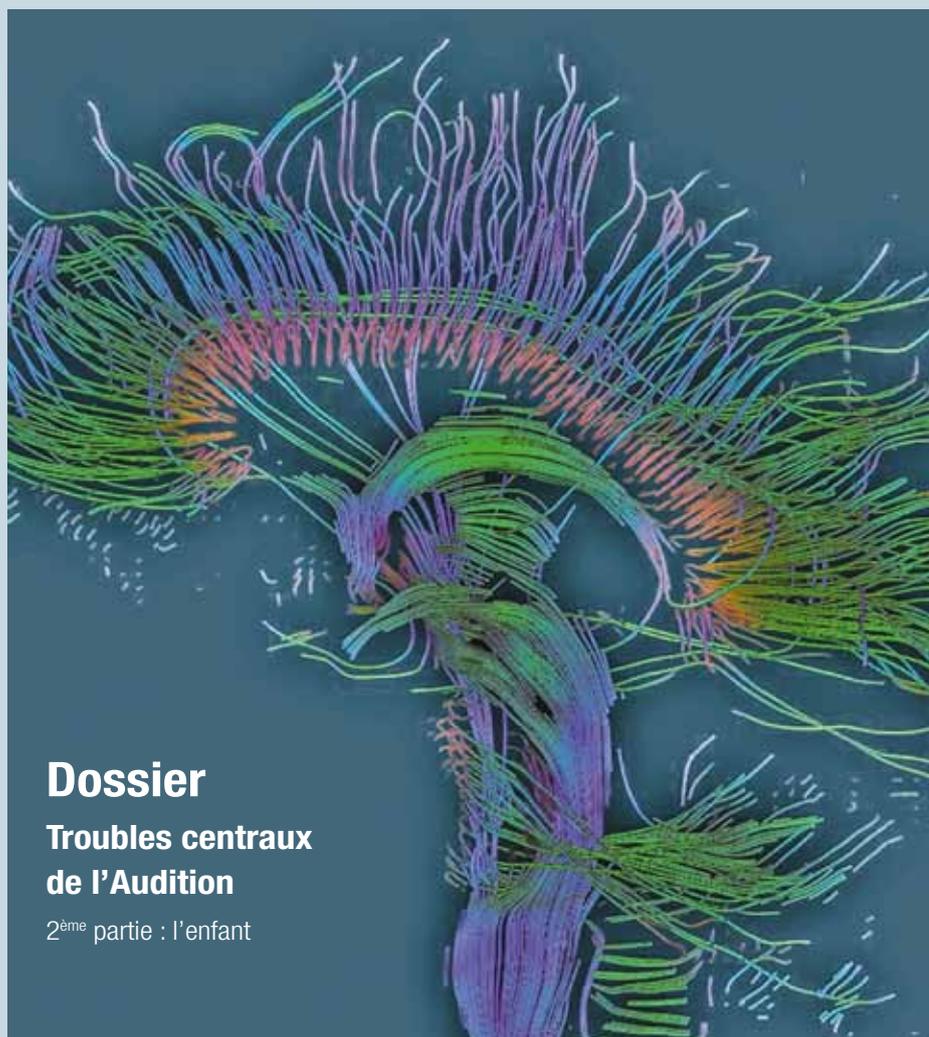


Les Cahiers de *l'Audition*

La revue du Collège National d'Audioprothèse

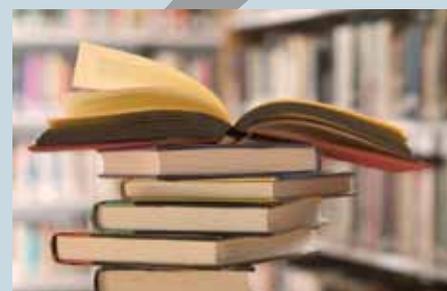
Volume 24 - Janvier-Février 2011 - Numéro 1



Dossier

Troubles centraux
de l'Audition

2^{ème} partie : l'enfant



Notes de lecture



Veille Technique



Actualités



Métier et technique

Calibrage de l'audiomètre :
ce qu'il faut savoir Yves LASRY



Cas clinique

Patiente Hyperacousique
Hervé BISCHOFF



Interview

Professeure Christine PETIT

Naída S



La gamme du plaisir auditif surpuissant

Naída S est la nouvelle solution de référence pour les personnes atteintes de pertes auditives moyennement sévères à profondes. Il offre deux modèles résistants à l'eau, SuperPower (SP) et UltraPower (UP), à trois niveaux de prix et de performances.

- **Encore plus d'audition**, pour atteindre les plus hauts niveaux d'audibilité
- **Encore plus d'environnements** où apprécier le plaisir auditif surpuissant
- **Encore plus de flexibilité** grâce à l'intelligence adaptative

Audibilité. Fiabilité. Spice.

www.phonakpro.com

www.1000reasonsfornaída.com

PHONAK

life is on

3 Les nouveaux Cahiers de l'Audition

Christian RENARD

4 Mot du président

Eric BIZAGUET

6 Dossier scientifique

7 Trouble du Traitement Auditif chez les enfants présentant un Trouble Spécifique du Langage

Evelyne VEUILLET, Hung THAI-VAN

24 Troubles centraux de l'audition dans l'autisme

Nicole BRUNEAU, Marie GOMOT, Frédérique BONNET-BRILHAULT, Catherine BARTHÉLÉMY

28 Apports de l'imagerie cérébrale dans l'exploration d'un trouble central tel que l'autisme

Arnaud COEZ

32 Les troubles auditifs centraux chez les jeunes enfants

Laurent DEMANEZ, Jean-Pierre DEMANEZ

39 Remédiation des troubles auditifs centraux chez les enfants

Marie-Pierre MASQUELIER

48 Métier et technique

Calibrage de l'audiomètre : ce qu'il faut savoir

Yves LASRY

56 Cas cliniques

Patiente Hyperacousique

Hervé BISCHOFF

60 Interview

Professeure Christine PETIT

67 Notes de lecture

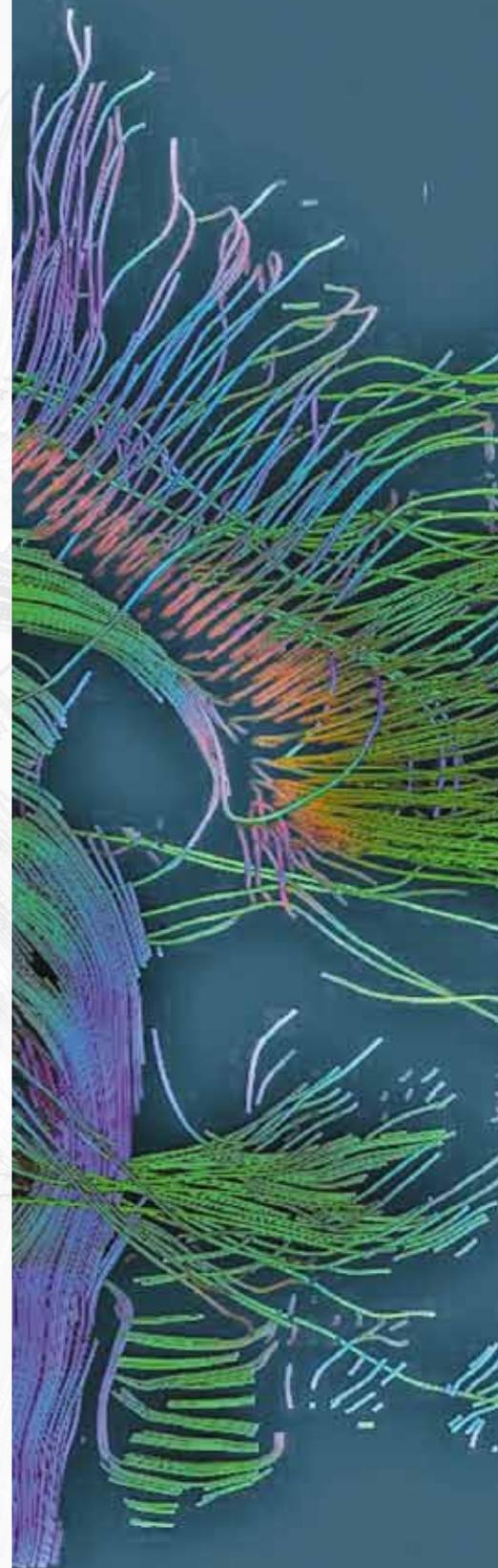
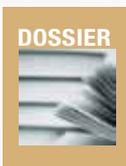
François DEGOVE

71 Veille Technique

Biotone - Oticon - Siemens - Starkey - Widex

78 Actualités

83 Annonces



Les Cahiers de l'Audition, la revue du Collège National d'Audioprothèse

Editeur

Collège National d'Audioprothèse
Président Eric BIZAGUET
LCA - 20 rue Thérèse
75001 Paris
Tél. 01 42 96 87 70
eric.bizaguet@lcab.fr

Directeur de la publication

Christian RENARD
50, rue Nationale
59 000 Lille
Tél. 03 20 57 85 21
contact@laborenard.fr

Rédacteur en chef

Paul AVAN
Faculté de Médecine
Laboratoire de Biophysique
28, Place Henri DUNANT - BP 38
63001 Clermont Ferrand Cedex
Tél. 04 73 17 81 35
paul.avan@u-clermont1.fr

Rédacteur et responsable scientifique

Arnaud COEZ
LCA - 20 rue Thérèse
75001 Paris
Tél. 01 42 96 87 70
arnaud.coez@lcab.fr

Conception et réalisation

MBQ
Stéphanie BERTET
32, rue du Temple
75004 Paris
Tél. 01 42 78 68 21
stephanie.bertet@mbq.fr

Abonnements, publicités et annonces

Collège National d'Audioprothèse
Secrétariat
10, rue Molière - 62 220 Carvin
Tél. 03 21 77 91 24
College.Nat.Audio@orange.fr

Dépot Légal à date de parution

Janv./Fév. 2010 Vol. 24 N°1
Imprimé par Néo-typo - Besançon

Le Collège National d'Audioprothèse

Président



Eric
BIZAGUET

1^{er} Vice Président



Frank
LEFEVRE

2^e Vice Président



Christian
RENARD

Présidents d'honneur



Jacques
DEHAUSSY



Xavier
RENARD

Membres du Collège National d'Audioprothèse



Kamel
ADJOUT



Patrick
ARTHAUD



Jean-Claude
AUDRY



Bernard
AZEMA



Jean
BANCONS



Jean-Paul
BERAHA



Hervé
BISCHOFF



Geneviève
BIZAGUET



Jean-Jacques
BLANCHET



Daniel
CHEVILLARD



Arnaud
COEZ



Christine
DAGAIN



Ronald
DE BOCK



Xavier
DEBRUILLE



François
DEGÈVE



Jean-Baptiste
DELANDE



Charles
ELCABACHE



Robert
FAGGIANO



Stéphane
GARNIER



Thierry
GARNIER



Grégory
GERBAUD



Eric
HANS



Bernard
HUGON



Jérôme
JILLIOT



Yves
LASRY



Stéphane
LAURENT



François
LE HER



Maryvonne
NICOT-MASSIAS



Benoit
ROY



Claude
SANGUY



Philippe
THIBAUT



Jean-François
VESSON



Frédérique
VIGNAULT



Alain
VINET



Paul-Edouard
WATERLOT

Membres honoraires du Collège National d'Audioprothèse



Jean-Pierre
DUPRET



Jean
OLD



Georges
PEIX

Membres Correspondants étrangers du Collège National d'Audioprothèse



Roberto
CARLE



Léon
DODELE



Philippe
ESTOPPEY



André
GRAFF



Bruno
LUCARELLI



Leonardo
MAGNELLI



Carlos MARTINEZ
OSORIO



Thierry
RENGLET



Juan Martinez
SAN JOSE



Christoph
SCHWOB



Elie EL ZIR
Membre Correspondant étranger associé

Présentation des nouveaux Cahiers de l'Audition

Chers confrères et lecteurs,

Vous tenez dans vos mains le premier numéro de la nouvelle version des Cahiers de l'Audition !

En effet, c'est avec grand plaisir que le Collège National d'Audioprothèse a repris en charge la publication de cette revue institutionnelle de la profession. Au fil des décennies, les Cahiers de l'Audition ont su sans cesse s'adapter aux constantes évolutions de notre métier.

C'est dans le cadre de ces évolutions et des réflexions menées au sein du Collège National d'Audioprothèse que cette nouvelle version s'est mise en place avec un objectif précis : être un outil d'information et de formation dynamique et adapté, au service de tous les audioprothésistes. Deux mesures importantes ont été adoptées pour atteindre cet objectif :

1. Distribution gratuite à tous les audioprothésistes français

Tous les audioprothésistes français recevront gratuitement les 6 numéros annuels des Cahiers de l'Audition. Il en sera de même pour tous les étudiants de 2^{ème} et 3^{ème} année des 5 facultés d'enseignement d'audioprothèse. C'est le Secrétariat du Collège National d'Audioprothèse qui va gérer la tenue et le suivi de ces listings. Les audioprothésistes ayant déjà souscrit et payé un abonnement auprès des Editions Elsevier Masson pour l'année 2011 peuvent se faire rembourser, en contactant directement le Secrétariat du Collège National d'Audioprothèse.

2. Refonte du contenu éditorial

Notre analyse des attentes des audioprothésistes nous a amené à faire évoluer très significativement le contenu des Cahiers. Une nouvelle équipe éditoriale, sous la responsabilité d'Arnaud COEZ, rédacteur et responsable scientifique de la revue, a donc procédé à différentes modifications, selon deux grands axes :

✓ Le maintien et l'évolution de certaines rubriques

Le Dossier Scientifique reste évidemment l'élément majeur de la revue, avec la volonté de toujours présenter aux lecteurs un contenu scientifique de haut niveau. Pour ce premier numéro, notre dossier est consacré aux troubles centraux de l'audition chez l'enfant. La richesse et la qualité de ce dossier, conduit par Jean-Louis COLLETTE en collaboration avec 10 auteurs de référence, témoignent du niveau souhaité pour cette rubrique.

Les Notes de Lecture vous exposent l'essentiel des nouvelles publications. Les descriptions et critiques de ces ouvrages, rédigées par François DEGOVE, constituent un intérêt majeur dans la connaissance et la volonté d'acquisition de ces éléments bibliographiques.

La Veille Technique, rubrique de présentation des évolutions technologiques, est désormais prise en charge

par une nouvelle équipe rédactionnelle, sous l'impulsion d'Arnaud COEZ et de Stéphane LAURENT. Leur collaboration avec les industriels va se concrétiser par la mise en place de nouveaux modes d'analyses et de présentation que vous découvrirez dans les prochains numéros.

Les Actualités nous rendent compte des informations importantes relatives au monde de l'audiologie : compte-rendu d'évènements, faits marquants de la profession, agenda des congrès à venir, etc.

✓ La création de rubriques inédites présentes à chaque numéro

Le Mot du Président ouvre désormais la revue : c'est l'occasion pour Eric BIZAGUET, Président du Collège National d'Audioprothèse, de vous présenter l'activité du Collège et de faire le point sur les dossiers en cours.

Métiers et Techniques constitue une rubrique de formation pour tous les audioprothésistes, relative à des questions techniques du quotidien. Pour ce numéro, Yves LASRY vous présente un article traitant de la problématique de l'étalonnage en audiométrie.

Le Cas Clinique, véritable témoignage de terrain, est un cas de prise en charge de patient qui sera traité par un audioprothésiste différent à chaque parution. C'est Hervé BISCHOFF qui inaugure cette nouvelle rubrique, en nous exposant le cas d'un appareillage d'un patient hyperacousique.

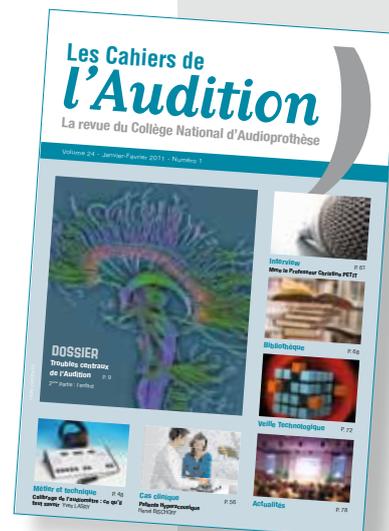
L'Interview vous permet de profiter de l'expérience d'une grande personnalité. Scientifique, chercheur, médecin ou autre professionnel à forte notoriété : de nombreux sujets seront abordés afin de vous apporter leur éclairage dans leur domaine de compétences. Vous pourrez découvrir dans ce numéro, l'interview du Professeure Christine PETIT, Professeure au Collège de France, qui nous a fait l'honneur de prendre quelques heures de son temps précieux pour répondre à nos questions.

Les Annonces sont désormais à disposition de tous les professionnels : recherche et offre d'emploi, achat et vente de matériel, cession et reprise de fonds de commerce, etc.

Toutes ces évolutions sont d'ores et déjà le fruit d'une réflexion soutenue au sein du Collège National d'Audioprothèse. Elles se développeront au cours des futures parutions, afin de toujours vous proposer une revue de grande valeur, faite par des audioprothésistes pour des audioprothésistes.

Je vous en souhaite une excellente lecture.

Christian RENARD
Directeur de la Publication





Le mot du Président du Collège

Eric BIZAGUET

Notre métier évolue et partager son évolution avec le plus grand nombre doit conduire à **une harmonisation de nos connaissances, de nos formations et de nos actions.**

En reprenant la rédaction et la distribution des Cahiers de l'Audition, Le Collège National d'Audioprothèse se dote d'une **tribune réalisée par des professionnels pour des professionnels.**

Les Cahiers de l'Audition deviennent les Cahiers de l'Audition, la revue du Collège National d'Audioprothèse.

Pour être la revue de tous les professionnels, le Collège National d'Audioprothèse a opté pour deux décisions majeures.

En premier, une distribution sans abonnement à l'ensemble des Audioprothésistes référencés en France. La raison en est simple. Le Collège a une mission qui lui a été confiée par les pères de notre profession, également créateurs du premier syndicat, celle d'être la référence de la formation et son garant scientifique. Il doit donc participer à la formation des futurs diplômés en disposant d'un corps professoral à la disposition des directeurs d'enseignement, mais aussi être l'un des bras actifs de la formation continue. Le développement professionnel continu sera rendu obligatoire du fait de la mise en application du plan Hôpital Patients Santé Territoire (HPST).

Les différents EPU passés sont la démonstration de cette formation. Celui de 2010, traitant de l'acouphène et de sa prise en charge, regroupait plus de 900 participants à Paris. Et celui de 2011, axé sur la presbyacousie et la surdité du 4^{ème} âge, devrait connaître un succès identique.

Comprendre les impacts de l'âge sur l'audition et les structures centrales de décodage, pouvoir expliquer au déficient auditif son passé pour lui préparer un avenir de qualité grâce à l'appareillage auditif, établir un protocole d'appareillage en tenant compte des compensations mises en place, mieux évaluer les troubles de la mémoire pour les intégrer dans la démarche prothétique, apprendre à travailler en commun avec les équipes hospitalières et surtout mieux connaître la nouvelle génération des papy boomers, notre clientèle de demain, dont les attentes et les besoins sont en profonde rupture avec celles de leur aînés.

En second, une refonte du contenu éditorial, une plus grande vulgarisation d'articles de fond nécessaires à une mise en application pratique des dernières données scientifiques et la création de nouvelles rubriques.

Les Cahiers de l'Audition seront organisés autour de sept rubriques pour informer et transmettre notre présent à la profession, mais aussi pour valoriser les actes majeurs constitutifs de notre activité : le choix prothétique et le service indissociable d'adaptation, de suivi et de contrôle audioprothétique.

Transmettre le présent dans cette époque mouvante au

travers des éditos et des actualités touchant notre profession et le monde de l'Audiologie. Interviewer une personnalité de référence sur un sujet d'actualité. Créer une rubrique métier décrivant de façon pratique notre activité.

Pour la première, Yves LASRY nous rappelle de façon simple et non exhaustive les règles de base concernant l'étalement.

La veille technologique, un sujet crucial au regard du foisonnement extraordinaire des progrès en neurophysiologie, en sciences cognitives, en acoustique, en phonétique, en électronique et en informatique. L'idée, privilégier une démarche technologique pour lui donner sa place réelle et la valoriser.

Transmettre la pratique par l'exposé de cas cliniques balayant tous les profils de surdité et apporter des informations et des réponses pour une mise en application immédiate. Pour finir, les notes de lecture résumant les articles récents afin de permettre l'accès à une découverte rapide de sujets innovants, avec évidemment les références pour aller plus loin.

Ces rubriques sont complémentaires et doivent s'intégrer dans la pratique quotidienne de l'audioprothésiste, non en devenant une revue privilégiant le quotidien comme le font très bien d'autres revues, mais en intégrant davantage des objectifs de moyen-long terme pour la profession dans sa démarche.

Constituer un savoir commun qui représente une véritable valeur ajoutée pour poursuivre avec l'UNSAF la mise en place d'un référentiel professionnel et qui protège nos patients en leur assurant une prise en charge professionnelle de qualité. Les services sont au cœur de notre métier.

Cette décision d'une distribution large des Cahiers de l'Audition, la revue du Collège National d'Audioprothèse, coïncide avec le fait marquant de l'année 2011: la création d'un syndicat unique, représentatif de tout audioprothésiste du fait de la fusion des 3 syndicats d'audioprothésistes préexistants.

Cette évolution vers un seul syndicat permet un message unique de la part des audioprothésistes et ne doit pas empêcher une discussion en interne entre les différents syndiqués.

Cette fusion était devenue nécessaire du fait de l'apparition de nouvelles contraintes au niveau régional obligeant à une mise en commun des moyens, mais aussi des connaissances.

Le Président Benoît ROY pourra s'appuyer sur Patrick ARTHAUD, Frédéric BESVEL et Catherine CATELIN, les Présidents des anciens syndicats, pour coordonner une action en mutualisant non seulement les partenaires de l'ancien UNSAF, mais en créant une dynamique avec l'ensemble des Conseils d'Administration.

Notre profession est en grande mutation et le message du Collège National d'Audioprothèse ne va pas dans le sens d'un protectionnisme ou d'une défense à tout prix de situations acquises, mais d'une adaptation de l'existant aux nouveaux intervenants et modes de distribution.

Avec un élément clé, être et rester le garant scientifique de cette évolution.

S'adapter en respectant les professionnels en place, à la pyramide des âges, au nombre d'audioprothésistes formés, aux progrès technologiques, aux nouveaux partenaires, imposés ou non, et aux demandes législatives. Respecter son périmètre en créant des partenariats et en jouant son rôle de société savante, avec en ligne de mire le respect de l'éthique et de la liberté de l'autre. Respecter les nouvelles évolutions en les analysant et éventuellement en les canalisant de façon à permettre à notre profession de rester maître de son destin, au service des déficients auditifs.



« Mon souhait le plus grand : **rester une profession indépendante** où le choix du patient est respecté et

où la qualité de service reste un élément clé de ce choix. Notre objectif est de suivre les dossiers existants en étant une source de proposition auprès de l'ensemble des professionnels. »

Plusieurs dossiers sont d'ailleurs en cours et demandent une réponse : ré-ingénierie du diplôme d'audioprothésiste, passage vers un système universitaire de type licence-master-doctorat (LMD), nouveaux programmes d'enseignements, formation continue obligatoire, évaluation des pratiques professionnelles, normalisation des services (CEN-AFNOR), convention avec les pouvoirs publics, remboursement des appareils auditifs, partenariat positif avec les assureurs et les mutuelles, etc.

Notre profession est d'ailleurs à l'aube d'un développement important, du fait de la pyramide des âges de la population générale, mais aussi selon les voies d'évolution qu'elle empruntera.

La première voie est de rester une profession paramédicale où le service est le fil directeur, l'élément clé indispensable, et heureusement indissociable du choix prothétique, car rien n'est plus difficile que d'adapter un appareil dont la sélection initiale est erronée.

Pour aller dans cette voie, il faut poursuivre la consolidation de notre métier en tentant de valoriser sans cesse l'humain et en s'adaptant technologiquement pour restituer à un nombre toujours plus grand de patients la qualité de vie dont ils rêvent.

Une autre possibilité d'évolution professionnelle serait de privilégier une démarche commerciale, de quitter le modèle actuel régulé pour une distribution sans régulation, ouverte à tous, où le terme appareil auditif ne sera plus protégé, où les règles de publicité permettront une agressivité et un racolage très éloignés de la satisfaction du patient et de la qualité actuelle.

Entre ces deux voies extrêmes, notre profession doit accepter le changement et en tout cas, ne pas craindre le **futur** car la qualité sera toujours sur le long terme nécessaire à la satisfaction du patient. Le patient ne peut être mis en équation et l'interface représentée par l'audioprothésiste entre ses besoins et la technologie ne peut que voir sa place renforcée.

Ma seule crainte réelle ne vient pas des professionnels eux-mêmes, mes confrères, mais des réseaux de prise en charge qui pourraient remettre en question le libre choix du praticien par le patient, créer des filières, obliger à un choix de réseau, méconnaître que la recherche de qualité a un coût et que rien n'est plus cher qu'un appareil dont l'efficacité ne permet pas une réhabilitation sociale de qualité.

Cette démarche de qualité est d'ailleurs la projection vers le futur voulue par l'UNSAF et partagée par le Collège National d'Audioprothèse. La normalisation CEN-AFNOR est l'une des premières étapes vers une prise en charge de qualité par tous les professionnels.

Un autre front, où l'UNSAF est attendue, est celui des assureurs et des réseaux fermés. **L'ouverture de négociation et de clarification avec ces entités est indispensable et elle doit s'intégrer dans le cadre législatif actuel.** Tous les moyens doivent être utilisés pour faire comprendre l'importance du respect de la liberté du choix prothétique et des services associés qui constituent le cœur de notre métier.

Et le dialogue est possible, car tous ces organismes ne sont pas à la recherche d'une solution où seule la logique comptable est prise en compte. Pour la plupart, la volonté d'avoir des patients bien pris en charge avec un résultat de qualité primera. Il existera de toute façon un effet boomerang car la démarche actuelle de certaines de ces entités, qui est d'ériger le prix de l'appareil en priorité absolue alors que les appareils auditifs sont des dispositifs médicaux opérateurs dépendants, ne peut les conduire qu'à la sélection de professionnels, pour qui la rentabilité attendue ne peut exister qu'avec une diminution de la qualité de la prise en charge.

La voie choisie par les Cahiers de l'Audition, la revue du Collège National d'Audioprothèse est de faire la synthèse des évolutions commerciales, technologiques et scientifiques utiles pour **privilégier une prise en charge avec une éducation prothétique de qualité et un service indispensable à la satisfaction** du patient et des professionnels de l'audition.

Mon souhait est que de nombreux audioprothésistes s'approprient cette revue, qu'ils y trouvent des informations leur permettant de comprendre les démarches en cours et qu'ils participent par la voie de leur adhésion à l'UNSAF à la défense de leur futur.

> Dossier

Troubles centraux de l'Audition : l'enfant

7 Trouble du Traitement Auditif chez les enfants présentant un Trouble Spécifique du Langage

Evelyne VEUILLET, Hung THAI-VAN

24 Troubles centraux de l'audition dans l'autisme

Nicole BRUNEAU, Marie GOMOT, Frédérique BONNET-BRILHAULT,
Catherine BARTHÉLÉMY

28 Apports de l'imagerie cérébrale dans l'exploration d'un trouble central tel que l'autisme

Arnaud COEZ

32 Les troubles auditifs centraux chez les jeunes enfants

Laurent DEMANEZ, Jean-Pierre DEMANEZ

39 Remédiation des troubles auditifs centraux chez les enfants

Marie-Pierre MASQUELIER

Troubles du Traitement Auditif

chez les enfants présentant un Trouble Spécifique du Langage



Après un premier tome, plutôt théorique, sur le Traitement Auditif (TA) et ses moyens d'exploration, ce deuxième tome dans la trilogie des Cahiers de l'Audition consacré aux processus auditifs (centraux) va être centré sur le trouble du traitement auditif (TTA) chez l'enfant. Ce chapitre va plus particulièrement faire un point des connaissances sur le TTA en relation avec d'autres types de déficits, à savoir ceux rencontrés chez les enfants avec Troubles d'Apprentissage et plus particulièrement les troubles spécifiques du langage (TSL) oral (dysphasie) et écrit (dyslexie développementale).

Rappelons que selon l'ASHA (2005)¹, le terme de TTA est utilisé pour décrire des difficultés variées dans la localisation, la discrimination, la reconnaissance et l'extraction de messages auditifs, plus particulièrement en milieu peu favorable d'écoute (bruit de fond, locuteurs multiples...). Ce trouble s'observe chez des sujets sans déficience mentale et qui, testés dans des conditions aussi peu écologiques que peut être une cabine insonorisée, présentent des seuils auditifs normaux témoignant d'un appareil auditif périphérique parfaitement fonctionnel. Sa prévalence exacte reste à ce jour mal connue. D'abord estimée à 2-3% par une étude américaine (1), une étude britannique plus récente l'évalue à 7% (2). Le concept de TTA est ancien (3) mais a réellement pris son essor dans les années 70-80, en parallèle avec l'intérêt sociétal grandissant pour les retards d'acquisition du langage, eux-mêmes associés à des difficultés scolaires. Son diagnostic est difficile et se complique du fait qu'il se révèle au travers d'une large variété de difficultés persistantes d'écoute (4) et de nombreux désordres de la communication, très souvent présents chez des sujets avec troubles d'apprentissage scolaires et qui sont exacerbés dans des conditions acoustiques défavorables (5).

Quels sont les signes comportementaux devant faire suspecter l'existence d'un TTA chez l'enfant ?

Un enfant avec un TTA :

- a du mal à prêter attention à ce qu'il entend et présente des difficultés pour mémoriser une information présentée oralement, la conséquence étant des difficultés pour suivre des consignes orales, surtout multiples ;
- est facilement distrait ou anormalement gêné par des

bruits venant de l'environnement (« bruit de fond » intense ou apparaissant brutalement) ;

- présente des difficultés pour converser dans des environnements bruyants (magasins, restaurants, voiture...) mais se sent plus à l'aise dans le calme ;
- est gêné pour suivre les conversations, plus particulièrement en présence de plusieurs locuteurs adoptant alors une attitude passive dans la communication ;
- n'est jamais certain de ce qu'il entend et questionne souvent « Quoi ou Hein ? » ;
- présente une lenteur dans ses réponses orales qui sont par ailleurs souvent inappropriées ;
- présente des difficultés pour apprendre des comptines ou des chansons et de faibles compétences en musique ;
- présente des problèmes pour lire, épeler ;
- présente des résultats scolaires faibles en français (lecture, écriture) et en mathématiques (tables de multiplication, résolution de problèmes) ;
- présente des problèmes de comportement.

Ces enfants, présentant un tableau clinique de TTA sont jugés par leurs enseignants comme de faibles auditeurs surtout en présence de bruit (6).

A la lecture de cette liste, qui précisons-le n'est ni hiérarchisée par ordre d'importance des symptômes, ni exhaustive, il est évident que parents et enseignants jouent un rôle primordial dans la détection d'un TTA chez l'enfant. Mais dans nos contrées européennes (et surtout francophones), ce trouble n'est que rarement recherché en première intention. En effet, face à un enfant dont les difficultés scolaires persistent, on va d'abord se poser la question de l'existence d'un trouble « dys » comme par exemple une dysphasie (trouble spécifique du langage oral), une dyslexie (trouble spécifique de la lecture), une dysorthographe (trouble spécifique de l'orthographe), une dyspraxie (troubles psychomoteurs), une dyscalculie (trouble spécifique du calcul ou des mathématiques) dans un contexte ou non de trouble déficitaire de l'attention sans ou avec hyperactivité. La question alors posée est donc celle de l'existence d'un trouble spécifique d'apprentissage (TSA).

Ce terme, proposé pour la 1^{ère} fois par l'équipe du psychologue Samuel Kirk dans les années 1980 (7), rend compte d'une carence liée au traitement de l'information. Un TSA se manifeste par des retards de développement ou par des difficultés dans différents domaines comme la lecture (lente et avec beaucoup d'inexactitudes), l'écriture, l'orthographe, le calcul, l'attention, la mémoire, le raisonnement, la coordination, la communication, la sociabilité mais également la maturité affective.

