International Journal of Pediatric ORL*, 2004 ; 68, 1233-1243.
10. **Delaroche M, Thiébaud R, Dauman R.** Behavioral audiometry : validity of audiometric measurements obtained using the « *Delaroche protocol* » in babies aged 4 to 18 months suffering from bilateral sensorineural hearing loss. *International Journal of Pediatric ORL* (en cours de publication).



# NOUVEAU CONCEPT MARKETING

Afin de moderniser votre espace de vente



Prix du CDRom seul : 39€h.t.

Animez  
vos vitrines  
et Vos  
salles d'attente

Un **nouveau support de communication**  
*unique dans son domaine*

Une aide à la vente moderne et attrayante.

## CDRom d'animation

Plus de **60 articles** avec **descriptifs** défilant sur fond musical,  
9ème symphonie de Beethoven.

Produits d'entretien, aides techniques, accessoires, écoute TV et Protections...



Durée du CDRom : environ 15 minutes

Sensibilisez enfin les malentendants et leur entourage sur les  
produits et articles disponibles dans votre laboratoire...

**PLV à votre disposition :**

Affiches (2 formats), mini catalogue audio et dépliants patients.

## NEWSON

21, rue Eugène Sue - 94700 Maisons-Alfort

Tél. 01 43 76 12 00 - Fax. 01 43 76 79 39 - [newson@wanadoo.fr](mailto:newson@wanadoo.fr)

**ACURIS™**  
**Life**



**ACURIS Life**  
La technologie a du charme



## ACURIS Life

Fin, discret et très efficace,  
2,7 grammes de pure technologie.

### Circuit numérique 4<sup>ème</sup> génération

Puce de 3 Giga Hz développée et  
fabriquée par Siemens pour un  
traitement du signal avec des  
débruiteurs et des algorithmes de  
détection de l'environnement  
encore plus performants.

### Grande autonomie

Pile 312, offre 140 heures d'utilisation.

### e2e, technologie de communication sans fil

Les deux aides auditives communiquent  
entre elles en parfaite synchronisation  
pour reconstituer l'audition en relief et en  
stéréo comme le fait notre cerveau.  
En option, une télécommande nouvelle  
génération fonctionnant en émission et  
en réception est disponible.

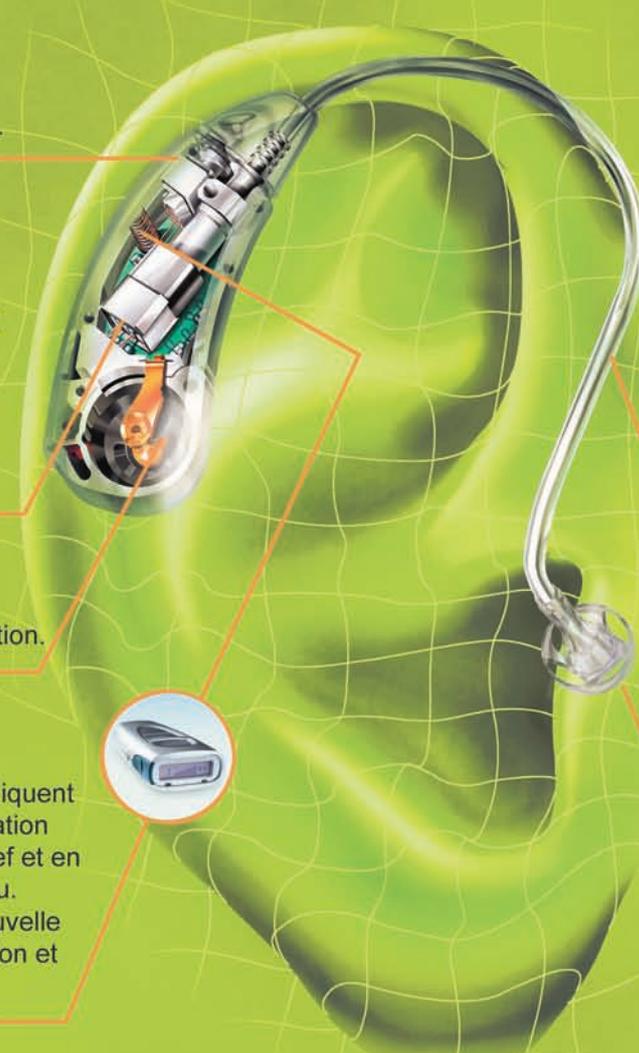


### Micro Tube

quasi invisible, permet un appareillage  
sur mesure et très discret !

### Embout souple

flexible, anti-occlusion, très  
confortable.



# ACURIS™ Life

**Le seul appareillage ouvert équipé de la technologie e2e**

Le design fluide et l'ergonomie très confortable d'ACURIS Life le rendent invisible.

ACURIS Life est la solution pour :

- les pertes d'audition légères à moyennes (perte d'audition entre 25 dB et 50 dB)
- les pertes sur les hautes fréquences (type pente de ski).
- et reste idéal pour les 1<sup>ères</sup> appareillages.

# EXPLORATION AUDITIVE CENTRALE

## Jean-Louis COLLETTE

ORL  
92 rue de la Victoire  
75009 PARIS

Service ORL- CHI CRETEIL  
40 avenue de Verdun  
94000 CRETEIL

## Didier BOUCCARA

ORL  
Service ORL  
Hôpital BEAUJON  
100 Avenue du Général Leclerc  
92110 CLICHY

## Laurent DEMANEZ

ORL  
Service ORL  
CHU LIEGE  
Hôpital du Sart Tilman  
4000 LIEGE (Belgique)

S'il est habituel de penser (par facilité) que l'oreille, avec ses fonctions de transmission et de perception du stimulus sonore, représente l'essentiel de l'audition, de fait, l'ensemble des fonctions auditives est beaucoup plus étendu. Au delà de la détection et de l'analyse spectrale du stimulus acoustique, les processus auditifs centraux assurent la discrimination, la localisation et le décodage. Ils assurent également l'exploitation des aspects temporels et traitent les signaux acoustiques présentés en compétition binaurale.

## ÉLÉMENTS D'ANATOMIE ET DE PHYSIOLOGIE DES VOIES AUDITIVES CENTRALES

Si l'anatomie et la physiologie de la partie sensorielle du système auditif, l'oreille, sont bien connus depuis parfois plus d'un demi-siècle, celles de l'audition centrale, sa partie neurologique, sont en revanche nettement plus complexes, il reste encore aujourd'hui beaucoup à explorer et à comprendre.

Le but de cette présentation n'étant pas de faire un cours d'anatomie des voies auditives centrales, nous nous contenterons de rappeler quelques points qui nous paraissent importants :

- 1) l'influx nerveux auditif est véhiculé dans un premier temps par le nerf cochléaire : c'est la portion rétrocochléaire
- 2) ensuite seulement débutent les voies auditives centrales proprement dites, passant d'abord par le tronc cérébral, où se trouvent différentes structures de traitement (Noyaux Cochléaires, Complexe Olivaire Supérieur, Colliculus Inférieurs, de bas en haut),
- 3) elles entrent ensuite dans l'encéphale, via les Corps Genouillés Médiens,
- 4) et se dirigent enfin vers le Cortex Auditif Primaire où l'influx est recueilli avant d'être traité par les aires auditives associatives situées autour de ce Cortex Auditif Primaire au niveau du lobe temporal à droite comme à gauche.

Le point qui nous paraît le plus important est le nombre de décussations (croisements) des voies auditives. En effet les autres voies neurosensorielles (visuelles, olfactives, proprioceptives...) ne présentent qu'un seul croisement de leurs voies alors qu'il en existe quatre, voire cinq, dans le système auditif :

- trois au niveau du tronc cérébral (corps trapézoïde, commissure interlemnisciale entre les deux lemniscus inférieurs qui sont les voies de conduction, communication intercolliculaire entre les deux colliculus inférieurs)
- une peut-être au niveau du Corps Genouillé Médian (commissure de Guedden qui n'a pas été mise en évidence chez l'homme)
- et surtout le Corps Calleux, énorme

faisceau de fibres nerveuses, qui réunit les hémisphères droit et gauche et ainsi permet un échange continu entre les aires auditives associatives, permettant aux informations recueillies à droite et à gauche de se comparer, et surtout à l'information verbale recueillie à droite de passer à gauche où sont situées les aires de traitement linguistique (sauf chez une minorité de gauchers).

Le système auditif central dispose ainsi d'une importante redondance lui permettant de sauvegarder les fonctions qui lui sont assignées, même dans le cas d'agressions pathologiques auxquelles d'ailleurs il est moins exposé ; la surdité centrale, serpent de mer de l'audiologie, est rarissime et transitoire. Le plus souvent, c'est en fait une agnosie auditive (le patient entend mais ne sait pas reconnaître ce qu'il entend).

## LIMITES DE L'EXPLORATION DES VOIES AUDITIVES CENTRALES

Si l'évaluation des fonctions auditives périphériques est basée sur une batterie d'épreuves comportementales et électrophysiologiques bien codifiées et standardisées, celle des fonctions auditives centrales ne repose à ce jour que sur une quantité limitée de tests d'évaluation, ce qui résulte des connaissances limitées que nous avons de l'ensemble des fonctions auditives centrales.

De plus, les difficultés techniques d'élaboration des tests, leur adaptation à la langue maternelle des différentes populations d'une part, la durée totale des épreuves d'autre part constituent un frein à cette mise en œuvre.

## RÔLE DES PROCESSUS CENTRAUX DANS LA FONCTION AUDITIVE

Nous rappellerons ici très succinctement les différentes fonctions de l'audition ainsi que la localisation de leur traitement :

- Pour les fonctions auditives périphériques
  - 1) la détection
  - 2) l'analyse spectrale
- Pour les fonctions auditives centrales, qui explorent la discrimination en amplitude, en fréquence et dans le temps,
  - 1) le décodage phonétique
  - 2) l'écoute dichotique (séparation, intégration)
  - 3) la discrimination des configurations temporelles (durée, fréquence)
  - 4) l'intégration binaurale (localisation, latéralisation, fusion)
- Il faut aussi y rattacher des éléments auditifs dans des fonctions qui ne sont pas spécifiquement spécialisées dans les phénomènes auditifs :
  - 1) la mémoire, l'attention, l'apprentissage,
  - 2) les processus neurocognitifs

## CIRCONSTANCES CLINIQUES CONDUISANT À SUSPECTER UNE ATTEINTE DES VOIES AUDITIVES CENTRALES

Si les déficits auditifs centraux majeurs, rares en fait, sont connus depuis plus d'un siècle, on découvre progressivement la nature et l'incidence non négligeable des altérations mineures des fonctions auditives centrales qui peuvent affecter l'homme dans chaque étape de sa vie. On n'insistera jamais assez sur leurs répercussions importantes sur le développement du

langage et de l'aptitude scolaire du sujet. Il est donc important d'être attentif à leur diagnostic, mais aussi de disposer d'outils appropriés à leur évaluation afin d'envisager la prise en charge la mieux adaptée. Par exemple, ces patients qui entendent normalement (ou à peu près) alors que leur audiogramme tonal est normal, mais qui comprennent mal dans le bruit voire même dans le silence, et que l'on aura un peu trop vite tendance par facilité à qualifier de fonctionnels.

Ou encore ces patients difficiles à appareiller, alors qu'au vu de leur audiogramme ils ne devraient en théorie pas poser de problèmes.

Il convient donc d'utiliser des tests plus élaborés pour approfondir l'étude de ces problèmes.

Si l'étude de ces anomalies a commencé il y a quelques décennies, il faut bien reconnaître que les francophones avaient un net retard sur les anglo-saxons, qui avaient déjà bien approfondi le sujet.

Il a fallu attendre le début du nouveau millénaire pour qu'une batterie de tests cohérents entre eux soit mise à la disposition des spécialistes de l'audition francophones, et ce grâce aux travaux de Jean-Pierre et Laurent DEMANEZ à Liège, travaux dont la mise au point a demandé plus de sept ans (mais il y avait bien trente ans que l'équipe liégeoise se penchait sur le sujet).

## APPORT DE L'AUDIOMÉTRIE « CLASSIQUE » À L'ÉVALUATION DES FONCTIONS AUDITIVES CENTRALES

Cependant, avant d'étudier le bilan audiométrique central proprement dit, on rappellera qu'il est possible en audiométrie classique d'obtenir quelques éléments

permettant d'évoquer une composante centrale (en tous cas non périphérique) :

- à l'impédancemétrie, en l'absence de tout facteur transmissionnel, la présence de seuils stapédiens sous la barre des 95 dB décrite par Georges FREYSS, et/ou une augmentation du niveau des seuils stapédiens au fur et à mesure que l'on augmente la fréquence de chaque stimulation (les deux phénomènes étant souvent associés), est un élément pouvant faire évoquer une atteinte rétrocochléaire
- le test d'Anderson-Barr qui étudie l'amplitude de la contraction du muscle de l'étrier pour une stimulation de 10 dB au-dessus du seuil stapédien pendant 10 secondes (la normale devant être un maintien de l'intensité de la contraction supérieur ou égal à 50 % au bout de 10 secondes de stimulation) est aussi un bon test d'atteinte rétrocochléaire, surtout pour les fréquences 1000 et 2000 Hz (les réponses étant en général normales pour la fréquence 500 Hz et très souvent anormales de façon non significative pour la fréquence 4000 Hz).

On pourra également noter qu'il est possible même en audiométrie vocale classique de Fournier d'obtenir quelques informations, même si certains la jugent obsolète :

- si la pente de la courbe est trop inclinée,
- si l'intelligibilité n'atteint pas 100 %, surtout si la courbe présente un aspect dit « en cloche »,
- ou encore si la différence entre la moyenne tonale et les 50% d'intelligibilité en vocale est supérieure à 7 dB.

On n'omettra pas également de mentionner le TDT (Tone Decay Test) pour lequel l'existence d'une courbe non pas horizontale ou faiblement inclinée mais au contraire pentue, voire plongeante doit être considérée comme évocatrice d'une atteinte rétrocochléaire, donc non périphérique.

Pas plus que la technique de Bekésy alternant son continu et son pulsé dans laquelle la dissociation entre les deux types de courbes signait aussi une suspicion d'atteinte rétrocochléaire.

Tous ces tests cependant n'explorent que la Vllle paire crânienne et les structures du tronc cérébral donc la partie basse des voies centrales.

Donc, après avoir présenté les tests anciens, qui restent de bons éléments d'orientation, nous présenterons la batterie d'épreuves développée au CHU de Liège par Jean-Pierre et Laurent DEMANEZ, bilan auditif central (BAC), formée de tests adaptés à une population francophone.

## OBJECTIFS DES TESTS AUDITIFS CENTRAUX

Le cahier des charges en est strict :

- la batterie de tests doit être applicable en pratique clinique courante
- la synchronisation droite/gauche de l'émission des sons lors des tests d'écoute dichotique doit être parfaitement simultanée à la milliseconde près pour le début comme pour la fin de chaque paire de mots, ce qui n'était pas toujours le cas dans l'établissement des listes précédentes et qui a été permis par les plus récentes techniques informatiques.
- la durée de déroulement de ces différents tests étudiant les processus auditifs centraux doit être raisonnable car la capacité de concentration est plus labile aux âges extrêmes de la vie. Le bilan doit donc être applicable de 5 à 80 ans (et pas seulement de 7 à 77 ans comme son lieu de création pourrait le laisser penser).

Les conditions d'utilisation sont strictes : si la perte auditive mesurée en dB HL ( $PTA = \{0,5K+1K+2K+4K\}/4$ ) est comprise

- entre 0 et 35 dB, les tests doivent être délivrés à 70 dB,
- entre 35 et 55 dB à 80 dB
- entre 55 et 75 dB à 90 dB

Au dessus de 75 dB de perte globale, les perturbations dues à la distorsion et à la perte auditive permettent difficilement une interprétation significative.

Le BAC est constitué de quatre tests auditifs de base :

- Lafon dans le bruit
- Dichotique
- Tests de démasquage
- Etude des configurations

Ces tests mettent en jeu également des processus neurocognitifs spécifiques, comme par exemple la mémoire l'attention et les facultés d'apprentissage.

Ce bilan nécessite une attention soutenue et sa longueur peut amener à être obligé de pratiquer des pauses pour permettre au patient de récupérer.

Les indications en sont :

- 1° une mauvaise compréhension dans le bruit ou le silence non justifiée par l'audiogramme tonal
- 2° l'efficacité insuffisante de l'appareillage auditif, en particulier si un appareillage pratiqué normalement en binaural donne de mauvais résultats d'adaptation inexplicables par les tests audiométriques classiques, ou encore si un appareillage unilatéral donne de meilleurs résultats qu'un appareillage binaural !
- 3° un retard d'apprentissage de l'enfant ou une dyslexie
- 4° un problème neurologique (en particulier dégénératif : il faut savoir que le test dichotique est perturbé dans plus de 70% des scléroses en plaques à audition normale)
- 5° les troubles divers des fonctions supérieures (la mémoire par exemple)

Tous ces tests seront analysés selon des normes établies selon la catégorie d'âge de chaque patient.

## LE TEST D'INTÉGRATION DE LAFON

Il a été « revisité » en supprimant les mots qui étaient toujours reconnus et les mots qui n'étaient jamais reconnus.

Il en est resté deux listes de trente mots chacune présentée par série de dix mots, alternativement avec bruit et sans bruit.

Le rapport signal/bruit de ce test est de 1, c'est-à-dire que l'intensité du signal est la même que celle du bruit masquant.

On obtient donc un score sur 30 des mots bien répétés en l'absence de bruit et un score sur 30 des mots présentés en présence de bruit, et ce pour chacune des deux listes.

On ne tient compte que du phonème cible indiqué au préalable et non pas de la globalité du mot évoqué.

Les scores ainsi obtenus sont comparés à des tables établies pour chaque tranche d'âge qui permettent d'avoir une idée précise de l'aptitude de reconnaissance dans le bruit en fonction de l'âge et en comparaison des mots répétés en l'absence de bruit. On étudie grâce à ce test, le tronc cérébral et le cortex auditif.

Il convient cependant d'indiquer les limites de ce test, qui semblent être, quoiqu'en ait dit Jean-Claude Lafon, l'existence d'une suppléance mentale, le fait que les résultats dépendent de la psychologie du patient, qu'il s'agit là d'un test supraliminaire et non liminaire, que le bruit blanc peut chez certains être ressenti comme étant trop fort (ce qui peut même dans certains cas amener à renoncer à pratiquer le test au moins dans les conditions  $S/B=1$ ), et qu'il est inutilisable s'il existe trop de distorsion cochléaire ou encore s'il existe des problèmes mentaux cognitifs ou émotionnels.

Dans le même esprit, l'AVfB (Audiométrie Verbo-fréquentielle dans le Bruit) qui utilise des logatomes (mots imaginaires), mise au point par Léon Dodelé et déjà décrite dans ces colonnes, peut amener d'intéressantes notions sur certaines notions neurophysiologiques comme l'attention sélective, dans la mesure où l'élément sémantique disparaît.

## LE TEST D'ÉCOUTE DICHOTIQUE

Pour les tests d'écoute dichotique, on utilisera des listes de dix paires d'items différents dans l'oreille droite et dans l'oreille gauche. On demandera au patient soit de répéter des mots entendus dans une oreille (Oreille Désignée - OD, ce qui permettra d'étudier la séparation dichotique) ou de répéter les deux mots entendus (Oreille Non Désignée - OND, ce qui permettra d'étudier l'intégration dichotique).

L'émission des mots doit être absolument simultanée et de même durée, et pour ce les techniques informatiques modernes permettent une bonne simultanéité de l'émission des mots.

Ils doivent être délivrés à un niveau de sonie équivalent, l'audition devant être sensiblement symétrique (le différentiel des PTA doit être inférieur à 5 dB). On peut éventuellement se livrer à quelques corrections si le différentiel est compris entre 5 et 10 dB mais avec des risques d'inexactitude. Il est impossible en revanche d'obtenir des renseignements cliniques utilisables lorsque le différentiel est supérieur à 10 dB.

Ce test est le seul test d'audiométrie vocale indicateur de latéralisation au niveau central (aussi bien la liste de Fournier que celle de Lafon ne latéralisent pas à ce niveau).

L'intérêt des tests dichotiques est d'exclure la voie ipsilatérale directe au profit des voies croisées mais la verbalisation des mots perçus à l'oreille gauche implique le transfert transcallosal de l'hémisphère droit vers le gauche, ce qui explique que la plupart du temps les gens répètent le mot émis dans l'oreille droite avant celui émis dans l'oreille gauche.

La réalisation du test pourrait être faite usuellement avec cinq listes de dix paires d'items (2x10 substantifs, 2x10 triples chiffres, 2x10 doubles chiffres, 2x10 adjectifs, 2x10 adjectifs, enfin), présentés à 70 dB en oreille désignée ou non désignée. Cette version courte utilise ainsi 50 items, l'épreuve complète en utilisant 100.

Pour les enfants de moins de 8 ans, les tests seront comparables mais les listes d'items seront différentes (doubles adjectifs et triples chiffres respectivement remplacés par 1 syllabe et 1 chiffre).

Deux indices pourront être déterminés à l'usage de ce test :

- l'aptitude dichotique (AD) qui indiquera le nombre de réponses complètes (droite + gauche) en pourcentage
- et la prévalence d'oreille (PO) qui sera basée sur le rapport suivant :  $PO = (D-G/D+G) \times 100$  où D et G représentent respectivement les réponses droites et gauches exclusives (répétition exclusive de l'item présenté à droite ou à gauche). Cette valeur ne devient significative que pour un  $t \text{ .stat.} > 1,96$  ( $t \text{ .stat.} = D-G / \text{racine carrée de } D+G$ ).