Les problèmes découlant d'un TTA et d'un TSA ont beaucoup de points en commun, ce qui rend possible leur co-existence (5), d'ailleurs reconnue par l'ASHA (2005) comme complexifiant le diagnostic différentiel (8). Or lorsque les enfants sont évalués au moyen de batteries de tests recommandées par l'ASHA (2005), une prévalence

¹ Selon l'ASHA. (2005) (Central) Auditory Processing Disorders [technical report]. Available from www.asha.org/policy: American Speech Language Hearing Association construit à partir d'un rapport technique (ASHA Taskforce on Central Auditory Processing Consensus Development (1996) Central auditory processing: Current status of research and implications for clinical practice. Am J Audiol 5: 41-54: un TTA se définit comme des problèmes dans au moins un des phénomènes comportementaux auditifs suivants : la localisation dans l'espace et la latéralisation du son, la discrimination auditive, la reconnaissance de configurations auditives, la réponse aux aspects temporels du son (intégration, discrimination, classement, masquage) et l'extraction de l'information auditive d'environnements acoustiques défavorables (par ex. bruit de fond ou multiples orateurs).

**Evelyne VEUILLET,
Hung THAI-VAN**

Centre de Recherche en
Neurosciences de Lyon,
INSERM U1028, CNRS
UMR 5292, Université
Lyon 1 – Université de
Lyon – Groupe Parole
Audiologie Communi-
cation Santé (PACS),
Service d'Audiologie
et d'Explorations
Orofaciales, Pavillon U,
Hôpital Edouard Herriot,
Place d'Arsonval, 69437
Lyon Cedex 03.

élevée de difficultés de langage oral et/ou écrit est rapportée parmi les enfants diagnostiqués comme ayant un TTA (1), et à l'inverse en présence de dyslexie par exemple, plus de 50% des enfants échouent à au moins 2 tests et tous à au moins un test (voir revue pour revue (9)). Ces co-morbidités ont été confirmées par la suite chez l'adulte (10) mais aussi chez l'enfant pour qui il a été observé que sur 23 enfants dyslexiques, tous échouaient au moins à l'une des épreuves mesurant les processus auditifs (11). Mais ces pourcentages de co-occurrence entre TTA et TSL varient d'une étude à l'autre, sans doute à cause de l'hétérogénéité des populations. Récemment, il a été par exemple rapporté que sur 68 enfants âgés entre 7 et 12 ans, suspectés de TTA, les 47% qui sont effectivement atteints présentent un trouble additionnel du langage, seulement 4% étant des « purs TTA » (12). Une autre étude rapporte que sur 127 enfants présentant un TSA, 43,3% présentent un TTA dont 25% sont dyslexiques (13). Deux études publiées dernièrement viennent confirmer l'existence de cette co-morbidité. L'une compare deux groupes d'enfants (avec TTA vs avec dyslexie) au niveau du profil psychométrique (lecture, QI non verbal...) et auditif (batterie de tests de TA). Il apparaît que plus de la moitié des enfants (13 sur 25) avec TTA remplissent les critères diagnostiques de la dyslexie, de la dysphasie ou des deux ; inversement les enfants du groupe des dyslexiques ont des scores similaires à ceux des enfants avec TTA aux épreuves de traitement auditif (14). Cela veut donc dire que les deux populations ont bien des points communs. Toutefois, les enfants avec TTA tendent à avoir les problèmes les plus sévères, certains d'entre eux présentant des traits autistiques comme une indifférence ou au contraire une hypersensibilité à certains sons. Dans l'autre, il est rapporté qu'en dépit de diagnostics cliniques différents, les enfants avec TTA présentent des profils neuropsychologiques et audiologiques semblables à ceux présentant un TSL oral (15). Ainsi TTA et TSL oral et/ou écrit co-existent, mais en revanche aucun lien n'existe entre les compétences auditives centrales et habiletés en lecture chez l'enfant se développant normalement, cela suggérant que les outils d'évaluations des processus auditifs ne permettent pas de prédire le développement de la lecture (16).

Quels sont les déficits auditifs présents chez les enfants avec Trouble Spécifique du Langage (TSL) ?

1

Etudes comportementales

1. Déficits de traitement des stimuli auditifs non verbaux

L'explosion des recherches consacrées aux déficits du traitement auditif chez les enfants avec TSL a donc eu lieu dans les années 70-80. Elle a été initiée par une psycholinguiste américaine, Paula Tallal, qui a été la première à émettre l'hypothèse selon laquelle un aspect spécifiquement temporel du TTA serait sous-jacent au déficit du langage. Tout d'abord, il a été mis en évidence, chez 12 enfants présentant des difficultés d'acquisition du langage oral (qualifiés d'aphasiques) des déficits lors de tâches de « répétition »² (ou juge-

ment d'ordre temporel (JOT)) de 2 sons non verbaux consistant en sons complexes se différenciant par leur fréquence fondamentale (100 vs 305 Hz) (17). Ces enfants font significativement plus d'erreurs que les enfants contrôles en présence de sons courts (75 ms) plutôt que longs (250 ms), et/ou lorsque l'intervalle inter-stimulus (IIS) est court (150 ms) plutôt que long (300 ms). Puis ce déficit a été retrouvé chez des enfants dyslexiques qui se sont révélés être déficitaires pour discriminer et ordonner ces mêmes types de stimuli brefs séparés par de courts IIS de 40 ms, tandis que leurs performances se normalisent lorsque ces IIS sont allongés à 500 ms (18). Alors que seulement 9 des 20 enfants dyslexiques réussissent moins bien que les enfants normolecteurs pour les IIS courts (< 305 ms) et qu'en plus certains enfants contrôles sont également en échec, il a été toutefois conclu, et renforcé entre temps (19), que les enfants dyslexiques présentent un déficit pour traiter des stimuli brefs qui se succèdent rapidement comme c'est le cas des événements acoustiques transitoires rapides (20). A ces différences entre groupes, s'ajoute l'existence de corrélations significatives entre ces compétences auditives mesurées lors de ces tâches non verbales et les habiletés en lecture. Il a donc été suggéré l'existence, chez ces enfants avec TSL d'une limite anormalement basse de vitesse de traitement de l'information auditive qui impacterait le traitement phonologique et contribuerait aux problèmes d'acquisition de la lecture. Il s'agit de la théorie bien connue sous le nom de « déficit du Traitement Auditif Temporel (TAT) rapide » (voir pour revues 21 et 22). Il fut par la suite rendu compte du rôle néfaste d'un tel déficit sur le développement précoce du langage et son rôle prédictif sur les performances langagières ultérieures. Ces faibles compétences de discrimination, spécifiques aux stimuli non verbaux se succédant trop rapidement, et leur lien avec les déficits de conscience phonologique ont été ultérieurement retrouvés chez des sous-groupes (entre 30-90%) d'enfants dyslexiques (voir pour récente étude (23). Ces corrélations existeraient de l'enfance jusqu'à l'âge adulte et celles mesurées en période préscolaire prédiraient de manière significative la précision en lecture de mots au 1^{er} cycle (Grade I).

Mais actuellement, présenter, comme l'a fait Tallal (2004) (24), cette incapacité à résoudre les sons brefs se succédant rapidement comme la cause de la dyslexie serait bien réducteur et beaucoup de travaux remettent en question cette théorie. Déjà parce que même si de faibles performances aux tests de TAT caractérisent certains enfants avec TSL, ils sont aussi nombreux à parfaitement réussir ces épreuves (25) laissant à penser que ce déficit n'est présent que dans des sous-groupes d'enfants. Ces différences ont même parfois été qualifiées de « marginalement significatives » et comme n'étant pas significativement plus marquées quand l'IIS diminue (26). De plus, il existe d'importants chevauchements entre les populations, certains enfants pourtant normolecteurs présentant des performances moins bonnes que les enfants avec TSL et inversement (voir pour étude récente (27). Non seulement la spécificité est faible mais en plus, il y a un manque crucial de reproductibilité et de réplication des résultats pouvant s'expliquer par une forte hétérogénéité des populations non seulement en taille mais aussi par les caractéristiques cliniques des sujets inclus. Ces résultats, finalement très inconsistants ont conduit à penser qu'un TAT déficitaire n'impacte pas systématiquement les compétences langagières et que des déficits lors d'épreuves de jugement de similarité et de classement de sons ne caractérisent pas de manière universelle les individus avec TSL. A ce jour, il est certain qu'ils ne sont certainement pas la seule cause

² Tâche de répétition : c'est la version modifiée d'une épreuve de jugement d'ordre temporel (JOT). Une tâche de JOT consiste d'abord à présenter isolément deux stimuli différents (1 et 2) que le sujet identifie en donnant sa réponse par appui sur des boutons. Puis les deux sons sont présentés par paires à des ISI variables et le sujet doit indiquer l'ordre de présentation de ces deux sons par appui sur ces boutons. A la différence d'une tâche standard de JOT où seulement deux ordres de présentation des stimuli sont proposés (1-2 ou 2-1), une tâche de répétition comprend 4 types de présentations (1-2 ;

2-1 ; 1-1 ; 2-2), ce qui permet de mesurer simultanément les capacités de jugement d'ordre et celles de discrimination de différence entre les stimuli.



à l'origine des problèmes rencontrés par l'enfant dysphasique et/ou dyslexique (27). D'ailleurs les liens significatifs entre les performances mesurées lors de tâches phonologiques ou de lecture et le TAT ne sont pas toujours retrouvés et pourraient ne concerner que les enfants présentant une dyslexie qui a été précédée d'un déficit de langage oral. De même, le caractère prédictif de ce déficit sur les compétences ultérieures en lecture a également été remis en question ce qui argumente en faveur de la conclusion suivante : « le déficit auditif n'est une cause ni nécessaire, ni suffisante d'un déficit langagier » (28).

Toutefois, d'autres mesures psychoacoustiques sont en faveur d'anomalies du TAT chez l'enfant avec TSL. En tout premier lieu, il y a celles mettant en jeu les capacités de masquage rétrograde. Des déficits lors de cette épreuve sont très certainement imputables à des dysfonctionnements intéressant les mêmes processus auditifs que ceux impliqués dans les tests utilisés par l'équipe Tallal. En effet, dans une épreuve de répétition durant laquelle deux sons sont administrés successivement, il est probable que le second son interfère avec le premier et cela d'autant plus que l'IIS est bref. Or d'importantes anomalies, spécifiques à la condition de masquage rétrograde mais non présentes dans les conditions de masquage antérograde ou simultanée ont été rapportées chez l'enfant dysphasique (29) mais aussi, même si les différences sont moins nettes, chez l'enfant dyslexique (30). En second lieu, certaines études ont consisté à comparer les seuils de discrimination fréquentielle entre des enfants avec et sans trouble du langage. Cette mesure repose sur des mécanismes neuronaux de verrouillage de phase. Or ces seuils ont été trouvés comme étant anormalement élevés chez l'enfant dyslexique (31 ; 32) mais aussi dysphasique (33 ; 34 ; 35). Mais ici encore, tous les enfants ne présentent pas ce déficit de discrimination fréquentielle (par exemple 62,5% chez l'enfant dyslexique (36) et d'importantes variations de pourcentages sont relevées chez les enfants dysphasiques (0% (37 ; 27) mais 40% selon d'autres études (38). L'absence de déficit, parfois rapportée chez l'adulte dyslexique questionne sur la spécificité de la mesure : les sujets présentent-ils un TAT ou des difficultés pour réaliser cette tâche ?

Cependant, si l'on veut aborder le plus exhaustivement possible le TTA dans les TSL, il est indispensable de rendre compte des résultats d'études psychoacoustiques réalisées ces dernières années. Il faut toutefois conserver une attitude critique par rapport d'une part à la proportion d'enfants déficitaires et d'autre part aux compétences effectivement mesurées. Considérons dans un premier temps les résultats obtenus en utilisant la méthode la plus simple de mesure des capacités de TAT : celle au cours de laquelle un stimulus (un son pur par exemple) est présenté en étant interrompu par une période de silence dont on fait varier la durée. Le sujet a pour consigne d'indiquer lorsqu'il perçoit une interruption ou trou « gap » dans le signal ; il s'agit de la procédure dite du « gap-test » permettant de mesurer la plus petite interruption de signal que le sujet perçoit. C'est avec cette procédure que deux populations d'enfants (normolecteurs vs dyslexiques) ont été comparées et qu'il a été trouvé des seuils significativement plus élevés chez 90% des enfants dyslexiques (39). Mais cela n'a pas toujours été retrouvé que ce soit chez l'adulte ou l'enfant. Pour expliquer ces contradictions, diverses hypothèses ont été formulées : existence d'un délai imposé par la maturation des voies auditives (40) ou incapacité des sujets à réaliser la tâche de détection de gap (41). Par ailleurs, si certains enfants avec TSL ont des difficultés pour traiter les stimuli brefs et rapprochés, ils peuvent aussi rencontrer des difficultés lors d'épreuves durant lesquelles les sons présentés ont des variations lentes. Ainsi certains d'entre eux présentent un déficit de résolution

temporelle en présence de stimuli auditifs contenant des indices acoustiques temporels dynamiques à variation lente comme par exemple la profondeur de modulation d'amplitude (42) mais aussi de durée (43) ainsi que de temps de montée de l'enveloppe du son (44 ; 43). Mais des différences se dessinent en fonction de la langue (voir pour revue (45)). D'autres preuves de l'existence de relation entre la sensibilité aux paramètres acoustiques temporels « dynamiques » et l'acquisition du langage ont été apportées par les études mesurant les capacités de détection des sons modulés en fréquence (FM). Un premier travail conduit chez des enfants dont le langage se développe normalement a d'abord fait état d'une relation modeste mais significative entre la sensibilité auditive à la FM à bas taux (2 Hz) et les capacités en lecture (46). Puis il a été observé que les enfants dyslexiques sont moins sensibles à la FM à 2 et 40 Hz que des enfants contrôles alors qu'aucune différence n'est observée entre les deux groupes à 240 Hz (31 ; 47). Toutefois plus récemment, non seulement les moindres capacités à détecter la FM à 2 et 20 Hz n'ont pas été retrouvées chez tous les enfants dyslexiques mais le lien entre sensibilité à la FM et lecture est également remis en question (48). Enfin, aucune de ces compétences auditives temporelles, dont en particulier la détection du gap et de la FM, ne semble pouvoir permettre de dépister les jeunes enfants à risque de dyslexie (49).

Ainsi, ces diverses données, fortement contradictoires plaident en faveur d'un rôle plutôt assez limité du traitement auditif dit « de bas niveau » ou sensorimoteur dans les troubles d'acquisition du langage, en particulier écrit. D'ailleurs certaines études ne trouvent pas de TTA chez l'enfant avec TSA (28 ; 50) et les polémiques sont plus particulièrement vives en ce qui concerne l'enfant dyslexique (51). Il a été rapporté l'existence d'un TTA chez 30 à 40% des sujets adultes dyslexiques français (52). Des estimations plus récentes concernant plus spécifiquement les enfants dyslexiques font état de taux compris entre 25 et 30 % (48 ; 53). Récemment, il a été observé que lors d'une tâche de ségrégation de flux auditifs où 2 sons purs (1 et 4 kHz) sont présentés alternativement, 92% des enfants dyslexiques avec déficit phonologique présentent des seuils plus élevés que les enfants normolecteurs (54). Cela suggère qu'il existe, dans la modalité auditive, une plus forte incidence des déficits temporels attentionnels chez l'enfant dyslexique qui souffrirait d'une intégration perceptive séquentielle plus lente. Ce déficit est qualifié de déplacement attentionnel ralenti qui, chez l'adulte dyslexique, pourrait être causé par un allongement de la fenêtre attentionnelle (55).

Est-il possible, dans l'état actuel de nos connaissances acquises au travers de ces diverses études comportementales, d'en conclure à l'existence possible d'un TTA chez les enfants avec TSL ? Si l'on se réfère aux travaux de ces 25 dernières années, il apparaît que très vite, face à l'inconstance des données, de fortes critiques ont été émises à l'encontre de cette théorie auditive temporelle presque exclusivement formulée à partir d'observations d'enfants soumis à des tâches psychoacoustiques reposant sur des épreuves comportementales complexes à forte charge attentionnelle ou mnésique. Plus récemment, la présence inconstante de ces déficits a été réinterprétée en tenant compte de cette forte demande cognitive et il a été suggéré que les enfants, en particulier dyslexiques, seraient incapables de tirer un bénéfice de la répétition du stimulus (56). Actuellement, on se demande de plus en plus si les faibles compétences auditives observées chez certains enfants présentant un trouble d'apprentissage ne seraient pas surtout révélatrices d'une incapacité générale à réaliser les tests plus qu'à un déficit spécifiquement temporel, voire même auditif (57).

2. Déficit de traitement des signaux de parole

A. Dans le silence

Il n'est pas question ici de prendre part aux débats, allant parfois aux polémiques qui font rage au sujet de la spécificité des mécanismes sous-jacents aux déficits observés dans certains TSA, mais nous devons pourtant en faire état. S'opposent d'un côté les tenants d'une atteinte exclusivement de nature linguistique (58) avec un trouble spécifique à la parole et de l'autre ceux pour qui les déficits linguistiques seraient des manifestations en surface de déficits sensoriels/perceptifs plus basiques dont parmi eux, certains abordés précédemment. Il est évident que ces troubles perceptifs peuvent compromettre la perception de la parole qui rappelle le se compose d'unités élémentaires ou phonèmes, cartes représentatives de figures ou indices acoustiques (sons) comportant des variations temporelles et/ou spectrales plus ou moins rapides (59). Ainsi, pour identifier correctement un phonème, il faut, entre autres, être capable de déterminer la forme spectrale, de détecter et discriminer les modulations d'amplitude et de fréquence, de faire de la résolution temporelle (détecter des sons brefs ou traiter des changements parfois très rapides (sur une période de quelques millisecondes voire moins) mais aussi de traquer les changements plus lents présents dans le signal. Ainsi certaines distinctions linguistiques essentielles telles que la différence entre 2 consonnes vont dépendre des capacités à traiter les changements spectro-temporels rapides. C'est le cas par exemple pour la consonne /b/ versus /d/, en opposition sur le lieu d'articulation et dont la différenciation linguistique nécessite de distinguer des changements rapides de fréquence au niveau des pics d'énergie acoustique (i.e les transitions formantiques) se mesurant en dixième de millisecondes. Et c'est justement pour traiter ce type de phonèmes que certains enfants avec TSA sont plus particulièrement en difficulté. Ainsi en 1974, Tallal et Piercy (60) ont été de nouveau les premiers à décrire l'incapacité de certains enfants avec difficultés d'acquisition du langage oral à ordonner temporellement deux syllabes synthétiques /ba/ vs /da/ séparées par un IIS court, ne différant plus des témoins pour des IIS plus longs. Ils montrèrent par la suite que ces enfants présentent des performances tout à fait normales lors d'épreuves de jugement d'ordre temporel (JOT) utilisant des voyelles ou bien des consonnes avec des transitions formantiques allongées (61). Ces mêmes difficultés ont été retrouvées chez l'enfant dyslexique en présence de syllabes Consonnes-Voyelles (CV) se succédant rapidement (18 ; 19) avec un effet bénéfique de l'allongement des formants (62). Ces résultats ont argumenté en faveur d'une incapacité (ou insuffisance) des voies auditives à traiter les composantes les plus brèves de la parole chez les enfants avec TSL. Des travaux ultérieurs ont remis en question, en particulier dans la dyslexie, l'hypothèse de l'existence de difficultés de traitement auditif d'ordre temporel au profit de la présence d'un déficit parole spécifique (63). Plus récemment, il a été confirmé que la moitié des enfants dyslexiques sont déficitaires lors d'épreuves utilisant les syllabes /ba/-/pa/ (23). Les études qui ont depuis recherché l'existence de ce type de déficit perceptif, que Tallal et ses collaborateurs ont qualifié de déficit auditif général, ont surtout consisté à mesurer la manière dont ces enfants catégorisent et/ou discriminent des sons de parole se différenciant entre eux au niveau d'un indice acoustique que l'on fait artificiellement varier par pas égal. Il s'agit des épreuves dites de « perception catégorielle » durant lesquelles les sujets ne perçoivent pas séparément chaque signal mais les groupes en catégories. Cette catégorisation repose sur le fait qu'en règle générale les sujets tendent à ignorer les changements acoustiques qui sont phonétiquement non pertinents (« intra-catégorielle ») mais à être beaucoup plus sensibles aux différences qui correspondent à une distinction ou

un contraste phonémique (« inter-catégorie ») (64). Ce type de procédure est bien adapté pour étudier la sensibilité à certains contrastes minimaux de parole comme par exemple le voisement (ex. : /ba/-/pa/ mais aussi le lieu d'articulation (ex. : /ba/-/da/). Elle implique un traitement de type sous-lexical mettant en jeu les entrées sensorielles auditives (perception du phonème) mais également visuelles (pointage du symbole écrit ou graphème). Ce phénomène de catégorisation suggère que l'expérience perceptive de la parole est dirigée par les aspects phonétiques de plus haut niveau plutôt que par les propriétés acoustiques physiques de plus bas niveau. Concernant les enfants dyslexiques, il a été observé qu'ils tendent à présenter des catégories phonémiques imprécises avec des réponses plus aléatoires (19 ; 65 ; 66 ; 67 ; 68 ; 69). Ils sont plus enclins à confondre les signaux se situant de part et d'autre de la frontière inter-catégorielle mais à différencier ceux qui se situent à l'intérieur d'une même catégorie (68 ; 70 ; 71 ; 72) laissant supposer qu'ils prêtent plus attention à des cibles acoustiques non pertinentes phonétiquement que les enfants normo-lecteurs. La présence de tels déficits vient alimenter les nombreuses preuves en faveur d'une atteinte phonologique (73), hypothèse la plus probable dans la dyslexie (voir par exemple (74)). L'apprentissage en particulier de la lecture peut-être est conçu comme reposant sur l'établissement, le renforcement et l'automatisation des associations entre les représentations mentales des phonèmes et des graphèmes. Dans ce processus dit de « recodage phonologique », il est primordial de construire des représentations les plus stables possibles de la parole basées sur le son. Selon cette théorie phonologique, si les représentations phonémiques sont dégradées ou peu accessibles, les correspondances graphèmes - phonèmes seront instables et mal automatisées ce qui peut avoir pour conséquence d'entraver l'acquisition de la lecture. Nombreuses sont les études qui, en utilisant par exemple des tâches de « conscience phonologique » qui testent les capacités du sujet à prêter attention aux phonèmes et à les manipuler consciemment, celles de mémoire verbale à court terme et de dénomination rapide, ont ainsi montré cette incapacité des dyslexiques à segmenter les mots parlés en phonèmes (voir pour revues (75 ; 76)).

Mais ici à nouveau, ces déficits observés lors d'épreuves de perception catégorielle ne sont pas toujours retrouvés et pour certains auteurs ne concerneraient que des sous-groupes d'enfants dyslexiques (environ 30% d'entre eux) parfois uniquement ceux qui ont concomitamment des troubles du langage oral. Très récemment, une étude a montré que les enfants avec TSL oral sans dyslexie sont les seuls à présenter des déficits de perception catégorielle et plus particulièrement dans le bruit (77).

B. En situation compétitive d'écoute

Comme nous l'avons vu, l'un des signes cliniques du TTA est une gêne d'écoute et/ou des difficultés de concentration en milieu bruyant pouvant pénaliser l'enfant en situation scolaire.

En effet, la salle de classe est souvent un milieu peu favorable pour l'écoute (nombreux bavardages, bruits environnementaux constants et/ou aléatoires). Il a ainsi été montré que le bruit moyen dans une salle de classe peut atteindre 72 dBA ce qui peut réduire l'intelligibilité de la parole de 50% (78) et cela surtout dans les petites classes (79)³. Avant tout, rappelons que les compétences des

³ Bradley et Sato (2008) ont examiné la perception de mots dans le bruit chez des élèves de différents grades (1^{er}, 3^{ème} et 6^{ème}) et montrent que les rapports signal/bruit près de l'idéal (i.e des performances à 95%) correspondants à savoir respectivement +15,5 dB, +12,5 et +8,5 dB n'apparaissent qu'environ pour 20% des 1^{ers} grades, 34% des 3^{èmes} grades et 34% des 6^{èmes} grades.



enfants sont inférieures à celles des adultes en présence de bruit de fond (cf. Deggouj et Demanez, Tome1, Chapitre 3) et les difficultés sont encore plus importantes pour les enfants avec TSL. En effet, la majorité des études montrent qu'ils sont plus particulièrement vulnérables aux effets délétères du bruit (voir parmi les plus récentes études (80 ; 81 ; 82). Chez les enfants dyslexiques, ces déficits de perception dans le bruit apparaissent en dépit d'une perception normale dans le silence (83). En condition adverse d'écoute, il faut allouer des ressources auditivo-cognitives plus fortes pour comprendre la parole (84) car la redondance et la force du signal à détecter sont réduites. Il a été suggéré qu'un enfant ne traitant pas de manière robuste la parole (i.e incapable d'assigner des poids corrects à certains indices acoustiques) effectuerait un recodage phonologique peu performant de la parole dans le bruit (85). Toutefois, la relation entre conscience phonologique et perception de la parole dans des niveaux modérés de bruit vient d'être récemment remise en question chez des enfants de 5 à 7 ans se développant normalement (86).

Dans l'état actuel de nos connaissances acquises au moyen des procédures comportementales, il est bien difficile de savoir ce qui dysfonctionne chez les enfants avec TSL. Toutefois, l'atteinte ne semble pas être périphérique puisque ces enfants, comme tout sujet contrôlé à audition normale, récupèrent beaucoup mieux les signaux de parole présentés dans un bruit fluctuant que ceux présentés dans un bruit stationnaire, phénomène connu sous le nom de « masking release » (83). Cela rend peu probable non seulement un déficit de résolution (temporelle ou spectrale) ou également l'existence de représentations phonologiques de mauvaise qualité mais argumente plutôt pour une « atteinte quelque part entre ces deux niveaux ». Par contre, ce que l'on sait, c'est que la détection des signaux dans le bruit est améliorée par le processus auditif d'interaction binaurale reposant sur le calcul de différences de temps entre les signaux reçus sur les 2 oreilles effectué au niveau du tronc cérébral. Or il a été observé que les enfants avec difficultés d'apprentissage liées au langage sont déficitaires dans des tâches qui impliquent un « timing » interaural précis telles que celles mesurant la différence de niveau de masquage binaural (87), la détection binaurale du pitch (36) ou la fusion binaurale (88 ; 89).

■ C. Situation compétitive d'écoute particulière : L'écoute dichotique⁴

Comme Deggouj et Demanez l'ont expliqué (voir Tome 1, chapitre 3), lors d'un test d'écoute dichotique, le sujet a pour consigne de restituer verbalement des messages sonores différents, présentés simultanément dans les deux oreilles. Ce test mesure les aptitudes de séparation et d'intégration binaurales et permet également de quantifier le degré d'asymétrie auditive en calculant la prévalence d'oreille (PO), indice indirect de différences de latéralité entre les hémisphères du cerveau lorsqu'ils sont activés par chaque oreille (90 ; 91). Divers matériel verbal peut être administré : mots, chiffres

ou syllabes Consonne-Voyelle (CV) ou CVC, phrases dans différentes conditions de rappel : attention divisée i.e le rappel libre (ou oreille non désignée) et attention dirigée (ou oreille désignée). La présentation dichotique de stimuli auditifs verbaux conduit habituellement à un avantage en faveur de l'oreille droite tout du moins en condition de rappel libre. C'est la combinaison des 2 procédures de rappel qui permet le mieux, au moins chez la personne âgée soumise à une épreuve dichotique de phrases, de dissocier les processus auditifs des processus cognitifs (la mémoire à court terme, l'attention ou la vitesse de traitement mental) dont le poids est minimisé en attention dirigée (92).⁵

Quelles sont les performances des enfants avec TSA durant cette épreuve ? On peut s'interroger sur la fiabilité d'une telle procédure demandant à des enfants avec TSL d'être attentifs, de mémoriser et de répéter du matériel verbal (93 ; 94). Toutefois, des études durant lesquelles les divers facteurs cognitifs de biais sont contrôlés permettent d'identifier, voire même catégoriser les enfants présentant un TSA (95). Les enfants dyslexiques présentent des déficits d'intégration binaurale avec des performances amoindries comparées à celles d'enfants normolecteurs du même âge (96) et des aptitudes dichotiques significativement plus faibles (97). Deux principales configurations sont décrites chez les enfants avec TSL. L'une fait état d'une forte asymétrie interaurale en faveur de l'oreille droite expliquée par des performances significativement réduites sur l'oreille gauche (voir pour résultats les plus récents (98) comme cela est classiquement décrit chez les enfants présentant un TTA (voir entre autres (13 ; 99)) et qui laisse supposer l'existence d'un transfert inter-hémisphérique altéré (100). Mais d'autres études, conduites avec des stimuli de type CV, rapportent chez l'enfant dyslexique des performances symétriques avec un avantage en faveur de l'oreille droite plus petit que la normale voire un déficit droit (96). Cette faiblesse de l'oreille droite persiste durant l'adolescence et est encore présente à l'âge adulte (101). Cela a conduit à la formulation de plusieurs hypothèses : un dysfonctionnement hémisphérique gauche, des activations excessives soit de l'hémisphère droit seul soit des deux hémisphères. L'autre configuration est celle de performances réduites dans les deux oreilles. Dans ce cas, il est souvent bien difficile d'en départager les causes : atteinte du langage, capacités intellectuelles réduites, manque de motivation ou d'attention, fatigue.

Il est clair que les côtés déficitaires lors du test dichotique sont très tributaires de la procédure avec des effets différents entre enfants dyslexiques et témoins (97). Les mécanismes attentionnels, très importants dans cette procédure (102), sont sans doute à l'origine de ces variabilités. Enfin, et concernant les dyslexiques, ceux restant en échec scolaire en dépit d'une prise en charge scolaire et orthophonique adaptée, sont plus enclins à présenter un déficit sur l'oreille droite lors d'un test dichotique sur CV où la consigne est de répéter la syllabe la mieux entendue afin de réduire l'effet de la mémoire de travail (103).

⁴ Dichotique : technique non invasive comportementale pour explorer le traitement auditif du langage (Kimura, 1967). En accord avec le modèle structurel de Kimura pour l'écoute dichotique, le REA est le résultat :

- 1- de la plus forte activation dans l'hémisphère controlatéral suite à un input auditif de matériel linguistique
- 2- la suppression de l'information transmise le long de la voie auditive ipsilatérale
- 3- la spécialisation hémisphérique gauche pour le langage chez la plupart de droitiers
- 4- la nécessité pour l'input sur l'oreille gauche d'être transféré au travers du corps calleux pour accéder à l'hémisphère gauche dominant pour le langage.

⁵ Jerger et Martin (2006) interprètent le test réalisé dans les deux conditions en décrivant chez la personne âgée 2 configurations « anormales » :

- Faibles performances uniquement dans le mode en rappel libre (Type II) : le déficit serait principalement cognitif avec des ressources attentionnelles et mnésiques et des vitesses de traitement insuffisantes pour présenter de bonnes performances quand les 2 oreilles sont sollicitées.
- Faibles en rappel libre le sont aussi en rappel dirigée (Type III) : il est alors possible que le problème soit spécifiquement auditif plutôt que cognitif puisque la diminution de la charge cognitive opérée en condition d'attention dirigée ne change rien.

Ces capacités d'intégration binaurale sont probablement importantes dans la salle de classe où l'élève doit être capable d'extraire et surtout privilégier le message oral délivré par l'enseignant. Toutefois, leurs mesures restent parfois encore difficiles à investiguer chez l'enfant dysphasique et/ou dyslexique pour lequel certains processus cognitifs sont altérés. Les techniques objectives d'exploration de la fonction auditive constituent certainement des méthodes alternatives intéressantes.