De la même manière que pour les tests de Lafon, ces tests seront interprétés en fonction de valeurs normatives établies pour chaque tranche d'âge.

## LE TEST DE DÉMASQUAGE

Il est basé sur le fait que si dans une épreuve binaurale d'audiométrie vocale dans le bruit on introduit un déphasage de  $180^\circ$  entre les signaux verbaux présentés à droite à gauche, on réduit de quelques dB l'effet masquant du bruit.

Ce test nécessite l'intégrité du complexe olivaire supérieur.

On mesure le seuil auditif (50% d'intelligibilité) avec un bruit et des signaux verbaux en phase, puis avec un bruit en phase mais des signaux verbaux en opposition de phase.

La différence entre le seuil en opposition de phase et celui en phase doit être supérieur à 2 ou 3 dB selon l'âge du sujet.

Ce test étudiera les structures inférieures du tronc cérébral.

## LES TESTS DE CONFIGURATION

Ils sont chargés de reconnaître et de reproduire verbalement des séquences de trois stimulus acoustiques variables :

- soit en fréquence (pitch pattern : PP)
- soit en durée (duration pattern : DP)

Ils explorent particulièrement le cortex temporal droit mais le patient devant émettre une réponse verbale, il utilisera son hémisphère gauche grâce à un transfert par le corps calleux.

En revanche chez les enfants de moins de huit ans on pourra se contenter d'une réponse fredonnée qui elle, dans la mesure où il n'existe pas de réponse verbale, ne fait intervenir que l'hémisphère droit sans transfert par le corps calleux.

Les sons employés pour les tests de configuration en hauteur pourront être un son aigu (haut) ou un son plus grave (bas) et se présenter sous la forme de séquences haut-haut-bas ou encore bas-haut-bas etc...

Pour les tests en durée, le déroulement du test sera comparable, les stimulus étant cette fois des sons longs ou des sons courts (un peu comme le morse), et les séquences pourront être par exemple long-court-court ou encore court-long-long etc...

Ces épreuves permettront de tester les structures corticales et le transfert inter-hémisphérique par le corps calleux.

## DANS LA PRATIQUE

L'ensemble de ces tests est reporté sur un CD audio que l'on peut se procurer auprès de ses auteurs au CHU de Liège.

Ils pourront ainsi servir à étudier différents cas cliniques : les enfants présentant des troubles d'apprentissage, les dyslexiques, les prématurés, les enfants ayant présenté des otites séro-muqueuses à répétition, les patients présentant un syndrome de King-Kopetzki, les patients porteurs d'appareils auditifs, voire plusieurs population d'enfants en immersion scolaire dans des langues étrangères.

Nous donnerons quelques exemples cliniques permettant de se faire une idée sur l'utilité de ces différents tests :

- pour l'inadaptation à l'aide auditive, on n'observe pas de corrélation entre les tests de satisfaction (APHAB) pratiqués par auto évaluation et le BAC. Les tests dichotiques ne montreront pas d'anomalies, en revanche, on aura un effondrement du test de Lafon dans le bruit, surtout si on le compare à une population de même âge non demandeuse d'une aide auditive, ce qui indique que les patients qui ont le plus besoin de l'aide auditive sont justement ceux chez qui celle-ci aura le moins bon rendement.
- pour les tests pratiqués chez les patients dyslexiques, le Lafon ne montrera que peu de modifications significatives, alors que l'aptitude dichotique, elle, sera nettement inférieure à la norme et que l'étude des configurations montrera des résultats très variables.
- Chez les enfants présentant des surdités moyennes du premier âge par otites séro-muqueuses à répétition par exemple, présentant donc des troubles chroniques de l'audition, on aura un abaissement des scores du BAC à tous les tests, mais en particulier un effondrement d'aptitude dichotique alors que le test de démasquage sera abaissé et que le test de Lafon sera dans les limites de la normale. Les examens testant le

langage et la mémoire à court terme ne montreront pas de résultat en rapport avec les scores du BAC. On peut donc évoquer l'hypothèse selon laquelle certains processus auditifs centraux, comme par exemple l'aptitude dichotique, arrivent à maturation beaucoup plus lentement que les processus de verbalisation.

- chez les enfants nés prématurés, si les tests de Lafon sont à peu près normaux, on observera un abaissement du score des tests de configuration en hauteur ou en durée et un très net abaissement des scores au test dichotique. On peut en déduire qu'il existe chez ces enfants des séquelles d'immaturation de divers processus auditifs centraux.
- chez les patients souffrant d'un syndrome de King-Kopetzki (Obscure Auditory Dysfonction) qui présentent un trouble de la compréhension malgré une audiométrie tonale et vocale normale, si le test de Lafon pratiqué en l'absence de bruit sera normal, le Lafon pratiqué avec bruit sera effondré alors que les tests dichotiques seront à peu près normaux. On peut donc penser qu'existe une perturbation des processus de décodage phonétique (il faudra également tenir compte chez ces patients d'une augmentation du stress, de l'anxiété, et donc d'une implication psychologique éventuelle).
- Un cas particulier sera l'étude des enfants en immersion linguistique, donc scolarisés dans une langue autre que leur langue maternelle chez lequel pour des raisons actuellement non élucidées on observe un effondrement de l'aptitude dichotique entre 6 et 10 ans, l'aptitude dichotique se normalisant ensuite.
- on mentionnera également le syndrome de négligence auditive qui montrera une extinction sensorielle d'un côté au test dichotique. Il ne faudra pas oublier non plus que 60% des scléroses en plaques à audition normale montrent des perturbations du test dichotique.

On pourra donc avoir ainsi une idée de l'utilité de ces tests nouveaux (en tout cas pour les francophones) pour le diagnostic audiologique et otoneurologique, le pronostic et éventuellement la prise en charge.

Chez l'enfant en cas de retard de langage ou de trouble d'apprentissage, ils peuvent révéler des défaillances des processus auditifs centraux et donc orienter la conduite d'une éventuelle remédiation.

Chez le sujet âgé, ils peuvent assister l'indication d'appareillage, mais aussi témoigner de l'involution des structures neurologiques, voire d'une démence débutante.

Chez l'adulte enfin, il peut non exceptionnellement apporter une explication à des difficultés de compréhension alors que les tests audiométriques usuels sont normaux.

Ainsi, grâce à ces tests nous pourrions essayer de comprendre un peu mieux l'ensemble de la fonction auditive dans sa globalité.

*Les auteurs remercient chaleureusement le Professeur J.P. Demanez pour ses avis précieux.*

### Bibliographie

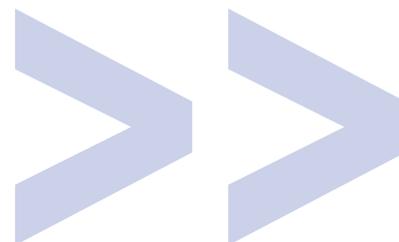
**Chermak GD, Musiek FE.** Central auditory processing disorders. New perspectives. Singular Publishing Group, San Diego: 1997

**Demanez JP, Demanez L.** Anatomophysiology of the central auditory nervous system- basic concepts. Acta oto-rhino-laryngologica belg, 2003, 57, 227-236.

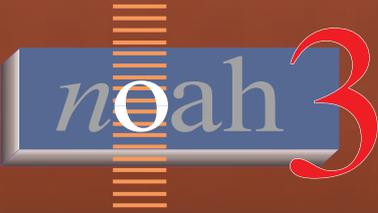
**Demanez L, Demanez JP.** Central Auditory Processing Assessment. Acta oto-rhino-laryngologica belg, 2003, 57, 243-252.

**Demanez L, Dony-Closon B, Lhonneux-Ledoux F, Demanez JP.** Central Auditory Processing Assessment- a French-speaking battery. Acta oto-rhino-laryngologica belg. 2003, 57, 275-290.

**Demanez L.** Troubles Auditifs Centraux- aspects cliniques - Compte Rendu du Congrès UNSAF 2005 (sous presse).

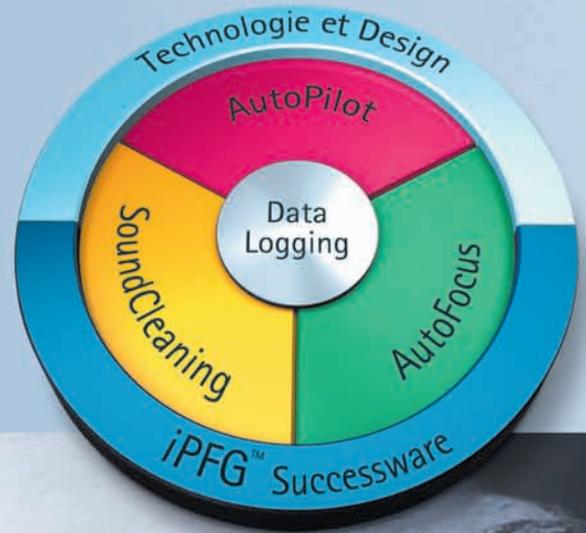


**Restez dans la course avec + Audio !**  
**100% compatible et interfacé**

**Laboratoire + Audio - Informatique**  
 (C. Elcabache ou C. Vial)  
 4 rue Gambetta - 89100 SENS  
 Tél : 03 86 83 89 29





## Anatomie d'un nouvel univers auditif

### AutoPilot

Audibilité, intelligibilité et confort optimaux dans de multiples situations auditives

### AutoFocus

Une nouvelle dimension technologique des multimicrophones

### SoundCleaning

Le confort auditif sans effort ni compromis

### DataLogging

Facilite la communication avec votre patient

### iPFG Successware

Un outil convivial pour exploiter au mieux l'énorme potentiel de Savia

La plus grande révolution depuis l'avènement du numérique

Force technologique et  
intelligence naturelle



[www.phonak.com/savia](http://www.phonak.com/savia)

**PHONAK**  
hearing systems

# LES TECHNIQUES DE PERFECTIONNEMENT DE LA PAROLE : RÉDUCTION DE BRUIT, RÉDUCTION D'ÉCHO, DÉRÉVERBÉRATION ET SÉPARATION DE SOURCES

Les auteurs analysent des méthodes existantes de perfectionnement de la parole en terme de réduction de bruits, de réduction d' échos, de déréverbération et de séparation de sources. Ce sont des techniques basées sur le traitement numérique du signal. Ces méthodes sont mises au point selon deux types de configurations différentes : présence d' un seul microphone ou mise en place d' un réseau de plusieurs microphones.

*The authors analyse the existing methods of speech enhancement in term of noises reduction, of echoes cancellation, dereverberation and sources separation. These techniques are based on Signal Processing. These methods are developed according to two different configurations: presence of only one microphone or installation of a network of several microphones .*

38

**Jean Philippe PUY**  
Ingénieur ATER

**Christian GELIS**  
Professeur émérite

Centre de Recherche, d'Etudes et de  
Formation en Audioprothèse (CREFA),  
Faculté de Pharmacie,  
Université Montpellier 1,  
15 avenue Charles Flahault,  
34093 Montpellier cedex 5 (France).  
Tél : 04 67 54 80 95,  
Fax : 04 67 66 81 23.

On désigne par techniques de perfectionnement de la parole diverses méthodes utilisant des algorithmes de « traitement de signal ». Cette dénomination employée abusivement, en audiologie prothétique, pour qualifier des opérations comme la correction de spectre, désigne « stricto sensu » l'opération destinée à séparer un signal utile, généralement la parole, d'un ensemble de signaux indésirables qui le brouille. Ces techniques de traitement concourent à améliorer l'intelligibilité.

Le traitement de signal utilise deux procédés :

- des procédés qui visent à la réduction du bruit ; les aides auditives actuelles utilisent des procédés de ce type,
- des procédés de séparation de sources qui paraissent d'un intérêt supérieur dans le cas de la réhabilitation auditive car pour le malentendant on peut définir le bruit comme le signal qu'il n'a pas envie, à un instant donné, d'entendre. La définition du

signal utile est de ce fait très fluctuante et un locuteur momentanément intéressant peut devenir dans l'instant suivant sans intérêt et de ce fait générer du « bruit ».

## 1 PRÉSENTATION

Dans cet article, nous présentons, en premier et pour chaque type de dégradation de signal (bruit, écho, réverbération), un répertoire ainsi qu'une analyse critique des algorithmes de traitement existants basés sur l'utilisation d'un ou plusieurs microphones. Une bonne approche de plusieurs techniques de traitement de signal acoustique et des algorithmes fondés sur les réseaux de microphones est par ailleurs publiée par J. BENESTY [1].

Nous décrivons ensuite les techniques de séparation de sources sonores utilisant l'Analyse en Composantes Indépendantes (ICA), parue dans le livre de A. HYVÄRINEN [2]. L'ICA traite des signaux multicapteurs pour en extraire les composantes sous-jacentes (ou « sources ») en s'appuyant sur la seule hypothèse d'indépendance statistique des signaux sources. C'est la généralité de cette approche novatrice qui, depuis plus d'une dizaine d'années, a permis son développement et son application à de nombreux domaines: signaux audio (problème du cocktail-party), signaux bio-médicaux (électro-cardiographie, potentiels évoqués), signaux de communications (antennes intelligentes).

## 2 LES DIVERS TYPES DE BRUIT

Le bruit peut présenter deux aspects : il peut être significatif ou non significatif

### 2.1. Le bruit non significatif

Certains bruits continus ou fluctuants ne présentent pas de périodicité reconnaissable et ne sont pas significatifs. Le vent, les bruits industriels, les bruits de transport ou de circulation routière, la musique,... sont de ce type et perturbent le signal de parole. On constate en effet que sur ce fond sonore « randomisé », le sonagramme d'une voix est pollué par des accidents irréguliers, et on pressent qu'un lissage de la courbe qui représente cette voix puisse améliorer un peu sa reconnaissance. Une caractéristique de ces sons non significatifs est que leur nature de bruit ne change pas, sauf cas exceptionnel, ils ne deviennent jamais un signal utile.

D'autres sons non significatifs sont brefs et de type impulsifs. Ces « transitoires » tels que chutes d'objets, bruits de fourchettes, claquements de portes, etc., ont

des intensités variables et des niveaux de crête généralement élevés. Leur répétition irrégulière, si elle est très rapprochée, peut aboutir au bruit « randomisé » évoqué précédemment. S'ils ne perturbent la parole que pendant de courts instants lorsque leur occurrence est faible, ils sont très agressifs pour certains malentendants.

### 2.2. Le bruit significatif

Les bruits significatifs sont des voix mélangées de plusieurs locuteurs s'exprimant simultanément ; chacun d'entre eux pourvu qu'il parle à voix haute, émet un signal aléatoire. Le bruit de fond de l'ensemble, qui est la somme de tous ces signaux, est lui même un autre signal aléatoire. C'est son analyse qui permet de sélectionner une voix parmi l'ensemble, c'est à dire un fondamental laryngé particulier et ses harmoniques.

Ceci exige une discrimination très fine des fréquences entre elles, aussi bien que de leur intensité respective, puis un choix du cerveau reconnaît le fondamental de la voix qu'il a choisi d'écouter, parce qu'il s'en souvient. Cette discrimination est devenue très difficile pour une oreille interne lésée.

## 3 RÉDUCTION DE BRUIT ACOUSTIQUE

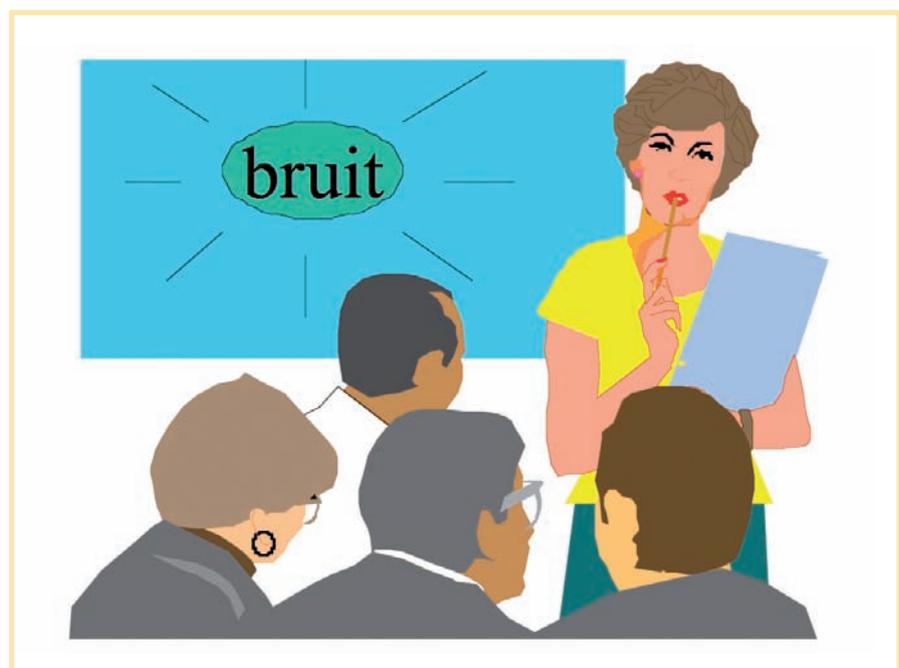
### 3.1. Réduction du bruit avec un seul canal ou 1 microphone

Les techniques de réduction de bruit utilisant un seul canal ont eu un grand intérêt dans les dernières décennies, elles sont publiées dans l'article de J. S. LIM [3].

Ces techniques également appelées techniques de perfectionnement de la parole, ont pour but de réduire le bruit sans déformer le signal de parole.

Généralement, ces algorithmes de perfectionnement de la parole en présence d'un seul microphone peuvent être classés suivant deux types de méthodes : paramétriques et non paramétriques.

Les techniques paramétriques modélisent le signal de parole bruité comme un modèle Autorégressif (AR) stochastique ou LPC (Linear Prediction Codage) ,noyé dans un bruit gaussien coloré.



Le modèle AR est un modèle paramétrique particulièrement simple pour les signaux considérés comme des processus à temps discret. La modélisation AR suppose que le signal est engendré par une équation aux différences linéaires d'ordre fini ne faisant apparaître que des valeurs du signal à certains instants du passé multipliés par des constantes auquel on rajoute un terme de bruit blanc.

Le perfectionnement de la parole consiste alors à estimer les paramètres AR liés à la parole et à appliquer sur le signal bruité un filtre de WIENER non causal ou un filtre de KALMAN. Le filtre de KALMAN est fondé sur la représentation des systèmes linéaires dans l'espace d'état. Ces filtres optimaux étant conçus à partir des paramètres AR estimés.

Les techniques non paramétriques n'estiment pas les paramètres liés à la parole, mais exigent une représentation du bruit dans l'espace de FOURRIER (DFT) ou de KARHUNEN-LOEVE (KLT).

L'image du bruit est alors estimée durant les phases où seulement le bruit est présent et est utilisée au cours des séquences de paroles entachées de bruit pour une estimation précise du signal de parole. Les techniques non paramétriques bien connues sont : la soustraction spectrale et la décomposition du signal en sous espaces .

Les techniques de perfectionnement de la parole en présence d'un seul microphone ne peuvent exploiter que l'information temporelle et spectrale de la parole et des signaux de bruit. Elles peuvent donc être considérées comme un filtrage adaptatif fréquentiel du signal de parole bruité. La parole et le bruit se superposent généralement dans les mêmes bandes de fréquences. Aussi ces techniques utilisant un seul microphone ont des difficultés à réduire le bruit de fond sans introduire des artefacts ou de la distorsion de parole.

## 3.2. Réduction du bruit avec plusieurs canaux ou plusieurs microphones

### 3.2.1. Techniques de formations de voies statiques et adaptatives.

Quand les sources de parole et de bruit sont physiquement localisées à des endroits différents, la diversité spatiale peut être exploitée en utilisant les mêmes techniques de réduction de bruit sur un ensemble de plusieurs microphones. Dans ce cas, les caractéristiques spectrales et aussi spatiales des sources sont mises à profit.

Une première classe de techniques de réduction de bruit avec plusieurs microphones est la formation de voies statiques et adaptatives. Un bon aperçu des techniques de formation de voies peut être trouvé dans l'article de D. VAN COMPERNOLLE [4.]

Les techniques statiques de formation de voies filtrent les signaux provenant du microphone avec des filtres à coefficients constants et par conséquent indépendants. Une formation de voies statiques essaie d'obtenir une localisation spatiale de la source de parole, permettant ainsi de réduire la réverbération et de supprimer le bruit de fond ne provenant pas de la même direction que la source de parole.

Typiquement les techniques de formation de voies statiques exploitent le retard et la sommation entre les voies : réseaux de microphones différentiels, réseaux de microphones directifs et formations de voies invariantes du point de vue fréquentiel. Cependant si l'on veut utiliser ces types de formations de voies statiques, il n'est généralement pas possible de définir des modèles arbitraires de directivité spatiale pour des configurations de réseaux de microphones arbitraires.

Il est cependant possible d'utiliser une structure générale de filtres à l'intérieur de laquelle les coefficients de la formation de voie statique sont calculés de telle manière que le modèle de directivité spatiale s'adapte de façon optimale au sens de la fonction de coût classique.

Les techniques de formation de voies dynamiques combinent la localisation spatiale et la formation de voie statique avec suppression de bruit adaptative. Cela permet de résoudre les problèmes d'optimisation avec contraintes en utilisant des batteries de filtres. Dans une formation de voies LCMV (Linearly Constrained Minimum Variance), l'énergie du signal de sortie est minimisée en considérant que les signaux proviennent de la même direction que le regard, c'est à dire la direction de la source de parole. En conséquence, une opération de filtrage à coefficients constants est alors mise en place. La variance est l'espérance mathématique du signal ôté de sa moyenne le tout élevé au carré. L'écart type est la racine carré de la variance.