2

Etudes objectives

1. Imagerie cérébrale (cf. Tome 1, Chapitre 3 pour la méthodologie)

Les études neuroanatomiques réalisées au moyen de l'imagerie par Résonance Magnétique (IRM) chez l'enfant avec TSL (oral ou écrit) font état de réduction de volume de certaines structures cérébrales pouvant s'accompagner, comme par exemple dans la dyslexie, d'asymétries anormales plus particulièrement au niveau des lobes temporaux et pariétaux (voir pour revue (104)). Certains facteurs de risque qualifiés d'anatomiques sont évoqués et seraient liés aux performances en lecture. Parmi les anomalies sont plus particulièrement observées dans les régions cérébrales plus spécifiquement impliquées dans le traitement auditif. Ainsi par exemple chez l'enfant dyslexique, il a été montré des anomalies du planum temporale, des aires auditives du corps calleux, dans les neurones du noyau géniculé médian dans le thalamus. Ainsi, alors que la majorité (60 à 70%) des sujets normaux présente un planum temporale plus large à gauche qu'à droite, les dyslexiques tendent à présenter soit une asymétrie exagérée vers la droite soit une symétrie. Il existe toutefois de grandes contradictions dans les résultats s'expliquant par la grande hétérogénéité liée aux sujets (latéralité manuelle, déficits cognitifs, sévérité de l'atteinte...) mais également à l'existence de phénomènes de compensation. Celles-ci peuvent entraîner des asymétries soit extrêmes en faveur de l'hémisphère gauche (105) soit très fortement variables comme cela est observé chez le lecteur adulte résilient⁶ (106). Certaines études morphologiques dissocient les anomalies en fonction du type de TSL (107 ; 121)⁷. Enfin, il a été observé l'existence des ectopies corticales (i.e. des petits nids de neurones anormalement placés) émergeant à des étapes précoces du développement (108) ; elles pourraient affecter les régions thalamiques auxquelles elles sont connectées et être ainsi responsables des déficits du traitement temporel.

Les études de neuroimagerie fonctionnelle (voir pour revue (109)) sont en faveur, chez l'enfant à risque ou étant dysphasique d'hypoactivations dans des régions cérébrales critiques pour la perception de la parole et la conscience phonologique : cortex pariétal gauche et sulcus précentral durant l'encodage et portion insulaire du gyrus frontal inférieur durant la reconnaissance. Il est aussi rapporté un recrutement parfois excessif de certaines régions frontales et cingulaires, interprétées comme la mise en jeu de méca-

nismes compensatoires (110). Parmi les études s'intéressant à la dyslexie, certaines sont en faveur d'anomalies d'activation dans le cortex préfrontal gauche en réponse à des sons contenant des transitions rapides versus lentes (111). Tout récemment, il a été observé que durant une tâche de discrimination auditive consistant à indiquer si une paire minimale de sons (ex. /ba/ - /pa/) est identique ou différente, les enfants dyslexiques présentent des hyperactivations au niveau frontal droit et des hypoactivations dans le cortex temporal et dans le cortex pariétal inférieur gauche (112 et 113). Il est observé que ces hypoactivations co-varient avec différentes compétences comme celles de discrimination auditive mais également de conscience phonologique, de détection de mouvement visuel, d'imitation de rythmes et de réorientation de l'attention. Les nombreuses études d'IRMf pédiatriques, sont pour la plupart basées sur des tâches de décisions phonologiques reposant sur des présentations visuelles des stimuli (voir pour revue (114)) et beaucoup font état chez l'enfant dyslexique d'activations réduites dans le gyrus frontal inférieur gauche alors que l'inverse est parfois observé chez l'adulte dyslexique. Cela suggère surtout qu'avec l'âge, certains⁸ dyslexiques instaurent une dépendance de plus en plus forte à l'égard de cette aire corticale importante pour le recodage articulo-phonologique (115) compensant ainsi ce qui apparaît comme étant lié per se à l'étiologie de la dyslexie : le dysfonctionnement au niveau du cortex temporo-pariétal gauche où des activations réduites voire même absentes sont décrites chez le sujet dyslexique enfant comme adulte (voir pour revue (116)) sans qu'une maturation retardée ou un niveau de lecture insuffisant puissent être incriminés (117). Par ailleurs, comme nous l'avons déjà dit précédemment, la lecture aisée (fluent) reposerait sur l'association graphèmes-phonèmes. Une étude très récente d'IRMf étudiant, chez des enfants, l'intégration passive de stimuli lettres - sons de parole (associations congruentes vs non congruentes) en apportent des preuves (118). Il y est en effet rapporté, chez les enfants dyslexiques, de plus faibles activations au niveau temporal (gyrus antéro-supérieur) gauche pour le traitement des sons de parole mais surtout, en mode multi-sensoriel (i.e. audiovisuel) de stimulation. Ainsi, à la différence d'enfants normolecteurs, les dyslexiques ne présentent pas ou très peu de modulation d'activité dans le cortex temporel gauche (planum temporale/sulcus de Heschl (=cortex auditif primaire) et sulcus temporal supérieur) en fonction de la congruence audiovisuelle. De surcroît, en considérant tous les enfants, des liens significatifs sont observés entre cet effet de congruence objectif avec l'IRMf et les compétences en lecture (précision et vitesse). Cette intégration lettre-son dégradée, qui pourrait être un déficit fondamental dans la dyslexie développementale, serait déjà présente en début d'acquisition de la lecture et ne pourrait être dominée automatiquement en dépit d'années d'expérience de la lecture. A noter que ce processus déficitaire d'intégration multi-sensorielle serait également observé chez les sujets dyslexiques testés avec des stimuli non linguistiques (sons purs - flashes lumineux). Ils sont alors interprétés comme un élargissement de la fenêtre temporelle à l'intérieur de laquelle les stimuli auditifs et visuels sont groupés en une construction unitaire (119).

⁶ Un lecteur adulte résilient présente un niveau moyen de compréhension de textes en dépit de très faibles scores de décodage (lecture de non-mots) : ce sont les dyslexiques « compensés ».

⁷ Les enfants présentant à la fois des difficultés de compréhension orale et des déficits en lecture (les SLI) présentent des structures cérébrales (hémisphères cérébraux, gyri de Heschl, planum temporale et pariétal) anormalement petites et symétriques alors que les enfants présentant une dyslexie (phonologique) se caractérisent par des gyri de Heschl supplémentaires, des régions du langage plus larges et des asymétries exagérées du planum temporale.

⁸ Les deux récentes études de Heim et Coll. en 2010 (112 ; 113) montrent que chez des sujets témoins, le rôle du cortex frontal (moyen) droit semble dépendre des compétences phonologiques et pas de l'attention. Inversement, chez le sujet dyslexique et indépendamment du niveau de conscience phonologique, l'activation du gyrus frontal moyen (durant la conversion graphème-phonème) dépend des capacités du sujet à « déplacer » son attention afin de favoriser le processus de lecture.



2. Electrophysiologie : altérations des réponses corticales et sous-corticales

Les études dans lesquelles les Potentiels Evoqués Auditifs (PEA) ont été enregistrés (cf. Tome 1, Chapitre 5 pour la méthodologie) chez l'enfant à risque ou présentant un TSL sont nombreuses puisque cette technique présente, rappelons-le, à l'avantage de tester les processus auditifs sans que l'enfant n'ait à réaliser une tâche comportementale particulière, au moins pour les PEA mesurés en condition passive. Les résultats concernant les ondes tardives des PEA (ondes corticales N1 et P2) chez l'enfant dysphasique et/ou dyslexique sont mitigés. McArthur et Coll. (2009) (120), qui ont passé en revue ces divergences ont également comparé ces réponses entre trois groupes d'enfants âgés de 6 à 12 ans : des enfants dyslexiques en difficulté pour lire des non-mots et des mots irréguliers, des enfants dysphasiques déficitaires dans la répétition de non-mots et de phrases et en vocabulaire et syntaxe sur le versant réceptif et des enfants contrôles, tous appariés en âge chronologique. Il a été observé que 38% des enfants avec TSL oral ou écrit présentent des réponses N1-P2 significativement moins « amples » sur l'électrode C3 tout aussi bien en réponse à des sons (rapides ou lents), des voyelles ou des signaux CV. Cette étude apporte ainsi des arguments contre d'une part un TTA spécifique aux sons brefs et rapides et d'autre part à un déficit parole-spécifique dans la dysphasie et/ou la dyslexie. De plus la totalité des 28 enfants à N1-P2 moins amples et dysphasiques et/ou dyslexiques sont également ceux dont les scores en lecture de non-mots sont les plus faibles alors que ceux dyslexiques et dysphasiques avec N1-P2 d'amplitude normale lisent correctement les non-mots. Cela suggère qu'un TTA pourrait être un facteur de risque de TSL. Ce serait une cause suffisante mais non nécessaire dans la mesure où un certain nombre d'enfants avec TSL lisent mal les non-mots mais ont des réponses N1-P2 normales. La mise en parallèle des anomalies électrophysiologiques avec celles morphologiques décrites (121) chez l'enfant dysphasique et dyslexique permet de formuler des hypothèses quant au fait que les enfants avec des réponses corticales anormales développent de faibles compétences en lecture et en répétition de non-mots. On peut en effet se demander si d'un côté, des structures cérébrales anormalement larges et asymétriques n'émettent pas moins de réponses typiques au son, entravant le développement des compétences phonologiques nécessaires pour lire les non-mots (dyslexie). Et d'un autre côté si des structures cérébrales anormalement petites et symétriques n'émettent pas moins de réponses cérébrales typiques détériorant le développement normal des compétences phonologiques indispensables pour lire et répéter les non-mots (dysphasie). Plus récemment, il a été confirmé l'existence, chez les enfants mauvais lecteurs, d'anomalies concernant la représentation asymétrique de l'enveloppe temporelle basse fréquence (représentation de la syllabe) de la parole : dominante dans l'hémisphère droit chez les normolecteurs, une moindre robustesse de cette latéralisation est observée chez les enfants mauvais lecteurs (122). Enfin, certaines études ont exploré les différences de transfert inter-hémisphérique de l'information en utilisant des stimulations dichotiques. L'hypothèse d'un transfert inter-hémisphérique altéré chez l'enfant avec un TSL est confirmée par l'existence d'une transmission neurale retardée en situation dichotique d'écoute que ce soit avec des stimuli de non parole (voir pour revue (123)) ou de parole (124). Des preuves objectives concernant le rôle de facteurs potentiellement responsables du déficit gauche ont été rapportées : des temps de conduction neurale ralentis, un faible transfert inter-hémisphérique de l'activité neurale et un échec pour supprimer l'information compétitive arrivant sur l'oreille droite.

Les études utilisant la magnétoencéphalographie révèlent des asymétries hémisphériques réduites dans la localisation de l'onde

auditive N260m avec un manque d'asymétrie du planum temporelle (125) et une organisation différente du traitement auditif cortical chez l'enfant dyslexique (109 ; 126). Plus récemment, il a été observé, chez des enfants à faibles compétences en lecture soumis à un paradigme « oddball » avec des déviants comme /bat/, /kat/, /rat/ vs le standard /pat/, des activations retardées et réduites dans l'hémisphère gauche (gyrus temporal supérieur) en réponse à des couples de syllabes les moins contrastées phonologiquement (ex. bat-pat) (127). Du fait que les faibles lecteurs présentent des activations plus fortes que les bons lecteurs dans des conditions phonologiquement faciles (rat /pat), cela objective l'existence, chez les enfants avec difficultés pour lire, d'une carence (faiblesse) dans leurs aptitudes phonologiques.

Beaucoup d'études ont consisté à mesurer objectivement les capacités des enfants à discriminer, par exemple, la durée entre deux stimuli, la différence de FM, ou entre 2 syllabes de type CV, à détecter un gap ou faire des JOT... c'est-à-dire toutes les compétences auditives vues précédemment comme pouvant être déficitaires chez les enfants avec TSL. Pour une majorité d'entre elles, c'est l'onde de discordance (MMN=MisMatch Negativity) qui a été enregistrée. Si les études conduisent encore à des résultats inconstants (voir pour revue (128)) surtout chez le dyslexique (129), elles apportent dans leur ensemble des preuves en faveur de déficits pour traiter certains indices acoustiques pertinents pour la perception de la parole, comme par exemple les changements fréquentiels et temporels à l'intérieur des signaux de parole. Une étude récente conduite chez le nouveau-né soumis à un paradigme « oddball » (son standard 1 kHz ; son déviant 1100 Hz), des réponses corticales atypiques chez les enfants à risque de dyslexie et devenant dyslexiques sont observées (130). En particulier, alors que les enfants sans risque et lisant bien présentent des réponses plus amples sur l'hémisphère droit, les enfants à risque et dyslexiques présentent la configuration inverse. En revanche, les enfants à risque mais lisant bien ont les mêmes prépondérances hémisphériques que ceux sans risque et lisant bien mais leurs réponses corticales sont moins amples. Ainsi, il semble possible, en étudiant le traitement du changement de pitch à la naissance de disposer d'un indice concernant le facteur de risque au moins dans certains sous-types de dyslexie, i.e ceux avec un déficit général du traitement auditif.

Outre ces déficits corticaux, des anomalies sont décrites chez les enfants avec TSL au niveau de certaines réponses générées dans tronc cérébral et elles concernent plus particulièrement les ondes sous-corticales recueillies en réponse aux sons de parole (voir pour revue (131)). Ainsi, 30 à 40% de ces enfants présentent des tracés dégradés avec des latences plus longues, des réponses transitoires dites « d'onset » (V, A, C et O), une pente moins marquée du complexe V/A, ainsi qu'une réduction de l'amplitude spectrale correspondant aux harmoniques du stimulus (cf. entre autres 132 ; 133 ; 134 ; 135 ; 136). En revanche, le traitement du pitch n'est pas altéré (136 ; 137). Ces réponses déficitaires contrastent avec la normalité des ondes obtenues en réponse à des clics ; elles témoigneraient d'anomalies spécifiques d'encodage des éléments spectro-temporels rapides de la parole comme par exemple un verrouillage de phase anormal dans le nerf auditif (134 ; 136). Les travaux effectués à la recherche de liens entre cet encodage sous-cortical déficitaire et les retards d'acquisition de la lecture, montrent non seulement que les enfants dyslexiques appartenant à un groupe à moindre difficulté en lecture sont ceux dont les ondes sous-corticales sont les plus précoces et les amplitudes harmoniques les plus élevées (132) mais aussi ceux chez qui ces réponses se différencient le mieux en fonction du contraste phonémique (/b/, /d/, /g/) présenté (138).

Cas particuliers : Effets du bruit, de la binauralité et des cadences de présentation des stimuli.

Comme nous l'avons déjà rapporté précédemment, les enfants avec TSL (oral et/ou écrit) présentent de faibles performances dans le bruit pouvant être expliquées par des mécanismes d'interaction binaurale défectueux. Ces déficits sont confirmés objectivement puisque, premièrement, ces enfants se caractérisent par des réponses corticales plus fortement dégradées en présence de bruit (134 ; 135 ; 139), surtout chez ceux dont l'encodage sous-cortical dans le silence est le plus déficitaire (140). Deuxièmement, leurs réponses générées au niveau du tronc cérébral sont également significativement plus amoindries par un masquage rétrograde comparées aux réponses mesurées chez l'enfant contrôle (141). Et enfin troisièmement, il a été trouvé, au moins dans des groupes d'enfants présentant un retard de langage oral, qualifiés par les auteurs d'enfants avec TTA, des amplitudes réduites de la composante d'interaction binaurale (142 ; 143). Toutefois, cette réduction n'est pas présente chez tous les enfants et ne corrèle pas avec la sévérité du déficit observée au niveau du langage (144). Elles corrélaient par contre avec les aptitudes d'écoute dans le bruit. Ainsi, de très récentes études ayant porté sur les réponses du tronc cérébral au son de parole chez des enfants dyslexiques montrent d'une part que l'encodage moins efficace de certaines caractéristiques du stimulus, en particulier celles importantes pour suivre la voix au cours du temps, et que d'autre part la faible résistance de la synchronisation de ces réponses face aux effets délétères du bruit sont en lien avec la perception dégradée de la parole dans le bruit (138 ; 145 ; 146). Outre ces divers déficits, il vient récemment d'être montré que les enfants avec TSA trouble du langage oral sont aussi plus particulièrement sensibles à la cadence de présentation des stimuli même de non parole. Ainsi l'augmentation de la cadence des clics retarde plus fortement l'apparition des ondes III et V chez ces enfants comparés à des enfants dont le langage se développe normalement, suggérant l'existence d'une plus forte susceptibilité à l'adaptation neurale (147).

Toutefois, la présence de ces déficits neurophysiologiques n'est pas systématiquement liée à des troubles auditifs perceptifs. Ainsi il a été rapporté que certains enfants dyslexiques à réponses sous-corticales déficientes réussissent parfaitement bien certaines épreuves comportementales d'audition centrale (écoute dichotique, tests de configuration en fréquence, parole filtrée passe-bas, phrases compétitives) (148). Cela montre l'importance de réaliser des bilans utilisant des méthodes les plus larges et diversifiées d'investigations de l'audition centrale tant les déficits du TTA présents chez ces enfants peuvent être variés.

3. Les voies auditives descendantes

Comme cela a été évoqué, la relation entre les processus perceptifs et neurophysiologiques peut être envisagée dans le cadre d'un réglage corticofuge (top-down) des structures auditives périphériques (149 ; 150). Dans ces conditions, les réponses du tronc cérébral en particulier celles à la parole, qui sont déterminées par l'acoustique du signal entrant, devraient pouvoir bénéficier d'amélioration corticofuge (151) via les fibres efférentes qui se projettent sur les noyaux auditifs sous-corticaux jusqu'aux cellules ciliées externes (CCE) situées dans la cochlée. Les études qui se sont intéressées à l'effet inhibiteur exercé par les fibres du système efférent olivo-cochléaire médian (SEOCM) sur les CCE, pour lequel nous disposons d'une méthode non invasive d'exploration chez l'humain (152 ; 153), révèlent des déficits de fonctionnement chez les enfants

avec TSL. Ainsi, une moindre fonctionnalité de ces fibres chez ceux présentant des difficultés d'apprentissage a été observée (154). D'autres études ont montré que ces dysfonctionnements sont plus particulièrement observés sur l'oreille droite chez des enfants muets sélectivement (103) ou chez des enfants dyslexiques (69). En ce qui concerne les enfants dysphasiques, si aucune anomalie de fonctionnement de ces fibres n'a été notée, il est rapporté cependant l'existence d'une corrélation significative entre les scores à un test de grammaire expressive et la fonctionnalité des fibres efférentes : les enfants les moins performants sont ceux qui présentent les SEOCM les moins fonctionnels sur l'oreille droite (155). Concernant les enfants diagnostiqués comme ayant un TTA, il sont plus enclins à présenter des SEOCM déficients (156 ; 157). Il est probable que cette modulation latéralisée de la cochlée puisse faciliter la perception de certaines composantes de la parole (69) plus particulièrement en présence de bruit (158 ; 159) en aidant l'auditeur à extraire l'information pertinente. Des déficits pourraient ainsi exister dans les interactions des processus top-down et bottom-up nécessaires pour surmonter les effets délétères des conditions difficiles d'écoute.

3

Le TTA en relation avec les diagnostics de TSA : relation causale et implications dans les interventions thérapeutiques ?

Toutes ces données montrent que les problèmes pour lire ou pour parler sont fréquents chez les enfants avec TTA mais tous ne sont pas atteints et tous les enfants avec TTA ne sont pas systématiquement dysphasiques et/ou dyslexiques. Rappelons qu'entre 0 à 50% des dyslexiques (soit en moyenne 39% d'entre eux) présentent des déficits auditifs avec une augmentation significative des problèmes de traitement auditif chez ce type d'enfants (voir pour revue générale 160). A cette co-morbidité s'ajoute très certainement des interactions néfastes dues au fait qu'un TTA peut être un facteur aggravant qui va contribuer à amplifier la diminution de certaines compétences phonologiques, comme par exemple celles dépendantes de la perception des transitions spectro-temporelles rapides ou celles nécessaires pour percevoir la parole dans le bruit. Selon Musiek et Coll. (2005) (161), il ne faut pas voir le TTA comme une cause directe des problèmes scolaires, d'apprentissage ou de lecture mais plus comme une composante, certes petite, mais importante pour l'écoute et l'apprentissage. Mais il doit être précisé que ce TTA, qui d'ailleurs ne se limite sans doute pas qu'à un déficit du traitement temporel rapide, ne paraît pas être strictement nécessaire et ni même suffisant pour qu'apparaisse un déficit d'apprentissage du langage puisque, surtout chez les enfants dyslexiques : 1) seulement un sous-groupe d'entre eux présentent des déficits auditifs robustes – 2) certains contrôles semblent présenter un traitement auditif anormal et pourtant n'ont pas développé de dyslexie – 3) les déficits dans le traitement auditif ne corrélaient que faiblement avec les compétences en lecture à l'intérieur du groupe de dyslexiques. Ainsi, un déficit phonologique peut très bien exister en l'absence de TTA et les performances auditives ne permettent pas toujours de prédire les performances phonologiques. Le TTA aggrave le TSL mais n'en est sans doute pas la cause directe. Toutefois, on peut supposer qu'ils leur imposent, mais seulement de manière éventuelle, une limite supérieure mais qu'il reste difficile à ce jour d'éteindre les multiples controverses au sujet du problème de fond en permanence posé : l'existence d'une relation causale entre des déficits qui co-apparaissent fréquemment.



Il sera important dans l'avenir de déterminer les facteurs responsables de cette co-morbidité. Dawes et Bishop (2010) (44) proposent plusieurs pistes à explorer : une étiologie commune (comme par exemple un développement neurologique), une prédisposition génétique, un déficit plus général comme des problèmes attentionnels ou mnésiques ou la maturation. Mais soulignons que même si nous disposons actuellement de mesures psychométriques (comportementales) ou neurophysiologiques (objectives) variées et relativement fiables du traitement auditif, lorsqu'elles sont déficitaires chez un enfant présentant un déficit d'acquisition du langage, il est toujours difficile d'en conclure que ce TTA est lié de manière causale à l'atteinte. Au-delà de la question de causalité, il y a celle concernant la prise en charge thérapeutique de ces enfants avec TSL et si dès 1996 il était rapporté une amélioration des habiletés verbales chez des enfants entraînés à des tâches de discrimination auditive (162), cette généralisation de l'effet de l'entraînement n'a pas toujours été retrouvée (voir pour revue récente (163)).

4 Conclusion

Enfin, le TTA s'avère être une catégorie (certains disent une entité) problématique à diagnostiquer probablement parce qu'il se situe au croisement de différentes disciplines. En effet, un enfant avec TTA présente conjointement des difficultés auditives et d'apprentissage dans lequel le langage oral et la lecture se trouvent souvent impliqués. Encore trop souvent actuellement, et c'est encore plus particulièrement vrai en France où les pratiques cliniques diffèrent de celles des pays anglo-saxons (États-Unis, Australie ou Royaume Uni), peu de professionnels de la santé côtoyant des enfants avec troubles d'apprentissage se posent la question de la présence d'un TTA. Il existe beaucoup de confusions, non seulement entre professionnels de la santé s'occupant de ces enfants, mais aussi vis-à-vis des parents qui ne comprennent pas toujours l'intérêt du bilan d'audition alors que leur enfant n'a jamais eu de problèmes auditifs particuliers et surtout n'a pas de surdité. L'écueil à éviter est celui d'utiliser des labels différents pour les mêmes symptômes. Pour cela, la meilleure approche est de considérer les difficultés perceptives auditives comme intégrées dans une description multifactorielle des problèmes d'apprentissage et non pas comme une catégorie diagnostique propre. Cela évitera des erreurs bien dommageables : celles de cibler l'attention sur un seul aspect de ces difficultés alors qu'il est probablement beaucoup plus approprié de voir chaque cas comme impliquant des contributions venant de multiples domaines. Ce n'est qu'au moyen d'évaluations multi et interdisciplinaires que nous parviendrons à mettre en place des prises en charge thérapeutiques potentiellement les plus adaptées au déficit présenté par l'enfant et ainsi, nous l'espérons, plus efficaces.

5 Bibliographie

- Chermak GD, Musiek FE (1997). *Central Auditory Processing Disorder : New Perspectives*. San Diego: Singular Publishing Group, Inc.
- Bamiou DE, Musiek FE, Luxon LM (2001) Aetiology and clinical presentations of auditory processing disorders – a review. *Arch Dis Child* 85:361-365.
- Myklebust H (1954). *Auditory disorders in children*. New York : Grune & Stratton.
- Jerger J (1998) *Controversial issue in CAPD*. *Seminars in Hearing* 19: 395-400.
- Jerger J, Musiek F (2000) Report of the consensus conference on the diagnosis of auditory processing disorders in school-aged children. *J Am Acad Audiol* 11:467-474.
- Smoski WJ, Brunt MA, Tannahill JC. (1992) Listening characteristics of children with central auditory processing disorders. *Lang Speech Hear Serv Sch* 23: 145-149.
- Kirk SA, Kirk WD (1983) On defining learning disabilities. *J Learn Disabil* 16:20-21.
- American Speech-Language-Hearing Association Working Group on Auditory Processing Disorders (2005) Central auditory processing [technical report] Available from www.asha.org/policy.
- Cacace AT, McFarland DJ (1998) Central auditory processing disorder in school-aged children: A critical review. *J Speech Lang Hear Res*, 41: 355-373.
- King, W.M., Lombardino, L.J., Crandell, C.C., Leonard, C.M. (2003) Comorbid auditory processing disorder in developmental dyslexia. *Ear Hear* 24:448-456.
- Sharma A, Purdy SC, Newall P, Wheldall K, Beaman R, Dillon H (2006) Electrophysiological and behavioral evidence of auditory processing deficits in children with reading disorder. *Clin Neurophysiol* 17:1130-1144.
- Sharma M, Purdy S., Kelly AS (2009). Co-morbidity of auditory processing, language, and reading disorders. *J Speech Lang Hear Res*, 52 : 706-722.
- Iliadou V, Bamiou DE, Kaprinis S, Kandyli D, Kaprinis G (2009) Auditory processing disorders in children suspected of learning disabilities – A need for screening ? *Int J Ped Otorhinolaryngol* 2009, 73: 1029-1034
- Dawes P, Bishop DVM (2010) Psychometric profile of children with auditory processing disorder and children with dyslexia. *Arch Dis Child* 95:432-436.
- Ferguson, MA, Hall RL, Riley A, Moore DR (2010). Communication, listening, cognitive and speech perception skills in children with auditory processing disorder (APD) or specific language impairment (SLI). *J Speech Lang Hear Res* in press.
- Watson CS, Kidd GR (2009) Associations between auditory abilities, reading, and other language skills, in children and adults. In AT Cacace and DJ McFarland (Eds), *Controversies in central auditory processing disorder* (pp.217-242. Plural Publishing Inc.
- Tallal P, Piercy M (1973) Defects of nonverbal auditory perception in children with developmental aphasia. *Nature*, 241: 468-469.
- Tallal, P (1980) Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children. *Brain Lang* 92:182-198.
- Reed MA (1989) Speech perception and the discrimination of brief auditory cues in reading disabled children. *J Exp Child Psychol* 48: 270-292.
- Tallal P, Merzenich MM, Miller S, Jenkins W (1998) Language learning impairments: integrating basic science, technology and remediation. *Exp Brain Res* 123: 210-219.
- Farmer ME, Klein R (1995) The evidence for a temporal processing deficit linked to dyslexia: A review. *Psychosom Bull Rev* 2:460-493.
- Habib M (2000) The neurological basis of developmental dyslexia : an overview and working hypothesis. *Brain* 123:2373-2399.
- Cohen-Mimran R, Sapir S (2007) Auditory temporal processing deficits in children with reading disabilities. *Dyslexia* 13: 175-192
- Tallal, P (2004) Improving language and literacy is a matter of time. *Nat Rev Neurosci* 5:721-728.
- Snowling M (2001) From language to reading and dyslexia. *Dyslexia* 7:37-46.
- Nittrouer S (1999) Do temporal processing deficits cause phonological processing problems? *J Speech, Lang Hear Res* 42:925-942.
- Rosen S, Adlard A, van der Lely HKJ (2009) Backward and simultaneous masking in children with grammatical specific language impairment: No simple link between auditory and language abilities. *J Speech Lang Hear Res* 52:396-410.
- Bishop DVM, Carlyon RP, Deeks JM, Bishop SJ (1999) Auditory temporal processing impairment: neither necessary nor sufficient for causing language impairment in children. *J. Speech Lang Hear Res* 42:1295-1310.