Une autre implémentation de cette formation de voies LCMV est la GSC (Generalised SideLobe Canceller), c'est à dire la formation de voies large bande. Dans ce cas, le problème d'optimisation avec contrainte est reformulé comme un problème d'optimisation sans contrainte. La GSC consiste à utiliser une formation de voies générant un signal de parole et un signal de bruit de référence. Un filtre adaptatif multi-canaux élimine alors la composante bruit dans le signal de parole de référence qui est corrélé avec le signal bruit de référence.

Si l'on considère la réverbération de la pièce, la disparité du microphone, et l'erreur de direction du regard, le signal de parole peut disparaître dans le bruit de référence. Ainsi la suppression et la distorsion de signal ne sont pas souvent évitées dans le GSC standard. Pour limiter la suppression et la distorsion de signal, différentes variantes du GSC standard sont proposées : utilisation d'un contrôleur de parole avec algorithme adaptatif (VAD), d'une batterie de filtres spatiaux, de filtres adaptatifs sous contraintes ou introduction d'un modèle de fonction de transfert . La fonction de transfert d'un système est le rapport de la transformée de Laplace ou en Z du signal de sortie à celui de l'entrée. Elle caractérise la dynamique du système, elle ne dépend que de ses caractéristiques

physiques. Elle permet de tracer en fonction de la fréquence la réponse en amplitude et en phase d'un système quelconque.

Les techniques de formation de voies adaptative fournissent généralement de meilleures performances en terme de réduction de bruit que la formation de voie statique et s'adaptent plus facilement aux changements d'environnement acoustique. Cependant, elles sont sensibles aux erreurs de modélisation dues à la suppression et à la distorsion de la parole. Les techniques de formation de voies statiques sont parfois préférées pour leur robustesse et leur facilité d'implémentation. Les formations de voies statiques sont souvent utilisées dans le cas d'un environnement acoustique fortement réverbérant, dans des applications où la position de la source de parole est connue approximativement et dans le cas des créations de voies multiples et des signaux et bruit de référence dans un GSC.

### 3.2.2. Filtres de Wiener multi-canaux

Une seconde classe de techniques de réduction de bruit en présence de plusieurs microphones est le filtrage de Wiener multi-canaux décrit par S. DOCLO [5.6]. Ces techniques de filtrage optimal sous contraintes fournissent une estimation optimale de type MMSE (Minimum Mean Square Error) de la composante parole dépourvue de toute réverbération. Le sigle « MMSE » signifie que l'on minimise un critère quadratique de type moindre carré basé sur l'erreur de modélisation au carré du système considéré. Elles permettent également d'estimer un signal de référence qui peut être une combinaison linéaire de signaux pré enregistrés.

Dans ces techniques, de la distorsion linéaire de parole est introduite mais ce problème peut être facilement résolu en utilisant le module de réduction de bruit. Les filtres de Wiener Multi-canaux peuvent être implémentés de différentes façons. Une implémentation pleine bande de type GSVD (Generalised Singular Value

Decomposition) peut être considérée comme une extension à plusieurs microphones des algorithmes de perfectionnement de la parole basée sur un sous espace à un canal.

Les techniques de filtrage optimal multi-canaux sans contrainte donnent de meilleures performances en terme de réduction de bruit que les techniques de formation de voies adaptatives et statiques et sont plus robustes aux écarts de modèles (erreur de direction du regard, disparité du microphone et erreurs de détection de parole). Ces méthodes sont également attractives au niveau temps de calcul.

## 4 RÉDUCTION DE L'ÉCHO ACOUSTIQUE

Une réflexion unique ne nuit pas forcément à l'intelligibilité. En effet le « phénomène de HASS » s'appuie sur le fait que, lorsque le rayon réfléchi parvient aux oreilles de l'auditeur moins de 50 millisecondes après le son direct, ce dernier est renforcé sans effet d'écho ; cela se produit dans des pièces de dimensions petites à moyennes.

Certaines techniques d'atténuation de l'écho acoustique sont couramment mises en œuvre. C'est ainsi que les enceintes et microphones directionnels ainsi que l'utilisation de matériaux absorbants atténuent les réflexions. La réduction de l'écho par voie électronique est basée sur les techniques de filtrage adaptatif décrit par J. BENESTY [7]. Grâce à leur formidable faculté d'apprentissage, les techniques de filtrage adaptatif sont un outil puissant de traitement utilisables pour modéliser les systèmes et pour améliorer les signaux.

Les filtres adaptatifs n'ont pas besoin d'avoir de connaissance préalable sur le phénomène considéré. C'est leur structure basée sur la rétroaction qui leur permet de s'adapter à des changements éventuels de modèles. Elles peuvent ainsi modéliser un système inconnu et en suivre d'éventuelles variations. Toutes les techniques de filtrage adaptatif comprennent deux étapes : une opération de filtrage et un filtre adaptatif. L'adaptation est réalisée grâce à la rétroaction de l'erreur de modélisation.

La plupart des techniques de filtrage adaptatif ont été développées durant la dernière décennie ; elles se distinguent les unes des autres en terme de performance (rapidité de convergence, poursuite et retard), de complexité et de stabilité.

En général, il n'est pas facile de décider de l'algorithme optimal à une application spécifiée ; le choix dépend de la puissance de calcul disponible et des préférences du concepteur. Lorsque l'on veut éliminer l'écho acoustique, le système inconnu qui a été modélisé par le filtre adaptatif, est la fonction de transfert acoustique représentative de la propagation du son entre haut-parleur et microphone. Cette fonction étant volumineuse et très variable dans le temps, le filtre adaptatif doit être performant, converger rapidement et ne pas être trop complexe à réaliser pour que le retard introduit ne soit pas trop important.

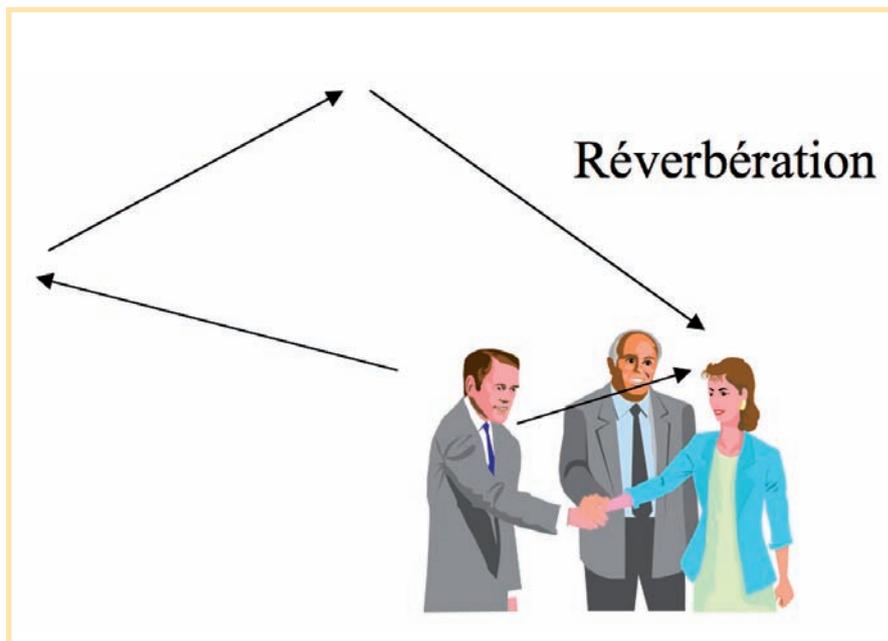
Les algorithmes adaptatifs très complexes, tels que l'algorithme RLS (Recursive Least Squares) ne sont pas en usage à l'exception des versions rapides. Pour les applications acoustiques, les algorithmes peu coûteux en temps de calcul, tels que le LMS (Least Mean Squares) sont typiquement utilisés. Cependant ces algorithmes ne convergent pas rapidement surtout lorsqu'ils traitent des signaux tels que la parole. Une solution intermédiaire consiste à utiliser l'APA (Affine Projection Algorithme) et ses variantes. Ces algorithmes convergent plus vite que les algorithmes de type LMS et sont moins complexes que ceux de type RLS.

La complexité des algorithmes adaptatifs peut être encore réduite en utilisant des algorithmes basés sur une représentation fréquentielle ou en sous-bandes. La représentation fréquentielle présente deux avantages par rapport à une représentation temporelle. En premier une réduction considérable du coût peut être obtenue grâce aux traitements parallèles et à l'emploi de la Transformée de Fourier rapide (FFT). Ensuite un meilleur comportement à la convergence est constaté, il est dû aux propriétés de décorrélation de la transformation du signal. L'inconvénient majeur est le retard considérable introduit qui peut être réduit en utilisant des blocs partitionnés.

Conceptuellement la réduction de l'écho (mono) est un problème résolu, et la recherche est focalisée sur le développement d'algorithmes moins complexes mais aussi performants.

Tous les équipements audio utilisant deux canaux (stéréo) ou plus (son surround), les réflexions provenant de plusieurs haut-parleurs doivent être éliminées. La réduction de l'écho acoustique dû à plusieurs canaux souffre de la non unicité du problème car les signaux provenant des haut-parleurs sont corrélés. En pratique, le problème de la réduction de l'écho multi-canaux a une solution unique. Pour résoudre le problème, les composantes non corrélées peuvent être introduites dans les différents signaux. Ces composantes doivent être inaudibles et ne pas affecter la perception stéréophonique. Différentes techniques sont proposées pour décorréler les signaux des haut-parleurs : des transformateurs d'ondes, des filtres complémentaires, des filtres passe tout ou l'insertion de bruits masqués de manière psycho-acoustique.

Traditionnellement, la réduction de bruit et l'atténuation de l'écho sont traitées indépendamment. En premier la réduction des composantes des échos, puis la réduction du bruit ou vice versa. En utilisant plusieurs microphones et en combinant les deux approches, on résout de manière plus précise le problème et on obtient de meilleures performances pour un taux de complexité inférieur.



## 5 DÉRÉVERBÉRATION

Contrairement à un écho unique, la réverbération doit toujours être contrôlée [10]. La déréverbération consiste à extraire le signal de parole direct des signaux réfléchis sans avoir connaissance de la fonction de transfert et du signal direct.

En fait la déréverbération revient à effectuer une déconvolution aveugle.

Pour le problème de la déréverbération avec un seul microphone, une solution directe est proposée en utilisant une technique conventionnelle de filtrage inverse. Si la fonction de transfert acoustique est connue par le calcul ou la mesure, la réverbération peut être supprimée en utilisant le filtre inverse ou par déconvolution MMSE décrit par M. MIYOSHI [8]. Etant donné que les fonctions de transfert acoustiques typiques sont à minimum de phase et n'ont donc pas d'inverse causale stable, la technique de filtrage inverse avec un seul microphone a une portée limitée en pratique.

La situation est bien plus compliquée dans les applications temps réel. Une approche consiste à utiliser des techniques cepstrales. Le cepstre est défini comme la transformée de Fourier inverse d'un spectre exprimé en échelle logarithmique. La motivation sous-jacente est le fait que la déconvolution dans le domaine temporel correspond à une division dans le domaine fréquentiel et une soustraction dans le domaine cepstral. La représentation complexe cepstrale du signal de parole est normalement utilisée autour de l'origine, alors que les échos sont composés de pulsations éloignées de l'origine. Aussi la déréverbération peut être mise en œuvre par filtrage passe-bas dans le domaine cepstral. Bien que le filtrage cepstral donne de bons résultats concernant le perfectionnement de la parole dégradée par de simples échos, son utilisation pour la déréverbération du signal de parole avec un seul microphone pose de nombreux problèmes pratiques et la technique de déconvolution aveugle avec un seul microphone a des performances limitées.

Les techniques de déréverbération avec plusieurs microphones fournissent des traitements spatiaux permettant de séparer la partie réverbérante du signal direct. Une première classe de techniques à plusieurs microphones est la formation de voies sta-

tiques. Ces techniques suppriment le bruit de fond et déréverbèrent partiellement les signaux. Les techniques de formation de voies statique ont pour objet de capturer le son direct et d'atténuer les sons provenant d'autres directions, réduisant ainsi la réverbération .

Dans un article récent [9] J. B. ALLEN propose une technique de formation de voies avec deux microphones pour compenser les différences de phase et d'amplitude des signaux et effectuer leur somme de manière cohérente. Ces techniques permettent également de supprimer la réverbération, en présupposant que le signal de parole est statistiquement indépendant des autres sources d'interférence.

Une autre classe de techniques de déréverbération avec plusieurs microphones combine la formation de voies avec le traitement cepstral. Les différents signaux provenant des microphones sont factorisés par un filtre à minimum de phase dans le domaine cepstral et un filtre passe tout dans le domaine fréquentiel.

Les techniques standards de formation de voies basées sur la sommation et le retard utilisent une compensation de phase pour aligner les signaux des différents microphones, mais ne parviennent pas à mettre en place une déréverbération suffisante. D'autres techniques de séparations de voies plus sophistiquées utilisent des filtres adéquats au lieu d'effectuer une simple compensation de phase. Lorsque les différentes fonctions de transfert sont connues, on met en place un filtrage avec des fonctions de transfert à temps inverse. Lorsqu'elles ne sont pas connues, les filtres estiment la fonction de transfert dans le domaine fréquentiel en utilisant les techniques de poursuite des sous espaces.

Dans le cas d'un seul interlocuteur en présence de plusieurs microphones, l'ensemble du système à identifier peut être considéré comme un modèle SIMO (Single Input Multiple Output). Les techniques aveugles d'identification consistent à estimer les différentes fonctions de transfert puis sont suivies par une opération de filtrage inverse multi-canal. Cependant la

plupart des techniques aveugles d'identification ne sont pas robustes à l'indétermination de la longueur des fonctions de transfert, qui en pratique ne peuvent pas être estimées. De plus elles sont assez complexes à mettre en œuvre car coûteuses en temps de calcul. Il est également très difficile d'identifier et de poursuivre ces systèmes lorsque du bruit de fond est présent.

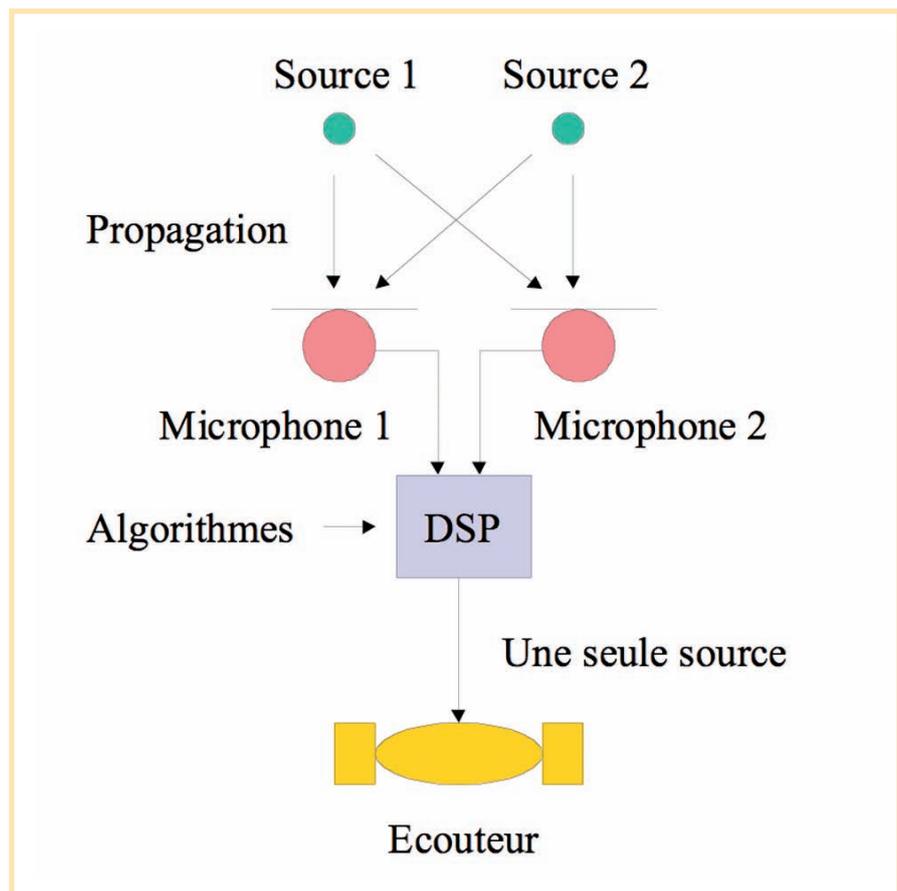
# 6 SÉPARATION DE SOURCES

## 6.1. Historique

Les premiers travaux de séparation de voix datent d'une quinzaine d'années. Le problème consiste à estimer plusieurs (n)

sources sonores inconnues, supposées statistiquement indépendantes, à partir de p mélanges inconnus de ces dernières. D'un point de vue statistique, c'est donc un problème de recherche de facteurs indépendants. Dans le cas le plus simple, on suppose que le mélange est linéaire instantané. Si on note  $s(t)$  et  $x(t)$  les vecteurs sources et observations, respectivement, on peut alors écrire  $x(t)=A.s(t)$  où A est une matrice dite de mélange. Il s'agit alors d'estimer une matrice B, dite de séparation, telle que B.A se réduise à une matrice diagonale, à une permutation près.

Les méthodes mises en œuvre pour estimer les sources sonores exploitent l'hypothèse d'indépendance des sources. Dans le cas où l'on n'exploite pas d'hypothèse supplémentaire sur le signal, l'écriture de l'indépendance se traduit par des critères non linéaires impliquant des statistiques d'ordre supérieur à deux. On exploite alors la corrélation temporelle des signaux sources, et il est possible de n'utiliser que des statistiques d'ordre deux.



Les premiers travaux dans ce domaine ont été proposés par HERAULT, JUTTEN et ANS en 1985 [11] et ont suscité l'intérêt de nombreux chercheurs en France. D'un point de vue théorique, PHAM et al. [12] ont montré les premiers l'importance des fonctions score (dérivées du logarithme des densités) pour effectuer l'optimisation.

Comme on exploite essentiellement l'indépendance des sources, L'Analyse en Composantes Indépendantes (ACI) s'introduit de façon naturelle par P. COMON [13]. Elle consiste à trouver une transformation de l'espace des observations en un espace de représentation dans lequel les composantes sont aussi indépendantes que possible.

## 6.2. Modèles

Le premier et le plus simple des modèles introduits en séparation de sources, est celui du mélange instantané décrit dans l'historique. Ce modèle a subi beaucoup de raffinements. Dans le cas de signaux de paroles, le mélange n'est pas instantané et un modèle de mélange convolutif est plus approprié. Dans certains cas, les mélanges ne sont pas linéaires, à cause des phénomènes de saturation notamment.

Une façon d'introduire la non linéarité, dans le cadre des mélanges instantanés, est d'appliquer une transformation non linéaire (inversible) sur chaque mélange (mélange post non linéaire). On peut compliquer ce schéma en mettant en cascade plusieurs couches de mélanges linéaires suivies de transformations non linéaires (composante par composante)..., donnant ainsi lieu à une structure semblable à un réseau de neurones.

De la même façon, on peut faire suivre, dans le cas des mélanges convolutifs, une transformation non linéaire sur chaque mélange (mélange post non linéaire convolutif). Enfin, on peut être amené à ajouter un terme d'erreur d'observation dans ces modèles (bruit additif).

Notons que ces erreurs sont vues comme des sources, ce qui nous conduit à un problème de séparation avec beaucoup plus de sources que de capteurs. L'identification du modèle est cependant encore possible, moyennant des hypothèses supplémentaires sur les bruits (gaussiens par exemple) et/ou sur les sources.

Si l'on ignore l'aspect temporel des signaux, un procédé aveugle de séparation de sources peut être considéré comme un changement de base, de sorte que les composantes relatives à la nouvelle base soient indépendantes.

C'est le but de l'ACI, mais dans ce cadre, l'hypothèse d'un modèle de mélange n'est pas toujours complètement validée. Ainsi l'indépendance totale des composantes n'est pas toujours réalisable et on doit se contenter de les rendre aussi indépendantes que possible.

Ce concept est très proche d'un autre concept introduit récemment en statistique : c'est la projection révélatrice (Projection Pursuit : PJ). Elle consiste à chercher les directions de projection telles que les composantes projetées soient aussi anormales (non gaussiennes) que possible. Or quand on somme des variables aléatoires indépendantes, on rend le résultat plus gaussiens. La méthode de projection révélatrice conduit donc à une extraction des sources, quand elles existent. Toutefois cette technique les extrait de façon séquentielle (la moins gaussienne en premier) tandis que l'ACI le fait de façon globale. De plus, les deux approches sont distinctes en l'absence de modèle de mélange.

Il est possible de raffiner l'ACI, comme dans le cas du mélange instantané, pour introduire l'aspect temporel et la non linéarité. Ainsi l'ACI convolutive consiste à rechercher un filtre matriciel, opérant sur la suite des vecteurs observés, de telle sorte que les différents canaux en sortie du filtre soient aussi indépendants que possible. On peut également ajouter des transformations non linéaires.

C'est le cas de l'ACI pré-non-linéaire dans laquelle les composantes du vecteur d'observation subissent une transformation non linéaire avant d'être mélangées linéairement. Une autre approche est d'introduire une ACI locale dans laquelle le changement de base dépendrait des points d'intérêt.

## 6.3. Méthodes

La séparation aveugle doit reposer uniquement sur l'exploitation de l'indépendance mutuelle des sources. Une idée naturelle est donc d'annuler, en plus des covariances, les cumulants croisés d'ordres supérieurs.