29. Wright BA, Lombardino LJ, King WM, Puranik CS, Leonard CM, Merzenich MM (1997) Deficits in auditory temporal and spectral resolution in language-impaired children. *Nature* 387:176-178.
30. Montgomery CR, Morris RD, Sevcik RA, Clarkson MG (2005) Auditory backward masking deficits in children with reading disabilities. *Brain Lang* 95:450-456
31. Talcott JB, Witton C, McLean MF, Hansen PC, Rees A, Green GGR, Stein JF (2000) Dynamic sensory sensitivity and children's word decoding skills. *Proc Natl Acad Sci USA* 97:2952-2957
32. Halliday LF, Bishop DVM (2006) Auditory frequency discrimination in children with dyslexia. *J Res Reading* 29:213-228.
33. Hill PR, Hogben J, Bishop DVM (2005) Auditory frequency discrimination in children with specific language impairment: A longitudinal study. *J Speech Lang Hear Res* 48: 1136-1146.
34. McArthur GM, Bishop DVM (2004) Frequency discrimination deficits in people with specific language impairment: reliability, validity, and linguistic correlates. *J Speech Lang Hear Res* 47: 527-541.
35. McArthur GM, Bishop DVM (2005) Speech and non-speech processing in people with specific language impairment: A behavioural and electrophysiological study. *Brain Lang* 94: 260-273.
36. Dougherty RF, Cynader MS, Bjornson BH, Edgell D, Giaschi DE (1998) Dichotic pitch: a new stimulus distinguishes normal and dyslexic auditory function. *Neuroreport* 9: 3001-3005
37. Bishop DVM, Adams CV, Nation K, Rosen S (2005) Perception of transient nonspeech stimuli is normal in specific language impairment: evidence from glide discrimination. *Appl Psycholing* 26: 175-194
38. Mengler ED, Hogben JH, Michie P, Bishop DVM (2005) Poor frequency discrimination is related to oral language disorder in children: a psychoacoustic study. *Dyslexia* 11: 155-173
39. Van Ingelghem M, van Wieringen A, Vandenbussche E, Onghena P, Gesquiere P (2001) Psychophysical evidence for a general temporal processing deficit in children with dyslexia. *Neuroreport* 12:3603-3607.
40. Hautus MJ, Setchell G, Waldie KE, Kirk I (2003) Age-related improvements in auditory temporal resolution in reading-impaired children. *Dyslexia* 9:37-45
41. Fishner B, Hartnegg K (2004) On the development of low-level auditory discrimination and deficits in dyslexia. *Dyslexia* 10:105-118.
42. Goswami U, Thomson J, Richardson U, Stainthorpe R, Hughes D, Rosen S, Scott SK (2002) Amplitude envelope onsets and developmental dyslexia: A new hypothesis. *Proc Natl Acad Sci USA* 99: 10911-10916.
43. Richardson U, Thomson JM, Scott S, Goswami U (2004) Auditory processing skills and phonological representation in dyslexic children. *Dyslexia* 10:215-233.
44. Halliday LF, Bishop DVM (2006). Is poor frequency modulation detection linked to literacy problems? A comparison of specific reading disability and mild to moderate sensorineural hearing loss. *Brain & Lang* 97: 200-213.
45. Georgiou GK, Protopapas A, Papadopoulos TC, Skaloumbakas C, Parrila R (2010) Auditory temporal processing and dyslexia in an orthographically consistent language. *Cortex*, in press.
46. Talcott JB, Witton C, McLean MF, Hansen PC, Rees A, Green G et Coll (1999) Can sensitivity to auditory frequency modulation predict children's phonological and reading skills? *Neuroreport* 10:2045-2050.
47. Talcott JB, Witton C, Hebb GS, Stoodley CJ, Westwood EA, France SJ, Hansen PC, Stein JF (2002) On the relationship between dynamic visual and auditory processing and literacy skills: results from a large primary-school study. *Dyslexia* 8: 204-225.
48. White S, Milne E, Rosen S, Hansen P, Swettenham J, Frith U, Ramus F (2006) The role of sensorimotor impairments in dyslexia: a multiple case study of dyslexic children. *Dev Sci* 9:237-269.
49. Boets B, Wouters J, van Wieringen A, Ghesquière P (2006) Auditory temporal information processing in preschool children at family risk for dyslexia: Relations with phonological abilities and developing literacy skills. *Brain Lang* 97: 64-79.
50. Rosen S (1999). Language disorders: a problem with auditory processing? *Cur Biol* 9:R698-R700.
51. Rosen S (2003) Auditory processing in dyslexia and specific language impairment: is there a deficit? What is its nature? Does it explain anything? *J Phonetics*, 31:509-527
52. Ramus F, Rosen S, Dakin SC, Day BL, Castellote JM, White S, Frith U (2002) Theories of developmental dyslexia : insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain* 126:841-865.
53. Boets B, Wouters J, van Wieringen A, Ghesquière P (2007) Auditory processing, speech perception and phonological ability in preschool children at risk for dyslexia: A longitudinal study of the auditory temporal processing theory. *Neuropsychologia* 45:1608-1620.
54. Lallier M, Thierry G, Tainturier MJ, Donnadieu S, Peyrin C, Billard C, Valdois S. (2009) Auditory and visual stream segregation in children and adults : An assessment of the modality assumption of the « sluggish attentional shifting » theory of dyslexia. *Brain Res* 1302:132-147.
55. Hari R, Valta M, Uutela K (1999) Prolonged attentional dwell time in dyslexic adults. *Neurosci Lett*, 271: 202-204.
56. Ahissar M (2007) Dyslexia and the anchoring-deficit theory. *Trends Cogn Sci* 11:458-465.
57. Moore DR, Ferguson MA, Edmondson-Jones M, Tatib S, Riley A (2010) Nature of auditory processing disorder in children. *Pediatrics* 126: e382-e390.
58. Snowling, M.J. (2000) *Dyslexia*, 2e ed. Oxford : Blackwell.
59. Greenberg S (2006) A multi-tier theoretical framework for understanding spoken language. In S. Greenberg & W.A. Ainsworth (Eds.), *Listening to Speech: An Auditory perspective* (pp.411-433). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
60. Tallal P, Piercy M (1974) Developmental aphasia: rate of auditory processing and selective impairment of consonant perception. *Neuropsychologia* 12:83-93.
61. Tallal P, Piercy M (1975) Developmental aphasia: the perception of brief vowels and extended stop consonants. *Neuropsychologia* 13:69-74.
62. Rey V, de Martino S, Espesser R, Habib M (2002) Temporal processing and phonological impairment in dyslexia: effect of phoneme lengthening on order judgment of two consonants. *Brain Lang* 80: 576-591
63. Schulte-Körne G, Deimel W, Bartling J, Remschmidt H (1998) Auditory processing and dyslexia: evidence for a specific speech processing deficit. *Neuroreport* 9:337-340.
64. Liberman AM, Harris KS, Hoffman HS, Griffith BC (1957) The discrimination of speech sounds within and across phoneme boundaries. *J Exp Psychol* 54:358-368.
65. Blomert L, Mitterer H (2004) The fragile nature of the speech-perception deficit in dyslexia: Natural vs. synthetic speech. *Brain Lang* 89:21-26.
66. Chiappe P, Chiappe DL, Siegel LS (2001) Speech perception, lexicality, and reading skills. *J Exp Child Psychol* 80:58-74.
67. Mody M, Studdert-Kennedy M, Brady S (1997) Speech perception deficits in poor readers: auditory processing or phonological coding? *J. Exp. Child Psychol* 64:199-231.
68. Werker JF, Tees RC (1987) Speech perception in severely disordered and average reading children. *Can J Psychol* 41:48-61.
69. Veuillet E, Magnan A, Ecalle J, Thai-Van H, Collet L (2007) Auditory processing disorder in children with reading disabilities: Effect of an audiovisual training. *Brain*, 130:2915-2928.
70. Breier JI, Fletcher JM, Denton C, Gray LC (2004) Categorical perception of speech stimuli in children at risk for reading difficulty. *J Exp Child Psychol* 88:152-170.
71. Godfrey JJ, Syndal-Larsky AK, Millay KK, Knox CM (1981) Performance of dyslexic children on speech perception tests. *J Exp Child Psychol* 32:401-424.
72. Serniclaes W, Sprenger-Charolles L, Carre R, Demonet JF (2001) Perceptual discrimination of speech sounds in developmental dyslexia. *J Speech Lang Hear Res* 44:384-399.
73. Boada, R., Pennington, B.F. (2006). Deficient implicit phonological representation in children with dyslexia. *J Exp Child Psychol* 95: 153-193.
74. Ramus F, Szenkowitz G (2008) What phonological deficit? *Q J Exp Psychol (Colchester)* 61: 129-141.
75. Shaywitz, S.E., Shaywitz, B.A. (2005). Dyslexia (specific reading disability). *Biol. Psychiatry*, 57:1301-1309.
76. Vellutino FR, Fletcher JM, Snowling MJ, Scanlon DM (2004) Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades. *J Child Psychol Psychiat* 45:2-40.



77. Robertson EK, Joanisse MF, Desroches AS, Ng S. (2009) Categorical speech perception deficits distinguish language and reading impairments in children. *Dev Sci* 12:753-767.
78. Jamieson DG, Kranjc G, Yu K, Hodgetts WE (2004) Speech intelligibility of young school-aged children in the presence of real-life classroom noise. *J Am Acad Audiol* 15: 508-517.
79. Bradley, JS, Sato, H (2008) The intelligibility of speech in elementary school classrooms. *J Acoust Soc Am*, 123:2078-2096.
80. Bradlow AR, Kraus N, Hayes E. (2003) Speaking clearly for children with learning disabilities: Sentence perception in noise. *J Speech Lang Hear Res* 46:80-97.
81. Sperling AJ, Lu ZL, Manis FR, Seidenberg MS (2005) Deficits in perceptual noise exclusion in developmental dyslexia. *Nat Neurosci* 8:862-863.
82. Ziegler JC, Pech-Georgel C, George F, Alario FX, Lorenzi C (2005) Deficits in speech perception predict language learning impairment. *Proc Natl Acad Sci USA* 102:14110-14115.
83. Ziegler JC, Pech-Georgel C, George F, Lorenzi C (2009) Speech-perception in noise in dyslexia. *Dev Sci* 12:732-745.
84. Wightman FL, Kistler DJ (2005) Informational masking of speech in children: Effects of ipsilateral and contralateral distracters. *J Acoust Soc Am* 118:3164-3176.
85. Nittroter S (2002) From ear to cortex: A perspective on what clinicians need to understand about speech perception and language processing. *Lang Speech Hear Serv Sch* 33:237-252.
86. Lewis D, Hoover B, Choi S, Stelmachowicz P (2010) Relationship between speech perception in noise and phonological awareness skills in normal hearing. *Ear Hear* in press.
87. McAnally KI, Stein JF (1996). Auditory temporal coding in dyslexia. *Proc R Soc Lond B Biol Sci*, 263: 961-965.
88. Stollman MHP, van Velzen ECW, Simkens HMF, Snik AFM, van den Broek P (2003) Assessment of auditory processing in 6-year-old language impaired children. *Int J Audiol* 42:303-311.
89. Rouch J, Tait CA (1984) Binaural fusion, masking level differences, and auditory brainstem brain-stem responses in children with language-learning disabilities. *Ear Hear* 5:37-41.
90. Bryden MP (1988) An overview of the dichotic listening procedure and its relation to cerebral organization. In K Hugdahl (Ed), *Handbook of dichotic listening: Theory, methods and research* (pp.1-43). Chichester, England: Wiley.
91. Hugdahl K, Helland T, Faerevaag MK, Lyssand ET, Asbjornsen A (1995) Absence of ear advantage on the consonant-vowel dichotic listening test in adolescent and adult dyslexics: Specific auditory-phonemic dysfunction. *J Clin Exp Neuropsychol* 17: 833-840.
92. Jerger J, Martin J (2006) Dichotic listening tests in the assessment of auditory processing disorders. *Audiol Med* 4:25-34.
93. Hiscock M, Kinsbourne M (1982) Laterality and dyslexia: A critical view. *Annals of Dyslexia* 32:177-228.
94. Hiscock M, Kinsbourne M (1995) Progress in the measurement of laterality and implications for dyslexia research. *Ann Dyslexia* 45: 249-268.
95. Asbjornsen AE, Helland T, Obrzut JE, Boliek CA (2003). The role of dichotic listening performance and tasks of executive functions in reading impairment: A discriminant function analysis. *Child Neuropsychol* 9:277-288.
96. Moncrieff DH, Black JR (2008) Dichotic listening deficits in children with dyslexia. *Dyslexia* 14: 54-75.
97. Demanez L, Dony-Closos B, Lhonneux-Ledoux F, Demanez JP (2003) Central auditory processing assessment: a French speaking battery. *Acta Oto-Rhino-Laryngol Belgica*, 57: 275-290.
98. Moncrieff D, Musiek F (2002) Interaural asymmetries revealed by dichotic listening tests in normal and dyslexic children. *J Am Acad Audiol*. 13:428-437.
99. Bellis TJ, Ferre JM (1999) Multidimensional approach to the differential diagnosis of central auditory processing disorders in children. *J. Am. Acad. Audiol*. 10:319-328.
100. Kimura D (1967) Functional asymmetry of the brain in dichotic listening. *Cortex* 3: 163-168.
101. Hugdahl K. Dichotic listening: probing temporal lobe functional integrity (1995) In *Brain and Asymmetry*, ed. RJ Davidson and K Hugdahl. MIT Press, Cambridge, MA, pp.123-156.
102. Kinsbourne M (1970) The cerebral basis of lateral asymmetries in attention. *Acta Psychologica (Amst)*33:193-201.
103. Helland T, Asbjornsen AE, Hushovd AE, Hugdahl K (2008) Dichotic listening and school performance in dyslexia. *Dyslexia* 14:42-53
104. Leonard CM, Eckert M (2008) Asymmetry and Dyslexia. *Dev. Neuropsychol.* 33(6): 663-681.
105. Chiarello C, Lombardino LJ, Kacinik NA, Otto R, Leonard CM (2006) Neuroanatomical and behavioral asymmetry in an adult compensated dyslexic. *Brain Lang* 98:169-181.
106. Welcome SE, Leonard CM, Chiarello C (2010) Alternate reading strategies and variable asymmetry of the planum temporale in adult resilient readers. *Brain Lang* 113:73-83.
107. Kibby MY, Pavawalla SP, Fancher JB, Naillon MS, Hynd ED (2009) The relationship between cerebral hemisphere volume and receptive language functioning in dyslexia and attention-deficit/hyperactivity disorder. *J Child Neurol*. 24: 438-448.
108. Galaburda AM (1999) Developmental dyslexia: A multilevel syndrome. *Dyslexia*, 5: 183-191.
109. Heim S, Keil A (2004) Large-scale neural correlates of developmental dyslexia. *Eur. Child & Adolescent Psychiatry*, 13: 125-140
110. Dibbets P, Bakker K, Jolles J (2006) Functional MRI of task switching in children with specific language impairment (SLI). *Neurocase* 12:71-79.
111. Gaab N, Gabrieli JDE, Deutsch GK, Tallal P, Temple E (2007) Neural correlates of rapid auditory processing are disrupted in children with developmental dyslexia and ameliorated with training: An fMRI study. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 2007, 25: 295-310.
112. Heim S, Grande M, Meffert E, Eickhoff SB, Schreiber H, Kukulja J, Shah NJ, Huber W, Amunts K (2010a) Cognitive levels of performance account for hemispheric lateralisation effects in dyslexic and normally reading children. *NeuroImage* 13: 1348-1356.
113. Heim S, Grande M, Pape-Neumann J, van Ermingen M, Meffert E, Grabowska A, Huber W, Amunts K (2010b) Interaction of phonological awareness and "magnocellular" processing during normal and dyslexic reading: Behavioural and fMRI investigations. *Dyslexia* 16:258-282.
114. Richlan F, Kronbichler M, Wimmer H (2009) Functional abnormalities in the dyslexic brain: A quantitative meta-analysis of neuroimaging studies. *Human Brain Mapping* 30:3299-3308.
115. MacSweeney M, Brammer MJ, Waters D, Goswami U (2009) Enhanced activation of the left inferior frontal gyrus in deaf and dyslexic adults during rhyming. *Brain* 132: 1928-1940.
116. Temple E (2002) Brain mechanisms in normal and dyslexic children. *Cur Opin Neurobiol* 12:178-193.
117. Hoefl F, Meyler A, Hernandez A, Juel C, Taylor-Hill H, Martindale JL, McMillon G, Kolchugina G, Black JM, Faizi A, Deutsch GK, Siok WT, Reiss AL, Whitfield-Gabrieli S, Gabrieli JDE (2007) Functional and morphometric brain dissociation between dyslexia and reading disability. *Proc Natl Acad Sci USA* 104:4234-4239.
118. Blau V, Reithler J, van Atteveldt N, Seitz J, Gerretsen P (2010) Deviant processing of letters and speech sounds as proximate cause of reading failure: a functional magnetic resonance imaging study of dyslexic children. *Brain* in press.
119. Hairston WD, Burdette JH, Flowers DL, Wood FB, Wallace MT (2005) Altered temporal profile of visual-auditory multisensory interactions in dyslexia. *Exp. Brain Res* 166:474-480
120. McArthur G, Atkinson C, Ellis D (2009) Atypical brain responses to sounds in children with specific language and reading impairments. *Dev Sci*, 2009, 12: 768-783.
121. Leonard CM, Eckert M, Given B, Viriginia B, Eden G (2006) Individual differences in anatomy predict reading and oral language impairments in children. *Brain* 129: 3329-3342.
122. Abrams DA, Nicol T, Zecker S, Kraus N (2009) Abnormal cortical processing of the syllable rate of speech in poor readers. *J Neurosci* 2009, 17:7686-7693.
123. Leppänen PHT, Lyytinen H (1997) Auditory event-related potentials in the study of developmental language-related disorders. *Audiol Neurootol* 2: 308-340.
124. Jerger J, Thibodeau L, Martin J, Mehta J, Tillman G, Greenwald R, Britt L, Scott J, Overson G (2002) Behavioral and electrophysiological



- gical evidence of auditory processing disorder: a twin study. *J Am Acad Audiol* 13: 438-460.
125. Foster LM, Hynd GW, Morgan AE, Hugdahl L (2002) Planum temporale asymmetry and ear advantage in dichotic listening in developmental dyslexia and attentional deficit/hyperactivity disorder (ADHD). *J Int Neuropsychol Soc* 8:22-36.
126. Paul I, Bott C, Heim S, Eulitz C, Elbert T (2006) Reduced hemispheric asymmetry of the auditory N260m in dyslexia. *Neuropsychologia*, 44:785-794.
127. Wehner DT, Ahifors SP, Mody M (2007) Effect of phonological contrast on auditory word discrimination in children with and without reading disability: A magnetoencephalography (MEG) study. *Neuropsychologia* 45:3251-3262.
128. Bishop, DVM (2007) Using mismatch negativity to study central auditory processing disorder in developmental language and literacy impairments: Where are we, and where should be going? *Psychol Bull* 133:651-672.
129. Schulte-Körne G, Bruder J (2010) Clinical neurophysiology of visual and auditory processing in dyslexia: A review. *Clin Neurophysiol in press*
130. Leppänen PHT, Hämäläinen JA, Salminen HK, Eklund KM, Guttorm TK, Lohvansuu K, Puolakanaho A, Lyytinen H (2010) Newborn brain event-related potentials revealing atypical processing of sound frequency and the subsequent association with later literacy skills in children with familial dyslexia. *Cortex in press*.
131. Banai K, Abrams D, Kraus N (2007) Sensory-based learning disability: Insights from brainstem processing of speech sounds. *Int J Audiol*, 46:524-532.
132. Banai K, Hornickel J, Skoe E, Nicol T, Zecker S, Kraus N (2009) Reading and subcortical auditory function. *Cereb Cortex* 19:2699-2707.
133. Banai K, Nicol T, Zecker SG, Kraus N (2005) Brainstem timing implications for cortical processing and literacy. *J Neurosci* 25:9850-9857.
134. Cunningham J, Nicol T, Zecker SG, Bradlow A, Kraus N (2001) Neurobiologic responses to speech in noise in children with learning problems: deficits and strategies for improvement. *Clin Neurophysiol* 112:758-767.
135. King C, Warrier CM, Hayes E, Kraus N (2002) Deficits in auditory brainstem pathway encoding of speech sounds in children with learning problems. *Neurosci Lett* 319: 111-115
136. Wibble B, Nicol T, Kraus N (2004) Atypical brainstem representation of onset formant structure of speech sounds in children with language-based learning problems. *Biol Psychol* 67:299-317
137. Johnson KL, Nicol TG, Zecker SG, Kraus N (2007) Auditory brainstem correlates of perceptual timing deficits. *J Cog Neurosci* 19: 376-385.
138. Hornickel J, Skoe E, Nicol T, Zecker S, Kraus N (2009) Subcortical differentiation of stop consonants relates to reading and speech-in-noise perception. *Proc Natl Acad Sci USA* 106:13022-13027.
139. Wibble B, Nicol T, Kraus N (2002) Abnormal neural encoding of repeated speech stimuli in noise in children with learning problems. *Clin Neurophysiol* 113:485-494
140. Wible B, Nicol T, Kraus N (2005) Correlation between brainstem and cortical auditory processes in normal and language-impaired. *Brain* 128:417-423.
141. Marler JA, Champlin CA, Gillam RB (2002) Auditory memory for backward masking signals in children with language impairment. *Psychophysiology* 39:767-780.
142. Gopal KV, Pierel K (1999) Binaural interaction component in children at risk for central auditory processing disorders. *Scand Audiol* 28:77-84
143. Delb W, Strauss DJ, Holenberg G, Plinkert PK (2003) The binaural interaction component (BIG) in children with central auditory processing disorders (CAPDs). *Int J Audiol* 42:401-412.
144. Clarke EM, Adams C (2007) Binaural interaction in specific language impairment: an auditory evoked potential study. *Dev Med Child Neurol* 49:274-279.
145. Chandrasekaran B, Hornickel J, Skoe E, Nicol T, Kraus N (2009) Context-dependent encoding in the human auditory brainstem relates to hearing speech in noise: Implications for developmental dyslexia. *Neuron* 64:311-319.
146. Anderson S, Skoe E, Chandrasekaran B, Kraus N (2001) Neural timing is linked to speech perception in noise. *J Neurosci* 30:4922-4926.
147. Basu M, Krishnan, A, Weber-Fox C (2010) Brainstem correlates of temporal auditory processing in children with specific language impairment. *Dev Sci* 13: 77-91.
148. Billiet CR, Bellis TJ (2010) The relationship between brainstem temporal processing and performance on tests of central auditory function in children with reading disorders. *J Speech Language Hear Res in press*.
149. Zhang YF, Suga N (2005) Corticofugal feedback for collicular plasticity evoked by electric stimulation of the inferior Colliculus. *J Neurophysiol* 94:2676-2682.
150. Zhang YF, Suga N (2000) Modulation of responses and frequency tuning of thalamic and collicular neurons by cortical activation in mustached bats. *J Neurophysiol* 84:325-333.
151. Gao E, Suga N (2000) Experience-dependent plasticity in the auditory cortex and the inferior colliculus of bats: Role of the corticofugal system. *Proc Natl Acad Sci USA* 97:8081-8086.
152. Collet L, Kemp DT, Veuille E, Duclaux R, Moulin A, Morgon A (1990) Effect of contralateral auditory stimuli on active cochlear micro-mechanical properties in humans subjects. *Hear Res* 43:251-262.
153. Veuille E, Collet L, Duclaux R (1991) Effect of contralateral acoustic stimulation on active cochlear micromechanical properties in human subjects: dependence on stimulus variables. *J Neurophysiol* 65:724-735.
154. Veuille E, Bazin F, Collet L (1999) Objective evidence of peripheral auditory disorders in learning-impaired children. *J Audiol Med* 8:18-29.
155. Bar-Haim Y, Ari-Even-Roth D, Tetin-Schneider S, Hildesheimer M, Muchnik C (2004) Reduced auditory efferent activity in childhood selective mutism. *Biol Psychiatry* 55:1061-1068.
156. Clarke EM, Ahmed A, Parker D, Adams C (2006) Contralateral suppression of otoacoustic emissions in children with specific language impairment. *Ear Hear* 27:153-160.
157. Sanchez SCG, Carvallo RM (2006) Contralateral suppression of transient evoked otoacoustic emissions in children with auditory processing disorders. *Audiol Neurootol*. 11:366-372.
158. Muchnik C, Ari-Even Roth D, Ohtman-Jebara R, Petter-Katz H, Shabtai EL, Hildesheimer M (2004) Reduced medial olivocochlear bundle system function in children with auditory processing disorders. *Audiol Neurootol* 9:107-114.
159. de Boer J, Thornton AR (2008) Neural correlates of perceptual learning in the auditory brainstem: efferent activity predicts and reflects improvement at a speech-in noise discrimination task. *J Neurosci* 28:4929-4937.
160. Luo F, Wang Q, Kashani A, Yan J (2008) Corticofugal modulation of initial sound processing in the brain. *J Neurosci* 28:11615-11621.
161. Tallal P (2003) Language learning disabilities: integrating research approaches. *Cur Dir Psychol Sci* 12:206-211.
162. Musiek F, Bellis T, Chermak G (2005) Non-modularity of the central auditory nervous system: Implications for (central) auditory processing disorder. *Am J Audiol* 14: 128-138.
163. Tallal P, Miller S, Bedi G, Byma G, Wang X, Nagarajan S, Schreiner C, Jenkins WM, Mezernich MM (1996) Language comprehension in language-learning impaired children improved with acoustically modified speech. *Science* 271:81-84.
164. Loo JHY, Bamiou DE, Campbell N, Luxon LM (2010). Computer-based auditory training (CBAT) : benefits for children with language-and reading-related learning difficulties. *Dev Med Child Neurol*, 58: 708-717.

DE QUOI A-T-ON
BESOIN POUR **TOUT** AVOIR ?

moxi^{3G}

Moxi™ 3G est maintenant disponible et il apporte chaque jour à vos clients la liberté de vivre pleinement leur vie de leur propre manière. Ce CRT pile 312 très discret offre une technologie d'avant-garde qui est cliniquement prouvée pour faire ressortir la parole clairement du bruit, même avec les appareillages ouverts.

Les fonctionnalités sans fil permettent à vos clients de rester connectés à ce qui leur importe le plus. Tout cela est disponible dans un large choix d'appareillages flexibles qui vous permet de répondre aux besoins de chacun de vos clients, dans un style qui leur est propre. Moxi 3G vous apporte tout.

Découvrez comment vos clients peuvent tout avoir en visitant www.unitron.com/fr



 **unitron.**

 C'EST LE BON MOMENT



CHRONOS 9 | 7 | 5

Pourquoi se contenter de moins, quand on peut tout avoir ?

L'exactitude, la fiabilité et la longévité – voilà ce que vous attendez des produits de précision suisse. Et ce sont précisément ces qualités que vous offrent les aides auditives Chronos. Dotée de notre nouvelle technologie exclusive Audio Efficiency™, la gamme complète Chronos reproduit l'univers sonore de votre patient avec autant de précision que la montre suisse indique l'heure.



**AUDIO
EFFICIENCY™**



Troubles centraux de l'audition dans l'autisme

Nicole BRUNEAU,
Marie GOMOT,
Frédérique
BONNET-
BRILHAULT,
Catherine
BARTHÉLÉMY

UMRS INSERM U930,
CNRS ERL 3106,
Université François
Rabelais de Tours,
CHRU de Tours,
Centre
de Pédiopsychiatrie.

1

Autisme et surdité

L'autisme infantile est un trouble grave du développement qui se manifeste par un évitement ou un refus des relations avec autrui, par des difficultés de communication verbale et non verbale et par un répertoire comportemental restreint et stéréotypé. Les personnes atteintes présentent un handicap social majeur. La prévalence de l'autisme est estimée à 8/10000 individus (Fombonne, 2009).

L'autisme a longtemps été considéré comme un syndrome lié à des facteurs d'environnement et notamment aux difficultés affectives de la mère vis-à-vis de son enfant. Les hypothèses actuelles ne méconnaissent pas les difficultés psychologiques qui peuvent survenir entre l'enfant et son entourage mais il est maintenant bien admis que l'autisme est un trouble du développement et du fonctionnement cérébral.

Parmi les signes précoces rapportés par les familles, la question d'une éventuelle surdité est fréquemment posée devant des comportements particuliers, par exemple l'enfant ne se retourne pas à l'appel de son prénom. Le médecin ORL est souvent un des premiers consultés. Le contrôle de l'audition fait partie des obligations dans un bilan diagnostique d'autisme (www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/recommandations_autisme.pdf). Le plus souvent il confirmera l'absence de surdité mais il n'est pas rare que des troubles auditifs soient retrouvés associés à l'autisme.

Dans une large étude épidémiologique effectuée sur 199 enfants et adolescents autistes, Rosenhall et al. (1999) ont montré à partir de tests audiolinguistiques que les surdités profondes sont effectivement plus fréquentes chez les autistes que dans la population contrôle ce qui pose la question d'une étiologie commune à ces deux pathologies dans certains cas. Les otites séreuses associées dans la majorité des cas à un déficit auditif, sont également plus fréquentes chez les autistes.

Les tests nécessitant une réponse comportementale de l'enfant sont le plus souvent difficilement réalisables. Les explorations électrophysiologiques avec les potentiels évoqués auditifs de tronc cérébral (PEATC) permettent de contrôler de façon objective l'audition de l'enfant.

2

Autisme et particularités de comportement vis-à-vis de l'environnement sonore

La plupart des enfants autistes, pour lesquels les déficits auditifs périphériques ont pu être exclus, présentent malgré tout des comportements très particuliers vis-à-vis du monde sonore. Les réactions sont souvent paradoxales : l'enfant

réagit parfois de façon exagérée à des stimulations faibles alors qu'il ne réagit pas aux stimulations fortes. D'autres particularités sont souvent rapportées comme le fait de ne pas supporter certains bruits (chasse d'eau, aspirateur) ou de susciter des bruits répétitifs (tape toute la journée sur un objet). Dans d'autres cas l'enfant s'intéresse aux bruits les plus variés (chants d'oiseaux, musique...) alors qu'il semble «sourd» au langage : les sollicitations doivent être répétées, les réponses sont parfois retardées.

Certains enfants manifestent une attirance élective ou une véritable fascination pour des sons qu'on ne remarque pourtant pas habituellement dans notre environnement quotidien. Nous empruntons à Temple Grandin, adulte autiste de bon niveau intellectuel, son témoignage où elle évoque notamment ses problèmes sensoriels: « Mon ouïe se comportait comme si j'avais un appareil auditif avec le volume bloqué à fond. Mes oreilles étaient comme des microphones qui détectent tout... j'avais deux choix : éteindre mes appareils auditifs et m'échapper dans un monde de rêves et de stéréotypies, ou être inondée de bruits... »

L'étude multicentrique impliquant les équipes de Lyon, Toulouse et Tours a permis de mettre en évidence cette sensibilité auditive particulière (Khalifa et al., 2004). Les tests audiolinguistiques nécessitant une participation active, l'étude concernait des enfants et adolescents de bon niveau de développement ou présentant un retard léger. Le sujet reçoit une séquence de stimulations auditives de 1 kHz, d'intensité variable. Les résultats montrent que les stimulations sont qualifiées de normales, fortes ou trop fortes à des niveaux d'intensité plus faibles chez les sujets atteints d'autisme que chez les contrôles ceci bien que le seuil d'audition soit identique dans les deux groupes, ce phénomène correspond à la définition même de l'hyperacousie. Ce résultat est évidemment à prendre en compte pour aménager un environnement sensoriel adapté à ces personnes, dans la vie quotidienne et lors des prises en charge spécialisées.

3

Les explorations fonctionnelles auditives ; mise en évidence d'indices du trouble neurodéveloppemental

1. Les otoémissions acoustiques comme marqueur de la fonctionnalité du système efférent olivo-cochléaire médian

La difficulté à extraire un signal auditif pertinent du bruit de fond observée dans l'autisme pourrait être la conséquence d'anomalies de filtrage entraînant une surcharge sensorielle et/ou une incapacité à sélectionner les informations



auditives de l'environnement ou à les discriminer les unes des autres. Chez l'homme la capacité à filtrer des informations auditives dans le bruit de fond se fait par des régulations via les voies auditives descendantes qui modulent le fonctionnement de la cochlée. Une partie de ces fibres auditives efférentes sont regroupées sous le terme de système efférent olivo-cochléaire médian (SEOCM). Le noyau médian, d'où sont issues ces fibres efférentes, reçoit des informations des aires auditives par l'intermédiaire de voies descendantes qui font relais dans le colliculus inférieur. Ainsi les fibres efférentes du SEOCM activées par le bruit sont régulatrices du rôle d'amplificateur joué par les cellules ciliées externes de la cochlée (CCE) ; elles sont donc de cette façon directement impliquées dans le filtrage auditif périphérique du signal acoustique en milieu bruyant. L'activité des CCE et leur modulation par les systèmes descendants peuvent être évaluées objectivement grâce à l'enregistrement des otoémissions acoustiques (OEA). L'hypothèse d'un dysfonctionnement des systèmes auditifs efférents qui entraîne des anomalies de filtrage périphérique dans l'autisme était renforcée par les résultats d'une étude préliminaire montrant une tendance à la diminution de l'activité du système olivocochléaire médian (Collet et al., 1993). L'étude multicentrique qui a suivi (Khalfa et al., 2001 ; Lyon, Toulouse, Tours) a été effectuée sur une plus large population et n'a pas permis de répliquer ce résultat mais a mis en évidence une asymétrie des réponses, indiquant que le SEOCM est plus fonctionnel au niveau de l'oreille droite que de l'oreille gauche chez les enfants et adolescents atteints d'autisme alors que ce fonctionnement n'est pas latéralisé chez les sujets témoins de même âge. Cette anomalie de latéralisation auditive périphérique dans l'autisme infantile pourrait être liée aux anomalies de latéralisation de la réactivité auditive corticale (voir ci-dessous).

2. Les explorations électrophysiologiques

Du fait de leur totale innocuité et de leur facilité de mise en œuvre, les méthodes électrophysiologiques sont particulièrement adaptées à l'exploration du fonctionnement cérébral chez le jeune enfant, et en particulier chez les enfants présentant des perturbations importantes du comportement. Elles permettent l'analyse temporelle fine des différentes étapes de l'intégration auditive au niveau sous-cortical et cortical. Nous nous limiterons dans cette revue aux résultats qui concernent les enfants atteints d'autisme vus en consultation à l'hôpital c'est-à-dire pour lesquels l'autisme est associé à un retard mental. Le lecteur pourra trouver des informations complémentaires dans les revues de Bomba et Pang (2004) et Jeste et Nelson (2008).

1. Les potentiels évoqués auditifs de tronc cérébral (PEATC)

Outre l'utilisation des PEATC pour l'évaluation de l'audition périphérique, de nombreux travaux se sont intéressés à ces réponses comme témoins de la fonctionnalité du tronc cérébral. Les résultats ne montrent pas d'anomalies spécifiquement associées à l'autisme bien que les résultats dans ce domaine soient très contradictoires. En effet le temps de transmission de l'information auditive au niveau des voies et relais auditifs du tronc cérébral est décrit, selon les études, allongé ou raccourci. Plus récemment la question de la spécificité à l'autisme des anomalies de PEATC a été soulevée (Nagy et Loveland, 2002) puisque des anomalies du même type ont été montrées chez des enfants présentant des troubles du langage. Dans cette étude la distribution bimodale de ces anomalies des PEATC suggère l'existence de sous-groupes différents qui seront à mettre en

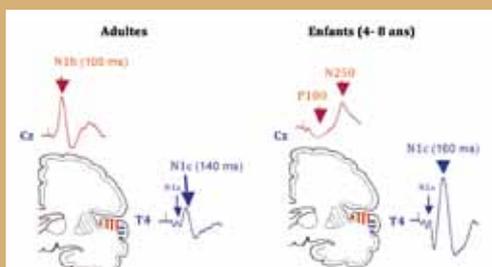


Figure 1. Réponses auditives enregistrées au niveau fronto-central (ici au vertex Cz) et au niveau temporal (ici temporal droit T4) chez des adultes et des enfants âgés de 4 à 8 ans. Les différences de morphologie traduisent l'évolution avec l'âge de la morphologie et du fonctionnement des régions corticales impliquées dans la génèse des ondes.

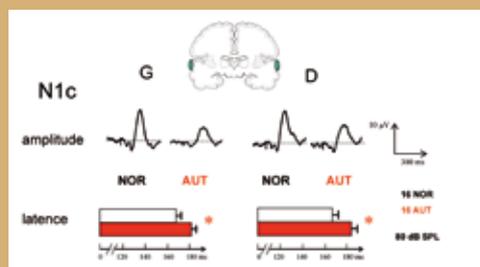


Figure 2. Hyporéactivité temporelle mise en évidence chez des enfants atteints d'autisme comparés à des enfants ordinaires. L'onde N1c générée dans la partie latérale du gyrus temporal supérieur est plus faible en amplitude et retardée en latence. De telles différences ne sont pas observées sur les réponses enregistrées au niveau fronto-central.

relation avec les résultats de la génétique. Par ailleurs l'étude de Maziade et al. (2000) a mis en évidence le même type d'anomalies (allongement du temps de transmission) chez des personnes autistes et les apparentés sains du premier degré. Des études dans ce sens devraient se poursuivre pour mieux identifier les phénotypes « intermédiaires » ou endophénotypes dans la recherche des facteurs génétiques impliqués dans l'autisme.

■ 2. Les réponses auditives corticales dans l'autisme

a. Les potentiels évoqués auditifs corticaux « sensoriels »

Les études portent sur les différentes étapes corticales de l'intégration des messages auditifs lors des processus de perception et de discrimination auditive chez l'enfant au cours du développement normal et pathologique. Les marqueurs électrophysiologiques sont d'une part la réponse sensorielle dite « obligatoire » qui traduit le traitement de toute information auditive au niveau cortical et d'autre part la Négativité de discordance ou « Mismatch Negativity » (MMN) qui apparaît uniquement lors de la détection d'un changement dans les caractéristiques physiques de la stimulation. Les sujets ont auparavant un enregistrement des PEATC pour contrôler leur audition.

Les potentiels évoqués auditifs corticaux sont très différents chez l'enfant et chez l'adulte (figure 1).

Cette différence est en lien avec la maturation des régions corticales impliquées dans la genèse de ces réponses. Ainsi chez l'adulte normal la réponse auditive classiquement décrite culmine à 100 ms au niveau du vertex (représentée en rouge sur la figure 1) et correspond à l'activation de générateurs situés dans le plan supratemporal du cortex auditif avec une participation de générateurs situés dans la région frontale. Cette onde N1 (encore appelée N1b) n'est enregistrée chez l'enfant normal qu'à partir de 8-10 ans. Avant cet âge la réponse enregistrée au vertex comprend un pic positif qui culmine à environ 100 ms suivi d'une grande onde négative qui culmine à environ 250 ms. Les données topographiques montrent que ces deux ondes ont des générateurs localisés dans le plan supra-temporal du cortex auditif. Les réponses enregistrées sur les régions temporales (représentées en bleu sur la figure 1) se dissocient clairement des réponses fronto-centrales, ceci aussi bien chez les enfants que chez les adultes normaux. Les réponses temporales sont constituées de 2 pics négatifs successifs (N1a et N1c), encore appelés « complexe T ». Il a été montré que l'onde N1c est générée dans la partie latérale du gyrus temporal supérieur. Dans la population normale, les réponses temporales de l'enfant sont mieux individualisées et de plus grande amplitude (Bruneau et al., 1997) que celles de l'adulte. Alors que les réponses fronto-centrales ne présentent pas de différences majeures chez les enfants et adultes atteints d'autisme, il n'en est pas de même pour les réponses enregistrées sur les régions temporales. Chez des enfants autistes âgés de 4 à 8 ans, ces réponses temporales sont atténuées en amplitude et retardées en latence (d'environ 20 ms) comme le montre la figure 2. Par ailleurs la modulation de l'amplitude de la réponse en fonction de l'intensité de la stimulation est atténuée chez les enfants autistes en particulier au niveau temporal gauche. Elle est enregistrée du côté droit et la modulation est d'autant plus marquée que les enfants présentent un bon niveau de communication par le langage, les gestes et la mimique (Bruneau et al., 1999-2003). La question se pose cependant de la spécificité de ces anomalies des réponses temporales à l'autisme puisque des anomalies du même type ont été mises en évidence chez des enfants présentant des troubles spécifiques du langage (Shafer & al., 2010) et chez des enfants trisomiques (Groen et al., 2008).

Ces résultats montrant des anomalies des réponses temporales auditives sont tout à fait concordants avec ceux de la neuroimagerie qui ont mis en évidence une hypoperfusion bitemporale au repos, et lors d'activation par des stimulations auditives simples ou complexes chez les enfants autistes par rapport au groupe contrôle (voir tome 2, Chapitre 3).

b. La Négativité de discordance ou Mismatch Negativity (MMN) aux stimulations auditives simples

La MMN est une réponse cérébrale évoquée par des stimulations déviantes survenant occasionnellement dans une séquence répétitive de stimulations identiques standards. Elle traduit un processus automatique de détection de différences minimales dans les caractéristiques physiques des stimulations acoustiques. Chez l'adulte, cette négativité est enregistrée 200 ms après la stimulation sur les régions fronto-centrales. De nombreuses études ont précisé les générateurs corticaux responsables de cette réponse. Ces générateurs sont situés d'une part dans le cortex temporal où ils auraient un rôle spécifiquement sensoriel, et d'autre part dans le cortex frontal où ils refléteraient des mécanismes automatiques de mise en jeu de l'attention (voir revues Näätänen et al., 2007 et Garrido et al., 2009). Cette réponse est robuste et a été mise en évidence chez l'enfant avec les mêmes caractéristiques topographiques que chez l'adulte.

Les résultats obtenus chez des enfants autistes présentant un retard sont en faveur d'une hyperréactivité aux différences de fréquence sonore. En effet la MMN de ces enfants présente soit une latence plus précoce (Gomot et al., 2002), soit une amplitude plus ample (Ferri et al., 2003) comparées aux réponses d'enfants ordinaires. Récemment Gomot et al. (2010) montrent de plus que le raccourcissement de latence de la MMN est d'autant plus marqué que les enfants sont sensibles aux changements qui surviennent dans leur environnement, évalué à partir d'échelle de comportement. Ce résultat n'est pas retrouvé chez des enfants autistes sans déficience intellectuelle (Ceponiene et al., 2003) pour lesquels la MMN liée à des variations de fréquence est normale.

c. L'onde de discordance ou MMN aux stimulations langagières

Les difficultés de langage sont un élément majeur de la symptomatologie autistique. Elles vont de l'absence totale du langage jusqu'à la présence de langage non utilisé dans un but de communication. Les études électrophysiologiques ont permis de montrer des anomalies de réponses spécifiques aux stimulations langagières. Chez des enfants autistes de faible niveau intellectuel, Kuhl et al. (2005) ont montré que la MMN évoquée par des différences de consonnes (/wa/ versus /ba/) était diminuée en amplitude, suggérant des déficits dans la discrimination des consonnes. Chez des sujets présentant un bon quotient intellectuel, Ceponiene et al. (2003) ont montré que la MMN évoquée par des changements de voyelles est normale. Cependant la P3 qui suit n'est pas obtenue ce qui traduit l'absence d'orientation attentionnelle pour les stimulations langagières. Toujours chez des enfants autistes de bon niveau intellectuel, Whitehouse et Bishop (2008) ont étudié les réponses auditives à des stimulations verbales et non-verbales délivrées dans des conditions passives ou actives. Alors que toutes les réponses sont moins amples dans les conditions passives, elles sont d'amplitude normale dans les conditions actives. Ceci illustre le désintérêt « spontané » de ces enfants pour le langage avec la possibilité de mobiliser les systèmes de perception langagière dans les conditions d'attention. Il faut souligner ici l'importance capitale d'utiliser des groupes contrôles appariés sur le QI verbal dans de telles études.



d. Réponses corticales à la voix humaine

Dans les études précédemment citées les résultats sont interprétés en terme de désintérêt pour les stimulations langagières. Cependant des processus plus élémentaires de perception de la voix humaine apparaissent affectés dans l'autisme. Les études IRMF détaillées dans le texte d'Arnaud Coez (Tome 2, chapitre 3) décrivent ces travaux montrant que les régions spécifiquement activées par la voix humaine chez les adultes normaux ne le sont pas chez ceux atteints d'autisme. Qu'en est-il chez l'enfant ? Nous avons pu mettre en évidence par les méthodes électrophysiologiques une réponse spécifique à la voix humaine chez le jeune enfant (Rogier et al., 2010), réponse que nous avons appelé FTPV « Fronto-Temporal Positivity to Voice » en raison de sa topographie et de sa polarité. Elle prédomine sur l'hémisphère droit. Cette réponse est robuste et nous l'avons enregistrée chez l'enfant de 4 ans à 12 ans (article en préparation). L'étude que nous avons réalisée chez des adultes atteints d'autisme montre que cette réponse est absente chez les adultes autistes (en accord avec les résultats de l'IRMF) alors qu'elle est présente chez les enfants autistes mais avec une amplitude plus petite et une topographie beaucoup plus diffuse que chez les enfants présentant un développement normal. La réponse à la voix est donc présente chez les enfants autistes même si cette réponse présente des particularités. Elle s'éteint par la suite peut être comme conséquence des difficultés de communication qui entraînent une hypostimulation des réseaux neuronaux impliqués dans la perception de la voix.

4

Conclusion et perspectives

Les explorations du système auditif ont permis de mettre en évidence des particularités de fonctionnement des régions auditives corticales dans l'autisme. Il faut souligner la totale innocuité de ces méthodes. Outre l'exploration de l'audition périphérique, elles permettent de réaliser de façon systématique l'exploration des processus sensoriels et cognitifs mis en jeu lors de l'intégration des messages auditifs. Les résultats permettent d'apporter des informations complémentaires utilisées par les cliniciens pour établir des profils biocliniques en vue de l'élaboration des programmes thérapeutiques adaptés aux patients. Le suivi de l'efficacité des traitements à partir des évaluations cliniques et neurophysiologiques devrait permettre de valider certains indices électrophysiologiques comme marqueurs prédictifs de la sensibilité à certaines thérapeutiques. Les résultats des explorations auront également un intérêt étiologique, en permettant la distinction objective de sous-groupes cliniques, et la caractérisation d'endophénotypes pertinents pour la recherche en génétique.

5

Références

Bomba MD, Pang EW (2004) Cortical auditory evoked potentials in autism : a review. *Int J Psychophysiol* 53 : 161-169.

Bruneau N, Bonnet-Brilhaut F, Gomot M, Adrien JL, Barthelemy C (2003) Cortical auditory processing and communication in children with autism: electrophysiological/behavioral relations. *Int J Psychophysiol* 51: 17-25.

Bruneau N, Roux S, Adrien JL, Barthelemy C (1999) Auditory associative cortex dysfunction in children with autism: evidence from late auditory evoked potentials (N1 wave-T complex). *Clin Neurophysiol* 110: 1927-34.

Bruneau N, Roux S, Guérin P, Barthélémy C, Lelord G (1997) Temporal prominence of auditory evoked potentials (N1 wave) in 4-8 year-old

children. *Psychophysiology* 34 (1): 32-38

Ceponiene R, Lepisto T, Shestakova A, Vanhala R, Alku P, Näätänen R, Yaguchi K (2003) Speech-sound-selective auditory impairment in children with autism: they can perceive but do not attend. *Proc of Natl Acad Sci USA* 100: 5567-5572.

Collet L, Roge B, Descouens D, Moron P, Duverdy F, Urgell H (1993) Objective auditory dysfunction in infantile autism. *Lancet*, 342: 923±924.

Ferri R, Elia M, Agarwal N, Lanuzza B, Musumeci SA, Pennisi G. (2003) The mismatch negativity and the P3a components of the auditory event-related potentials in autistic low-functioning subjects. *Clin Neurophysiol* 114: 1671-1680.

Fombonne E. (2009) Epidemiology of pervasive developmental disorders. *Pediatr Res* 65: 591-598.

Garrido M, Kilner J, Stephan K, Friston K (2009) The mismatch negativity : a review of underlying mechanisms. *Clin Neurophysiol*, 120: 453-463.

Gomot M, Blanc R, Clery H, Roux S, Barthelemy C, Bruneau N (2010) Electrophysiological biomarkers of hyper-reactivity to change in autism. *J Autism Dev Disord* DOI 10.1007/s10803-010-1091-y

Gomot M, Giard MH, Adrien JL, Barthelemy C, Bruneau N (2002) Hypersensitivity to acoustic change in children with autism: electrophysiological evidence of left frontal cortex dysfunctioning. *Psychophysiology* 39: 577-84.

Gomot M, Giard MH, Roux S, Barthelemy C, Bruneau N (2000) Maturation of frontal and temporal components of mismatch negativity (MMN) in children. *Neuroreport*, 11: 3109-3112.

Grandin T (1992) Ma vie d'autiste. Odile Jacob, pp200.

Groen MA, Alku P, Bishop DVM (2008) Lateralisation of auditory processing in Down syndrome : A study of T-complex peaks Ta and Tb *Biological Psychology* 79 : 148-157

Jeste S., Nelson CA (2009) Event-related potentials in the understanding of autism spectrum Disorders : an analytical review. *J Autism Dev Disord* 39: 495-510.

Khalfa S, Bruneau N, Roge B, Georgieff N, Vuillet E, Adrien JL, Barthelemy C, Collet L (2001) Peripheral auditory asymmetry in infantile autism. *Eur J Neurosci*, 13: 628-632.

Khalfa S, Bruneau N, Roge B, Georgieff N, Vuillet E, Adrien JL, Barthelemy C, Collet L (2004) Increased perception of loudness in autism. *Hear Res*, 198: 87-92.

Kuhl PK, Coffey-Corina S, Padden D, Dawson G (2005) Links between social and linguistic processing of speech in preschool children with autism: behavioral and electrophysiological measures. *Dev Sci* 8 : F1-F12.

Maziade M, Mérette C, Cayer M, Roy MA, Szatmari P, Côté R, Thivierge J (2000) Prolongation of brainstem auditory-evoked responses in autistic probands and their unaffected relatives. *Arch Gen Psychiatry*. 57:1077-1083.

Näätänen R, Paavilainen P, Rinne T, Alho K (2007) The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: a review. *Clin Neurophysiol* 118: 2544-2590.

Nagy E, Loveland KA (2002) Prolonged brainstem auditory evoked potentials: an autism-specific or autism-nonspecific marker. *Arch Gen Psychiatry* 59: 288-290.

Rogier O, Roux S, Belin P, Bonnet-Brilhaut F, Bruneau N (2010) An electrophysiological correlate of voice processing in 4- to 5-year-old children. *Int J Psychophysiol* 75: 44-47.

Rosenhall U, Nordin V, Sandström M, Ahlsén G, Gillberg C (1999) Autism and hearing loss. *J Autism Dev Disord* 29: 349-357.

Whitehouse AJ, Bishop DV (2008) Do children with autism "switch off" to speech sounds? An investigation using event-related potentials. *Dev Sci* 11: 516-524.



Apports de l'imagerie cérébrale dans l'exploration d'un trouble central tel que l'autisme

Arnaud COEZ

Audioprothésiste D.E.
Membre du
Collège National
d'Audioprothèse

LCA-Eric Bizaguet,
Dyapason
20 rue Thérèse
75001 Paris

arnaud.coez@lcab.fr

L'imagerie médicale est une science récente. La radiographie, que nous connaissons bien, permet d'accéder à une représentation anatomique du corps. La maîtrise de l'atome et la maîtrise de l'informatique ont permis le développement d'une imagerie dite fonctionnelle. Cette imagerie s'intéresse moins à la résolution anatomique de l'organisme qu'à la façon dont fonctionnent ces organes. Ce mode d'imagerie a été qualifié d'imagerie du vivant car cette technique veut répondre à la question « comment cela fonctionne-t-il ? ».

Appliquées à l'étude du cerveau, ces techniques permettent de porter un regard nouveau sur notre connaissance du vivant mais elles nous permettent également de mieux caractériser certaines pathologies, de localiser les zones de dysfonctionnement, d'aider au diagnostic individuel, d'orienter la stratégie thérapeutique et de permettre une évaluation thérapeutique. Afin d'illustrer les possibilités offertes par l'imagerie cérébrale, il est intéressant d'observer comment elles ont pu être appliquées à l'exploration d'une pathologie telle que l'autisme et comment elles ont permis de modifier notre regard porté sur cette pathologie. L'autisme est un trouble développemental profond. Les principales caractéristiques cliniques de cette pathologie comprennent des déficits dans l'interaction sociale, des déficits de communication verbale et non-verbale, des activités et des centres d'intérêt limités et des comportements stéréotypés. Les résultats de plusieurs études épidémiologiques permettent de considérer l'autisme comme un dysfonctionnement cérébral organique : dans 70% des cas est associé un retard mental, dans 33% des cas un accident vasculaire cérébral. Le fait que 3 garçons soient atteints lorsqu'une seule fille l'est, laisse supposer une prédisposition génétique (Boddaert & Zilbovicius, 2002).

Malgré ces preuves épidémiologiques en faveur d'un dysfonctionnement cérébral, les investigations neuro-anatomiques par imagerie par résonance magnétique (IRM) et scanner ont révélé une multitude de sites potentiels de dysfonctionnement mais ont échoué à localiser le siège du dysfonctionnement cérébral. Les techniques d'imagerie fonctionnelles représentaient la promesse d'avoir des outils afin d'explorer plus efficacement cette pathologie.

1

Imagerie fonctionnelle au repos

A la fin des années 80, les premières comparaisons des données de métabolisme glucidique recueillies en tomographie par émission de positons (TEP) chez des patients autistes et des adultes témoins n'ont pas permis de mettre en évidence de différences de métabolisme entre les deux groupes. De même, les mesures de débit sanguin cérébral au repos ne montraient pas de différences entre groupes.

Ce manque de résultats pouvait s'expliquer par la faible résolution des caméras d'alors (20 mm) amplifiée par une méthode d'analyse de trop larges régions cérébrales qui pouvaient masquer d'éventuelles modifications caractéristiques du débit sanguin cérébral (DSC). Dans les années 2000, deux équipes ont pu utiliser des caméras à forte résolution avec de nouvelles techniques informatiques et statistiques de traitement des données (SPM). De plus les groupes témoins et autistes étaient comparables en âge et en quotient intellectuel. Ces deux équipes ont trouvé une hypoperfusion bitemporale dans le gyrus temporal supérieur et le sillon temporal supérieur (STS) chez ces enfants autistes par rapport au groupe contrôle (Zilbovicius et al., 2000).

Ces études donnèrent les premières preuves robustes d'un dysfonctionnement cérébral localisé dans des aires temporales. Ces dysfonctionnements temporaux peuvent être impliqués dans la majorité des symptômes cliniques (perceptifs, émotionnels, cognitifs) observés dans l'autisme. Par exemple, ces dysfonctionnements du cortex auditif peuvent expliquer pourquoi ces enfants sont si souvent diagnostiqués à tort comme sourds et pourquoi ils ont tant de difficultés sévères de communication. En résumé, le lobe temporal serait capital dans le traitement des informations provenant des organes visuels et auditifs pour leur donner une consistance. Ce résultat obtenu en imagerie fonctionnelle au repos dans l'autisme laisse à penser qu'il existe un lien entre ce dysfonctionnement cérébral subtil et le comportement des enfants autistes. Plus récemment, il a été possible de corréliser l'intensité de cet hypodébit temporal à la sévérité clinique de la pathologie par une analyse individuelle (et non plus de groupe) (Gendry Meresse et al., 2005).

2

Imagerie fonctionnelle cérébrale dite d'activation

Des données récentes d'imagerie fonctionnelles en IRM fonctionnelle (IRMf) montrent l'absence d'activation de l'aire sélective de la voix humaine dans l'autisme, pendant le processus anormal d'identification des visages observés en IRMf. Les activations cérébrales se sont révélées significativement différentes lors de la perception de la voix humaine chez des individus autistes comparés à des individus contrôles. Dans le groupe contrôle (Belin et al., 2000), l'écoute des stimuli de type voix par rapport aux stimuli non-voix, active sélectivement une aire de reconnaissance de la voix située bilatéralement le long du sillon temporal supérieur (figure 1). La perception de la voix dans le groupe autiste n'active aucune région cérébrale supplémentaire par rapport à l'écoute de stimuli environnementaux (Gervais et al., 2004). La structure acoustique de la voix contient



des informations d'ordre social, telles que l'identité, l'état émotionnel, dont la mauvaise perception met en évidence les difficultés des sujets autistes à la perception sociale dans le monde auditif.

Lors de l'écoute passive de stimuli contenant des transitions de formants, les enfants autistes présentent des variations de DSC beaucoup moins importantes que les sujets contrôles dans des aires postérieures du gyrus temporal supérieur gauche (Boddaert et al., 2003). Ces régions étant impliquées dans le traitement central du langage, cette dysfonction temporelle gauche pourrait être impliquée dans les troubles du développement du langage observés chez des enfants autistes.

3

Morphométrie

Afin d'observer des convergences entre ces données fonctionnelles qui témoignent d'un dysfonctionnement temporel que les méthodes d'imagerie conventionnelles peinaient à mettre en évidence, de nouveaux traitements d'image dénommés « analyse voxel par voxel (VBM) » permettent de comparer les rapports de substance grise et de substance blanche entre un groupe de sujets autistes et d'un groupe de sujets contrôles. Par cette technique, il a été trouvé un corrélât anatomique aux dysfonctions temporales

4

Méthode d'évaluation thérapeutique

Ces techniques d'imagerie ayant permis de mieux caractériser une pathologie, il est dès lors tentant de les utiliser afin d'obtenir des méthodes de mesures objectives d'évaluations thérapeutiques. Ainsi, dans l'autisme, il serait possible de tester l'effet d'une rééducation comportementale tout comme il a été possible d'évaluer l'effet d'une rééducation orthophonique chez des enfants dyslexiques (Merzenich et al., 1996). De la même façon, il serait possible de tester

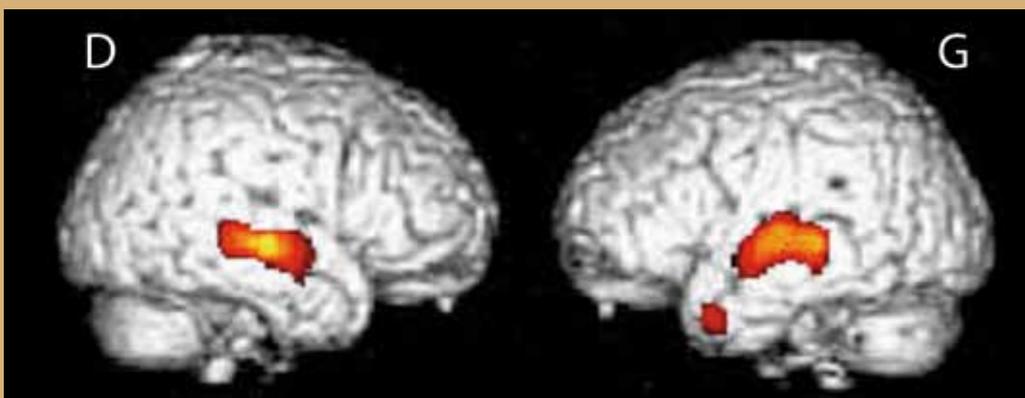


Figure 1 : Image obtenue en tomographie à émission de positons à l'eau marquée à l'oxygène 15 chez un groupe de 8 sujets contrôles lors de l'écoute passive de sons de type voix humaine par rapport à l'écoute de sons environnementaux. Les augmentations de débit sanguin cérébral le long du sillon temporal supérieur témoignent d'un débit sanguin cérébral plus élevé lors de l'écoute de sons de type voix humaine que lors de l'écoute de sons environnementaux. Cette aire cérébrale a été appelée aire temporelle de la voix car elle apparaît être une région cérébrale davantage sensible à la voix humaine qu'aux autres types de sons. Chez les sujets autistes, cette région cérébrale semble dysfonctionner puisque l'écoute de stimuli de type 'voix' n'induit pas d'augmentation de DSC supplémentaire par rapport à la condition d'écoute de sons environnementaux (IRMf). De plus, au repos, ces aires cérébrales présentent un hypo-débit cérébral (PET H2150) et des anomalies anatomiques dans les rapports de substances blanches et de substances grises (IRM VBM).



l'effet d'un candidat médicament en visualisant 'directement' son action pharmacologique sur les cartes corticales impliquées dans la pathologie.

5

Conclusion

L'imagerie fonctionnelle cérébrale a permis de confirmer les bases neurales de l'autisme. Cette meilleure connaissance du vivant a pu être adaptée pour développer des outils d'aide au diagnostic et à la caractérisation de la pathologie. L'imagerie cérébrale anatomique, la plus précoce possible, est devenue une évidence quand le diagnostic d'autisme est évoqué. Une problématique connue permet de proposer des stratégies thérapeutiques adaptées, l'ignorance conduisant trop souvent à des prises en charge catastrophiques du patient.

Ces nouvelles stratégies thérapeutiques de rééducation ou médicamenteuses peuvent elles-même être évaluées par imagerie fonctionnelle sur des petits groupes de patients. L'imagerie fonctionnelle cérébrale trouve naturellement sa place dans l'exploration des fonctions auditives, notamment en cas de troubles centraux de l'audition, notamment si une surdité y est associée. Effectivement, cette approche s'avère capitale dans notre connaissance du système auditif et nous permettra probablement de comprendre les limites rencontrées lors de l'implantation cochléaire de certains patients par rapport à d'autres. Tout comme dans l'autisme, ces techniques devraient nous permettre d'élargir nos connaissances sur les troubles centraux de l'audition, et de mieux les caractériser. Par ailleurs, ces techniques d'activation en TEP H2150 nous permettent de disposer de marqueurs de l'efficacité et de l'intérêt de l'implant cochléaire ou du tronc cérébral dans la correction du handicap auditif (Coez et al., 2008; Coez et al., 2009).

6

Bibliographie

1. Belin, P., Zatorre, R.J., Lafaille, P., Ahad, P., Pike, B., 2000. Voice-selective areas in human auditory cortex. *Nature* 403, 309-312.
2. Boddaert, N., Belin, P., Chabane, N., Poline, J.B., Barthelemy, C., Mouren-Simeoni, M.C., Brunelle, F., Samson, Y., Zilbovicius, M., 2003. Perception of complex sounds: abnormal pattern of cortical activation in autism. *Am J Psychiatry* 160, 2057-2060.
3. Boddaert, N., Chabane, N., Gervais, H., Good, C.D., Bourgeois, M., Plumet, M.H., Barthelemy, C., Mouren, M.C., Artiges, E., Samson, Y., Brunelle, F., Frackowiak, R.S., Zilbovicius, M., 2004. Superior temporal sulcus anatomical abnormalities in childhood autism: a voxel-based morphometry MRI study. *Neuroimage* 23, 364-369.
4. Boddaert, N., Zilbovicius, M., 2002. Functional neuroimaging and childhood autism. *Pediatr Radiol* 32, 1-7
5. Coez, A., Zilbovicius, M., Ferrary, E., Bouccara, D., Mosnier, I., Ambert-Dahan, E., Bizaguet, E., Syrota, A., Samson, Y., Sterkers, O., 2008. Cochlear implant benefits in deafness rehabilitation: PET study of temporal voice activations. *J Nucl Med* 49, 60-67.
6. Coez, A., Zilbovicius, M., Ferrary, E., Bouccara, D., Mosnier, I., Ambert-Dahan, E., Kalamarides, M., Bizaguet, E., Syrota, A., Samson, Y., Sterkers, O., 2009. Processing of voices in deafness rehabilitation by auditory brainstem implant. *Neuroimage* 47, 1792-1796.
7. Gendry Meresse, I., Zilbovicius, M., Boddaert, N., Robel, L., Philippe, A., Sfaello, I., Laurier, L., Brunelle, F., Samson, Y., Mouren, M.C., Chabane, N., 2005. Autism severity and temporal lobe functional abnormalities. *Ann Neurol* 58, 466-469.
8. Gervais, H., Belin, P., Boddaert, N., Leboyer, M., Coez, A., Sfaello, I., Barthelemy, C., Brunelle, F., Samson, Y., Zilbovicius, M., 2004. Abnormal cortical voice processing in autism. *Nat Neurosci* 7, 801-802.
9. Merzenich, M.M., Jenkins, W.M., Johnston, P., Schreiner, C., Miller, S.L., Tallal, P., 1996. Temporal processing deficits of language-learning impaired children ameliorated by training. *Science* 271, 77-81.
10. Syrota, A., 1997. La tomographie par émission de positons. In: PUF (Ed.), *Le cerveau en action*, Paris, pp. 9-56.
11. Zilbovicius, M., Boddaert, N., Belin, P., Poline, J.B., Remy, P., Mangin, J.F., Thivard, L., Barthelemy, C., Samson, Y., 2000. Temporal lobe dysfunction in childhood autism: a PET study. *Positron emission tomography. Am J Psychiatry* 157, 1988-1993.

LABORATOIRE SPÉCIALISÉ DANS LA FABRICATION D'EMBOUTS AUDITIFS

- ◆ Stages de formation
- ◆ Embout laser
- ◆ Vente de Matériels
et Produits
- ◆ Vente et installation
de mobilier pour
cabinet d'audioprothèse





Les troubles auditifs centraux chez les jeunes enfants

Laurent DEMANEZ,
Jean-Pierre
DEMANEZ

Service ORL
CHU du Sart Tilman
4000 Liège Belgique

laurentchp.demanez@chu.
ulg.ac.be

Résumé

Cet article présente une revue des résultats de l'évaluation des processus auditifs centraux (Central Auditory Processing - CAP) testés dans différents groupes de population pédiatrique : enfants prématurés, enfants avec antécédents d'otites séro-muqueuses, enfants présentant des troubles d'apprentissage et une dyslexie, enfants bénéficiant d'un enseignement en immersion dans une langue étrangère (néerlandaise, anglaise et allemande).

1 Introduction

Les patients qui se plaignent de difficultés auditives non expliquées par une perte auditive de type périphérique, souffrent très probablement de troubles auditifs centraux (Central Auditory Processing Disorders - CAPD).

Les troubles auditifs centraux ont été définis pour la première fois en 1996 par un groupe de travail de l'American Speech-Language Hearing Association (ASHA)^{1,2}. Il s'agit d'un déficit de l'un des processus suivants : localisation et latéralisation d'un son, discrimination auditive, décodage phonétique, reconnaissance de configurations auditives, reconnaissance de signaux acoustiques compétitifs ou dégradés¹⁵. Des difficultés auditives peuvent également être en relation avec une altération des fonctions neurocognitives plus globales comme l'attention ou la mémoire^{6,20}. Nous avons étudié plusieurs groupes de population pédiatrique à l'aide du « Bilan Auditif Central » (BAC) mis au point il y a quelques années et permettant d'évaluer, en français, différents processus auditifs centraux¹⁴.

Les populations étudiées ont été :

1. des enfants nés prématurément et évalués à 6 et 8 ans (n=31)
2. des enfants avec antécédents d'otites séro-muqueuses qui ont justifié la mise en place répétée d'aérateurs transtympaniques entre la 1ère et la 4ème année (n=19)
3. des enfants dyslexiques ou avec troubles d'apprentissage (n=83)
4. des enfants francophones bénéficiant d'un enseignement en immersion dans une langue étrangère, en néerlandais, en anglais ou en allemand (n=240)

Les enfants inclus dans ces différents groupes présentaient tous une audiométrie tonale normale (seuils égaux ou inférieurs à 20 dB entre 250 et 4000Hz).