C'est la méthode des moments. Le moment est l'espérance mathématique du signal pris à l'instant  $t$  et élevé à une certaine puissance. Le cumulante est l'espérance mathématique du produit du signal pris à des instants différents et avec une certaine puissance. L'ordre du moment ou du cumulante représente le nombre de produits du signal pris à des instants différents. Mais au lieu des fonctions polynomiales, on peut aussi bien utiliser des fonctions non linéaires quelconques des variables observées. Cette idée est apparue très tôt dans un article de HERAULT JUTTEN et ANS . Par la suite PHAM et GARAT ont bâti un cadre général de cette méthode, basé sur le principe du maximum de vraisemblance. Leurs travaux ont montré que le choix de la fonction non linéaire doit être adapté à la loi de la source.

L'exploitation de la dépendance avec retard entre les canaux d'observations peut être très utile. Dans le cas de mélanges instantanés, elle permet d'effectuer la séparation à l'aide uniquement des statistiques du second ordre. Dans ce cadre, une manière simple est de recourir à la modélisation Autorégressive (AR), que l'on peut alors intégrer dans une démarche de maximum de vraisemblance (C'est le principe des Moindres Carrés).

Toutefois, dans le cas des mélanges convolutifs, l'exploitation de la corrélation sérielle est insuffisante, celle de la dépendance sérielle est indispensable pour pouvoir faire la séparation. Un modèle Markovien semble mieux adapté pour exploiter cette dépendance sous toutes ses formes. La propriété de Markov signifie que la probabilité d'une évolution à partir du temps  $t$  ne dépend que de l'état du système au temps  $t$  et non de son histoire. Un processus Markovien à temps discret s'appelle aussi une chaîne de Markov.

Les méthodes précédentes reviennent souvent à annuler certaines fonctions des paramètres du modèle et des observations appelées fonctions estimantes.

Cette méthode présente toutefois un défaut majeur qui est la non unicité des solutions de cette annulation, sans parler de la difficulté algorithmique de la recherche des solutions.

Une méthode alternative, basée sur un contraste, peut être préférable. Un contraste est une fonction des paramètres du modèle et des observations qui tend, quand la taille de l'échantillon tend vers l'infini, vers une fonction atteignant son minimum pour les vraies valeurs des paramètres. L'estimation de ces derniers se fait donc simplement en minimisant un tel contraste. Cette méthode est moins générale car en dérivant un contraste, on obtient un système de fonctions estimantes, mais inversement un tel système ne provient pas forcément d'un contraste. Son avantage est qu'elle peut éviter le problème des solutions parasites.

La méthode des contrastes conduit naturellement à l'ACI. En effet, un contraste se construit à partir d'une mesure de dépendance entre les sources reconstituées et sa minimisation produit donc effectivement des composantes les plus indépendantes possibles selon cette mesure.

Divers contrastes ont été proposés, le plus intéressant semble être celui basé sur l'information mutuelle.

Ce contraste utilise des informations contenues dans la distribution des observations et est donc très général : il ne nécessite pas un blanchiment préalable (par exemple) et il peut être aisément étendu pour couvrir l'aspect temporel (ACI spatio-temporel, déconvolution aveugle) ou non linéaire (ACI non linéaire) du modèle. Le prix à payer est la complexité de la méthode, qui nécessite l'estimation de l'entropie de la distribution, impliquant en général l'estimation de la densité. L'entropie est une fonction d'état qui sert à mesurer le degré de désordre d'un système.

Devant la difficulté à utiliser l'information mutuelle, on peut envisager de la dégrader en quelque chose de plus simple.

On peut par exemple exploiter le support de la distribution ou le quasi-support (ne contenant pas toutes mais presque la totalité des probabilités). Ce support peut être estimé via les statistiques d'ordre ou par des méthodes géométriques. L'utilisation des statistiques d'ordre est une démarche nouvelle qui n'a pas été beaucoup exploitée. D'autre part le lien fort entre l'ACI et la projection révélatrice suggère de transposer les méthodes utilisées dans un domaine, vers l'autre.

## 7 CONCLUSION

On peut conclure qu'il est certes passionnant de savoir qu'il existe de nombreuses méthodes permettant de dépolluer un message sonore des signaux parasites qui le perturbent. On trouverait en effet dans ces techniques une solution à la réhabilitation de beaucoup de surdités de perception dans la mesure où on pourrait les appliquer au domaine de la réhabilitation de la communication audio-verbale. Les techniques rapportées dans cet article sont déjà utilisées dans de nombreux domaines

comme les télécommunications ou la biophysique médicale, mais, comme on peut le comprendre à la lecture du texte, les restrictions à une mise en pratique dans les aides auditives résident dans la puissance de calcul du matériel prothétique et dans la durée de traitement exigée.

### Note : Discretion concernant le temps de calcul des algorithmes

Dans cet article, nous n'avons pas la possibilité de publier d'informations concrètes concernant les temps de calcul nécessaires aux différentes techniques de perfectionnement de la parole qui sont exposées. En effet, ces nouvelles méthodes inventées par des mathématiciens restent relativement secrètes et soumises à concurrence surtout en terme de nombre d'opérations nécessaires à l'implémentation. De plus les fabricants d'aide auditive sont discrets sur les puissances de calcul et les différents types d'algorithmes qui résident dans les aides auditives numériques modernes actuelles. Ainsi pour des raisons de confidentialité bien compréhensives, le temps de calcul des méthodes de traitement exposées n'est pas disponible et donc est difficilement estimable. En raison de la miniaturisation des prothèses donc des composants, les processeurs DSP (Digital Signal Processing) actuels, quoi que déjà très puissants, restent limités en terme de puissance de traitement. Dans les années à venir, grâce aux avancées prodigieuses de « la Nanotechnologie », ces processeurs seront bien plus rapides, plus performants, auront des puissances de calcul phénoménales et seront de plus en plus miniaturisés. La validation et la mise en œuvre des algorithmes en terme de temps de calcul seront alors moins contraignantes et plus facilement accessibles pour l'ensemble de la communauté scientifique.

# SWISS+EAR

## La perfection de l'adaptation ouverte



Aussi parfait qu'une montre Suisse, SwissEar™ respecte encore une fois la tradition de l'excellence de Bernafon, le fabricant Suisse de Solutions auditives innovantes.

SwissEar™ associe les meilleures solutions d'adaptation ouverte et la technologie des systèmes auditifs Bernafon pour réaliser la perfection d'une adaptation ouverte.

- **Meilleure compréhension de la parole dans le bruit**
- **Excellente qualité sonore**
- **Tenue parfaite, discrets et confortables à porter**
- **Flexibilité du port à long terme**
- **Adaptation rapide et précise**
- **Pour vous, une opportunité de développer vos activités**

SWISS+  
Engineering

## bernafon®

Innovative Hearing Solutions

Prodition S.A.  
37-39, Rue Jean-Baptiste Charcot  
92402 Courbevoie cedex  
France  
Tél. 01 41 88 00 80

[www.bernafon.com](http://www.bernafon.com)

## Bibliographie

- [1] **J. BENESTY and Y. HUNAG, editors.** Adaptive Signal Processing : Applications to Real-World Problems. Springer-Verlag, 2003.
- [2] **A. HYVÄRINEN, J. KARHUNEN, E. OJA,** Independent Component Analysis, 2001 John Wiley & Sons.
- [3] **J. S. LIM, editor.** Speech Enhancement. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1983.
- [4] **D. VAN COMPERNOLLE, S. VAN GERGEN.** Beamforming with Microphone Arrays. In V. Cappellini and A. Figueiras-Vidal, editors, COST 229 : Applications of Digital Signal Processing to Telecommunications, pages 107-131. 1995.
- [5] **S. DOCLO and M. MOONEN.** Combined frequency-domain dereverberation and noise reduction technique for multi-micro-

phone speech enhancement. In Proc. Int. Workshop on Acoustic Echo and Noise Control (IWAENC), pages 31-34, Darmstadt, Germany, September 2001.

[6] **Simon DOCLO,** Multi-microphone noise reduction and dereverberation techniques for speech applications, PhD Thesis, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium, May 2003.

[7] **J. BENESTY and T. GÄNSLER, D. R. MORGAN, M. M. SONDEHI, and S. L. GAY, editors.** Advances in Network and Acoustic Echo Cancellation. Springer-Verlag, 2001.

[8] **M. MIYOSHI and Y. KANEDA.** Inverse Filtering of Room Acoustics. IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, 36(2) :145-152, February 1988.

[9] **J. B. ALLEN, D. A. BERKLEY, and J. BLAUERT.** Multimicrophone signal processing technique to remove room reverberation of speech signals. Journal of the Acoustical

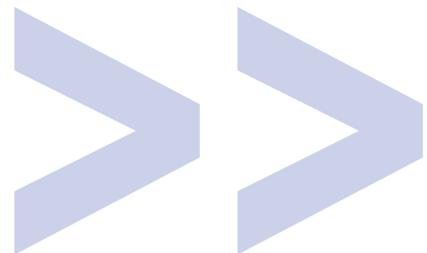
Society of America 62(4) pages : 912-915, October 1977.

[10] **C. GELIS,** Réverbération et Intelligibilité , L'ouïe Magazine ,Janvier -Février 2005.

[11] **HERAULT J., JUTTEN C. and ANS B.,** Détection de grandeurs primitives dans un message composite par une architecture de calcul neuromimétique en apprentissage non supervisé. Actes du Xème colloque GRETSI, Nice, France 1017-1022, Mai 1985.

[12] **PHAM D. T., GARAT Ph. Et JUTTEN Ch.** (1992) Separation of mixture of independent sources through a maximum likelihood approach. Signal Processin VI, Proceeding EUSIPCO'92, 771-774, Eds. J. Vandewalla, R. Boite, M. Moonen and A. Oosterlinck.

[13] **COMON P.,** (1994) Independence Component Analysis, a new concept. Signal Processing 36, 3, 287-314.



## OFFRE D'EMPLOI

### Recherche un(e) audioprothésiste pour renforcer une équipe

**LABORATOIRE NORD DE LA FRANCE**

Poste à temps plein en CDI

Contactez directement :

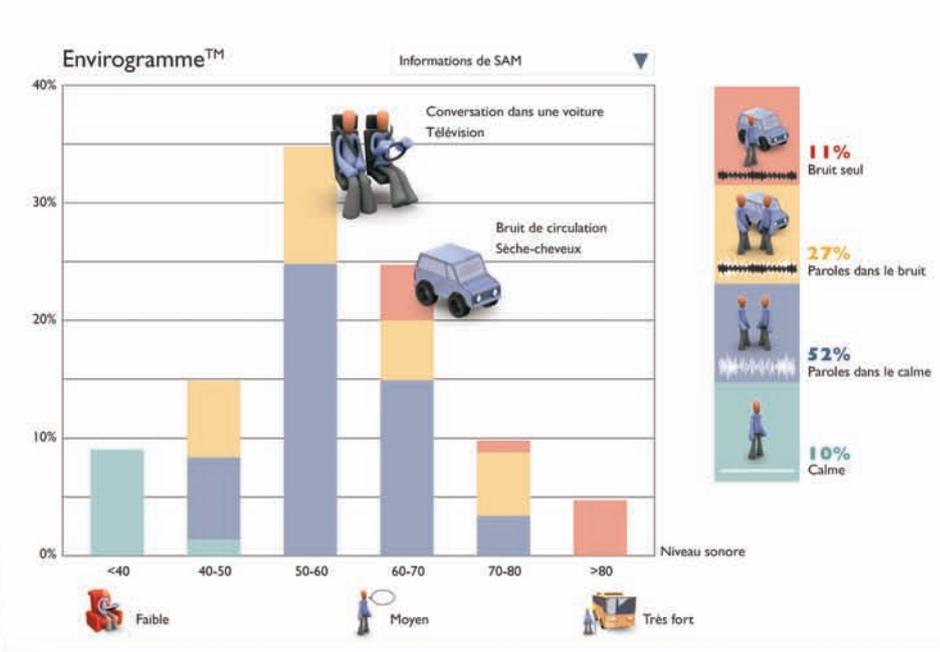
Christian RENARD au 03 20 57 85 21

# Oticon ♦ Syncro



# SAM

## Un ami si intime qu'il peut vous raconter leur vie !



SAM (Sound Activity Meter) est un *Enviromètre* capable de vous fournir un véritable *Envirogramme™*, reflet exact du style de vie quotidien de votre patient.

Discrètement, objectivement et automatiquement, il enregistre des informations précieuses sur la spécificité de l'environnement sonore propre à chaque utilisateur. Ces données sont ensuite intégrées dans le logiciel Genie ou eCaps pour garantir une adaptation hyper-personnalisée et anticiper les attentes de cette nouvelle génération de patients.

Avant l'adaptation d'Oticon Syncro, confiez SAM à votre client pendant quelques jours. Lors de sa prochaine visite, SAM vous racontera sa vie.



# VEILLE TECHNOLOGIQUE

## MIA OPEN : GRAND OUVERT

MIA C65 DO / C65 O : LES MICRO CONTOURS OUVERTS LES PLUS PUISSANTS DU MARCHÉ



Mi novembre, Beltone lance les MIA Open, version ouverte des MIA Corus C65 D et MIA Corus C65.

Chez Beltone, MIA désigne la famille des micro contours numériques pile 13. Elle est aussi appelée série 65. Elle se caractérise par un design petit et compact, sans pour autant sacrifier le gain et la puissance. Elle couvre 3 segments du marché selon le traitement de son appliqué :

- CORUS, en haut de gamme : contours C65 D et C65
- ORIA, en milieu de gamme : contours O65 D et O65
- MIRA, en entrée de gamme : contours M65 D et M65

Disponibles en directionnel double micro (C65 D) ou avec potentiomètre de volume (C65), les MIA Corus offrent une solution esthétique et flexible à l'appareillage de tous types de perte, des pentes de ski marquées aux pertes plates ou inverses. Ils bénéficient en outre de tous les avantages acoustiques liés à l'algorithme CORUS :

- un anti Larsen actif en opposition de phase (AFC) pour obtenir 12 dB de gain supplémentaire dans les aigus sans sifflement, même en ouvert
- une compression WDRC ultra rapide (réaction en moins de 3,5 ms) pour éviter les effets d'écho, avec une précision équivalente à un traitement sur 15 bandes
- un directionnel adaptatif hyper réactif
- un réducteur de bruit (DSV) optimisé pour favoriser l'émergence de la parole en milieux bruyants
- un silencieux pour supprimer les bruits de fond indésirables.





Les MIA Corus sont désormais proposés en version Open, sous les références C65 DO et C65 O. Grâce à la combinaison de 4 tubes fins au diamètre interne élargi, de 4 dômes différents et de 3 coudes standard, ils permettent une diversité acoustique incroyable et évolutive dans le temps, reconfigurable directement par l'audioprothésiste.

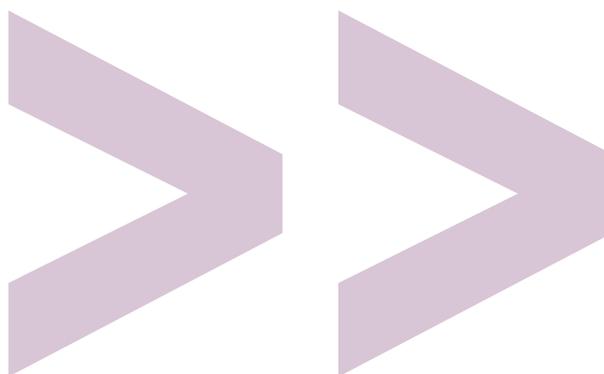
Les 4 tubes fins sont très discrets grâce à leur profil adapté à la forme de l'oreille. Caractéristique unique sur le marché, ils ont un diamètre interne plus grand que les autres tubes afin de laisser passer plus de puissance dans les médium et les aigus. Cette puissance reste utilisable en permanence grâce à la présence de l'AFC, anti Larsen en opposition de phase, qui permet d'exploiter jusqu'à 12 dB de gain supplémentaire par rapport à un appareil sans AFC.

L'écouteur présente un excellent compromis taille/puissance : 60 dB/133 dB avec un coude standard ou 54 dB/131 dB avec un tube fin, le tout épaulé par une pile 13... du gain et de la puissance là où il faut, tout en restant compact !

Enfin, pour un confort de port accru et une utilisation totale du gain disponible, 4 différents dômes sont disponibles selon la perte et le diamètre du conduit auditif.

L'extrême compacité des boîtiers n'a pas empêché d'y inclure 2 micros pour le directionnel ou 1 micro avec potentiomètre de volume pour le non directionnel, un bouton poussoir multiprogrammes, une bobine téléphonique haute sensibilité, une entrée audio, un porte pile avec sécurité enfant, un indicateur de côté D ou G, une pile 13 avec avertisseur d'usure... Les MIA sont petits, costauds et sans complexes !

Le logiciel de programmation est SOLUS dans sa version 1.3. Fonctionnant sous NOAH ou en autonome, il permet la configuration Open/Standard directement par l'audioprothésiste dans son centre. Il intègre toujours la base de sons AVE et le simulateur de perte auditive. En option, une webcam permet de montrer au malentendant, en temps réel sur écran, la discrétion des MIA.



## La différence du PAC « Différent par sa conception »

Dès le premier coup d'œil, l'originalité de conception du PAC (Post Auricular Canal) laisse à penser qu'il s'agit d'un système auditif différent.

Intégrant les préférences bien établies des utilisateurs, les technologies auditives les plus récentes et les données physiques de l'acoustique, le système PAC est désormais incontournable pour les laboratoires d'audioprothèses attachés à offrir une gamme complète de solutions auditives efficaces. Pour des pertes auditives de légères à sévères, le PAC est supérieur au Contour en termes d'avantages et supérieur aux intras-auriculaires sur le plan esthétique.

Les nombreux avantages des systèmes auditifs PAC augmentent considérablement les opportunités offertes aux professionnels de l'audition de répondre aux attentes de leurs clients. La nouvelle norme en matière d'amplification, à travers un système invisible à la technologie révolutionnaire.

## Esthétiquement Parfait « Visuellement surprenant »

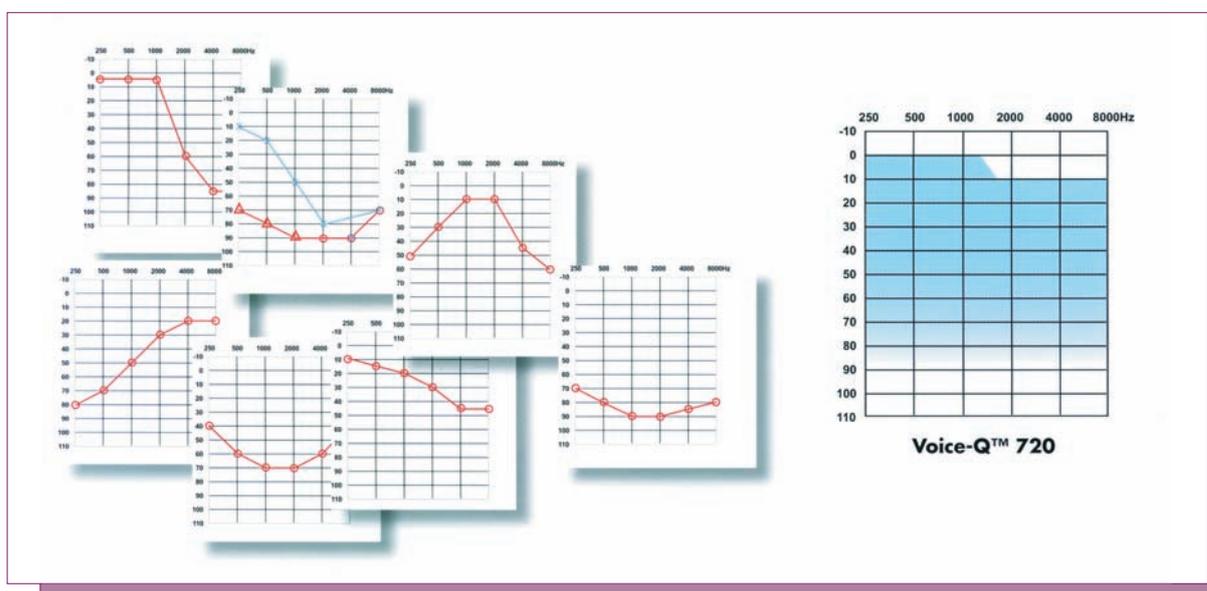
Grâce à une combinaison d'éléments de conception unique en leur genre, le PAC passe totalement inaperçu quel que soit l'angle sous lequel l'oreille est regardée.

La séparation du processeur auditif et du speaker « écouteur » en composants individuels réduit leur encombrement physique et leur visibilité.

Les problèmes d'adaptation posés aux professionnels de l'audition par l'intra auriculaire (taille, forme du conduit auditif, sifflements, effet d'occlusion, dextérité de l'utilisateur ou recherche de caractéristiques inexistantes) compromettent l'utilisation de l'intra auriculaire.

Les atouts esthétiques du PAC sont extrêmement séduisants pour les candidats à un système auditif hésitant à essayer des modèles plus visibles. Pour les utilisateurs actuels, le PAC est la solution idéale, combinant leurs attentes esthétiques avec les avantages de traitement acoustique de pointe.