Les quatre épreuves du Bilan Auditif Central ont été appliquées : le test de démasquage (Masking Level Difference - MLD), le test de reconnaissance des configurations variables en hauteur ou en durée, le test de Lafon 60 et le test dichotique.

Ce Bilan Auditif Central a été effectué soit en cabine audiométrique, soit dans une pièce calme (intensité du fond sonore inférieure à 50 dB SPL). Les épreuves ont été présentées à l'aide d'écouteurs (TDH-39) à une intensité de 70 dB SPL. Afin de comparer correctement les enfants d'âges différents, les scores individuels de chaque sujet ont été transformés en un score Z (défini comme la différence entre le score du sujet (x) et le score moyen correspondant à une population normale de son âge (x') divisé par la déviation standard (SD), c'est-à-dire $(x - x') / SD$). La distribution des scores Z est une variable normale réduite de moyenne égale à zéro et de variance égale à un. Un échantillon sera d'autant plus significativement différent d'un échantillon contrôle que la valeur moyenne des scores Z est supérieure à ± 1.96 .

En fonction de la normalité des échantillons, la comparaison avec les valeurs de référence a été réalisée grâce à un test T de Student ou à un test U de Mann et Whitney¹³.

1. Enfants nés prématurément

L'impact d'une naissance prématurée sur le développement du langage oral (22) ainsi que sur les processus auditifs centraux a été évalué chez 31 enfants âgés de 6 à 8 ans (moyenne 7.1 ± 0.6)¹¹. Les âges gestationnels se situaient entre 24 et 34.5 semaines (moyenne 30.9 ± 2.4). Les poids de naissance variaient de 635 à 2730 grammes (moyenne 1446.5 ± 530.4).

Les tests de Limbosch²⁵ et Chevrier-Muller¹⁰ ont été utilisés pour évaluer les performances morpho-lexicales et syntaxiques porteuses et non porteuses de sens, témoins du développement du langage.

Pour l'évaluation des processus auditifs centraux, nous avons utilisé une partie du Bilan Auditif Central.

Le test de démasquage (Maximum Level Difference - MLD) n'a pas été effectué.

Pour le test de reconnaissance des configurations variables en fréquence et en durée, les enfants ont été invités à fredonner ce qu'ils percevaient.

Seule la liste 1 du test de Lafon 60, soit 30 items, a été utilisée pour le test de décodage phonétique sans et avec bruit. De même, seules les 5 premières listes du test dichotique ont été présentées.

Par rapport aux performances d'une population normale de 150 enfants du même âge nés à terme, le groupe des enfants prématurés a montré un niveau de développement du langage ainsi que des performances auditives centrales significativement inférieurs.

Même âgés de 6 à 8 ans, les enfants nés prématurément ont un niveau de développement du langage oral moins bon que les enfants nés à terme. Ils ont un niveau de vocabulaire actif et passif inférieur, plus de difficultés pour s'exprimer, des difficultés de mémorisation et un sens



du rythme déficient. Leurs maturations neurocognitives en ce qui concerne les opérations de classification concrète sont normales pour leur âge. Concernant le développement du langage, les observations situent ce groupe d'enfants nés prématurément à un niveau « légèrement inférieur à la normale ».

Les performances de ces enfants prématurés aux tests de reconnaissance des configurations variables en hauteur ne sont pas significativement différentes de celles des enfants nés à terme ($p=0.24$) au contraire des performances observées au test de durée ($p=0.003$).

En ce qui concerne le test de décodage phonétique Lafon 60, les scores Z des enfants nés prématurément sont semblables à ceux des enfants nés à terme ($p=0.13$).

Par contre, l'aptitude dichotique des enfants prématurés est très nettement inférieure à celle des enfants nés à terme (moyenne des scores $Z=5.32$). Ainsi 27 enfants des 31 prématurés ont une aptitude dichotique inférieure aux valeurs minimales observées dans la population de référence (Figure 1).

En revanche, la répartition des prévalences d'oreille des enfants prématurés est semblable à celle retrouvée chez les enfants normaux.

Les tests du développement du langage ainsi que l'évaluation des processus auditifs centraux montrent clairement que les enfants nés prématurément, âgés de 6 à 8 ans, ont des performances langagières réduites, des performances de reconnaissance temporelle inférieures et une aptitude dichotique effondrée par rapport aux enfants nés à terme.

Ces résultats suggèrent qu'une naissance prématurée peut avoir des conséquences à long terme sur la maturation des processus auditifs centraux.

Des recherches futures doivent évaluer si cette immaturité des processus auditifs centraux se résout avec le temps.

2. Surdité moyenne dans l'enfance

Nous avons étudié l'impact d'un déficit auditif moyen persistant pendant quelques mois dans la petite enfance sur le développement du langage et des processus auditifs centraux ^{4, 26}.

19 enfants, âgés de 8 ans ayant souffert d'otites séromuqueuses responsables d'une perte auditive d'importance moyenne et ayant justifié la mise en place répétée d'aérateurs transtympaniques, ont été évalués. Au moment de l'évaluation, tous les enfants avaient une audiométrie tonale normale. Aucun d'entre eux n'avait de signes évocateurs d'un retard psychomoteur ou d'une autre pathologie. Le Bilan Auditif Central a été délivré dans sa totalité. L'ensemble de cette évaluation a été réalisé au cours de 2 séances de 30 minutes espacées d'une pause de 15 minutes.

Les scores obtenus ont été comparés avec ceux d'une population contrôle du même âge montrant une intelligence non verbale normale. Les évaluations du langage ainsi que les évaluations de la mémoire à court terme n'ont pas révélé de différence significative entre le groupe des enfants ayant présenté une otite séromuqueuse et la population de contrôle. En revanche, dans les tests évaluant les capacités d'analyse perceptuelle et phonologique ainsi que la conscience phonologique, nous avons observé des déficits durant les tâches de répétition de non-mots bisyllabiques et de rimes. Les performances au test de reconnaissance des configurations variables en fréquence et en durée ainsi que le test d'interaction binaurale (MLD) sont significativement abaissés par rapport aux enfants normaux mais de manière peu significative.

Le test de décodage phonétique de Lafon 60 donnait des résultats comparables à ceux des enfants normaux.

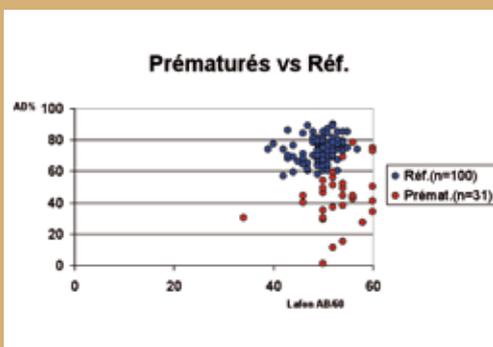


Figure 1 : Enfants prématurés versus population de référence du même âge : décodage phonétique dans le bruit (Lafon AB 60) - aptitude dichotique (AD%).

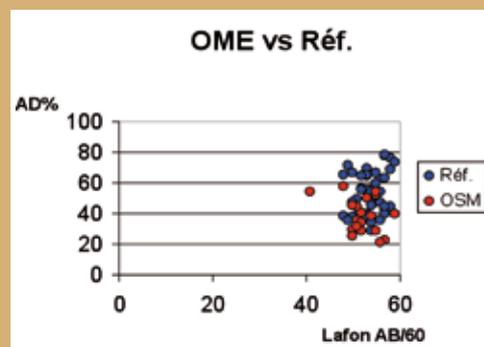


Figure 2 : Enfants avec otites séromuqueuses (OSM) versus population de référence du même âge : décodage phonétique dans le bruit (Lafon AB 60) - aptitude dichotique (AD%).

L'aptitude dichotique des enfants ayant présenté une otite sérumo-queuse est significativement inférieure à celle des enfants normaux (moy. = 38.0% +/-11.0 vs. 53.5% +/-13.3) (**Figure 2**).

Ces résultats suggèrent que malgré un traitement approprié, les enfants ayant présenté une otite sérumo-queuse présentent un retard de maturation de certains processus auditifs centraux. L'aptitude dichotique semble être la principale à être affectée.

Le développement du langage chez les enfants ayant présenté des otites sérumo-queuses est un sujet controversé. Certaines études ont démontré la normalité du développement du langage^{6, 34, 36, 40} mais d'autres pas^{36, 37, 38, 43, 45, 46}. Cette étude est en faveur d'un développement langagier normal. Notre hypothèse est que la maturation de l'aptitude dichotique et celle du langage ont un degré de vulnérabilité différent vis-à-vis d'un déficit auditif périphérique temporaire.

3. Les enfants dyslexiques

Tous les enfants adressés dans notre service pour des problèmes de retard de développement du langage ou des troubles d'apprentissage font l'objet d'une évaluation multidisciplinaire logopédique/orthophonique, psychologique et ORL comprenant un Bilan Auditif Central.

Nous rapportons les résultats de l'évaluation des processus auditifs centraux dans un groupe d'enfants âgés de 12 ans (n=83) présentant une dyslexie de type phonologique (c'est-à-dire déficit et performance non lexicale comprenant un déficit d'identification de mots sans sens).^{3, 31}

Aucun de ces enfants n'avait de retard psychomoteur ou intellectuel ni d'autres pathologies intercurrentes.

Seuls 42 d'entre eux ont effectué les tests de reconnaissance des configurations variables en hauteur et en durée, ainsi que le test d'interaction binaurale (MLD).

Le test de Lafon 60 ainsi que les épreuves dichotiques ont été administrés aux 83 enfants. Les résultats des différents tests constitutifs du BAC ont encore été comparés à ceux d'un groupe contrôle d'enfants normaux et de même âge.

Concernant les tests de reconnaissance des configurations variables en hauteur et en durée, 2 types de réponses ont été considérés comme corrects : les réponses strictement conformes et les réponses en miroir (l'ordre des stimuli est reconnu mais leur verbalisation est inversée, par exemple, « haut bas haut » au lieu de « bas haut bas »). Ces réponses inversées ont été considérées comme conformes puisque l'ordre a été correctement perçu.

Par rapport au groupe contrôle, le nombre de réponses parfaitement exactes est inférieur chez les enfants dyslexiques alors que le nombre de réponses en miroir est plus important. Dans les 2 formes du test (hauteur et durée), les scores totaux moyens des enfants dyslexiques sont significativement en-dessous de la normale.

Sur les 40 enfants dyslexiques qui ont réalisé les reconnaissances variables en hauteur, 7 ont obtenu un score en-dessous du percentile 5 ou un nombre de réponses en miroir supérieur au percentile 95.

Pour la reconnaissance des configurations variables en durée, 3 enfants ont obtenu un score inférieur au percentile 5 et 6 au-dessus du percentile 95 pour les réponses en miroir.

Dès lors, la proportion d'enfants dyslexiques dont les scores sortent de la normale pour les tests de reconnaissance des configurations reste limitée à 18 %. Les enfants dyslexiques donnent plus volontiers des réponses en miroir.

Les scores obtenus au test d'interaction binaurale (MLD) et au test

de Lafon 60 ne sont pas significativement différents entre le groupe d'enfants dyslexiques et celui du groupe contrôle.

On note cependant qu'au test de Lafon 60, 13 enfants dyslexiques ont obtenu un score inférieur à 48/60, ce qui les situe au percentile 5 du groupe contrôle.

L'aptitude dichotique moyenne des enfants dyslexiques est quant à elle nettement inférieure à celle du groupe contrôle (moy. = 53.4% +/-12.2 vs. 64.8% +/-8.0).

33 enfants dyslexiques ont une aptitude dichotique inférieure à 50 %, c'est-à-dire inférieur au percentile 5 du groupe contrôle (Figure 3).

La prévalence d'oreille gauche est de 34.9 % ± 33 dans le groupe d'enfants dyslexiques et de 19.5 % ± 26.7 dans le groupe contrôle. Une prévalence de l'oreille droite supérieure à 55 % ou une prévalence de l'oreille gauche supérieure à 16 % a été observée chez 42.2 % des enfants dyslexiques et seulement 12 % des enfants normaux.

EN RÉSUMÉ, le groupe de 83 enfants dyslexiques a les caractéristiques suivantes :

- 18% des enfants dyslexiques ont un score en-dessous du percentile 5 pour les tests de reconnaissance des configurations variables en hauteur ou en durée.
- L'aptitude dichotique du groupe d'enfants dyslexiques est très significativement inférieure à celle du groupe contrôle. 40% d'entre eux ont une aptitude dichotique en-dessous de 50 %, c'est-à-dire en-dessous du percentile 5 pour une population normale du même âge.
- Une prévalence de l'oreille droite supérieure à 55 % ou une prévalence de l'oreille gauche supérieure à 16 % est observée chez 42 % des enfants dyslexiques alors qu'elle ne l'est que chez 12 % des enfants du groupe contrôle.
- Sur les 83 sujets qui ont été testés à l'aide de l'épreuve de Lafon et de l'épreuve dichotique, 47 % ont un score pathologique (inférieur au Percentile 5) soit au test de Lafon, soit à l'épreuve dichotique. 17% d'entre eux ont obtenu un score pathologique aux 2 épreuves ;

Ces résultats sont cohérents avec ceux d'autres études publiées sur les enfants dyslexiques. Le nombre total de ces études est néanmoins limité^{9, 28, 29, 41, 42}.

4. Enfants bénéficiant d'un enseignement en immersion dans une langue étrangère

La maîtrise de plusieurs langues devenant une nécessité socio-professionnelle, certains parents scolarisent leur enfant dès l'âge de 4 ou 5 ans dans une langue différente de la langue maternelle^{19, 20}. La question de l'impact que cela peut avoir sur le développement du langage maternel a été soulevée^{5, 28, 30, 32}. Nous avons effectué 5 études sur des enfants bénéficiant de ce type d'immersion selon des modalités différentes et des langues cibles différentes.

Une première étude a évalué les aptitudes linguistiques et les processus auditifs centraux de 49 enfants francophones vivant dans une région bilingue (Bruxelles) et intégrés dans une école néerlandophone²¹.

L'évaluation phonologique et lexicale a été réalisée avec la batterie ISADYLE³³. Cette évaluation n'a montré que peu de différence entre les enfants bénéficiant d'un enseignement immersif en néerlandais par rapport à un groupe d'enfants francophones du même âge scolarisés en français.



La richesse du lexique français des enfants immergés en néerlandais était très légèrement en-dessous de la norme. Le lexique néerlandais n'a pas été évalué.

Le Bilan Auditif Central complet a été réalisé chez chaque enfant de cette étude. Les résultats du test MLD, de reconnaissances des configurations variables en fréquence et du test de Lafon étaient normaux. En revanche, les reconnaissances des configurations variables en durée et surtout l'aptitude dichotique étaient très significativement en-dessous de la norme (moy. = 44.6% +/- 19.1 vs. 64.9% +/- 18.2). La distribution des prévalences d'oreille étaient comparables à la norme.

Une deuxième étude du même type a été réalisée chez 42 enfants francophones âgés de 5 et 6 ans, vivant dans une région francophone (Liège) et bénéficiant d'un enseignement en immersion néerlandophone dès l'âge de 5 ans⁴⁴.

Cet enseignement en immersion est organisé au sein de plusieurs écoles de la région. Les cours sont délivrés par un enseignant dont la langue native est la langue cible d'immersion. 15% des cours restent prodigués dans la langue maternelle de l'enfant par un autre enseignant dont le français est la langue native.

L'évaluation du développement du langage a été effectuée à l'aide des tests de Limbosch²⁵ et de Chevrier-Muller¹⁰. Les performances phonologiques et lexicales se sont montrées similaires voire même légèrement meilleures que les normes publiées.

Le Bilan Auditif Central, à l'exception du MLD, a été effectué chez chaque enfant. On n'a pas constaté de différence dans la reconnaissance des configurations des variables en hauteur et en durée. En revanche, le score obtenu au test de Lafon 60 avec bruit était significativement moins bon que les valeurs de référence.

Enfin, à nouveau, on constate un effondrement de l'aptitude dichotique (moy. = 37.8% +/- 16.2 vs. 55.9% +/- 14.8). Cet effondrement est le principal élément qui distingue les enfants en immersion du groupe contrôle et vient donc confirmer l'observation effectuée lors de la première étude.

Dans la continuité de ces 2 premières études, une troisième a été réalisée toujours chez des enfants vivant dans une région unilingue francophone et bénéficiant d'un enseignement immersif en néerlandais. Cette étude a été effectuée chez 81 enfants âgés de 5 à 10 ans (de la 3^{ème} maternelle à la 4^{ème} année primaire (de la grande section au CM2 pour la France)^{23, 27, 39}.

A nouveau, le Bilan Auditif Central, à l'exception du MLD, a été appliqué chez chaque enfant. Dans aucun groupe d'âges étudiés, il n'a été constaté de différence significative avec la norme en ce qui concerne les reconnaissances de configurations variables en hauteur ou en durée, les résultats du test de Lafon 60 ainsi que la distribution des prévalences d'oreille.

L'étude de 24 enfants en 3^{ème} maternelle, âgés de 5 ans, a confirmé un effondrement extrêmement significatif de l'aptitude dichotique.

Lorsque l'on observe un groupe d'enfants successivement en 1^{ère} année (CP- 15 enfants), en 2^{ème} année (CE1- 16 enfants) et en 3^{ème} année (CE2- 15 enfants), la différence entre les enfants étudiés et la norme se réduit progressivement tout en restant statistiquement significative. Cette différence n'est plus significative en 4^{ème} année (CM1 - 11 enfants).

Ces 3 études effectuées sur un total de 172 enfants francophones bénéficiant d'un enseignement en immersion néerlandophone démontrent donc un effondrement isolé des aptitudes dichotiques survenant dans les premières années d'immersion alors que les autres processus auditifs centraux sont peu affectés. Cette différence par rapport à la norme se réduit progressivement pour disparaître vers l'âge de 10 ans alors que l'enseignement en immersion se poursuit bien au-delà.

Afin de confirmer ces conclusions, une autre étude a été menée chez 30 enfants francophones vivant également dans une région unilingue francophone et immergés dès l'âge de 5 ans dans un enseignement immersif en anglais, comme décrit précédemment pour l'immersion en néerlandais¹².

15 de ces enfants étaient âgés de 6 et 7 ans et en 1^{ère} année primaire (CP) alors que les 15 autres étaient âgés de 12 et 14 ans et scolarisés en 1^{ère} et 2^{ème} année secondaire (5^{ème} et 4^{ème} du premier cycle au collège). Une évaluation du vocabulaire passif a été effectuée pour l'anglais et le français à l'aide du « Peabody Picture Vocabulary Test Revised » (PPVT-R) pour l'anglais¹⁷ et sa version traduite en français (EVIP)¹⁸. Ces 2 tests sont étalonnés pour évaluer des enfants âgés de 2 à 18 ans et sont basés sur la compréhension de mots en liste fermée et en désignation d'image.

Cette évaluation du vocabulaire passif montre que les enfants en 1^{ère} année primaire, dont l'âge moyen est de 6.6 ans, avaient des performances équivalentes en français à des enfants âgés de 7.5 ans et à des enfants anglophones âgés de 4 ans.

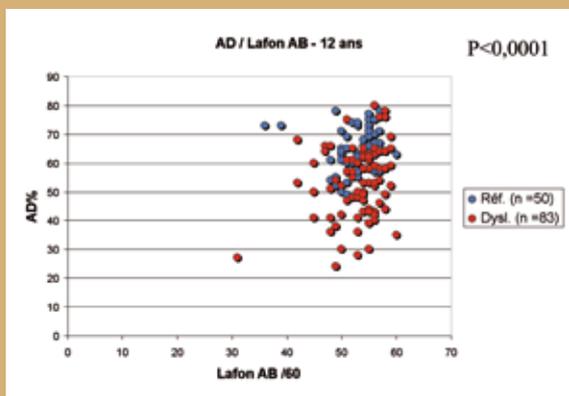


Figure 3 : Enfants dyslexiques (Dysl.) versus population de référence du même âge : décodage phonétique dans le bruit (Lafon AB 60) – aptitude dichotique (AD%).

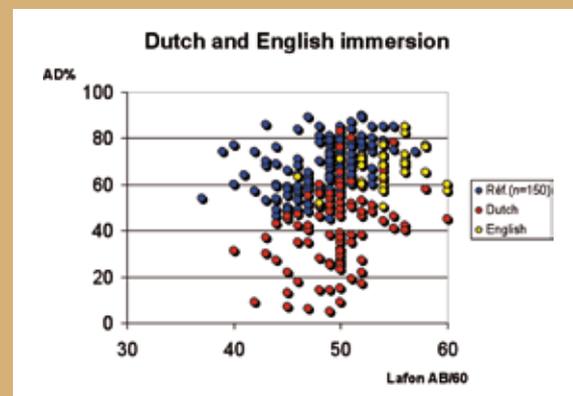


Figure 4 : Enfants bénéficiant d'un enseignement en immersion linguistique en néerlandais (Dutch) et en anglais (English) versus population de référence du même âge : décodage phonétique dans le bruit (Lafon AB 60) – aptitude dichotique (AD%).

Les adolescents en 1^{ère} et 2^{ème} année secondaire en immersion et âgés de 13 ans en moyenne ont un niveau de vocabulaire en français considérablement plus élevé (au-delà de la norme pour 18 ans, limite de la batterie utilisée) en français et ont des performances équivalentes à des jeunes anglophones âgés de 9.6 ans.

Les résultats du Bilan Auditif Central à l'exclusion du MLD ont donné des résultats quelque peu contradictoires par rapport aux études précédemment menées.

Dans les 2 sous-groupes, les reconnaissances de configurations variables en hauteur sont meilleures pour les enfants en immersion alors que celles variables en durée ne sont pas significativement différentes de la norme.

Les enfants en immersion obtiennent des scores significativement meilleurs que la norme en ce qui concerne le test de Lafon dans le bruit. Également, les résultats des aptitudes dichotiques obtenus pour les enfants en immersion ne sont pas significativement différents de ceux obtenus dans le groupe contrôle (moy. = 64.9% +/- 7.6 vs. 67.6% +/- 5.9) (Figure 4). Chez les adolescents de 12 à 14 ans, on constate même une amélioration de l'aptitude dichotique par rapport au groupe contrôle (moy. = 69.5 +/- 8.4 vs. 64.8% +/- 8.0). Il n'y a pas de différence dans la répartition des prévalences d'oreille. Compte tenu des résultats contradictoires de ces 2 études qui ne se différencient que par le choix de la langue cible, une 5^{ème} étude a été réalisée.

Elle a été effectuée sur un groupe de 38 enfants francophones vivant dans une région unilingue francophone mais bénéficiant cette fois d'un enseignement immersif en allemand dès l'âge de 5 ans toujours selon les modalités précédentes 7.

Il s'agissait d'un premier sous-groupe de 21 enfants, âgés de 6 à 7 ans, et d'un deuxième de 17 adolescents âgés de 11 à 12 ans.

L'intégralité du Bilan Auditif Central a été réalisée chez tous les enfants. Quel que soit l'âge des enfants, la reconnaissance des configurations variables en hauteur ou en durée, le test de Lafon et la distribution des prévalence d'oreille restent comparables à la norme.

Dans le premier groupe d'enfants âgés de 6 à 7 ans, on a pu à nouveau constater essentiellement un effondrement statistiquement très significatif de l'aptitude dichotique (moy. = 36.9% +/- 15.6 vs. 67.6% +/- 5.9). Par contre, dans le groupe d'adolescents âgés de 11 à 12 ans, l'aptitude dichotique n'est plus différente de ce qu'on observe dans les groupes contrôles (moy. = 56.1% +/- 8.7 vs. 58.4% +/- 11.3).

EN RÉSUMÉ, nous avons réalisé 5 études qui concernent 240 enfants francophones qui bénéficient d'un enseignement en immersion néerlandophone, anglophone ou germanophone. L'âge de ces enfants varie de 5 à 14 ans.

La reconnaissance des configurations variables en hauteur ou en durée ne varie pas de manière très significative par rapport à la norme quels que soient les enfants testés

En ce qui concerne le test de Lafon 60 dans le bruit, nous n'avons pas montré de différence significative par rapport à la norme chez la plupart des enfants. Il semblerait même, dans 2 études sur 5, que les aptitudes de décodage phonétique dans le bruit évaluées par ce test soient meilleures chez les enfants bénéficiant d'un enseignement en immersion. La confrontation avec une autre langue semblerait encourager la closure auditive.

En revanche, l'évaluation de l'aptitude dichotique a montré des résultats inattendus et contradictoires. Chez les enfants bénéficiant d'une immersion en néerlandais et en allemand, on constate un effondrement de l'aptitude dichotique statistiquement très significatif dès l'âge de 5 ans. Ce retard de maturation se comble progressivement pour être totalement résorbé vers l'âge de 10 ans.

En revanche, les enfants bénéficiant d'un enseignement immersif en langue anglaise ne montrent pas le même retard et au contraire, chez les adolescents de 12 à 14 ans, l'aptitude dichotique tendrait même à dépasser celle du groupe contrôle.

Il n'y a pas de variation de la répartition des prévalences d'oreille par rapport à la norme. Aucune explication scientifique n'a pu encore être apportée à ces constatations.

Ces études démontrent également que le risque de perturbation du développement de la langue maternelle dans le cadre d'un enseignement immersif dans une autre langue est écarté. L'impact sur la maturation des processus auditifs centraux est incertain et nécessite de plus amples investigations.

2

Conclusion

Cet article explore l'utilité du Bilan Auditif Central dans différentes populations pédiatriques caractérisées par une prématurité, l'occurrence de déficits auditifs partiels et transitoires sur otites séro-muqueuses répétées, une difficulté d'apprentissage ou encore exposées dès l'âge de 5 ans à une langue étrangère. Dans chaque groupe d'enfants, nous trouvons des sujets dont le score à l'un ou l'autre test d'évaluation des processus auditifs centraux est inférieur aux scores les plus bas observés dans une population normale du même âge.

En particulier, le test d'aptitude dichotique a un pouvoir différenciateur élevé. Ce dernier processus dont la maturation est la plus lente à s'établir (18-20 ans) semble également être le plus fragile et le premier affecté par l'une ou l'autre situation anormale ou particulière. De plus, nos observations soutiennent l'hypothèse courante que les processus auditifs centraux peuvent être affectés d'une manière variable par une large variété d'affections.

Le Bilan Auditif Central est disponible sur un CD audio ce qui assure la stricte stabilité de la stimulation auditive. Il ne requiert aucun équipement sophistiqué. Des normes standards basées sur une large population sont également disponibles.

Chez l'enfant qui présente des troubles d'acquisition du langage ou des troubles d'apprentissage, le Bilan Auditif Central permet de confirmer la présence d'un trouble d'un processus auditif central éventuellement suspecté et ainsi orienter la prise en charge logopédique. Il devrait systématiquement faire partie du bilan multidisciplinaire chez l'enfant.

3

Bibliographie

1. **Audiological assessment of central auditory of central auditory processing: an annotated bibliography.** Committee on Disorders of Central Auditory Processing. American Speech-Language-Hearing Association ASHA Suppl 13-30, 1990.
2. **American Speech-Language-Hearing Association Task Force on Central Auditory Processing Consensus Development. Central auditory processing: current status of research and implications for clinical practice.** Am.J.Audiol. 5 : 41-54, 1996.
3. **ALFANO A.-S. Etude des relations entre les troubles d'apprentissage et les processus auditifs centraux, analyses quantitatives et qualitatives de 11 enfants en difficultés d'apprentissage, âgés de 10;00 à 11;11 ans.** Haute Ecole André Vésale, Liège, 2002.
4. **AMAND P. Etude des relations entre analyse phonologique, mémoire à court terme phonologique et apprentissage de nouvelles formes phonologiques, chez des enfants ayant présenté des otites moyennes**



- récidivantes durant leurs premières années. Université de Liège, Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation., 2002.
5. BEDORE L.M., PENA E.D., GILLAM R.B., HO T.H. Language sample measures and language ability in Spanish-English bilingual kindergarteners. *J.Commun.Disord.* 43 : 498-510, 2010.
 6. BENNETT K.E., HAGGARD M.P. Behaviour and cognitive outcomes from middle ear disease. *Arch.Dis.Child* 80 : 28-35, 1999.
 7. BONTEMPS G. Evaluation des processus auditifs centraux, du lexique et de la syntaxe chez des enfants suivant un programme d'immersion scolaire en allemand. Haute Ecole André Vésale, Liège, 2005.
 8. CHERMAK G.D., MUSIEK F.E. Central Auditory Processing Disorders. *New Perspectives*. Singular Publishing Group, San Diego, 1997.
 9. CHERMAK G.D. Deciphering auditory processing disorders in children. *Otolaryngol.Clin.North Am.* 35 : 733-749, 2002.
 10. CHEVRIÉ-MULLER C., SIMON AM., DECANTE P. Manuel des épreuves pour l'examen du langage. Les Editions du Centre de Psychologie Appliquée - Paris, 1981.
 11. DE PRADEL DE LAMAZE A. Impact de la prématurité sur les processus auditifs centraux et sur le langage oral. Tests appliqués à trente et un enfants de 6 et 7 ans nés prématurément. Haute Ecole André Vésale, Liège, 2002.
 12. DEGIVE A. Etude de la maturation des processus auditifs centraux et du vocabulaire réceptif chez les enfants suivant un programme d'immersion en anglais. Haute Ecole André Vésale, Liège., 2003.
 13. DEMANEZ L., BONIVER V., DONY-CLOSON B., LHONNEUX-LEDOUX F., DEMANEZ J.P. Central auditory processing disorders: some cohorts studies. *Acta Otorhinolaryngol.Belg.* 57 : 291-299, 2003.
 14. DEMANEZ L., DONY-CLOSON B., LHONNEUX-LEDOUX E., DEMANEZ J.P. Central auditory processing assessment: a French-speaking battery. *Acta Otorhinolaryngol.Belg.* 57 : 275-290, 2003.
 15. DEMANEZ L., DEMANEZ J.P. Central auditory processing assessment. *Acta Otorhinolaryngol.Belg.* 57 : 243-252, 2003.
 16. DEUCHAR M., QUAY S. Language choice in the earliest utterances: a case study with methodological implications. *J.Child Lang* 26 : 461-475, 1999.
 17. DUNN L.M., HOTTEL J.V. Peabody picture vocabulary test performance of trainable mentally retarded children. *Am.J.Ment.Defic.* 65 : 448-452, 1961.
 18. DUNN L.M., THERIAUT-WHALEN C.M., DUNN L.M. Echelle de vocabulaire en images peabody, adaptation française du peabody picture vocabulary test-revised. Edition Psygan, Canada, 1992.
 19. GENESEE F. Early bilingual development: one language or two? *J.Child Lang* 16 : 161-179, 1989.
 20. GRIFFITHS T.D. Central auditory pathologies. *Br.Med.Bull.* 63 : 107-120, 2002.
 21. JACQUES I. Evaluation des processus auditifs centraux et du lexique chez des enfants francophones scolarisés en néerlandais. Université de Liège, Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation, 2000.
 22. JANSSON-VERKASALO E., RUUSUVIRTA T., HUOTILAINEN M., ALKU P., KUSHNERENKO E., SUOMINEN K., RYTKY S., LUOTONEN M., KAUKOLA T., TOLONEN U., HALLMAN M. Atypical perceptual narrowing in prematurely born infants is associated with compromised language acquisition at 2 years of age. *BMC.Neurosci.* 11 : 88-2010.
 23. KASIDI H. Evaluation des processus auditifs centraux, du vocabulaire réceptif et de la compréhension syntaxico-sémantique chez 41 enfants âgés de 7,0 ans à 9,7 ans suivant un programme d'immersion en néerlandais. Haute école André Vésale, Liège, 2004.
 24. LAFON JC. Le Test Phonétique et la Mesure de l'Audition. Dunod (Paris), 1964.
 25. LIMBOSH N., LUMINET-JASINSKI A., DIERKENS-DOPCHIE N. La dyslexie à l'école primaire. Édition de l'Université de Bruxelles : 43-46, 1978.
 26. MAJERUS S., AMAND P., BONIVER V., DEMANEZ J.P., DEMANEZ L., VAN DER L.M. A quantitative and qualitative assessment of verbal short-term memory and phonological processing in 8-year-olds with a history of repetitive otitis media. *J.Commun.Disord.* 38 : 473-498, 2005.
 27. NIKOU A. Evaluation des processus auditifs centraux, du lexique et de la syntaxe chez des enfants suivant un programme d'immersion scolaire en néerlandais. Haute école André Vésale, Liège, 2004.
 28. OLLER D.K., EILERS R.E., URBANO R., COBO-LEWIS A.B. Development of precursors to speech in infants exposed to two languages. *J.Child Lang* 24 : 407-425, 1997.
 29. PAGE J.M. Central auditory processing disorders in children. *Otolaryngol.Clin.North Am.* 18 : 323-335, 1985.
 30. PARADIS J., CRAGO M., GENESEE F., RICE M. French-English bilingual children with SLI: how do they compare with their monolingual peers? *J.Speech Lang Hear.Res.* 46 : 113-127, 2003.
 31. PELLEGRIN C. Analyse quantitative et qualitative de l'évaluation des troubles d'apprentissage et des processus auditifs centraux chez 15 sujets âgés de 9;3 à 10;8 ans. Haute Ecole André Vésale, Liège, 2002.
 32. PELTOLA M.S., TUOMAINEN O., KOSKINEN M., AALTONEN O. The effect of language immersion education on the preattentive perception of native and non-native vowel contrasts. *J.Psycholinguist.Res.* 36 : 15-23, 2007.
 33. PIERART B., COMBLAIN A., GREGOIRE J., MOUSTY PH. Instrument pour le Screening et pour l'évaluation Approfondie des Dysfonctionnements du Langage chez l'Enfant (ISADYLE). Editions de Psychologie Appliquée 2003. In Press.
 34. RACH G.H., ZIELHUIS G.A., VAN DEN B.P. The influence of chronic persistent otitis media with effusion on language development of 2- to 4-year-olds. *Int.J.Pediatr.Otorhinolaryngol.* 15 : 253-261, 1988.
 35. SCHILDER A.G., SNIK A.F., STRAATMAN H., VAN DEN BROEK P. The effect of otitis media with effusion at preschool age on some aspects of auditory perception at school age. *Ear Hear.* 15 : 224-231, 1994.
 36. SHRIBERG L.D., FLIPSEN P., JR., THIELKE H., KWIATKOWSKI J., KERTOY M.K., KATCHER M.L., NELLIS R.A., BLOCK M.G. Risk for speech disorder associated with early recurrent otitis media with effusion: two retrospective studies. *J.Speech Lang Hear.Res.* 43 : 79-99, 2000.
 37. SHRIBERG L.D., FLIPSEN P., JR., KWIATKOWSKI J., MCSWEENEY J.L. A diagnostic marker for speech delay associated with otitis media with effusion: the intelligibility-speech gap. *J.Clin.Ling.Phon.* 17,7 : 507-528, 2003.
 38. SHRIBERG L.D., KENT R.D., KARLSSON H.B., MCSWEENEY J.L., NADLER C.J., BROWN R.L. A diagnostic marker for speech delay associated with otitis media with effusion: backing of obstruents. *J.Clin.Ling.Phon.* 17,7 : 529-547, 2003.
 39. VANSTEEGER J. Evaluation des processus auditifs centraux, de la syntaxe et du lexique chez 31 enfants âgés de 8,1 ans à 9,11 ans suivant un programme d'immersion scolaire en néerlandais. Haute école André Vésale, Liège, 2005.
 40. WEBSTER A., BAMFORD J.M., THYER N.J., AYLES R. The psychological, educational and auditory sequelae of early, persistent secretory otitis media. *J.Child Psychol.Psychiatry* 30 : 529-546, 1989.
 41. WELSH L.W., WELSH J.J., HEALY M.P. Central auditory testing and dyslexia. *Laryngoscope* 90 : 972-984, 1980.
 42. WELSH L.W., WELSH J.J., HEALY M.P. Learning disabilities and central auditory dysfunction. *Ann.Otol.Rhinol.Laryngol.* 105 : 117-122, 1996.
 43. WILLIAMS C.J., JACOBS A.M. The impact of otitis media on cognitive and educational outcomes. *Med.J.Aust.* 191 : S69-S72, 2009.
 44. WILMOTTE V. Evaluation des processus auditifs centraux, du lexique et de la phonologie chez 42 enfants âgés de 5;1ans à 6;11 ans fréquentant une classe d'immersion en néerlandais. Haute Ecole André Vésale, Liège, 2002.
 45. WRIGHT P.F., THOMPSON J., BESS F.H. Hearing, speech, and language sequelae of otitis media with effusion. *Pediatr.Ann.* 20 : 617-1, 1991.
 46. ZUMACH A., GERRITS E., CHENAULT M., ANTEUNIS L. Long-term effects of early-life otitis media on language development. *J.Speech Lang Hear.Res.* 53 : 34-43, 2010.