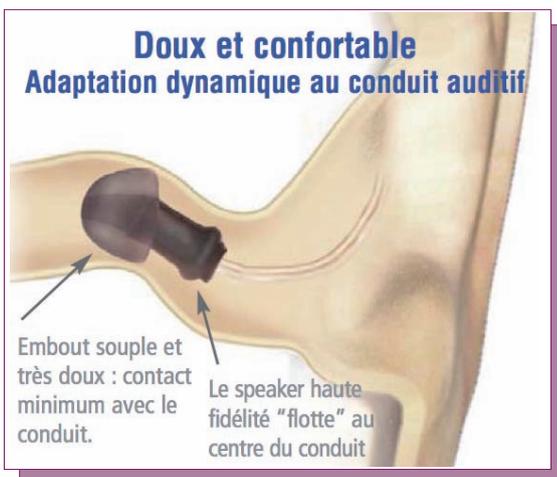
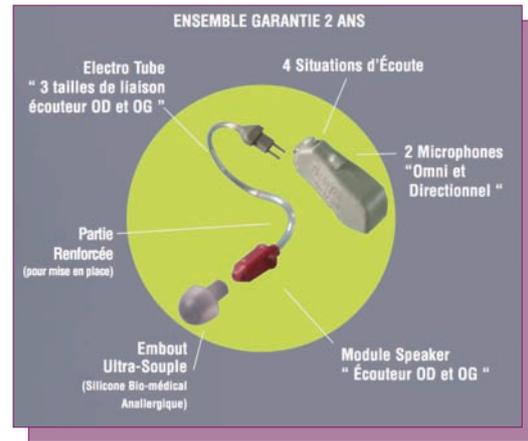
## Des solutions complètes d'adaptation « Polyvalence et choix »



## Acoustique de haute fidélité « Son de qualité »

Les systèmes auditifs de type PAC de SeboTek, combinant un traitement des signaux numériques 20 bits, 32 kHz, à la pointe de la technologie, avec un système de couplage acoustique de haute fidélité (HiFi AC™), offrent la reproduction sonore la plus réelle possible. Les systèmes PAC de haute fidélité offrent une réponse en fréquence à large bande allant jusqu'à 14 000 Hz.

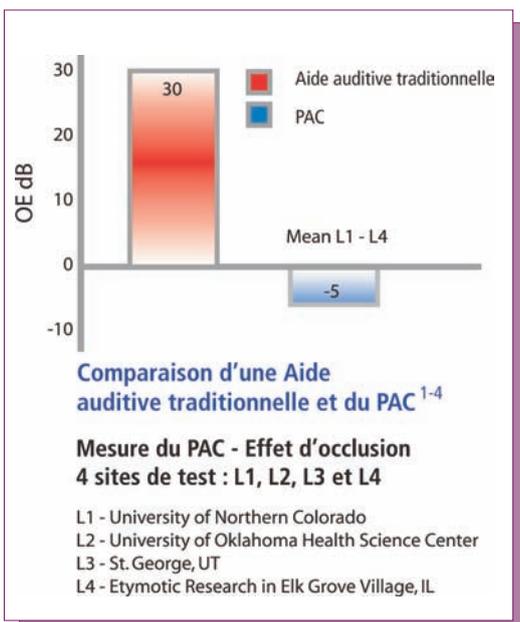
Le système HiFi AC™, non disponible sur des aides auditives traditionnelles, combine des éléments de conception exclusifs : Faible Distorsion, Faible bruit, Réponse en fréquence exceptionnelle ayant pour résultat une qualité sonore jamais atteinte.



## Maîtrise de la réaction acoustique « Sans sifflements gênants »

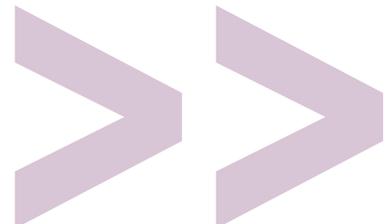
La technologie EMST™ « Extended Microphone Separation », élément fondamental de la conception du PAC, sépare le microphone du module speaker par une distance nettement supérieure à celle des systèmes auditifs classiques. Le speaker, protégé par l'embout ultra souple, placé en profondeur dans le conduit auditif, est relié au processeur par un tube de liaison de haute résistance. Cette conception unique élimine totalement la source la plus probable de réaction acoustique « Larsen ».

L'avantage du positionnement profond du PAC dans le conduit a pour résultat un volume résiduel de 0,5 cc au maximum. Ce volume entraîne une puissance supérieure, atteignant 18 dB dans les fréquences élevées. L'insertion plus profonde de l'embout et du speaker dans le conduit, au-delà du second coude, est associée à une augmentation du volume sonore sans distorsion. Il devient ainsi possible, grâce à la petite taille du PAC, d'adapter le système à des pertes auditives plus importantes sans accroître le gain de l'amplificateur.



## SUPPRIME L'EFFET D'OCCLUSION

Le PAC utilise le procédé le plus performant de réduction et de suppression de l'effet d'occlusion : un positionnement profond dans le conduit. Cette stratégie élimine l'énergie sonore conduite par l'os comme c'est le cas lorsque l'oreille est totalement ouverte. Le PAC n'obstrue pas l'entrée du conduit auditif dans la partie cartilagineuse. Le speaker, placé en profondeur dans la partie osseuse du conduit, est la réponse à l'effet d'occlusion apportant en outre des avantages acoustiques.





BIONIC est la seule aide auditive du marché à bénéficier du traitement du signal ADRO.

L'algorithme ADRO est le fruit de la recherche et du développement de la firme australienne Dynamic Hearing Pty Ltd qui partage le même héritage que la société Cochlear Ltd mondialement reconnue pour ses solutions innovantes en matière d'implantation cochléaire.

ADRO utilise les règles innovantes de la logique floue. Il mesure toutes les 2 millisecondes, la distribution des différents niveaux de sortie du signal dans chacun des 32 canaux de traitement, de façon à amplifier les signaux sans dépasser les limites du champ auditif résiduel du malentendant.

Pour la première fois, grâce à cette technologie révolutionnaire, il n'y a plus de compromis à faire entre confort auditif et intelligibilité de la parole.

BIONIC est disponible dans une gamme complète de contours, Nano l'un des plus petits contours directionnels du marché et BigNano dans sa version plus puissante, puis d'intra-auriculaires.

### BIONIC ADRO inside optimise le positionnement des signaux de la parole dans l'échelle dynamique du malentendant sans faire appel à la compression numérique.

Jusqu'alors, le moyen le plus efficace pour respecter la dynamique résiduelle des malentendants consistait à mettre en oeuvre des compresseurs numériques capables de traiter une large gamme de niveaux d'entrée. Dans ces appareils la mesure des niveaux à l'entrée définit les réglages des compresseurs qui ajustent la dynamique du signal de sortie. Bien que les paramètres de réglages soient fixes pour chaque niveau d'entrée, les aides auditives à amplification non linéaire, associées à des constantes de temps rapides, offrent une bonne compensation de la dynamique résiduelle des malentendants.

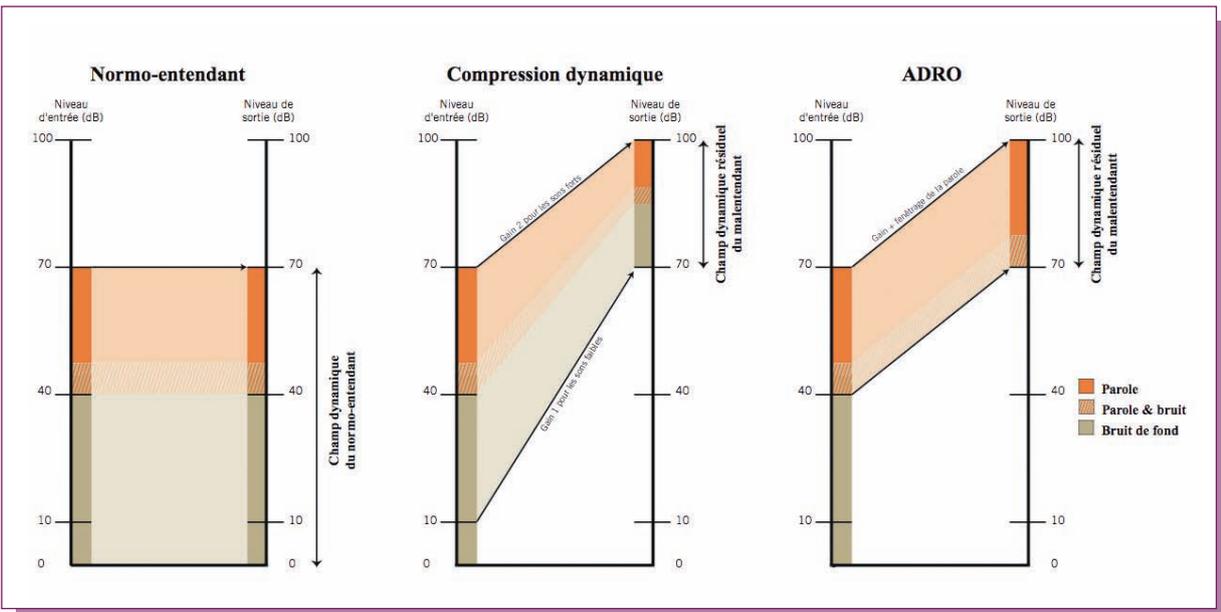
Dans l'application pratique avec les signaux de la parole, des compromis entre un réglage optimal de la dynamique et les modifications de la structure de courte durée des signaux de la parole doivent continuellement être recherchés.

Si toutefois le signal d'entrée n'est pas considéré comme une donnée du niveau d'entrée transmise pendant une période déterminée, mais que les propriétés statistiques du signal d'entrée sont utilisées pour contrôler le gain, le signal d'entrée peut être transféré linéairement, sans modification dans sa structure temporelle, dans la dynamique auditive résiduelle du déficient auditif.

Il est possible, par exemple, de déterminer le pourcentage du signal d'entrée momentané se trouvant au-dessus du seuil d'audition du déficient auditif ou le pourcentage du signal d'entrée permettant une audition confortable et une compréhension de la parole. Avec ces résultats, une amplification linéaire momentanée peut être orientée dans un grand nombre de canaux de fréquence de sorte qu'un pourcentage déterminé du signal d'entrée se trouve toujours au-dessus du seuil d'audibilité, et que la majorité de ces signaux se trouve toujours dans le domaine d'une audition et d'une compréhension confortables, et que les signaux d'entrée de très forte intensité ne deviennent pas trop gênants. La structure temporelle momentanée du signal d'entrée alors n'est pas modifiée, l'appareil auditif émet un son plus naturel.

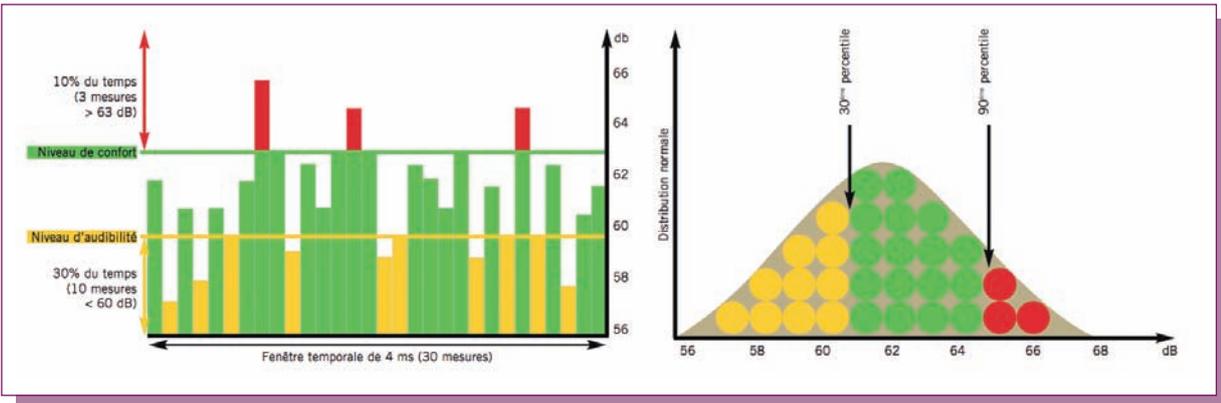
### Les objectifs de BIONIC ADRO inside

- Améliorer l'intelligibilité des sons de faible intensité
- Maintenir le confort des sons forts
- Améliorer l'intelligibilité de la parole en général
- Améliorer de façon générale la qualité du son



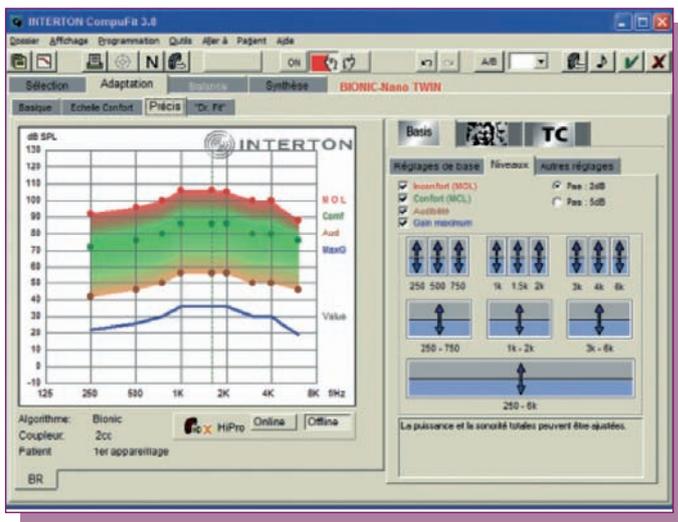
### Comment fonctionne BIONIC ADRO inside ?

ADRO™ propose une nouvelle approche pour l'appareillage des malentendants : L'analyse statistique en temps réel du signal de sortie amplifié. ADRO™ évalue toutes les 2 millisecondes et dans chacun des 32 canaux de traitement, la distribution du signal entre les 30ème et 90ème percentile. L'ajustement des niveaux de sortie dans chaque canal est réalisé par l'augmentation ou la diminution du gain prescrit par les règles d'audibilité et de confort. Si le niveau de sortie est trop faible, le gain augmente progressivement. Si le signal de sortie est trop fort, le gain diminue progressivement. Deux règles additionnelles contrôlent le niveau de sortie de l'aide auditive afin que celui-ci n'excède pas le niveau de sortie maximum et le gain afin que celui-ci ne dépasse pas le gain maximum programmé dans chacun des 32 canaux de traitement. L'application de ces règles basées sur l'analyse statistiques procure à l'utilisateur une excellente intelligibilité en milieu calme et bruyant. Enfin, l'algorithme ADRO™ n'oblige plus le patient à choisir entre intelligibilité et confort.



Dans Compufit v3.8, les audioprothésistes ajustent, en fonction de la perte auditive du malentendant, les cibles BIONIC ADRO inside et le niveau de gain maximum pour chaque fréquence.

- Le niveau de confort est calculé d'après l'audiométrie tonale et doit être vérifié in situ grâce à l'émission de signaux composites calibrés en largeur de bande de fréquence et en niveau.
- Les cibles d'ADRO sont calculées d'après le niveau de confort maximum vérifié in situ.



- Le MOL (Maximum Output Level) est ajusté afin de protéger l'utilisateur des sons forts et soudains. La cible correspondant au niveau de confort maximum permet l'ajustement du niveau de sortie des signaux d'intensité moyenne et forte. La cible correspondant au niveau d'audibilité et celle correspondant au Gain maximum contrôlent le niveau de sortie des signaux de faible intensité.

### Avantages patient

- Confort d'écoute
- Son naturel
- Intelligibilité de la parole « fenêtrage de la parole »
- Aucun ajustement du gain n'est nécessaire
- Acceptation spontanée
- Respect des nuances du son

### Avantages audioprothésiste

- Adaptation rapide
- Pas besoin de changer les valeurs de compression (Seuils, temps d'attaque et de retour, ratio de compression)
- Un des objectifs majeurs est l'ajustage du gain en fonction du niveau de sortie

## INNOVA DE SONIC INNOVATIONS

UN SEUL MOT NOUS REND UNIQUE « PREUVE » [PROUVÉ CLINIQUEMENT]

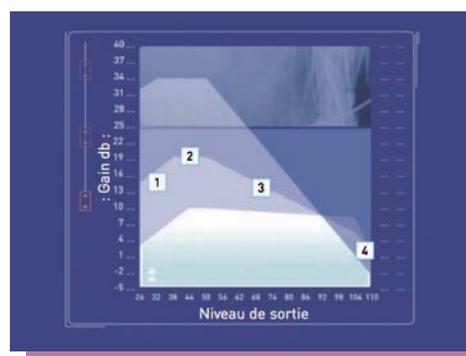
Les intras et les contours INNOVA sont les premières aides auditives à utiliser la technologie S.M.A.R.T. et à présenter une amélioration du rapport signal bruit de 10.4 dB, résultat sans équivalent sur le marché !

Par ailleurs, l'efficacité du supprimeur de larsen associé aux nouvelles courbes de transfert [i/o] permet l'appareillage ouvert sans larsen et sans aucune réduction des gains programmés. L'écoute des aides auditives en conditions réelles de ce produit vous apportera la preuve de sa supériorité.

### FONCTION DE TRANSFERT [I/O]

Les fonctions de transfert [I/O] de la technologie S.M.A.R.T., dans chacun des 16 canaux de traitement, améliorent encore la perception de la parole sans compromettre le confort d'écoute de chaque utilisateur. L'expansion est dépendante du niveau de gain et le nouvel algorithme de la technologie SMART définit la grandeur de ces segments en fonction de l'audiométrie tonale du patient.

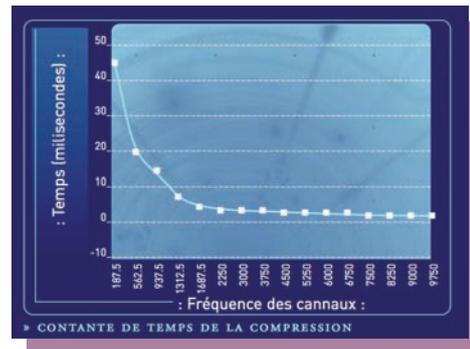
- 1 : Expansion
- 2 : Amplification
- 3 : Compression WDRC
- 4 : Saturation



## TEMPS D'ATTAQUE ET DE RETOUR DES COMPRESSEURS

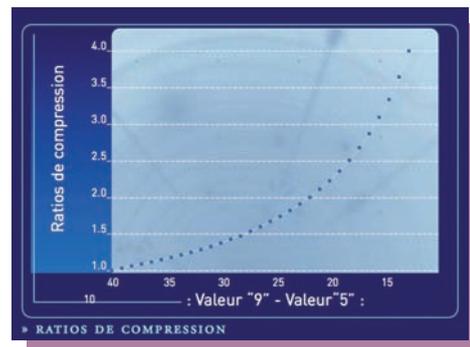
Les constantes de temps ultra rapides de la technologie S.M.A.R.T. contribuent à une perception sonore encore plus naturelle. Les temps d'attaque et de retour des compresseurs d'INNOVA se distinguent des appareils concurrents par trois aspects clés :

- Ils varient en fonction de la fréquence,
- Ils sont très rapides, en particulier dans les hautes fréquences et
- ils sont symétriques.



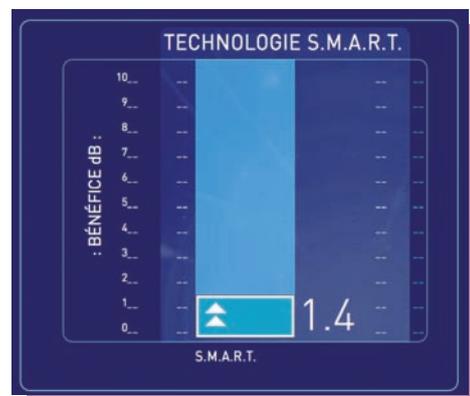
## LES RATIOS DE COMPRESSION

Les ratios de compression ne sont pas montrés de manière explicite dans le logiciel de programmation EXPRESSfit v5.0. Ce choix audiologique se justifie par le fait qu'aucune méthode de réglage reconnue dans notre métier ne préconise des valeurs de ratio de compression qui permettraient d'obtenir un résultat audio prothétique. La technologie S.M.A.R.T. met en œuvre 30 facteurs de compression différents réglables par pas de 1dB, de 1:1 à 4:1.



## LA TECHNOLOGIE S.M.A.R.T.

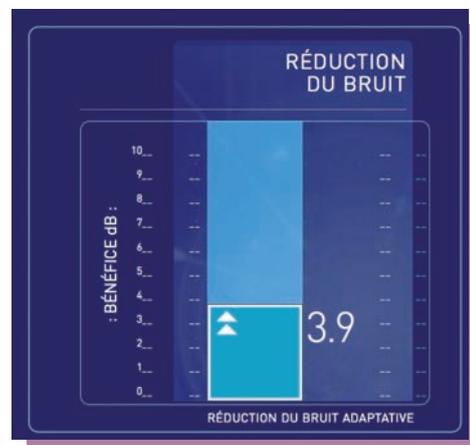
La technologie S.M.A.R.T. est constituée d'une série de systèmes sophistiqués capables de mesurer en continu l'environnement sonore de l'utilisateur. Lorsqu'un changement est détecté, la technologie S.M.A.R.T. analyse le nouvel environnement et réagit en quelques millisecondes pour offrir des transitions sans coupure. Dorénavant, quel que soit l'environnement, les utilisateurs ne subissent plus les changements de traitement du signal - la technologie S.M.A.R.T. s'adapte de manière transparente avant que des éléments importants de la parole soient perdus.



## LA RÉDUCTION DU BRUIT ADAPTATIVE

Avec la Réduction du Bruit Adaptative, SONIC innovations réaffirme son engagement dans le développement d'algorithmes uniques dans le domaine de l'amélioration du rapport signal bruit.

Comme pour la première génération des dispositifs numériques de réduction du bruit développée par SONIC innovations, la réduction du bruit adaptative se base sur la mesure du rapport signal bruit. Elle recherche et amortit les signaux stables dans le temps correspondants aux bruits de fond et amplifie les cibles correspondant aux signaux modulés de la parole.



Développé à partir d'un algorithme cliniquement prouvé, la Réduction du Bruit Adaptative est maintenant capable de réguler le degré d'amortissement de la réduction du bruit en fonction du niveau de bruit à l'entrée de l'aide auditive. Cette innovation prodigue une écoute encore plus naturelle dans toutes les situations bruyantes.

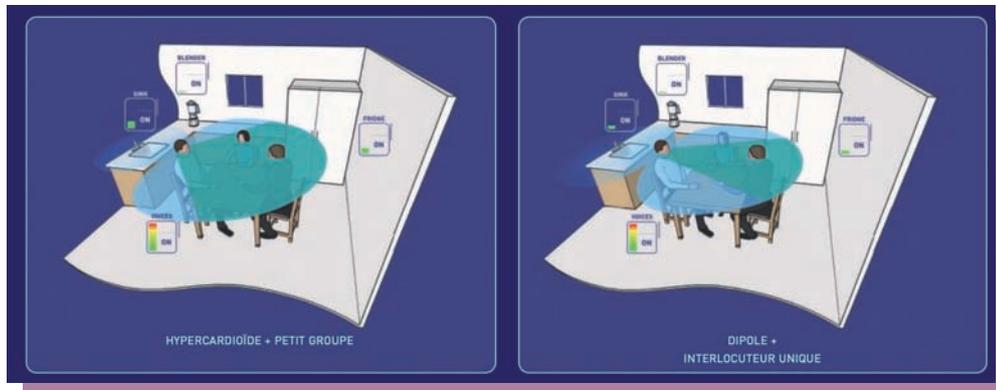
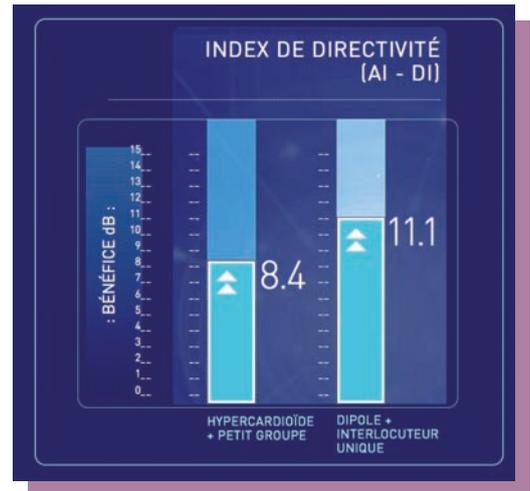
## LA DIRECTIVITÉ CONFIGURABLE

La directivité est une méthode éprouvée pour améliorer la compréhension de la parole en présence de bruits gênants. La capacité d'un système directionnel à améliorer la compréhension de la parole dans le bruit est souvent représentée par une valeur d'AI-DI (Articulation Index weighted Directivity Index - Indice d'articulation pondéré par l'Indice de directivité). Cette valeur varie en fonction de la configuration de la polarité des microphones.



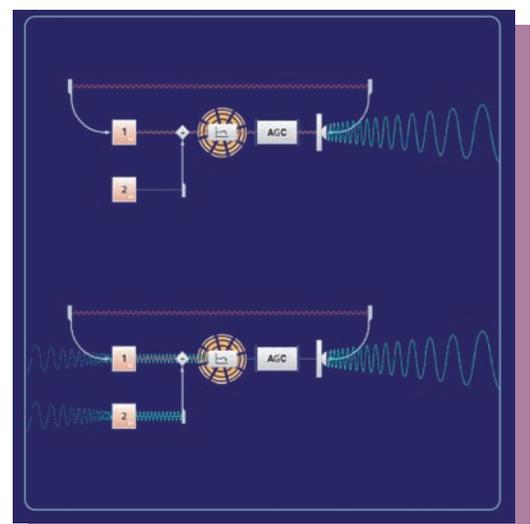
## DIRECTIONALfocus

Avec DIRECTIONALfocus, Innova établit un nouveau standard en terme de performance de la directivité. Ce système révolutionnaire permet des mesures de performance AI-DI jusqu'à 11 dB - les plus élevées jamais enregistrées sur une aide auditive du marché. DIRECTIONALfocus améliore la directivité du système grâce à une manipulation sélective et adaptative du gain dans chacun des 16 canaux de traitement. Cette manipulation est réalisée en fonction de la localisation des bruits gênants. Les signaux émis en face du patient sont considérés comme désirables, tandis que les signaux provenant des côtés ou de l'arrière du patient sont considérés comme du bruit de fond et sont donc atténués.



## LE SUPPRESSEUR DE LARSEN

Le supprimeur de larsen est "formaté" pendant la cession de programmation EXPRESSfit. De brèves séquences de bruit composite sont générées par le système au travers de l'écouteur de l'aide auditive en place sur l'oreille du patient ; les séquences captées par les microphones sont identifiées par le système comme une fuite acoustique. Les caractéristiques de ces stimuli sont enregistrées en opposition de phase dans la mémoire du circuit. En fonctionnement normal, les valeurs en inversion de phase sont ajoutées au signal d'entrée et annulerait toute probabilité de présence d'effet Larsen.



Dans le cas où la fuite acoustique change en cours d'utilisation, Innova fournit au patient une méthode de mise à jour des données en mémoire dans le suppresser de Larsen. Le patient appuie et maintient enfoncé le bouton de changement de programme pendant 4 secondes. La séquence de reformatage s'enclenche et se déroule automatiquement. Lorsque la procédure est terminée, les nouvelles valeurs calculées sont enregistrées et le patient peut à nouveau utiliser son aide auditive en toute tranquillité.

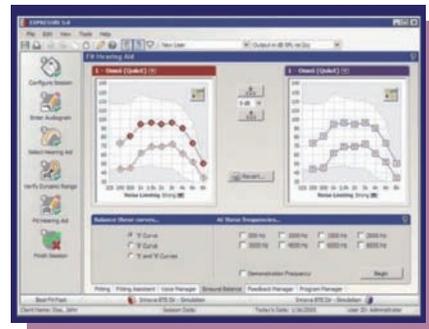
## LE SYSTÈME ACCUVOICE

Chez certains patients, les bénéfices de l'appareillage peuvent être ternis par des problèmes liés à l'occlusion ou à la perception sonore de leur propre voix. Combien de malentendants réfractaires à l'appareillage ont utilisé l'effet d'occlusion le jour de la livraison pour différer ou simplement refuser le port d'aides auditives. Avec AccuVoice, Innova offre une procédure de réglage simple et très efficace pour répondre aux problèmes relatifs à l'effet d'occlusion, l'échos sur les voyelles et les consonnes, la qualité sonore et la position de la propre voix du patient.

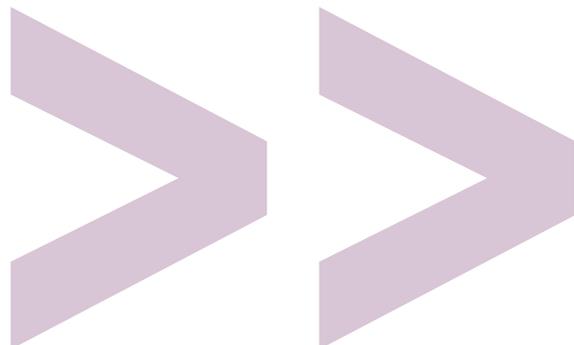


## LA BALANCE BINAURALE

La balance binaurale est un outil unique conçu pour réaliser l'équilibrage binaural (différence OD OG > 15 dB) des patients présentant des pertes asymétriques. Cette procédure de vérification in situ est réalisée fréquence par fréquence.



*Avec Innova, nous améliorons la qualité du son,  
à vous d'améliorer la qualité de vie de vos patients.*

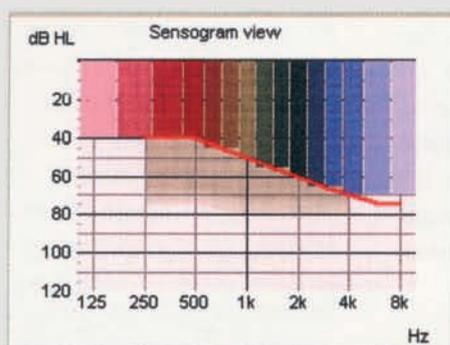


## La différence numérique Widex

### [ Le Sensogramme ]

**Audiométrie in situ plus précise que jamais et unique en audioprothèse**

- Seuils mesurés directement via l'aide auditive dans l'oreille du malentendant.
- Sensogramme axé sur 4 bandes principales pour simplifier le processus de mesure : 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz et 4000 Hz.
- Possibilité d'élargissement du Sensogramme sur 14 bandes, pour un affinement de réglage dans des situations particulières. Un intervalle d'un tiers d'octave, de 250 Hz à 8000 Hz assure un maximum d'exactitude pour toute perte d'audition.
- Les signaux test du Sensogramme sont des impulsions modulées en fréquence automatiquement réglées sur la largeur de bande critique correspondant à la fréquence centrale de chaque bande.



*Le Sensogramme est pour l'audioprothésiste l'assurance d'une adaptation réussie dès la première visite avec la possibilité supplémentaire d'affiner le réglage pour des cas particuliers.*



**Senso Diva**  
La première aide auditive de haute définition au monde

# STARKEY FRANCE

## INVENTE LE PLUS PETIT KIT MAINS LIBRES BLUETOOTH DU MONDE



### La technologie Bluetooth au service des malentendants

Avec ELI, l'oreillette Bluetooth des laboratoires Starkey adaptable sur un contour d'oreille compatible Euroconnecteur ou pour les autres, en plaçant son aide auditive sur la position « T ». Les malentendants accèdent ainsi aux nouvelles technologies du téléphone mobile et du sans-fil. L'utilisateur va passer et recevoir ses appels alors que son téléphone est dans sa poche, son porte-document ou son sac. Il garde les mains libres et s'adonne en toute liberté à ses activités : conduite, marche, sport, shopping... Il pourra à l'avenir aussi se connecter sans fil à toute sorte de produits électroniques et entendre ainsi de la musique diffusée par son lecteur MP3, écouter la télévision ou l'ordinateur, équipé d'une puce Bluetooth.

### Un record de miniaturisation

Premier et unique dispositif au monde destiné à connecter une aide auditive à un téléphone portable, ELI est le plus petit des accessoires de communication sans fil Bluetooth jamais industrialisé (27 mm x 16 mm x 11 mm). Il est aussi le plus léger (5,2 g). Pour les intra-auriculaires et les contours non compatible, une boucle d'induction « tour de cou » a été conçu pour porter encore plus discrètement le kit mains libres sur soi. Plus rien ne pèse sur l'oreille, l'aide auditive est intra-auriculaire, reliée au téléphone portable par le module ELI porté en collier.

### Une acoustique améliorée

ELI optimise les performances du contour d'oreille. Le son est très clair : la réception des appels téléphoniques est amplifiée par l'aide auditive en fonction des caractéristiques électroacoustiques programmées par l'audioprothésiste. Le signal numérique est transmis entre le téléphone et ELI, il n'est plus perturbé par des interférences, un désagrément qui se produit en réception analogique et FM ordinaire. L'utilisateur a la possibilité d'augmenter le volume sonore de la communication à partir de son téléphone mobile ou de son aide auditive, ce qui lui permet de tenir une conversation au niveau sonore souhaité. La sonnerie du téléphone se fait via le module Bluetooth ELI. L'interrupteur marche/arrêt situé sur ELI pilote la prise de ligne (ou son rejet). Pour répondre, l'utilisateur se contente d'appuyer dessus, une manipulation qui peut être effectuée dès qu'ELI est connecté sur le contour d'oreille. ELI a une autonomie jusqu'à 2,30 heures de conversation et 140 heures en veille. Pour le recharger, il suffit de le poser sur la station d'accueil, prévue à cet effet, pendant 1 heure et demie.

### Et si ELI séduisait aussi...les « normo-entendants » ?

Look futuriste, discret et ultraléger, ELI peut être utilisé comme un kit mains libres Bluetooth classique, alors même que le produit a au départ été conçu pour la population des malentendants. ELI devient alors une oreillette Bluetooth ultrasophistiquée : sur mesure, adaptée à votre conduit auditif. Fini les cordons qui s'emmêlent ou se décrochent de façon intempestive. L'avantage du Bluetooth n'est plus à démontrer.

### Une opportunité pour notre profession

L'intégration des « nouvelles technologies » de plus en plus connues du grand public est une formidable opportunité pour notre profession. Faire venir des personnes normo-entendantes dans des magasins de spécialistes de l'audition pour acheter une oreillette Bluetooth sur-mesure, peut permettre de faire évoluer notre image, en tant que premier acteur du sens de l'audition et pas uniquement comme « adaptateur d'appareils auditifs ». Cela doit nous permettre de sensibiliser cette nouvelle population à l'appareillage précoce et ainsi dédramatiser la correction auditive.

### ELI en quelques chiffres

Prix de vente public conseillé : 249 € TTC, Poids : 5,2 g, Dimensions : 27 mm x 16 mm x 11 mm, Autonomie en communication : 2 h 30, Autonomie en veille : 140 h Temps de chargement complet : 1 h 30

# Oticon ♦ Syncro



Lors du dernier congrès des audioprothésistes, nous avons présenté le **Nouveau Syncro**. Le nouveau Syncro évolue avec l'apport de nouvelles fonctions innovantes pour une meilleure prise en charge des demandes du patient, ainsi qu'un agrandissement de la gamme avec le **Syncro Power**. Parmi les nouvelles fonctionnalités proposées, nous trouvons ; un **Gestionnaire Automatique d'Adaptation** qui va permettre une adaptation progressive et personnalisée du malentendant à l'amplification, mais surtout la **Mémoire Analytique Syncro** apportant de nouvelles informations objectives pour choisir la stratégie d'adaptation.

En effet, nous constatons tous au quotidien les difficultés rencontrées par le patient pour décrire ses environnements sonores ou nous exprimer ses sensations. Alors qu'une image complète, précise et objective du genre de vie acoustique du patient, pour compléter par les informations qu'il vous donne, doit permettre une meilleure et plus rapide utilisation de toutes les possibilités techniques offertes par les nouveaux produits.

La **Mémoire Analytique Syncro** va au-delà d'une fonction classique de « datalogging », en collectant, bien sûr, les données sur les préférences et les modalités d'utilisation du patient mais surtout en identifiant les environnements sonores rencontrés par le patient et indiquant les réactions de l'Intelligence Vocale dans Syncro à savoir : Directivité Adaptative polydirectionnelle, Gestion Tri-mode du bruit et Dynamique Vocale Optimisée.

Avec cet outil audiolinguistique : pouvoir connaître à la fois les situations sonores réelles rencontrées par le malentendant et pouvoir analyser le fonctionnement de l'appareil dans ces situations, constitue une nouvelle voie dans la personnalisation de l'appareillage.



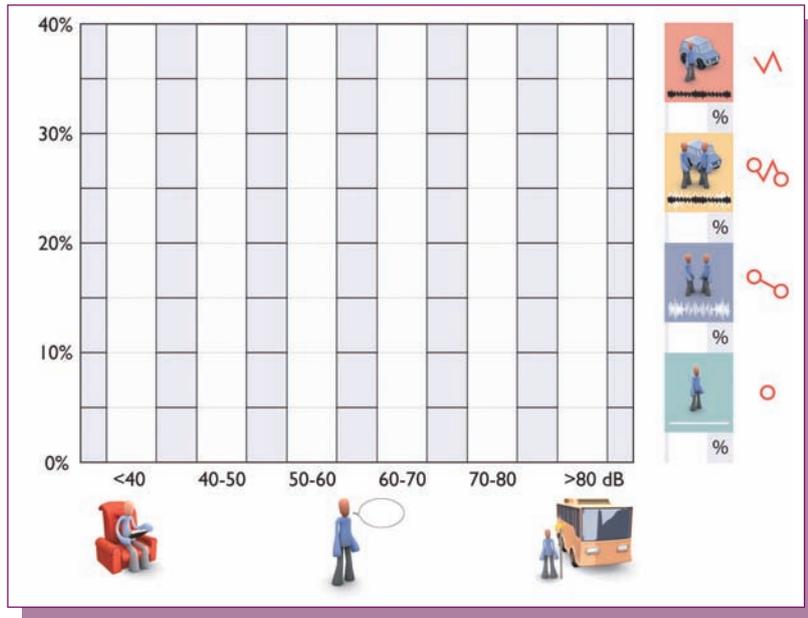
Devant le succès mondial de cette nouvelle approche, Oticon a désiré aller plus loin. Nous avons toujours favorisé l'appareillage proactif et plutôt que d'utiliser le « datalogging » pour régler les problèmes rencontrés lors de l'adaptation prothétique, nous avons voulu les anticiper. C'est dans ce but que nous avons développé SAM (Sound Activity Meter).

Jusqu'à présent, le choix du type d'amplification se base sur les tests d'orientation prothétique (tonaux et vocaux) et sur une estimation des besoins du malentendant (questionnaires et anamnèse). Mais lorsque l'on demande à un patient « Etes-vous souvent confronté à des situations bruyantes ? », il vous répondra toujours « Oui »... Pour l'audioprothésiste, la vraie information serait : « Oui, je suis souvent dans des situations sonores de 75 dB avec un locuteur unique qui me parle » ou bien « Oui, je prends le train seul tous les jours et le niveau sonore dans le wagon est de 70 dB ».

Pour permettre à l'audioprothésiste de disposer de ces informations dès le premier réglage, nous avons conçu un système intégrant un microphone et une puce Syncro, le tout alimenté par une pile. SAM (Sound Activity Meter) est un Enviromètre capable de fournir un véritable Envirogramme™, reflet exact du style de vie quotidien du patient. Discrètement, objectivement et automatiquement, il enregistre des informations précieuses sur la spécificité de l'environnement sonore propre à chaque utilisateur. Ces données sont ensuite intégrées dans le logiciel Genie ou eCaps pour garantir une adaptation hyper-personnalisée et anticiper les attentes de cette nouvelle génération de patients.



Grâce à SAM, l'adaptation prothétique prend un nouveau virage. Elle ne se concentre plus uniquement sur les capacités auditives du malentendant mais elle intègre totalement son environnement sonore dans le processus. Le patient reprend sa place au centre du processus d'adaptation.



Avec eCaps, Genie, Syncro Live, SAM et Mémoire Analytique Syncro, les audioprothésistes disposent d'une incroyable gamme d'outils audiolinguistiques. Tout est mis en œuvre pour permettre aux professionnels de répondre à toutes les interrogations des patients, de leur démontrer en temps réel les avantages de la technologie moderne, et d'effectuer simplement et rapidement l'adaptation prothétique avec une précision et une personnalisation jamais égalées.

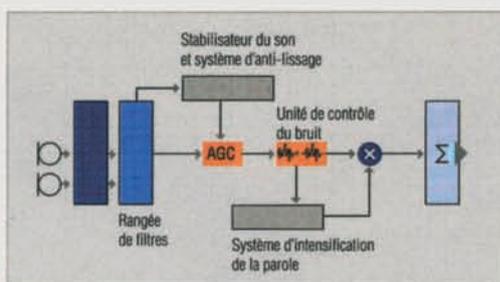
De nos jours, ce que les patients viennent chercher, ce n'est pas une solution auditive mais une réponse à leurs problèmes de communication. Chez Oticon, notre philosophie a toujours été de replacer le patient au centre de nos préoccupations. Cette approche est parfaitement résumée dans notre concept « People First ».

## La différence numérique Widex

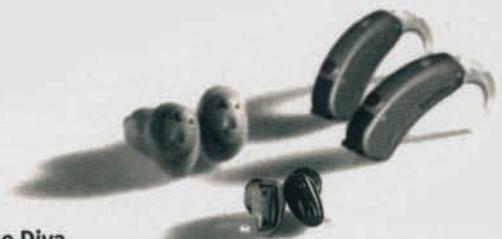
### [ Réduction du bruit et intensification de la parole ]

#### Une caractéristique qui assure le meilleur confort d'écoute en toute situation

- L'algorithme de réduction du bruit entre en action à des niveaux d'entrée élevés pour préserver l'intelligibilité de la parole, tout en réduisant l'effet de masquage produit par le bruit.
- La distribution des niveaux du signal d'entrée est analysée dans les 15 canaux afin de pouvoir évaluer le rapport signal/bruit.
- Canaux d'un tiers d'octave avec une définition allant jusqu'à 50 dB/octave.
- Système d'intensification de la parole (SIS) qui favorise la parole et réalise une analyse du rapport signal/bruit sur chacune des bandes, pour ensuite redistribuer l'amplification sur chacun des 15 canaux.
- Un champ d'action ultra flexible assurant la meilleure intelligibilité et le meilleur confort d'écoute possible.



*La caractéristique Réduction du bruit et intensification de la parole, caractéristique unique à Senso Diva, assure le confort du malentendant, en particulier dans le bruit. Le malentendant peut porter son appareil toute la journée sans éprouver de fatigue.*



**Senso Diva**  
La première aide auditive de haute définition au monde

# SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR L'AUDITION BINAURALE MANCHESTER 29-31 OCTOBRE 2005

En 2002, les pouvoirs publics français ont étendu la prise en charge des appareils correcteurs de la surdité à la stéréophonie chez l'adulte. Cette démarche est la résultante en France d'un large consensus sur les apports de l'écoute binaurale. Ce type de décision est pris à partir de données scientifiques et économiques qui font la preuve du service médical rendu, selon le concept anglo-saxon d'un acte médical fondé sur la preuve. (evidence based medicine).