La connectivité
pour vous donner le
moyen d'agir



Nouveauté

Microphone ConnectLine

Découvrez le nouveau Microphone ConnectLine

Avec le Microphone ConnectLine unique en son genre, les utilisateurs d'aides auditives peuvent enfin participer et interagir dans certaines situations importantes de la vie - sur un pied d'égalité avec tous les autres.

Le discret Microphone ConnectLine est porté par le partenaire de conversation de l'utilisateur et se connecte sans fil au Streamer, permettant à ce dernier d'entendre la voix du locuteur directement dans ses aides auditives. Les performances d'écoute sont améliorées de façon spectaculaire - même dans les endroits où les conversations en tête à tête étaient auparavant très difficiles, voire impossibles.

Pour plus d'informations, contactez notre service commercial au 01 41 88 01 50 ou visitez notre site Internet ; www.oticon.fr



15 mètres



Remédiation des troubles auditifs centraux chez les enfants



Comme pour toute rééducation orthophonique, la remédiation des troubles auditifs centraux ne peut être efficace que si elle est ciblée. Pour ce faire, il est indispensable qu'elle repose sur des bases théoriques solides et sur une évaluation globale et approfondie.

Le but de la perception de la parole étant la bonne compréhension du message reçu, il est impératif que l'évaluation des processus auditifs centraux se fasse en lien avec les évaluations de la compréhension du langage oral, mais également du langage écrit, de la mémoire à court terme et de l'attention.

Ainsi, avant d'aborder la rééducation de troubles auditifs centraux, nous présenterons tout d'abord un modèle théorique « intégratif » (Medwetsky, 2002).

Ce modèle nous servira de cadre pour une évaluation globale et multidisciplinaire des troubles auditifs centraux, préalable essentiel à la mise en place d'une rééducation ciblée.

Nous décrirons ensuite les différents domaines à investiguer dans le bilan multidisciplinaire : bilan auditif central, bilan logopédique et bilan neuropsychologique.

Ces différentes évaluations nous amèneront ainsi à mieux comprendre l'impact du trouble auditif central sur les autres fonctions cognitives et à mieux cibler les processus à travailler en rééducation.

1

Modèle théorique « intégratif »

De plus en plus de spécialistes conçoivent les processus auditifs centraux en interaction avec les fonctions cognitives de haut niveau que sont le langage et ses représentations stockées en mémoire à long terme (MLT), l'attention et la mémoire. Un modèle intégratif de ce type est celui proposé par Medwetsky (2002). Ce modèle (**figure 1**) illustre les étapes et les processus impliqués dans la compréhension du langage en différenciant plus particulièrement les traitements de bas niveau, appelés « bottom-up », des traitements de plus haut niveau, appelés « top-down ». Les traitements de type « bottom-up » sont impliqués dans le cheminement centripète du message acoustique alors que les traitements centrifuges de type « top-down » sont sollicités pour interpréter l'information auditive en accord avec les règles linguistiques et de concert avec les autres données sensorielles disponibles (Ferre, 2002).

De manière synthétique, Medwetsky (2002) distingue les étapes suivantes dans la perception du langage. La première étape est celle qui permet la transformation des stimuli acoustiques afférant en patterns neuro-électriques. Les informations concernant la fréquence, l'amplitude et le profil temporel sont ainsi extraites et stockées dans la mémoire échoïque pour une durée approximative de 250 msec. A ce niveau, ces informations ne sont pas encore

accessibles à la conscience. Elles conduisent ensuite à l'élaboration d'un percept stocké dans la mémoire auditive synthétisée. Ce n'est qu'à partir de cette étape et des suivantes que l'attention peut jouer un rôle. Le percept ainsi élaboré est alors comparé aux patterns stockés en mémoire à long terme (MLT). Une représentation sensorielle peut activer plusieurs représentations lexicales qui deviennent des « candidats à la reconnaissance ». C'est ce que Segui et al (2000) appellent la phase de contact initial. Plusieurs patterns peuvent ainsi être activés en MLT et comparés au percept. C'est toutefois celui qui est le plus compatible avec le percept qui est retenu et stocké en mémoire à court terme (MCT). Ce n'est qu'au terme de cette phase de sélection parmi plusieurs candidats qu'émerge la reconnaissance proprement dite.

L'attention allouée à un signal spécifique ainsi que les informations linguistiques contextuelles peuvent également favoriser un pattern plutôt qu'un autre en abaissant son seuil d'activation. C'est donc le pattern qui correspond le mieux à la fois aux caractéristiques physiques et contextuelles qui est finalement traité en MCT, étape où l'information est accessible à la conscience.

Afin d'illustrer ce fonctionnement dynamique et interactif des processus impliqués dans la compréhension du langage oral, nous pouvons donner l'exemple suivant : « Maman a préparé un bon gâteau ». Si la représentation du signal à travers le système auditif central est altérée en raison d'un bruit interférant ou pour toute autre raison, le percept risque d'être dégradé par la perte de certains éléments /*/ : « gâteau » est alors perçu comme «*â*eau ». Il faut dès lors essayer de le restaurer en faisant appel aux connaissances langagières stockées en MLT. Le résultat de la confrontation entre le percept et les connaissances stockées en MLT a très certainement de fortes chances de conduire à l'activation du pattern de reconnaissance du mot « gâteau ». C'est un mot de fréquence d'usage élevée qui s'insère adéquatement dans la phrase d'un point de vue phonologique mais également sémantique et syntaxique.

2

Evaluation multidisciplinaire

Pour le clinicien amené à prendre en charge les patients présentant des troubles auditifs centraux, le modèle de Medwetsky (2002) est intéressant car il permet de rendre compte de la complexité des processus impliqués dans la perception et la compréhension d'un message verbal tant dans une perspective d'évaluation que de rééducation. Il souligne en effet la nécessité d'analyser les troubles auditifs centraux de manière globale et d'intégrer le bilan auditif central dans un cadre multidisciplinaire.

Marie-Pierre MASQUELIER

Clinique
d'Audiophonologie
Service ORL
(Pr. Ph. Lefebvre)
CHU Liège

Domaine Universitaire
du Sart Tilman
B35 4000 Liège
Belgique

L'auteur tient tout
particulièrement à
remercier le Professeur
Jean-Pierre Demanez
pour ses avis et ses
conseils toujours
judicieux.

2.1. Evaluation des processus auditifs centraux

Afin d'évaluer la qualité du cheminement du message acoustique le long des voies auditives centrales jusqu'à l'élaboration d'un percept dans la mémoire auditive de synthèse, le Bilan Auditif Central - BAC (Demanez et al, 2003) est un outil clinique très utile. Ce bilan nous permet d'évaluer quatre des cinq processus auditifs centraux définis par la commission ASHA (1996) :

- le décodage phonétique à l'aide de l'épreuve de Lafon, sans et avec bruit ;
- la reconnaissance de patterns temporels variables en durée et en fréquence ;
- la séparation et l'intégration binaurales à l'aide des épreuves dichotiques ;
- le transfert interhémisphérique.

En ce qui concerne le décodage phonétique, on relève cliniquement que les résultats quantitatifs obtenus en condition sans bruit et avec bruit au test de Lafon ne rendent pas toujours compte des réelles capacités de discrimination de l'enfant. Le recours à des épreuves de paires minimales de syllabes ou de pseudomots en opposition sur un phonème (ex : « pa-ba », « pa-ka », ...) est en effet souhaitable. Cela permet au clinicien d'établir un inventaire des oppositions phonologiques préservées et de celles qui sont perturbées tant en condition privilégiée qu'en présence de bruit. Cependant, à l'heure actuelle, des épreuves de ce type bien calibrées et surtout standardisées font encore défaut en langue française.

En ce qui concerne les configurations temporelles, les épreuves plus classiques de reproduction de rythmes sont également intéressantes. Un résultat déficitaire à une ou plusieurs sous-épreuves de ce bilan auditif ne peut toutefois suffire pour conclure à un trouble d'audition centrale et mettre en place une rééducation. Il est en effet indispensable de mettre ces résultats en lien avec les fonctions cognitives de haut niveau que sont le langage oral, le langage écrit, l'attention, les fonctions exécutives et la mémoire à court terme tel qu'on le visualise dans la figure 1 (Medwetsky, 2002).

D'un point de vue clinique, il faut également faire le lien avec la vie quotidienne et examiner l'impact du trouble auditif central sur les habiletés fonctionnelles et/ou d'apprentissage.

2.2. Bilan orthophonique

Il est essentiel que l'évaluation des processus auditifs centraux se fasse en lien avec l'évaluation du langage oral et du langage écrit ainsi que de la mémoire à court terme. La littérature de ces dernières années sur la dyslexie développementale souligne la nette prévalence d'un déficit de la procédure phonologique de lecture. Les difficultés sévères et spécifiques rencontrées par les dyslexiques en lecture de mots nouveaux sont généralement expliquées par la faiblesse de leurs habiletés phonologiques en dehors de la lecture (INSERM, 2007). Ce terme « phonologique » peut toutefois recouvrir des capacités diverses telles que capacité d'analyse phonémique, vitesse de dénomination et mémoire à court terme phonologique dans certains travaux, audition centrale dans d'autres. De fait, l'étude des processus auditifs centraux sur une population d'enfants dyslexiques (Demanez, 2003) met en évidence un déficit aux épreuves d'écoute dichotique et de configurations temporelles. Ainsi, l'origine phonologique des dyslexies développementales est bien manifeste mais elle reste floue quant à la part jouée par l'une ou l'autre de ces capacités. Seule une évaluation plus fine de chacune d'entre elles permettra de mieux comprendre la nature exacte de cette faiblesse phonologique.

2.2.1. Evaluation du langage oral

En complément des épreuves classiquement administrées dans le bilan de parole et de langage oral, il est important de recourir à des épreuves de vitesse de dénomination, de fluences verbales (phonologiques mais également sémantiques) et de conscience phonologique (métaphonologie). Du point de vue du lexique, l'observation clinique permet parfois de relever la présence d'un manque du mot surmonté par un amorçage phonologique. Du point de vue de la compréhension syntaxique, le temps de réponse en désignation d'images sur base d'énoncés verbaux est également intéressant à noter ainsi que la stratégie utilisée par l'enfant : long délai de réponse, répétition spontanée ou non de l'énoncé, auto-corrections, ...

2.2.2. Evaluation du langage écrit

Etant donné la forte prévalence de troubles auditifs centraux dans la population de dyslexique (Demanez, 2003), il faut évaluer le fonctionnement des deux voies, assemblage et adressage, tant en lecture qu'en orthographe.

L'évaluation de la compréhension à la lecture est également importante, compréhension de consignes mais également de textes. Des épreuves de complètement de phrases apportent aussi des indications intéressantes quant à la capacité de closure, capacité fortement sollicitée en modalité auditive pour compenser un percept dégradé.

Le recours à des épreuves de dictée de phrases est également riche cliniquement. La présence de césures inadéquates de mots ainsi que d'omissions ou de substitutions de sons ou de mots est révélatrice de difficultés de perception et de découpage de la chaîne parlée.

2.3. Bilan neuropsychologique

Ce bilan doit évaluer la mémoire auditive-verbale à court terme, la mémoire de récit ainsi que les fonctions attentionnelles.

2.3.1. Evaluation de la mémoire à court terme et de l'administrateur central de la mémoire de travail

L'évaluation de la **mémoire auditive-verbale à court terme** est essentielle non seulement en raison de son implication dans de nombreuses tâches langagières mais également par le fait qu'elle risque d'être fragilisée en cas de trouble auditif central.

Pour que les traces phonologiques soient bien encodées en mémoire à court terme, il est primordial qu'elles reposent sur des représentations phonologiques de qualité. Si les informations auditive-verbales ne sont pas perçues de manière distincte, les traces phonologiques activées et stockées en mémoire risquent d'être imprécises et par conséquent de moins bien résister à la dégradation. C'est par une évaluation fine sur base d'un matériel auditive-verbal significatif mais également non significatif qu'il est ainsi possible de différencier un déficit primaire de mémoire à court terme d'une fragilisation mnésique consécutive à l'imprécision de l'input en mémoire à court terme.

L'évaluation de la mémoire auditive-verbale à court terme doit fournir des indications quant au maintien des traces non seulement phonologiques mais également lexicales et syntaxiques. Pour évaluer le maintien des traces phonologiques, des épreuves de répétition de pseudo-mots et d'empan de rimes fournissent des indications intéressantes. Pour le maintien des traces lexicales, les empan de chiffres et de mots sont classiquement utilisés. Enfin, pour le maintien des traces sémantiques, les épreuves de répétition de phrases ainsi que d'empan de catégories sont indiquées.



Un autre aspect essentiel à évaluer est l'**administrateur central de la mémoire de travail**. En effet, lors de la compréhension de consignes plus complexes, les ressources de traitement de l'administrateur central sont sollicitées pour maintenir l'information auditivo-verbale en mémoire parallèlement à son traitement syntactico-sémantique. Pour l'évaluer, l'épreuve de première ligne est l'empan de chiffres à rebours. Le subtest de « séquence lettres-chiffres » de l'échelle de Weschler (WISC-IV) est également intéressant car il nécessite également le maintien des informations en mémoire à court terme tout en les réorganisant.

2.3.2. Evaluation de la mémoire de récit

La restitution immédiate mais également différée de récits est également source d'information en lien avec les troubles auditivo-perceptifs. Bien que multidéterminée dans la mesure où cette tâche sollicite la perception fine de la parole mais également la compréhension en finesse de l'histoire et le maintien en mémoire à long terme, ce type d'épreuve reste intéressant à administrer cliniquement.

2.3.3. Evaluation des fonctions attentionnelles.

Le lien avec le fonctionnement de l'attention est essentiel car ce sont très fréquemment et prioritairement des signes cliniques d'ordre attentionnel qui interpellent les parents et les amènent à consulter pour leur enfant. « Mon enfant a des difficultés d'attention et de concentration, il est vite distrait, le moindre bruit le dérange, il n'écoute pas les consignes jusqu'au bout, il retient un élément de la consigne et oublie les autres, ... » sont des remarques très souvent rapportées par les parents lors de la première consultation. La confusion entre troubles auditifs centraux et troubles de l'attention est ainsi très fréquente et seule une évaluation globale et approfondie permettra de faire la différence entre un trouble

primaire de l'audition centrale qui se traduirait dans le quotidien par des décrochages attentionnels, un trouble primaire de l'attention qui fragiliserait l'écoute ou encore une association de ces troubles, trouble auditivo-perceptif et trouble attentionnel. La réaction d'alerte ainsi que l'attention sélective, tant en modalité auditive que visuelle, l'attention divisée, l'attention soutenue et la flexibilité attentionnelle doivent ainsi être évaluées.

3 La rééducation

Ce n'est donc qu'au terme d'une évaluation multidisciplinaire, auditivo-perceptive, orthophonique et neuropsychologique, que l'on peut mieux comprendre l'impact du trouble auditif central sur les autres fonctions cognitives et planifier la rééducation.

En terme de remédiation, il est important d'améliorer les conditions d'écoute afin de réduire l'impact des tels troubles sur la compréhension auditivo-verbale. Toutefois, les modifications de l'environnement global ne suffisent pas à elles seules (Bellis, 1996). Il est également indispensable de mettre en place des techniques de remédiation et des stratégies compensatoires. Ces techniques visent à améliorer les traitements de nature centripète aboutissant à l'élaboration de percepts, traitements dits « bottom-up », ainsi que ceux de nature centrifuge permettant leur interprétation langagière, traitements dits « top-down » (figure 1).

3.1. Modifications de l'environnement

Minimiser l'impact du trouble auditivo-perceptif dans la vie quotidienne de l'enfant est une priorité. Pour ce faire, il est d'abord essentiel d'y sensibiliser les différents acteurs, enfant, parents et

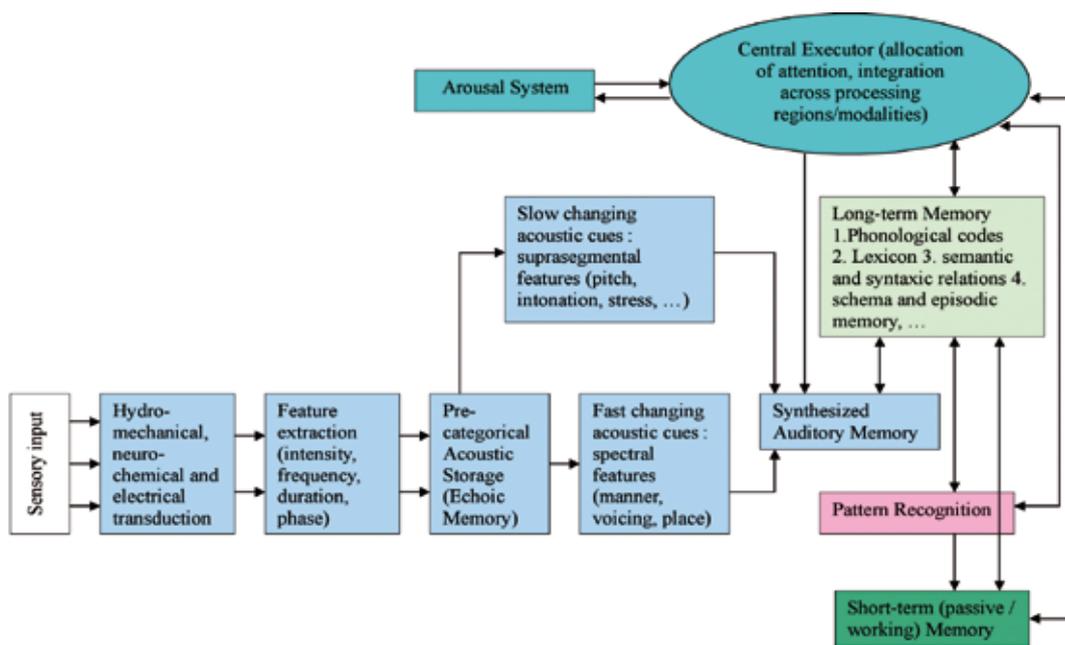


Figure 1 : étapes clés et processus impliqués dans le traitement du langage oral (1)



enseignants, en leur expliquant en quoi consiste la difficulté et en leur donnant des exemples concrets de son impact dans les différents milieux de vie.

A l'enfant, il est important de lui faire prendre conscience de son trouble en soulevant a posteriori quelques exemples de mauvaise compréhension survenus lors de notre bilan. Ces petits exemples méritent d'être repris, non pas pour souligner les erreurs de l'enfant, mais, au contraire, pour illustrer et lui expliquer pour quelles raisons il n'a pas compris le message : « Tu vois, lorsque je t'ai demandé sur le chemin de mon bureau d'où venais-tu, tu m'as répondu en voiture. Je ne t'avais pas demandé comment tu étais venu, mais je voulais savoir de quelle région tu venais. Tu n'as pas bien entendu ma question parce que je te suivais et que le bruit de nos pas résonnait dans le couloir ». Reprendre des exemples de ce type permet à l'enfant de mieux appréhender son trouble. Cette métacognition a toute son importance et est accessible aux enfants même les plus jeunes.

Aux parents, décrivons-leur une situation fréquente où, dans la voiture, radio allumée, ils discutent avec leur enfant. Cette condition d'écoute, si naturelle pour l'adulte mais tellement complexe en raison de l'interférence causée par la radio, est source de grande difficulté pour l'enfant. Dans ce type de condition, mauvaise compréhension et demandes de répétition sont fréquentes : « quoi ?, qu'est-ce que t'as dit ?, ... ». En famille, le repas à table où plusieurs personnes prennent la parole en même temps est également une situation typique qui est source de difficultés de compréhension pour l'enfant. Par divers exemples de ce type, on éveille ainsi l'attention des parents sur l'impact du trouble auditivo-perceptif de l'enfant dans leur quotidien. Il n'est pas rare qu'ils racontent alors une anecdote récemment vécue qui illustre et renforce bien nos propos.

Aux enseignants, prenons l'exemple des dernières minutes de cours en fin de journée. Alors que le bruit s'intensifie dans la classe et dans le couloir, le professeur dicte les devoirs et les leçons à réaliser pour le lendemain. Le risque d'une mauvaise compréhension est alors extrêmement accru et l'enfant n'aura très certainement pas bien ou pas tout noté dans son journal de classe.

Il est essentiel de sensibiliser les différents acteurs sur l'impact du trouble d'audition centrale dans la vie quotidienne et scolaire avant de donner quelques conseils appropriés pour le minimiser.

Dans la littérature, Bellis (1996) et Chermak (1998) ont développé une multitude de conseils généraux qui s'appliquent plus particulièrement à l'environnement scolaire et qui sont à adapter en fonction du profil de difficultés de l'enfant.

Nous avons repris les conseils qui nous paraissent les plus utiles pour les enseignants, nous en développerons également pour les parents. Enfin, nous terminerons par quelques types d'activités que nous suggérons aux parents fréquemment demandeurs d'une meilleure stimulation des aptitudes auditivo-perceptives de leur enfant.

■ 3.1.1. Pour les enseignants, il est important de :

- diminuer le bruit ambiant en fermant porte et fenêtres, en mettant des tentures et des feutres sous les pieds de chaise, en veillant au respect de la discipline, ...;
- parler clairement, face à la classe, à une intensité confortable, en y mettant de l'intonation et de l'expression ;
- recourir à un système FM serait également intéressant mais excessivement peu répandu en Europe ;
- éviter les déplacements pendant la leçon car cela demande un ajustement constant à la source sonore, ce qui est encore plus fatigant pour l'enfant ;

- donner une place préférentielle à l'enfant (ne pas le mettre à côté d'un enfant turbulent et bruyant, le rapprocher de l'enseignant, ...) ;
- encourager l'enfant à poser des questions et à l'inciter à faire répéter son interlocuteur lorsqu'il n'a pas compris ;
- lui fournir des notes claires ;
- aménager plus fréquemment des moments de pause pour lui donner l'occasion de se ressourcer au niveau attentionnel ;
- ...

■ 3.1.2. Pour les parents, il est également important de :

- diminuer le bruit ambiant et éviter les bruits de fond tels que la radio dans la voiture, la musique ou la télévision pendant les repas, ... ;
- articuler clairement, parler posément avec intonation et expression ;
- faire respecter le tour de parole, à table notamment ;
- veiller à la place de l'enfant à table en famille ;
- vérifier si l'enfant suit bien les conversations familiales ;
- l'encourager à détecter les bruits environnants et à les identifier, comme le bruit de la voiture de papa dans l'allée, de la serrure dans la porte d'entrée, du chat qui gratte à la porte, ...
- ...

■ 3.1.3. Activités suggérées aux parents

Aux parents qui nous demandent fréquemment comment ils peuvent stimuler au mieux leur enfant dans le quotidien, nous leur suggérons également de :

- écouter de la musique avec l'enfant ;
- lui chanter des chansons et réciter de comptines ;
- lui lire des histoires ;
- écouter avec lui des contes et des histoires sur CD ;
- discuter du flash info que l'on vient d'entendre à la radio ;
- l'encourager à répondre au téléphone ;
- réduire progressivement le volume de la télévision lorsqu'il la regarde ;
- lui proposer des activités sportives stimulant les 2 mains et les 2 pieds ;
- encourager la multimodalité par des activités créatives stimulant également l'odorat, le goût et le toucher ;

Ces quelques conseils sont loin d'être exhaustifs. Ils visent uniquement à donner certaines pistes de réflexion aux parents et aux enseignants.

■ 3.2. Techniques de remédiation et stratégies compensatoires

Modifier les conditions de l'environnement global est ainsi important mais n'améliore en rien la qualité des traitements menant aux percepts et à leur interprétation. Pour ce faire, la mise en place de techniques de remédiation et de stratégies compensatoires est nécessaire. Ce travail spécifique est ciblé en rééducation orthophonique.

A l'heure actuelle, nous manquons cruellement d'études comparant l'impact de telle ou telle technique de remédiation. Ce n'est en effet que depuis une quinzaine d'années qu'est apparue, en langue française, la nécessité d'évaluer l'efficacité de différentes méthodes de rééducation, et ce plus particulièrement dans le domaine de la lecture. L'« Etude comparative et anatomo-fonctionnelle de la récupération de la dyslexie à l'aide de méthodes de rééducation » menée par de Schonen et coll. (2005) et citée dans l'INSERM (2007) nous intéresse particulièrement. Dans cette étude, les effets de



trois méthodes d'entraînement à la perception phonologique sur les compétences en lecture ont été comparés. C'est en raison de la réputation de leur efficacité que ces trois méthodes ont été sélectionnées : méthode sémiophonique, entraînement à la parole modifiée et rééducation « classique ». Sans entrer dans les détails de chacune de ces rééducations, on pourrait schématiquement suggérer que les méthodes « sémiophonie » et « parole modifiée » solliciteraient davantage des traitements de type « bottom-up » alors que la méthode classique solliciterait également des traitements de type « top-down ». Les résultats de cette étude ne révèlent pas de différences significatives quant à l'impact respectif de ces méthodes sur les tâches de lecture de mots ou de segmentation. En revanche, en répétition immédiate de pseudo-mots, on note des progrès significatifs pour deux méthodes de rééducation, sémiophonie et « parole modifiée », mais pas pour la méthode de rééducation classique.

En terme de durée de traitement, il convient également de souligner que la méthode « parole modifiée » obtient, sur une période de rééducation nettement plus courte (20 jours) mais plus intensive (6 à 7 séances de 20 minutes chacune par jour, pendant 4 semaines), des résultats analogues aux deux autres méthodes (90 séances de rééducation réparties sur 9 mois).

Au vu des résultats de cette étude et puisque nous ne disposons pas d'autres travaux comparant l'efficacité respective d'un travail plus ciblé en termes de traitements de type « bottom-up » ou « top-down », il paraît cliniquement important de stimuler ces deux types de traitements en parallèle. Il semble également essentiel d'intensifier la rééducation en sollicitant l'implication des parents par un travail quotidien à domicile sur base de programmes informatisés. Ce travail à domicile, planifié par l'orthophoniste, n'aurait pas pour but de se substituer à la rééducation mais la compléterait davantage en vue d'accélérer le traitement. En termes de rééducation, nous aborderons le travail spécifique de trois des cinq processus auditifs centraux décrits par ASHA (1996). La priorité est donnée au renforcement des processus de reconnaissance de configurations temporelles parallèlement au décodage phonétique avant d'envisager le renforcement des processus plus complexes de séparation et d'intégration binaurales. L'amélioration du transfert interhémisphérique ne fait pas l'objet d'un travail spécifique mais il est toutefois stimulé dans le cadre des exercices en multimodalité.

Le type de matériel utilisé a également toute son importance. Si ce matériel est lexico-sémantique, il dispose de représentations stockées en mémoire à long terme et permet ainsi la mise en place de stratégies de compensation par l'activation de ces représentations. En référence au modèle de Medwetsky (2002), ce matériel permet ainsi l'intervention des traitements de type « top-down » pour compenser les altérations subies par le percept.

En revanche, si le matériel est dépourvu de signification, comme la syllabe ou le pseudo-mot, il ne dispose que de représentations limitées en mémoire à long terme. Ainsi, l'utilisation de ce type de matériel ne permet pas d'activation de représentations lexicales en mémoire à long terme et limite l'intervention de stratégies de compensation.

Avec un matériel dépourvu de signification, on stimulerait plus exclusivement la conduction du message acoustique jusqu'à l'élaboration de percepts, c'est à dire les traitements de type « bottom-up ».

■ 3.2.1. Configurations temporelles

En cas de dysfonctionnement du processus de reconnaissance de configurations temporelles, l'objectif est d'améliorer la détection et l'utilisation des aspects prosodiques du discours.