Il est prévu que lors d'un appareillage bilatéral, l'équilibre stéréophonique et la capacité à localiser les sons soient vérifiés. Les prothèses auditives numériques, par leur nombre croissant de réglages permettent d'adapter les courbes de réponses des appareils afin d'améliorer l'équilibre stéréophonique. Les dernières générations d'appareils permettent par leur synchronisation d'assurer une cohérence et une stabilité binaurale. Par ailleurs, de plus en plus souvent, l'audioprothésiste est amené à ajuster les réglages de la prothèse auditive en fonction du réglage de l'implant cochléaire controlatéral ou de l'implant électroacoustique ou de l'implant d'oreille moyenne controlatéral. De même, une localisation des sons peut être rendue sur une oreille cophotique par l'utilisation d'une prothèse de type BAHA.

Quels sont les paramètres acoustiques à privilégier, quelles sont les contraintes physiologiques, et techniques, quels sont les outils de mesure ? Il nous a donc semblé intéressant d'assister à un symposium international organisé par l'université de Manchester sur l'audition binaurale, afin de connaître les développements récents dans ce domaine.

Nous avons tenté dans cet article de résumer l'intervention de chaque participant. Il est évident que le temps imparti ne permet pas toujours de tout exposer, mais il est possible de se référer aux articles de ces auteurs. Par ailleurs, nous avons voulu retranscrire le plus fidèlement possible les propos tenus par les orateurs sans interpréter leur pensée afin que ces données puissent alimenter la réflexion du professionnel français, absent de cette manifestation (comme orateur et auditeur).

## Arnaud Coez

Audioprothésiste D.E.

Membre actif du Collège National

d'Audioprothèse

Co-rédacteur des Cahiers de l'Audition

# 1 SITUATION

Stig Arlinger compare dans les pays développés le nombre de prothèses auditives pour 1000 habitants et le pourcentage de stéréophonie. Ainsi le nombre de prothèses auditives rapportées à 1000 habitants est de 18 au Danemark, 15 en Australie, 12 en Norvège et au Royaume Uni alors qu'il n'est que de 9 en Suède, 7,5 aux USA, 6 en France et 1,5 en Pologne. Le taux de stéréophonie serait de 83% aux USA, 75% en Australie, de 50 à 70% en Norvège, mais seulement de 40 à 50% au Danemark, 42% en Suède, 40% au royaume uni, 20% en Pologne (cet observateur suédois n'a pas trouvé de données officielles pour la France). Il apparaît une grande disparité entre pays

qui peut être induite essentiellement par des choix politiques d'économie de santé plutôt que par des données scientifiques. Dans certains pays, le remboursement de la deuxième aide auditive est par ailleurs subordonné à la quantification de l'amélioration effective de la compréhension dans le bruit et de la localisation des sons dans l'espace

Q. Summerfield nous rappelle que l'économie de santé européenne repose sur l'évaluation de ratio coûts/efficacité. Ainsi, un nouveau traitement tel que l'implant cochléaire bilatéral représente un coût supplémentaire pour la collectivité par rapport à un implant unilatéral. Quelle augmentation de bénéfice peut-on attendre en retour pour le patient en terme de santé publique ? Cette amélioration est calculée en nombre d'années de qualité de vie (QALY). La qualité de vie est mesurée sur une échelle de 100 (naissance, capital maximum) à 0 (décès, capital minimum).

Ainsi, une restauration de 15% de qualité de vie sur 30 ans donne un gain QALY de 4,5. Le calcul peut être réalisé pour chaque stratégie de correction de la surdité, ce qui permet ensuite de les comparer entre elles et de justifier leur coût (voir avant dernière communication).

## 2 DONNÉES PSYCHO-ACOUSTIQUES

George Mencher nous livre ses réflexions sur les Recherches sur l'audition binaurale menées depuis 1980, date à laquelle il écrivit 2 livres « Binaural hearing aid amplification ». Il tentait alors de montrer en quoi l'appareillage des deux oreilles d'un malentendant est plus satisfaisant que l'appareillage d'une seule. Tâche difficile à une époque où aux USA et au royaume uni l'appareillage stéréophonique représentait seulement respectivement 36% et 10% des cas, alors qu'il avoisine à ce jour les 80%. Dans le même temps, les appareils se sont grandement modernisés. Ils sont devenus multi-programmes, multicanaux, avec des taux de compressions et d'expansion plus étendus, des systèmes de réduction de bruit, d'antilarson, de multi-microphones. La multiplication des traitements du signal permet une plus grande souplesse d'adaptation et donne la possibilité d'affiner l'équilibrage stéréophonique. De plus, la stéréophonie, quant elle est possible, permet de conserver la fonction auditive de l'oreille qui n'aurait pas été appareillée en cas d'appareillage unilatéral et qui dans 25% des cas aurait involué ou aurait révélé un acouphène. La stéréophonie permet une amélioration de la parole dans le bruit, un gain de niveau sonore de 6 dB, une conservation des ressources attentionnelles. Ces effets ne peuvent être que partiellement évalués par des tests en cabine d'améliorations d'intelligibilité ou de localisation des sons.

Rien, à ce jour, ne saurait remplacer un test réel dans l'environnement du patient et de recueillir le témoignage du patient. Toute la difficulté réside dans la possibilité d'établir un questionnaire ayant une échelle de mesure adéquate qui puisse refléter l'amélioration ressentie.

Les caractéristiques acoustiques de l'environnement du malentendant ont des répercussions importantes sur le résultat audioprothétique attendu. Arthur Boothroyd rappelle que la distance qui sépare la source sonore de l'auditeur aura un impact sur le résultat puisqu'il y a une diminution de 6dB de l'intensité du son à l'entrée de l'oreille dès que la distance est doublée. De même, le local dans lequel se trouve l'auditeur a un rôle primordial. Les réflexions sur les parois du local peuvent augmenter l'intensité du signal source de 10 dB ! et induire des durées de réverbération de 12 ms qui dégradent autant le signal source. Ainsi, selon les dimensions et les temps de réverbération d'une pièce et de la distance de l'auditeur à la source, les conditions d'écoute du malentendant peuvent être très variées et ne pas correspondre aux conditions de mesure en cabine. Le milieu dans lequel se trouve le malentendant sera caractérisé par une distance critique d'écoute. Effectivement, au-delà d'une certaine distance, le son incident direct aura subi une atténuation qui le rendra plus faible que la moyenne des sons réfléchis. A noter que les microphones directionnels pourront apporter un bénéfice, si le malentendant est situé à une distance inférieure à cette distance critique. Effectivement, au-delà de cette distance, le signal incident est plus faible que l'intensité moyenne des sons réfléchis, ce qui ne permet plus aux microphones directionnels de favoriser le signal d'intérêt. Une audition binaurale permet un gain de 6dB par rapport à une audition monaurale, élargissant d'autant la zone d'écoute du malentendant. A cet égard, il semble indispensable de ne pas réaliser des adaptations indépendantes des deux dispositifs correcteurs de la surdité, le but étant de restituer un équilibre entre les deux oreilles. Ainsi, les tests en cabine

permettront d'avoir un test de référence qui permettra d'évaluer les apprentissages mis en place par le malentendant pour extraire l'information utile dans le bruit, mais ces tests ne pourront pas être prédictifs des difficultés que le malentendant rencontrera. Ainsi, seuls l'anamnèse et un échange avec le patient permettent d'évaluer l'efficacité des dispositifs médicaux correcteurs de la surdité testés.

Mickael Akeroyd nous rappelle que les indices acoustiques utilisés par notre système auditif pour localiser une source sonore sont les différences d'intensité interaurale (ILD=interaural level difference) et les différences de temps (ITD=interaural time difference). Effectivement, selon l'azimut du son incident, le temps et la distance à parcourir pour parvenir à chacune des deux oreilles est différent. De plus, l'effet d'ombre de la tête atténue une partie du son parvenant à l'oreille la plus éloignée de la source sonore. Ainsi, au kumar, pour un son incident à 45°, la différence d'intensité interaurale liée au masque de la tête sera de 10 dB à 1 kHz. Si l'azimut est de 15°, la différence est inférieure à 5 dB. Chez l'entendant, un son incident de l'arrière est moins fort qu'un son incident de front. De cette différence d'intensité, il est donc possible de localiser une source. Le son incident arrive également avec un certain retard à l'oreille opposée à la source. L'oreille humaine est sensible à des différences d'intensité sur l'ensemble des fréquences par contre elle n'est apte à analyser des différences de temps que pour des sons de fréquence inférieure à 1 kHz, au-delà le nombre d'erreurs augmente. L'association des différences interaurales de temps et d'intensité (duplex theory) permet de diminuer le nombre d'erreurs de localisations mais celles-ci demeurent toujours plus grandes pour les sons aigus que pour les sons graves. Par contre, si les différences de temps sont modulées par un signal de basse fréquence (100Hz), le système auditif est alors capable de les analyser.

La différence en intensité perçue quand la stéréophonie est établie, permet une localisation du signal incident. Effectivement, un bruit diffus aura une intensité identique aux deux oreilles (pas de différences) alors que le signal incident présentera une différence interaurale d'intensité fonction de son azimut. Ces tests de laboratoire ne reflètent malheureusement en rien les situations sonores dynamiques auxquelles le malentendant est confronté. Faute de situation stationnaire prolongée qui permette une analyse très précise à un instant  $t$ , des stratégies complémentaires se mettent en place, telle qu'une analyse beaucoup plus globale sur une durée plus longue. Ainsi, le système auditif est capable de détecter des corrélations positives, neutres ou négatives des différences interaurales perçues. La fréquence de ces corrélations est un nouvel indice qui peut être utilisé dans l'analyse de la scène auditive. Cette capacité à détecter sur des périodes longues des corrélations dans les différences interaurales de temps et d'intensité repose évidemment sur une écoute stéréophonique rétablie.

Steve Colburn nous rappelle que les différences interaurales d'intensité sont analysées au niveau de l'olive supérieure médiane et les différences de temps au niveau de l'olive supérieure latérale (Goldberg and Brown, 1969). Ces deux informations convergent vers le colliculus inférieur. Le modèle de Jeffress (1948) prévoit que la coïncidence de ces événements permet leur analyse. Ainsi le système auditif est sensible à des différences interaurales de temps de l'ordre de 10 microsecondes et des différences d'intensité de l'ordre de 0,5dB. De plus, il serait capable d'analyser la variance de ces distributions de différences inter-aurales. L'analyse de ces paramètres acoustiques est faite par bandes fréquentielles. Un minimum de 7 bandes fréquentielles est nécessaire (notion qui peut conditionner le nombre minimum d'électrodes actives à chaque échantillonnage pour les implants cochléaires).

L'analyse dans les milieux complexes est d'autant plus ardue que les bruits s'additionnent ce qui n'est malheureusement pas le cas des différences inter-aurales. De plus, la sélectivité fréquentielle du malentendant est dégradée ce qui conduit à un recouvrement de plusieurs bandes fréquentielles et à des phénomènes de masquage. D'autres stratégies perceptives doivent tenter de compenser ce défaut d'analyse.

Chris Darwin rappelle la difficulté de percevoir dans des ambiances aux sources multiples. Les indices acoustiques utilisés varient en fonction de l'ambiance et des stratégies particulières peuvent émerger. Ainsi, face à 2 locuteurs, le système auditif peut suivre la voix la plus forte (dominante). Effectivement, l'intensité du son final n'est pas la somme des intensités de chaque locuteur mais de celui qui a le niveau de voix qui prédomine. Cette stratégie supprime bon nombre d'ambiguïtés d'analyse. L'effet de redondance apparaît quand plusieurs indices acoustiques d'un même événement sonore sont présents simultanément. Ainsi, dans le domaine fréquentiel, le système auditif peut repérer et suivre un groupe d'harmoniques issus d'un événement sonore, la synchronisation de leur production. Il peut également repérer dans le temps un niveau sonore, une direction, un pitch de voix, un accent particulier...et se servir de ce paramètre pour intégrer les autres. La spatialisation apparaît alors comme un indice crucial pour séparer des groupes de sons qui n'auraient pas pu l'être autrement. De la même façon cet indice spatial permet la ségrégation de 2 rythmes différents dans le bruit (Sach et Bailey, 2004) ou de voix (Freyman et al, JASA, 2001). La localisation spatiale ne pouvant être obtenue que par une écoute en stéréophonie, l'appareillage bilatéral apparaît bien comme une condition préalable à l'utilisation de stratégies d'écoute qui peuvent très variées.

# 3 ETUDES CLINIQUES



Pauline Smith de l'équipe universitaire de Manchester conduit une étude clinique multi-centrique, randomisée pour étudier si un appareillage bilatéral avec des aides auditives capables d'échanger des informations entre elles permet une amélioration par rapport à un appareillage bilatéral standard ou un appareillage unilatéral. Effectivement, la communication entre prothèses auditives semble permettre de maintenir des paramètres de réglages stables au cours du temps entre les deux oreilles (réduction de bruit, micro directionnels, choix du programme, contrôle du niveau de sortie), de synchroniser les traitements du son, et de faciliter la manipulation (1 seule commande pour une action sur les 2 appareils). 36 patients sur 3 sites participent à cette étude. Un groupe a commencé avec un appareillage unilatéral. Après 8 semaines, la moitié de ce groupe aura un appareillage bilatéral conventionnel et l'autre moitié un appareillage bilatéral communicant. Un deuxième groupe a débuté par un appareillage bilatéral et évoluera vers un appareillage communicant. Un troisième groupe est appareillé bilatéralement avec

un appareillage communicant puis aura un appareillage conventionnel. A l'issue de chaque période de 8 semaines, un test dans le bruit est réalisé (Haggard and Foster) ainsi qu'une évaluation à l'aide du questionnaire Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale (SSQ) (Noble and Gatehouse). Quand les premiers résultats statistiques seront connus, nous ne manquerons pas de les publier dans les cahiers de l'audition.

Quels sont les apports d'un deuxième implant par rapport à un seul ? Synergies potentialisatrices, réduction des interférences, augmentation de la vitesse de stimulation par Blake Wilson. Pour traiter des indices acoustiques tels que des différences de temps, une stimulation binaurale est nécessaire. La sensibilité aux différences de temps dépend de la fréquence de stimulation. Quand la fréquence de stimulation augmente, la sensibilité à l'ITD diminue. Le résultat peut varier en fonction du sujet, du degré de myélinisation et de l'intégrité des voies auditives centrales, de l'expérience... Le fait d'utiliser deux processeurs qui n'ont pas la même vitesse de stimulation n'affecte pas la capacité d'analyse de l'ITD.

Le port de deux implants permet une amélioration de l'intelligibilité de mots monosyllabiques dans le calme et une amélioration de l'écoute de phrases dans le bruit (Müller et al, Ear and hearing, 2002).

En répartissant sur deux implants le nombre total d'électrodes qui pourraient être actives sur un seul implant, on observe alors une amélioration de l'intelligibilité (alors que le nombre total d'électrodes est identique). Ce phénomène est probablement lié à une interférence moins grande entre les électrodes actives, qui sont plus espacées. En utilisant 6 électrodes sur un implant ou 3 sur chacun des deux implants, le résultat est identique, témoignant de l'intégration centrale des deux informations véhiculées par deux dispositifs différents. Cette complémentarité des informations issues de deux sites différents permet donc d'avoir un nombre plus important de sites de stimulation et/ou peut-être une amélioration de la sélectivité

fréquentielle de chaque site par rapport au même nombre d'électrodes porté par un seul implant.

De plus, le fait d'avoir deux sites de stimulation permet de choisir un recouvrement ou non des bandes fréquentielles couvertes par chacun des deux implants (zipper concept).

## 4 DONNÉES CLINIQUES

Jan Wouters montre que les entendants ont des capacités meilleures de localisation des sons que des patients appareillés conventionnellement avec des aides auditives aux microphones directionnels. Un peu moins de la moitié des malentendants sans aides auditives localisent moins bien les sons que le groupe entendant. Des aides auditives qui fonctionnent de façon indépendantes ne permettent pas de préserver la localisation spatiale, phénomène qui peut être aggravé par l'utilisation de microphones directionnels.

Therese Walden nous expose les bénéfices et les désavantages d'une amplification bilatérale. L'intérêt d'un appareillage bilatéral ne peut être pris que de façon individuelle. Ainsi, si le résultat est meilleur avec deux appareils qu'un, cela témoigne essentiellement de la capacité du malentendant à réaliser une intégration centrale des informations provenant des deux oreilles. Quand le résultat est moins satisfaisant avec l'utilisation de deux appareils, cela témoigne d'une interférence des informations provenant des deux oreilles. Le choix de l'appareillage unilatéral doit alors être privilégié. Le principal facteur retrouvé dans ce cas de figure par l'auteur serait le grand âge d'où la recommandation d'appareiller une perte d'audition le plus tôt possible quand elle a été diagnos-

tiquée pour améliorer le résultat final.

Juergen Kiessling rappelle que sur une perte d'audition bilatérale symétrique l'appareillage stéréophonique est la règle. Les critères pour un appareillage monaural sont une interférence entre les informations binaurales, une dissymétrie tonale et vocale trop importante (Dillion et al, 2001), des difficultés praxiques ou mnésiques ainsi que des facteurs extra-auditifs (représentation de soi, coût...). Il est difficile de prédire le résultat d'un appareillage stéréophonique et rien ne saurait remplacer un essai préalable par le patient dans son propre environnement. Les stratégies de réglages monaurales peuvent être utilisées à condition de vérifier l'équilibrage stéréophonique final au risque de perdre l'avantage de 6dB apporté par la stéréophonie. La stéréophonie permet ainsi une amplification d'autant moins importante pour conserver une sensation confortable.

Wouter A Dreschler nous livre les résultats d'une étude multicentrique randomisée menée par son laboratoire alors que les données de la littérature sont peu abondantes dans ce domaine.

L'utilisation des aides auditives est plus importante quand l'adaptation a été bilatérale. Dans ce cas, seulement 4% des patients utilisent occasionnellement leurs aides auditives et 4% utilisent occasionnellement leur deuxième appareil, tous les autres (92%) portent leurs 2 aides. L'amélioration ressentie dans le groupe ayant une écoute binaurale est meilleure que dans celui ayant une écoute monaurale, de plus le nombre d'heures de port des appareils est plus important. Il demeure difficile de prédire les échecs de la stéréophonie. L'âge ne semble pas jouer de rôle, par contre l'ancienneté et le degré d'asymétrie de la perte d'audition apparaissent comme des risques d'échec. Inversement, plus la perte initiale est importante, plus grande est la satisfaction finale. L'attitude pragmatique du clinicien, sans a priori, demeure essentielle pour optimiser pour chaque patient la solution audioprothétique finale.



W. Noble nous livre les résultats du bénéfice comparé de l'adaptation stéréo/monophonique des aides auditives et des implants cochléaires à l'aide du questionnaire SSQ.

Une échelle d'évaluation de l'efficacité des dispositifs correcteurs de l'audition (Speech hearing, Spatial hearing, Quality of hearing scale) a été développée pour rendre compte de l'aptitude du malentendant dans son environnement à évaluer des cibles sonores différentes, changeantes, à évaluer des distances et des déplacements, et à estimer l'effort attentionnel fourni pour écouter.

Les réponses aux questionnaires SSQ (échelle de 1 à 10) par 5 groupes de patients ont été comparées : aides auditives bilatérales (adaptées sur des pertes auditives moyennes), aides auditives unilatérales, Implant cochléaire bilatéral, implant cochléaire unilatéral, implant cochléaire avec une prothèse controlatérale. Dans le calme, les résultats sont comparables dans les 5 groupes. Les résultats obtenus avec aides auditives sont meilleurs (avec un avantage pour la stéréophonie) que dans les groupes implant pour localiser les sons, supprimer une voix non désirée, suivre une voix, distinguer des sons, restituer une perception « naturelle ». Par ailleurs, les résultats obtenus dans le groupe ayant un appareillage conventionnel en stéréophonie d'une perte d'audition moyenne sont nettement supérieurs aux autres groupes.

L'implant cochléaire bilatéral apporte par rapport à un implant unilatéral une meilleure évaluation de la distance, de la direction et du mouvement de la source sonore dans la vie de tous les jours.



Louise Hickson tente d'analyser les facteurs qui font la réussite ou l'échec de l'appareillage uni ou bilatéral. 10 à 30% des patients n'utilisent pas ou peu leurs aides auditives. Les facteurs associés aux échecs sont généralement des patients âgés de plus de 60 ans ayant une perte d'audition faible à moyenne. La raison est souvent corrélée à une attitude initiale négative face à l'appareillage, peu d'attentes, un manque de motivation, un faible déficit de communication, et des difficultés praxiques. Le succès dépend donc d'une subtile alchimie entre la typologie du patient, la technologie utilisée et l'environnement dans lequel vit le patient. Le professionnel de l'audition doit savoir repérer les besoins de son patient, lui expliquer ce qu'il est possible de réaliser, aborder les points positifs et négatifs, être patient, flexible et disponible, tout en insistant sur l'importance du training qui améliorera les performances. Cette multiplicité de facteurs qui interviennent dans l'appareillage peut expliquer que la réussite d'un appareillage unilatéral ne permet pas de prédire de la réussite d'un appareillage bilatéral futur.

## 5 ETUDE COMPARÉE DES DIFFÉRENTS DISPOSITIFS CORRECTEURS DE LA SURDITÉ

Ruth Litovsky : les tests de localisation spatiale, de détection de la plus petite variation d'angle, et de discrimination par une écoute binaurale sont réalisables chez l'enfant. L'intelligibilité dans le bruit peut être mesurée par des jeux interactifs avec renforcement de la réponse. Les enfants entendants sont capables d'utiliser des indices acoustiques de localisation spatiale dès l'âge de 3 ans. Les enfants sourds qui sont implantés en 2 temps ont un bénéfice immédiat pour la compréhension dans le bruit alors que la localisation des sons est plus longue à obtenir. Ainsi, les erreurs de localisation peuvent atteindre 90° à 2 mois de l'opération, elles ne sont plus que de 10° à 22 mois. Les enfants qui ont eu une perte progressive de l'audition réussissent mieux ce type de test que ceux qui sont nés sourds. Les enfants qui ont un implant cochléaire et une prothèse auditive controlatérale ont des performances variables à ce type de test mais qui peuvent approcher dans certains cas la moyenne des résultats du groupe des enfants implantés de façon bilatérale.



Teresa Ching : Il est bien établi qu'une audition binaurale améliore d'avantage la

compréhension dans le bruit qu'une audition monaurale du fait de l'ombre de la tête, de l'effet de redondance et du « squelch effect ». Alors que la norme de l'appareillage conventionnel chez l'enfant ayant une perte d'audition bilatérale est l'utilisation de 2 prothèses auditives, le bénéfice attendu avec deux implants cochléaires demeure à établir. Quelles possibilités existe-t-il pour redonner une audition bilatérale, quels cas doivent bénéficier d'un implant cochléaire et d'une prothèse auditive, quels cas doivent profiter de deux implants cochléaires ? Le NAL a pu montrer que les enfants ayant une perte d'audition faible à moyenne retrouvent par un appareillage binaural conventionnel le bénéfice du squelch et de la redondance des informations alors que pour des surdités sévères appareillées, l'effet squelch n'est pas restitué. Les enfants qui portent une prothèse et un implant ne retrouvent ni l'effet de redondance, ni l'effet de squelch. Par contre, l'effet de l'ombre de la tête est restitué et peut aider l'enfant dans bons nombres de situations de sa vie quotidienne. Il est donc recommandé de conseiller le port de la prothèse auditive controlatérale à l'implant cochléaire et d'inciter son réglage en fonction de celui de l'implant. Avec deux implants cochléaires, les différences inter-aurales de temps ne pourront pas être restituées, mais les différences inter-aurales d'intensité pourront l'être dans une certaine mesure ce qui peut permettre à l'enfant de séparer les différents indices acoustiques constitutifs d'une scène auditive donnée.

Beverly Wright, a étudié l'effet d'un programme d'entraînement sur la capacité de patients adultes appareillés à distinguer les deux principaux indices de localisation des sons dans l'espace que sont les différences inter-aurales d'intensité et de temps. En 9 jours de séances, une amélioration des différences inter-aurales d'intensité est obtenue, alors qu'aucun résultat significatif n'est obtenu pour des différences inter-aurales de temps.

Stuart Gatehouse insiste sur le fait que les mesures réalisées au laboratoire en psycho-acoustique utilisent des sources sonores spatialement et temporellement statiques avec un patient immobile, ce qui ne correspond pas à l'environnement dynamique dans lequel le patient vit. Par ailleurs, les résultats obtenus sont comparés à des groupes de référence d'entendants. Il y a souvent un recouvrement substantiel des résultats entre les deux groupes comparés. Par ailleurs, il n'y a pas de données qui permettent de corréler les résultats de données psycho-acoustiques de discrimination de différences inter-aurales de temps ou d'intensité avec des mesures de handicap. Aussi, Stuart Gatehouse propose d'utiliser des questionnaires de qualité de vie tels que le SSQ (Speech Hearing, Spatial hearing, and qualities of hearing scale) pour rendre compte de l'effet de la stéréophonie dans l'environnement dynamique réel (espace et temps) du patient. Les patients qui ont une perte d'audition asymétrique, ont systématiquement des réponses au questionnaire SSQ qui révèlent un effort attentionnel supplémentaire à fournir pour suivre une conversation parmi d'autres voix, une difficulté supplémentaire pour apprécier la distance et le mouvement d'une scène auditive, pour extraire l'information utile.... Ainsi, il existe une corrélation entre le handicap ressenti et des aspects psycho-acoustiques dynamiques (et non statiques) qui ne sauraient être mesurés seulement au laboratoire.

Selon Richard Tyler, les patients qui écoutent avec une seule oreille ne peuvent pas localiser les sons sauf s'ils ont une connaissance préalable de ce qu'ils vont entendre. Généralement, les patients avec 2 implants localisent mieux que ceux qui portent un implant et une prothèse controlatérale, mais dans ces deux cas, les performances sont très éloignées de celles obtenues dans une population entendante. La possibilité pour un patient de pouvoir bénéficier d'un deuxième implant dépend de ses capacités à repérer spatialement des cibles acoustiques, des différences de performance entre ses deux oreilles et des

mécanismes centraux d'intégration et de sélection des informations provenant des deux oreilles. La plupart des patients (mais pas tous) sont contents de retrouver un équilibre stéréophonique, mais la mesure de l'efficacité nécessite une nouvelle approche.

## LE POINT DE VUE DE L'ÉCONOMISTE DE SANTÉ.

### IMPLANT COCHLÉAIRE BILATÉRAL : BÉNÉFICE INDIVIDUEL APPORTÉ, QUALITÉ DE VIE, ET ÉCONOMIE DE SANTÉ

Q. Summerfield, nous livre les clés des décisions prises en économie de santé. L'implant cochléaire unilatéral a fait la preuve de son coût par l'amélioration de la qualité de vie apportée. Après avoir pris connaissance des données des chercheurs et des cliniciens, le coût de l'implantation cochléaire bilatérale ne permet pas de justifier son utilisation pour une amélioration de la santé publique. Une étude clinique randomisée a été depuis réalisée par le NHS (National Health Service), incluant des patients candidats à un deuxième implant. Certains ont été implantés à T0, les autres ont été implantés 12 mois après et ont ainsi servi de groupe de référence. Les résultats montrent une amélioration significative dans la localisation spatiale et dans la qualité d'écoute et de compréhension de la parole. Par contre, l'amélioration de la qualité de vie demeure marginale par rapport à ce que permet un seul implant pour corriger le handicap auditif.

Il semble difficile d'améliorer l'efficacité. Le seul moyen suggéré par un économiste anglais pour satisfaire le ratio coût/efficacité est de diminuer le coût d'un processeur bilatéral qui ne peut coûter que 1,2 fois le coût d'un implant unilatéral actuel et une paire de porte électrodes qui ne peut excéder 1,7 fois le coût actuel de 2 portes électrodes. C'est le défi à relever au Royaume Uni pour justifier l'utilisation de cette technique.

## 7 CONCLUSION

La santé publique, bien être physique, psychique et moral n'a pas de prix mais elle a un coût. Le coût ne devrait pas dépasser le budget. Quel budget sommes-nous prêt à y consacrer ? Pour un budget de santé donné, l'économiste peut créer une théorie pour accepter, refuser ou induire un comportement thérapeutique économiquement acceptable. Ainsi, autant l'audition binaurale nous semble à tous une évidence, tout comme le fait d'avoir deux yeux, deux pieds... (qui ferait l'acquisition d'un monocle ou d'une seule chaussure...?), autant il est besoin de faire la preuve de son apport. Dès lors, on ne peut qu'encourager toute étude clinique correctement menée qui permet de faire la preuve de ce qu'apporte une innovation technologique. A défaut, l'économiste refusera ou proposera des solutions qui ne sont pas nécessairement physiologiquement et médicalement des plus adaptées (2 porte électrodes, un microprocesseur, ...).

D'un point de vue logique, la population de référence entendant avec deux oreilles, on pourrait se demander ce qu'enlève la suppression d'un appareil ou d'un implant sur les deux initialement portés depuis plus de deux ans plutôt que ce qu'apporte un deuxième dispositif médical à quelqu'un qui n'en a qu'un.

La leçon est en tout cas instructive puisque ces grilles de lecture existent à un niveau européen. Il semble urgent de pouvoir s'en accommoder et de se doter des moyens d'y répondre. On peut saluer les efforts de l'équipe de Manchester de développer avec des partenaires industriels des études cliniques qui permettent de valider des développements récents des dispositifs correcteurs de la surdité. Cet effort est d'autant plus méritoire que les modèles psycho-acoustiques de laboratoire fondés par des données recueillies dans des populations entendant ne permettent pas nécessairement d'apporter une réponse à la question posée et que le développement de nouveaux outils de mesure peut s'avérer nécessaire pour mettre en évidence l'effet recherché. Effectivement, ce n'est pas parce que la loupe ne permet pas de voir un virus, que celui-ci n'existe pas.... A cet égard, on peut se demander si d'autres techniques telles que les techniques d'imagerie fonctionnelle cérébrale ne pourraient pas devenir un moyen d'évaluer l'efficacité les différentes stratégies thérapeutiques de correction du handicap auditif.

Néanmoins, l'approche clinique, individuelle et humaniste du patient et de sa surdité apparaissent essentielles. Le facteur humain apparaît jouer un rôle essentiel dans la réussite de l'appareillage. Le meilleur moyen d'évaluer l'efficacité pour un patient donné et une surdité donnée, est de donner la possibilité au patient de réaliser un apprentissage dans ses conditions réelles de vie. L'appareillage en une heure est démagogique et incompatible avec la physiologie de l'audition, raison pour laquelle le métier d'audioprothésiste est défini comme l'adaptation immédiate et permanente des prothèses auditives. Même si les questionnaires de qualité de vie semblent à ce jour le meilleur moyen d'évaluer avant et après appareillage les améliorations apportées, l'audioprothésiste se doit de vérifier que tout a été entrepris pour permettre au patient de retrouver un équilibre stéréophonique.

De la même façon, l'expérience clinique et les remarques du patient demeurent une source de connaissance essentielle pour tenter d'adapter la technologie utilisée mais aussi de suggérer aux fabricants des développements technologiques futurs adaptés aux besoins des malentendants.

Par ailleurs, nous tenons à remercier l'équipe de Siemens Audiologie France, qui nous a invité à ce congrès international et l'accueil chaleureux de l'équipe basée au Royaume Uni. Ces congrès sont des moments indispensables pour les professionnels de l'audition, lieu d'échanges et de partages d'idées et de savoir faire qui dépassent les frontières.

## CYCLE DE FORMATION POST-UNIVERSITAIRE 2005 10ÈME E.P.U.

### PHONÉTIQUE ACOUSTIQUE ET PERCEPTION DE LA PAROLE

Le Collège National d'Audioprothèse met en place, avec le concours des Directeurs d'Enseignement de l'Audioprothèse en France, un cycle de formation post-universitaire sur deux années.

Le thème de l'Enseignement Post-Universitaire sera cette année « **Phonétique acoustique et perception de la parole** », et en 2006 « **Mesures et correction auditive de la perception de la parole** ».

L'Enseignement Post-Universitaire 2005 aura lieu les **Vendredi 9 et Samedi 10 Décembre 2005** dans les locaux de la **CITE DES SCIENCES ET DE L'INDUSTRIE** au Centre des Congrès de LA VILLETTE 30, avenue Corentin Cariou à PARIS (19ème) et sera rehaussée par une exposition des industriels fabricants et importateurs de matériels d'audioprothèse et d'audiophonologie.

Le programme est le suivant :

#### Vendredi 9 Décembre 2005

8 H 00

ACCUEIL DES PARTICIPANTS

8 H 45 - 9 H 00

INTRODUCTION A L'E.P.U. 2005

X. RENARD, Lille

Président du Collège National d'Audioprothèse

9 H 00 - 11 H 00

PRODUCTION DE LA PAROLE

Anatomie et physiologie de la phonation  
Dr C. RUAUX, *Oto-Rhino-Laryngologiste, Phoniatre, Rennes*

11 H 30 - 12 H 00

PHONÉTIQUE ARTICULATOIRE

G. BESCOND, *Orthophoniste, Rennes*

12 H 00 - 12 H 30

ACOUSTIQUE DE LA PAROLE

X. RENARD, Lille - F. LEFEVRE, Rennes

14 H 00 - 15 H 30

ACOUSTIQUE DE LA PAROLE (suite)

X. RENARD, Lille - F. LEFEVRE, Rennes

15 H 30 - 16 H 00

ENVELOPPES TEMPORELLES DE LA PAROLE

H. BISCHOFF, Paris - E. BIZAGUET, Paris

16 H 30 - 17 H 30

DONNÉES FRÉQUENTIELLES ET TEMPORELLES DE LA PERCEPTION DE LA PAROLE

B. AZEMA, Paris - C. RENARD, Lille

17 H 30 - 18 H 00

BOUCLE AUDIOPHONOLOGIQUE

Bouche audiophonatoire, prosodie, lecture labiale

G. GUILLARM, Audioprothésiste, Orthophoniste, Rennes

#### Samedi 10 Décembre 2005

8 H 00

ACCUEIL DES PARTICIPANTS

8 H 30 - 9 H 45

IMPACT DE L'ENVIRONNEMENT SUR LE SIGNAL DE PAROLE

(Débit, distance, bruit, réverbération, clarté, téléphone, télévision)

B. HUGON, Paris - S. LAURENT, Lorient

9 H 45 - 10 H 45

NEUROPSYCHOACOUSTIQUE DE L'AUDITION NORMALE

(Apport de l'imagerie fonctionnelle cérébrale. Traitement cérébral du signal, différences inter-individuelles et selon l'âge)

A. COEZ, Paris

11 H 15 - 12 H 30

IMPACTS DE LA PERTE AUDITIVE SUR LA PERCEPTION DE LA PAROLE

- altérations quantitatives : audibilité, inconfort

J. JILLIOT, Callian - A. VINET, Paris

F. LE HER, Rouen

14 H 00 - 15 H 15

IMPACTS DE LA PERTE AUDITIVE SUR LA PERCEPTION DE LA PAROLE (suite)

- altérations qualitatives : acuité fréquentielle, acuité temporelle

C. RENARD, Lille - B. AZEMA, Paris

15 H 15 - 15 H 45

IMPACTS DE LA PERTE AUDITIVE SUR LA PERCEPTION DE LA PAROLE (suite)

- confusions phonétiques

R. FAGGIANO, Caen - F. LEFEVRE, Rennes

16 H 15 - 17 H 15

NEUROPSYCHOACOUSTIQUE DE L'AUDITION ALTÉRÉE

(Apport de l'imagerie fonctionnelle cérébrale. Traitement cérébral du signal, différences inter-individuelles et selon l'âge)

A. COEZ, Paris - E. BIZAGUET, Paris

17 H 15 - 17 H 30

SYNTHÈSE, CONCLUSION ET INTRODUCTION À L'EPU 2006

X. RENARD, Lille - F. LEFEVRE, Rennes

Pour tout renseignement,

merci de contacter **Danièle KORBA**

COLLÈGE NATIONAL D'AUDIOPROTHESE

50, rue Nationale BP 116

59027 LILLE cedex

Tel : 03 20 57 37 37

Fax : 03 20 57 98 41

E-mail : [College.Nat.Audio@wanadoo.fr](mailto:College.Nat.Audio@wanadoo.fr)



## COURS PRATIQUE D'AUDIOMÉTRIE COMPORTEMENTALE DU TRÈS JEUNE ENFANT

René DAUMAN - Monique DELAROCHE

Unité d'Audiologie - CHU Bordeaux

Lundi 30 et mardi 31 janvier 2006

Stage facultatif mercredi 1<sup>er</sup> février

Cours : 340 euros (Cours théorique, vidéos, études de cas, discussions)

Stage : 100 euros (Stage facultatif mais indissociable du cours théorique)

Pour tout renseignement s'adresser à :

Institut G. Portmann

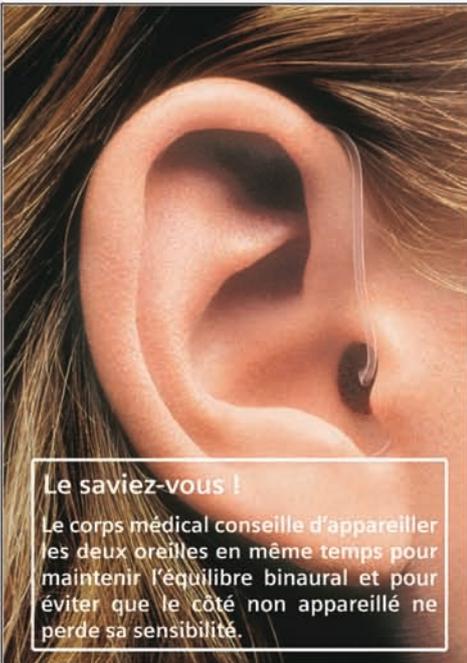
114 avenue d'Arès

33074 Bordeaux Cedex

Tél : 05 56 24 30 15

Fax : 05 57 81 58 48

Email : [institutportmann@wanadoo.fr](mailto:institutportmann@wanadoo.fr)



**Le saviez-vous !**

Le corps médical conseille d'appareiller les deux oreilles en même temps pour maintenir l'équilibre binaural et pour éviter que le côté non appareillé ne perde sa sensibilité.

En France, 10 millions de français connaissent des difficultés d'audition. Ce phénomène naturel nous concerne tous. Il s'appelle la presbycusie. Dès les premiers symptômes, il est capital de réagir rapidement. Plus on attend, plus il est difficile de revenir à un niveau d'audition optimal et de communiquer avec son entourage. La perte d'audition se révèle être alors un vrai handicap dans la vie quotidienne. On rencontre ainsi des difficultés pour reconnaître aussi bien l'origine d'un son, que pour comprendre un interlocuteur dans le bruit. Cela conduit à un isolement social et parfois à une certaine forme de dépression.



# Siemens lance ACURIS™, la solution auditive en relief\*



ACURIS  
Mini contour

ACURIS Intra profond

## Synchronisation automatique des 2 oreilles

Les nouvelles aides auditives apparues depuis quelques années sur le marché sont devenues beaucoup plus fiables, performantes et leur taille a diminué considérablement. Elles offrent un son très naturel et une meilleure séparation de la parole par rapport aux bruits de fond gênants.

Grâce à la puissance des microprocesseurs Siemens, elles peuvent analyser les sons et les ajuster automatiquement à l'environnement. Aujourd'hui, l'intelligence artificielle des aides auditives numériques fabriquées par Siemens permet donc des performances remarquables et une intelligibilité optimale de la parole même dans les environnements très bruyants. Cela leur permet aussi de prendre en permanence les décisions adéquates en fonction des situations dans lesquelles l'utilisateur se trouve.

### L'audition bouge avec ACURIS™ Nouveau Système Auditif Intelligent

ACURIS, inventé par Siemens, est le 1<sup>er</sup> système équipé de la technologie sans fil e2e. Avec e2e, ces nouvelles aides auditives peuvent désormais communiquer entre elles pour reconstituer l'audition en relief comme le fait

ACURIS révolutionne les standards de la correction auditive. Il est doté d'un circuit numérique très puissant (3 Giga Hz) à la pointe de la technologie pour un traitement du signal instantané. Avec ses débruiteurs et ses algorithmes de détection de l'environnement, il offre le meilleur de la haute technologie Siemens dans un boîtier compact et design. ACURIS reconnaît les différentes situations sonores dans lesquelles l'utilisateur se trouve et adapte en permanence ses réglages.

Retrouvez plus d'information sur :  
[www.siemens-audiologie.fr](http://www.siemens-audiologie.fr)

Siemens 1<sup>er</sup> fabricant d'aides auditives dans le monde, conçoit et fabrique des circuits numériques de très haute technologie afin de permettre à des millions de personnes de retrouver le plaisir de communiquer et de partager les bons moments de la vie

**SIEMENS**

ACURIS assure ainsi la meilleure compréhension quel que soit le type d'environnement pour une audition agréable et équilibrée, sans aucun sifflement de Larsen.

La manipulation d'ACURIS est simple et conviviale, il n'y a pour ainsi dire aucun réglage à effectuer puisque ACURIS peut fonctionner en mode tout automatique. Si l'utilisateur le souhaite, il peut, pour encore plus de précision, ajuster le programme et le son de ses ACURIS grâce à la télécommande ePocket.

**\*Avec e2e, les deux aides auditives communiquent entre elles en parfaite synchronisation pour reconstituer l'audition en relief comme le fait notre cerveau.**

ACURIS est disponible chez les audioprothésistes, spécialistes de la bonne audition.

**Témoignages :**

« Depuis 6 mois je retourne au restaurant et je n'ai plus peur de discuter avec les autres. Avec ACURIS™ Life, je redécouvre le plaisir de communiquer. » Juin 2005

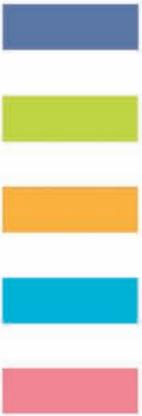
« Avec ACURIS, tout devient plus clair et les malentendus ne sont pour moi qu'un mauvais souvenir » Février 2005



**Xtra** Précis

**Xtra** Technique

**Xtra** Confortable



**Xtra** Résultats



La nouvelle génération est dotée d'un anti-larsen par opposition de phases.

Le nouveau design du tube et de l'embout KlearFit™ est destiné à optimiser le confort et la tenue dans l'oreille.

**Xtra** Satisfaisant



STARKEY FRANCE

23 rue Claude Nicolas Ledoux Europarc 94045 CRETEIL CEDEX  
Tél. 01 49 80 74 74 • Fax 01 49 80 04 92 • [www.starkeyfrancepro.com](http://www.starkeyfrancepro.com) • [www.starkey.fr](http://www.starkey.fr)