3.2.1.1. Traitements de type « bottom-up » des configurations temporelles

Différents programmes de synthèse ont été mis au point afin d'affiner les traitements de type « bottom-up ». Celui développé par Tallal et coll. (1996), le Fast ForWord Program (1997), a fait l'objet de nombreuses publications. Sans entrer dans les détails, ce programme d'entraînement sur ordinateur a pour but de ralentir le traitement de la syllabe, c'est à dire le traitement des informations auditives brèves et en succession rapide contenues dans l'assemblage consonne-voyelle (transitions formantiques). Il comporte des jeux de discrimination, d'identification et d'ordination temporelle de sons cibles ou de mots allongés électroniquement ou amplifiés afin d'en accroître la saillance. Ensuite, une diminution progressive de cette saillance est mise en place afin d'en arriver à la perception de signaux tout à fait naturels.

D'autres programmes d'entraînement à la parole modifiée ont été mis au point par d'autres équipes, notamment en langue française (Habib et coll., 2002 ; cités dans INSERM, 2007).

Ces programmes n'étant pas encore commercialisés et l'efficacité des exercices de parole ralentie n'ayant pas encore été clairement démontrée (INSERM, 2007), on peut quand même aisément travailler l'identification de séquences de sons variant selon la durée, l'intensité ou la hauteur. Pour ce faire, il est simple de recourir à des instruments de musique et de jouer une séquence à l'enfant. Reproduire la séquence avec l'instrument, la retranscrire sur papier, la frapper dans les mains, la verbaliser ou la muser sont ainsi des tâches qui stimulent la reconnaissance de configurations. L'association de la modalité auditive d'entrée à une autre de sortie (visuo-graphique ou tactile) est également importante. Kujala et coll. (2001) et cités dans l'INSERM (2007) l'attestent par les résultats qu'ils ont obtenus dans une étude d'enfants dyslexiques de 7 ans entraînés à associer des sons ayant différentes caractéristiques (durée, intensité, hauteur) à une représentation graphique. Ce travail avait eu un impact positif sur des tâches de lecture de mots.

Dans ce type de tâches, comme dans tout autre, il est également essentiel de se donner des critères de progression pour complexifier l'activité. La complexification peut reposer sur l'augmentation du nombre d'items dans la séquence, la réduction de l'intervalle interstimuli et/ou de la différence de saillance entre les stimuli. Un logiciel aisément utilisable pour ce type de travail est le logiciel Audiolog 3 (exercices du module bruit : séquences aigu-grave, court-long, fort-faible).

3.2.1.2. Traitements de type « top-down » des configurations temporelles

Si l'on souhaite également solliciter les traitements de type « top-down », le travail consiste à entraîner la perception des aspects prosodiques du discours afin d'en extraire des informations de nature linguistique mais également non linguistique.

Dans ce cas, le matériel ne se limite plus à des sons mais porte sur des phrases.

Différentes activités ou jeux peuvent être proposés :

- Repérage du ou des mots accentués dans une phrase ou dans une consigne :
- Le thérapeute lit une phrase ou une consigne à l'enfant, celui-ci écoute et doit souligner, dans la phrase écrite, le ou les mots accentués. Ces différentes accentuations sous-tendent des intentions de communications différentes de la part du locuteur et il est important d'en faire prendre conscience à l'enfant.



Ex :

- Maman nous a promis des gâteaux pour le goûter.
- Maman nous a promis des gâteaux pour le goûter.
- ...

- L'enfant écoute une consigne, souligne les différents éléments accentués puis relit la phrase en reproduisant la même accentuation :

Ex :

- « Tu dois découper sur les pointillés puis colorier l'arbre en rouge ».

- Jeu des intonations : 3 cartes illustrant sur pictogrammes des intonations différentes sont posées sur la table :

- Carte Déclarative « . »
- Carte Exclamative « ! »
- Carte Interrogative « ? »

L'enfant doit soit identifier l'intonation que l'examineur a utilisée, soit lire la phrase avec la bonne intonation pour la faire deviner (ex : « La moto est devant le garage ? », « Quelle chouette promenade à vélo ! »).

- La ponctuation : l'enfant doit percevoir les pauses et ponctuer correctement une phrase qu'il a entendue (ex : « au fond du jardin il y a une balançoire et un bac à sable c'est génial pour s'amuser »). Il doit ainsi ajouter les majuscules, les virgules et les points dans la phrase écrite en fonction de ce qu'il a perçu (ex : « Au fond du jardin, il y a une balançoire et un bac à sable. C'est génial pour s'amuser ! »). A l'inverse, il doit lire la phrase en respectant la ponctuation afin de la faire deviner à l'autre.

- Paires de phrases homophones : soit l'enfant écoute l'examineur et désigne la phrase que ce dernier a lue, soit l'enfant lit chacune d'elles et c'est l'examineur qui doit les identifier (ex : « Il aime Alain. » et « Il est malin. »)

Dans ces différents exercices, l'intermodalité est à nouveau stimulé en passant de l'oral à l'écrit et l'inverse. Ce passage d'une modalité à une autre tend à stimuler le transfert interhémisphérique.

■ 3.2.2. Travail spécifique du processus de décodage phonétique

En cas de dysfonctionnement du processus de décodage, l'objectif est d'améliorer la redondance intrinsèque le long des voies auditives centrales, traitements de type « bottom-up », ainsi que la redondance extrinsèque, traitements de type « top-down », pour en arriver à l'émergence du bon pattern de reconnaissance.

Si on reprend l'exemple décrit précédemment « Maman a préparé un bon *à*eau », l'objectif de la rééducation vise soit à diminuer les altérations subies par le message (réduire les pertes des éléments *) en améliorant la redondance intrinsèque le long des voies auditives centrales, soit à mieux compléter et restaurer les composantes manquantes pour accéder au sens global, en tirant profit de la redondance extrinsèque (c'est ce que l'on appelle la closure auditive).

3.2.2.1. Traitements de type « bottom-up » au niveau du décodage

Améliorer la redondance intrinsèque consiste ainsi à affiner la discrimination, terme plus fréquemment utilisé par les orthophonistes.

Comme l'objectif à ce niveau est de stimuler les traitements de type « bottom-up », le matériel utilisé est davantage constitué de phonèmes isolés ou de syllabes afin d'éviter l'activation et l'intervention compensatoire de représentations lexicales stockées en

mémoire à long terme.

Affiner la capacité de discrimination phonémique est ainsi essentiel mais améliorer les correspondances phonème-graphème l'est tout autant. L'intermodalité de l'oral à l'écrit occupe à nouveau une place prépondérante et a pour but de renforcer la voie d'assemblage en langage écrit.

Le travail se fait par paires ou par groupes de phonèmes distants par un trait articulatoire ou plus, selon les oppositions phonologiques altérées.

Avec les enfants plus jeunes, apprentis lecteurs, il est également efficace de travailler les oppositions phonologiques problématiques en lien avec des gestes articulatoires du type de ceux développés dans la méthode de Borel-Maisonny (1960). L'efficacité clinique de ce travail en parallèle son-geste-graphème est renforcée par l'étude de Shaywitz et Shaywitz (2005) et citée dans l'INSERM (2007) qui montre que, en lecture de mots, les dyslexiques ont tendance à développer spontanément des stratégies compensatoires en s'appuyant sur des traces motrices articulatoires.

Différents logiciels sont disponibles sur le marché pour assurer ce type de stimulation, comme le logiciel Play-On ou le logiciel AudioLog 3. Il est également parfaitement possible de créer ses propres listes de discrimination de paires minimales, d'assemblage de mots épelés ou de jeux de familles de pseudo-mots.

- Logiciel Play-On

Le logiciel Play-On entraîne la discrimination en proposant des séries de logatomes, de mots ou de phrases. Si on cible plus spécifiquement les traitements de type « bottom-up », la sélection des logatomes est plus appropriée (exercice : discrimination ; série : logatomes ; choix des oppositions et des paires de stimuli). Différents choix d'oppositions phonologiques, vocaliques ou consonantiques (ex : d/g), sont proposés. Les paires sont constituées au minimum d'une consonne et d'une voyelle et peuvent être monosyllabiques (da /ga, ad/ag, lad/lag), bisyllabiques (lada/laga, lalad/lalag), ou trisyllabiques (lalada/lalaga, dalala/galala, ladala/lagala). La position du phonème pertinent peut également varier dans le pseudo-mot.

Dans ce type de logiciel, il est à nouveau important que l'orthophoniste se fixe des critères de progression assez précis qui peuvent être les suivants :

- pour chaque niveau de longueur, discriminer tout d'abord les phonèmes pertinents en position initiale (da /ga ; dra/gra), puis finale (ad/ag ; lad/lag) et enfin médiane ;
- atteindre un pourcentage minimum de réussite à un exercice (\pm 95%) nous semble également important pour passer à un niveau de complexité supérieur.

Ce logiciel entraîne bien évidemment la discrimination mais également l'association phonème-graphème, ce qui est une étape essentielle. Il est de plus très attrayant pour les enfants car il propose trois jeux différents : jeu du basket pour les plus jeunes, jeu des pastilles pour les moyens et jeu du chocolat pour les plus grands.

- Logiciel Audiolog 3

Un autre logiciel intéressant pour stimuler le décodage phonétique au niveau « bottom-up » est le logiciel Audiolog 3. Il complète bien le précédent dans la mesure où il permet également d'affiner la discrimination de phonèmes isolés (module phonèmes) et pas uniquement de syllabes ou de mots comme dans le logiciel précédent. Un autre avantage est qu'il ne se limite pas à des stimuli



en opposition par paire mais offre des listes pré-établies d'oppositions plus larges (voyelles orales et nasales, consonnes explosives,...) ou à créer soi-même. Le choix des exercices au sein d'un même module est assez large.

Dans les modules phonèmes et syllabes de ce logiciel, un exercice intéressant est le « signal-bruitage-perception ». Il s'agit d'associer la syllabe ou le phonème perçu avec sa graphie en présence d'un bruit de fond que l'on peut choisir parmi 35 bruits parasites différents (ex : machine à pop corn, pluie, ...) et régler en intensité (assourdissement du bruit de fond jusqu'à 20db sous le signal). Deux options également intéressantes permettent de régler l'intervalle inter-stimuli ainsi que le nombre de stimuli par item.

Reprenons l'exemple de la discrimination de l'opposition d-g. En terme de progression, il est intéressant de l'affiner tout d'abord dans la syllabe puis en isolé. Au niveau de la syllabe, on peut proposer des syllabes simples puis complexes dans lesquelles on fait varier l'ordre séquentiel des phonèmes (CV-VC puis CCV-CVC-VCC). Dans ce type d'exercice, il s'agit de répéter puis de désigner ce qui a été perçu. Une fois que le sujet répète et désigne correctement une syllabe, simple ou complexe, on peut proposer des séries de deux syllabes avec un intervalle inter-stimuli long puis plus court.

Les listes ainsi créées sont les suivantes :

- Syllabes simples : da, ga, ad, ag ;

- Syllabes complexes : dar, gar, dra, gra, rad, rag, ard, arg.

Ce logiciel présente donc de nombreux avantages mais demande à l'orthophoniste de se fixer des critères de progression assez précis afin d'ajuster progressivement son travail à chaque enfant.

- Assemblage de mots épelés

Un autre type d'exercice intéressant, qui ne requiert cette fois aucun logiciel, est l'assemblage de mots épelés. Il s'agit de découper un mot en sons et de les prononcer à l'enfant. L'enfant doit répéter chacun de ces sons et ensuite les assembler pour constituer un mot (ex : /v/- /a/-/z/ → vase). Une telle activité sollicite davantage les traitements de type « bottom-up » dans la mesure où l'enfant n'accède pas d'emblée à la représentation lexicale. Le critère de progression est bien évidemment le nombre de sons constituant le mot. On prend tout d'abord des mots constitués de trois sons, puis quatre,... Dans ce type d'exercice, on peut également choisir les mots en fonction des oppositions phonologiques qui posent problèmes à l'enfant (ex : les occlusives : p-t-k-b-d-g : part, drap, robe, tube,...). Il est également important de souligner que ce genre de tâche sollicite fortement les ressources de traitement de l'administrateur central de la mémoire de travail puisque cela nécessite de garder les sons en mémoire à court terme tout en les assemblant. Une fois que cet exercice est réussi en condition privilégiée, on peut, par la suite, le réaliser en ajoutant un bruit de fond, comme la radio par exemple.

- Jeux de familles de pseudo-mots

Pour les enfants déjà plus avancés en lecture mais qui présentent des difficultés dans le recours à la voie d'assemblage en lecture, jouer avec des pseudo-mots est profitable. L'idée est de créer soi-même des jeux de familles de pseudo-mots comportant des consonnes en opposition par un trait articulatoire. Différents jeux peuvent être construits en spécifiant le type d'opposition articulatoire, le nombre de syllabes constitutives et leur complexité (CV, CCV, CVC). Par exemple, le jeu de famille bisyllabique CV portant sur l'opposition « t-k » comporte quatre familles de six cartes chacune.

Chaque membre d'une même famille est représenté en caractère gras (voir tableau). Comme dans tout jeu de famille, l'objectif est de constituer le plus de familles complètes en demandant à son ou à ses adversaires, à tour de rôle, les cartes qui lui manquent pour compléter une famille : « Dans la famille des t-k, as-tu kita ? », par exemple. Ce type d'exercice sollicite bien évidemment le décodage phonétique mais également l'association phonème↔graphème, tâche qui renforce la voie d'assemblage en lecture.

Lorsque ce type de jeu est réussi en condition privilégiée, on peut également, comme précédemment, le proposer avec un bruit de fond.

3.2.2.2. Traitements de type « top-down » au niveau du décodage

A ce niveau, l'objectif est d'améliorer la redondance extrinsèque, c'est à dire la capacité à tirer profit des informations linguistiques lexicales et contextuelles pour restaurer les informations manquantes et accéder au sens global.

Si nous reprenons à nouveau l'exemple de la phrase « Maman a préparé un bon *â*eau », la confrontation du percept avec les connaissances lexicales stockées en mémoire à long terme a de fortes chances d'activer le mot « gâteau », qui s'adapte parfaitement phonologiquement et, qui plus est, s'insère sémantiquement mieux dans la phrase que d'autres mots phonologiquement compatibles tels que « château », « chapeau », « cadeau » ou « râteau ».

Ainsi, il s'agit d'une part, d'affiner la discrimination sur base d'un matériel constitué de mots ou de phrases disposant de représentations en mémoire à long terme et, d'autre part, d'améliorer la closure auditive de mots ou de sons.

3.2.2.2.1. Discrimination de mots et de phrases

- Logiciels Play-On et Audiolog 3

Avec le logiciel Play-On, on poursuit les exercices de discrimination en choisissant, en fonction de l'opposition phonologique à affiner (ex : d-g), les mots (ex : « dent »-« gant ») ou les phrases appropriées (ex : « Il doute de tout » - « Il goûte de tout »). Le choix est assez vaste tant en termes d'oppositions phonologiques qu'en termes de mots et de phrases.

Avec le logiciel Audiolog 3, le travail ne peut porter que sur des mots mais il garde l'avantage d'introduire un bruit de fond calibré. Le choix parmi les listes pré-établies est néanmoins nettement plus réduit mais il reste possible de créer ses propres listes en les sélectionnant parmi 1727 mots.

Famille t ~ k	Famille k ~ t	Famille k ~ k	Famille t ~ t
toku	kotu	kika	tita
tika	kita	koku	totu
toka	kota	kaku	tatu
tuki	kuti	kiko	tito
tuka	kuta	kuki	tuti
tiko	kito	kuka	tuta
toku	kotu	kika	tita



- Tri de mots du Vocabulaire Orthographique de Base

Une fois que l'on a affiné la discrimination d'une opposition phonologique sur base d'un matériel syllabique (ex : ta-ka, at-ak,...) ou phonémique (t-k) comme on l'a décrit ci-dessus (voir 3.2.2.1. avec l'opposition d-g), il est intéressant de passer à l'unité lexicale. Le Vocabulaire Orthographique de Base, stock lexical constitué de près de 4000 mots fréquemment utilisés au cours de la scolarité primaire (Communauté française de Belgique), est une base de données intéressante. On peut y sélectionner des mots contenant certains sons comme /t/ ou /k/ (Ravon, 2008). L'activité consiste ainsi à dire successivement à l'enfant les mots et à lui demander de les répéter et de les classer selon qu'il entend le son /t/, le son /k/ ou les 2 dans le mot (ex : « amitié, boucle, affectueux »). La vérification à partir du mot écrit est également intéressante car elle renforce le lien oral-écrit et, de cette façon, la voie d'assemblage.

3.2.2.2. La closure auditive

Parallèlement à ce type d'exercices, le renforcement de la closure est essentiel. Ce travail langagier et métalangagier s'apparente à celui classiquement mis en place en rééducation orthophonique. Il vise à tirer profit des informations contextuelles pour compléter les manques et les distorsions subies par le percept.

- Closure de mots

Trouver le mot manquant dans une phrase en se référant au sens global et aux indices contextuels est un exercice classique.

Pour les plus jeunes, il est conseillé de commencer par des comptines familières basées sur la rime, ce qui constitue un indice contextuel et phonologique supplémentaire (ex : « un petit lapin qui mangeait du... - thym - s'était endormi sur un tapis... - gris -... »). On propose ensuite de compléter des phrases en cherchant des mots qui riment avec un mot cible tout en respectant le contexte syntaxico-sémantique (ex : « Pour s'habiller, Elizabeth met... - ses baskets, ses chaussettes,... »). Cet exercice stimule également la métaphonologie.

Avec les plus grands, on peut jouer à des jeux de vocabulaire comme « Vocabulon Junior » (Editions MEGABLEU) ou « Bagou » (Eveil & Jeux). Dans « Vocabulon », il s'agit de retrouver un mot à partir de sa définition en ayant comme indice la 1^{ère} lettre ainsi que la nature du mot. Dans « Bagou », différentes tâches de closure de mot dans la phrase sont proposées avec ou sans amorce phonologique, comme par exemple :

- Deux mots à trouver :

- « Qui est cet homme ? Chassez cet int..., immédiatement. »
- « Ce jouet est impossible à briser, il est ind.... »

- Deux phrases, un même mot :

- « Il a ... sa mission avec succès. »
- « Lorsqu'on est placé devant le fait ..., on est bien obligé de réagir. »

- Deux mots qui se prononcent de façon identique (homonymes)

- « J'ai visité les ... de Venise. »
- « J'aime me promener en ... pneumatique. »

Enrichir le stock lexical permet de faciliter la closure. Il est intéressant de sensibiliser l'enfant à la morphologie des mots, de l'encourager à identifier des mots qui ont une racine commune et à chasser les intrus. La sensibilisation aux préfixes et suffixes est également importante en veillant constamment à passer de l'oral à l'écrit : dans la série « histoire-préhistoire-historique-hostile-mystique-historien-... », il s'agit de repérer les intrus en segmentant

les mots auditivement et de surligner leur racine dans le mot écrit.

Enrichir le vocabulaire accroît ainsi les chances de succès lors de la confrontation du percept avec les connaissances stockées en mémoire à long terme.

- Closure de sons

Une fois que l'enfant a bien trié les mots du VOB en fonction d'une opposition phonologique spécifique (voir 3.2.2.2.1 : discrimination de mots et de phrases), il est intéressant de lui présenter à nouveau ces mots mais, cette fois, par écrit et en ayant pris soin de retirer les graphèmes critiques (« ami*ié », « affe**ueux », « bou*le », ...). Sans plus entendre le mot, l'enfant doit à nouveau dire si le mot contient le son /t/ (« amitié »), le son /k/ (« boucle») ou les deux (« affectueux »). La vérification en se référant au mot écrit est également intéressante.

Sans plus mettre l'accent sur une opposition phonologique systématique, on peut stimuler la closure de sons dans des mots phonologiquement assez proches. Des exercices de ce type peuvent ainsi être proposés (Célèrier, 2003) :

- « Je mets le gâteau au ...our. »
- « Les enfants jouent dans la ...our. »
- « Tu es contre ou tu es ...our. »
- ...

3.2.3. Travail spécifique de la séparation et intégration binaurales

En cas de déficit de séparation binaurale, l'objectif est d'améliorer l'aptitude à traiter un message auditif perçu par une oreille tout en ignorant parallèlement un message différent présenté dans l'autre oreille. En cas de déficit d'intégration binaurale, l'objectif est d'entraîner l'aptitude à se concentrer sur les deux messages en même temps.

Comme précédemment, si l'on cible uniquement les traitements de type « bottom-up », on part du phonème ou de la syllabe. En revanche, si on cible également les traitements de type « top-down », on recourt plutôt à un matériel significatif constitué de phrases ou de mots qui disposent de représentations lexicales et sémantiques en mémoire à long terme.

Ainsi, quel que soit le matériel utilisé (phonème, syllabe, mot ou phrase), on suggère de placer le sujet entre deux hauts-parleurs ou de mettre des écouteurs qui diffusent des messages différents. Si on entraîne uniquement la séparation binaurale, on demande au sujet de se concentrer sur le haut-parleur qui diffuse à la plus faible intensité. Si on stimule l'intégration, on demande alors de se concentrer sur les deux messages en même temps.

Un logiciel à nouveau intéressant à ce niveau est Audiolog 3 qui propose tant pour les bruits que pour les phonèmes, les syllabes et les mots des exercices en situation d'écoute dichotique. Dans ce logiciel, la simultanéité entre les stimuli perçus à droite et à gauche n'est pas parfaitement respectée mais cela n'a de l'importance que lorsqu'on cherche à déterminer une prévalence d'oreille. Ce programme, qui permet de diffuser des messages différents aux deux oreilles, présente également l'intérêt de paramétrer manuellement et séparément l'intensité du son à l'oreille droite et à l'oreille gauche.



3.2.3.1. Traitements de type « bottom-up » au niveau de la séparation et intégration binaurales

Comme on l'a déjà dit au niveau du décodage, si on veut davantage cibler les traitements de type « bottom-up » en limitant l'intervention des représentations lexico-sémantiques stockées en mémoire à long terme, il est préférable de choisir un matériel constitué des syllabes ou de sons.

La progression est similaire à celle adoptée pour le décodage phonétique (voir 3.2.2.1.). On se focalise ainsi sur certaines oppositions phonologiques en partant de la syllabe (syllabes simples puis complexes) pour aller vers le phonème isolé et en se fixant une progression :

- Syllabes
 - Simples : da, ga, ad, ag;
 - Complexes : dar, gar, dra, gra, ard, arg, rad, rag;
- Progression
 - Répétition et désignation d'une syllabe ;
 - Répétition et désignation de deux syllabes avec un intervalle inter-stimuli important ;
 - Répétition et désignation de deux syllabes avec un intervalle inter-stimuli réduit.

Si on ne possède pas ce logiciel, il est tout à fait possible de construire des listes selon le même principe. On demande à l'enfant de répéter les syllabes ou les sons alors qu'il porte un écouteur sur une des deux oreilles, écouteur qui diffuse des informations verbales distrayantes. Il convient bien sûr d'alterner le port de l'écouteur distracteur.

3.2.3.2. Traitements de type « top-down » au niveau de la séparation et l'intégration binaurales

Les activités de discrimination, comme celles basées sur le tri de mots du VOB (voir 3.2.2.2.1.), ainsi que les activités de closure (voir 3.2.2.2.2.) décrites dans le cadre de traitements de type « top-down » utilisées pour affiner le décodage phonétique sont également applicables à ce niveau. Il convient de placer un écouteur distracteur sur une des deux oreilles afin de proposer une situation de type dichotique plutôt que simplement diotique telle que celle apportée par la présence d'un simple bruit ambiant.

4

Conclusion

La rééducation des troubles auditifs centraux doit se fonder sur une évaluation multidisciplinaire, audito-perceptive, orthophonique et neuropsychologique. Une telle évaluation permet, d'une part, de cibler le ou les processus auditifs centraux qui dysfonctionnent et, d'autre part, de déterminer leurs répercussions éventuelles sur le langage, sur l'attention et sur la mémoire à court terme.

En terme de rééducation, il est important d'améliorer les conditions d'écoute afin de réduire l'impact des tels troubles sur la compréhension audito-verbale. Il est également indispensable de mettre en place des techniques de remédiation et des stratégies compensatoires. Ces techniques visent à améliorer les traitements sollicités jusqu'à l'élaboration de percepts, traitements de type « bottom-up », ainsi que leur interprétation langagière, traitements de type « top-down ». Tant que nous ne disposons pas d'études comparant l'efficacité respective de rééducations ciblant chacun de ces traitements, il est essentiel de les stimuler en parallèle.

En raison de la plasticité cérébrale, l'intensification des séances de rééducation est également souhaitable et pourrait être facilitée grâce à l'utilisation à domicile de programmes informatiques. La rééducation des processus auditifs centraux à raison d'une séance d'une heure par semaine n'est en effet pas suffisante. Impliquer les parents en leur demandant de superviser la réalisation quotidienne d'exercices informatisés rigoureusement planifiés par l'orthophoniste pourrait être profitable.

La diversité des exercices proposés à l'enfant est également nécessaire afin de maintenir son intérêt. Pour chaque exercice proposé, il est important de se fixer des critères de réussite et une progression à suivre.

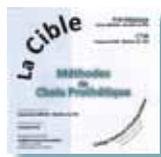
Enfin, l'accent sur l'intermodalité est essentiel, plus spécifiquement le passage de l'oral à l'écrit.

5

Bibliographie

1. **ASHA TASK FORCE ON CENTRAL AUDITORY PROCESSING CONSENSUS DEVELOPMENT.** Central Auditory Processing: current status of research and implications for clinical practice. *Am. J. Audiol.*, 5: 41-54, 1996.
2. **AUDIOLOG 3**, Flexoft, Ed. Créasoft
3. **BELLIS T.J.** Ed. *Assessment and management of central auditory processing disorders in the educational setting.* Singular San Diego CA, 1996.
4. **BOREL-MAISONNY S.** Langage oral et écrit - I - pédagogie des notions de base. Neuchâtel, Delachaux et Niestlé, 1960
5. **CELERIER P.** Supports verbaux II: phonologie, lexique, syntaxe. OrthoEdition, 2003
6. **CHERMAK G.D.** Managing central auditory processing disorders. *Seminars in hearing*, 19: 379-391, 1998
7. **DEMANEZ L., BONIVER V., DONY-CLOSON B., LHONNEUX-LEDOUX F., DEMANEZ J.-P.** Central auditory processing disorders : some cohorts studies. *Acta oto-rhino-laryngologica belg.* 2003, 57, 291-299
8. **Fast ForWord.** Scientific Learning Corporation. Berkeley, CA, 1997
9. **FERRE J.M.** Behavioral therapeutic approaches for central auditory problems. In: *Handbook of clinical audiology.* Katz J., Burkark R.F., Medwetsky L., Eds. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia: 495-509, 2002
10. **INSERM.** Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie. Bilan des données scientifiques, 2007
11. **KUJALA M., KARMA K., CEPONIENE R., BELITZ S., TURKILLA P.** Plastic neural changes and reading improvement caused by audiovisual training in reading-impaired children. *Proc Natl Acad Sci USA*, 98: 10509-10514, 2001
12. **MEDWETSKY L.** Central auditory processing. In: *Handbook of clinical audiology* Katz J., Burkark R.F., Medwetsky L., Eds. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia: 495-524, 2002
13. **PLAY-ON Jeu d'entraînement à la lecture Audivimédia L. Danon-Boileau et D. Barbier**
14. **RAVON D.** Création d'une base de données à partir des mots issus du vocabulaire orthographique de base en vue de rééduquer la mémoire de travail : Impact sur la lecture chez neuf patients âgés de 10 ; 1 ans à 16 ;6 ans. Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention du titre de bachelier en logopédie. Haute Ecole de la Province de Liège, 2008
15. **SEGUI J., FERRAND L.** Eds. *Leçons de parole.* Odile Jacob, Paris, 2000
16. **TALLAL P., MILLER S.L., BEDI G., BYMA G., WANG X., NAGARAJAN S.S., SCHREUNER C., JENKINS W.M., MERZENIK M.M.** Language comprehension in language-learning impaired children improved with acoustically modified speech. *Science*, 271: 81-84, 1996

Découvrez toutes les réalisations du Collège National d'Audioprothèse



Logiciel La Cible - Méthodes de Choix Prothétique

Pré-réglage, Xavier RENARD - CTM, François LE HER

Réalisation : Audition France Innovation

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



Précis d'audioprothèse - Tome I - ISBN n°2-9511655-4-4

L'appareillage de l'adulte - Le Bilan d'Orientation Prothétique

Les Editions du Collège National d'Audioprothèse

50,00 € x exemplaire(s) = €
 + Frais de port France : 7,50 € x exemplaire(s) = €
 + Frais de port Etranger : 9,00 € x exemplaire(s) = €



Précis d'audioprothèse - Tome III - ISBN n°2-9511655-3-6

L'appareillage de l'adulte - Le Contrôle d'Efficacité Prothétique

Les Editions du Collège National d'Audioprothèse

60,00 € x exemplaire(s) = €
 + Frais de port France : 7,50 € x exemplaire(s) = €
 + Frais de port Etranger : 9,00 € x exemplaire(s) = €



Précis d'audioprothèse

Production, phonétique acoustique et perception de la parole

ISBN n°978-2-294-06342-8, Editions ELSEVIER MASSON

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



Recueil de textes réglementaires français (CD rom inclus)

ISBN n°2-9511655-2-8 Les Editions du Collège National d'Audioprothèse

15,00 € x exemplaire(s) = €
 + Frais de port France : 5,50 € x exemplaire(s) = €
 + Frais de port Etranger : 6,50 € x exemplaire(s) = €



Coffret de 5 CD « audiométrie vocale »

Les enregistrements comportent les listes de mots et de phrases utilisées pour les tests d'audiométrie vocale en langue française (voix masculine, féminine et enfantine dans le silence et avec un bruit de cocktail party). Réalisation : Audivimédia

100,00 € x exemplaire(s) = €
 + Frais de port France : 6,50 € x exemplaire(s) = €
 + Frais de port Etranger : 8,00 € x exemplaire(s) = €

Caducée année 2010 (réservé aux audioprothésistes)

5,00 € = €

Soit un règlement total (exonéré de TVA) €

Nom Prénom
 Société.....
 Adresse
 Code postal Ville
 Tél Fax
 E-mail

Bon de commande à envoyer avec votre chèque à : Collège National d'Audioprothèse

10 rue Molière - 62220 CARVIN - Tél 03 21 77 91 24 - Collège.Nat.Audio@orange.fr - www.college-nat-audio.fr

Comment profiter 4 X plus des décibels de la vie ?



4 en 1
NOUVEAU !
miniTek
télécommande
Bluetooth
de Siemens

miniTek de Siemens. Télécommande Bluetooth 4 en 1.

- 1 - Télécommande classique ultra compacte.
- 2 - **Relais Bluetooth multipoint** : Assure la communication sans fil entre les aides auditives et l'environnement audio.
Peut connecter 2 sources simultanément (TV / chaîne stéréo) sans changer le Transmitter, et 2 téléphones en parallèle (fixe / portable).
- 3 - **Bobine téléphonique** : Ainsi, même les plus petits appareils peuvent profiter des systèmes de boucle inductive dans les lieux publics.
- 4 - **Système FM** : Entrée prise audio pour se connecter aux systèmes FM en toute discrétion et sans consommation supplémentaire de l'aide auditive. www.siemens.fr/audiologie

Answers for life*

SIEMENS

* Des réponses pour la vie



Métier et technique

Calibrage de l'audiomètre : ce qu'il faut savoir

Yves LASRY

Audioprothésiste D.E.
Membre du
Collège National
d'Audioprothèse

yves.lasry@
biosoundsystem.com



L'audiomètre est le principal outil pour évaluer l'audition. L'audiogramme résultant de son utilisation permet d'infirmier ou de diagnostiquer une perte auditive. De ce fait, le matériel d'audiométrie et les techniques de réalisation de l'audiogramme nécessitent une normalisation afin de pouvoir comparer les tests entre eux, quelle que soit leur origine. Puisque l'on ne peut pas contrôler l'erreur générée par le patient lors de la pratique d'un test d'audiométrie, l'effort doit en effet être concentré sur les deux autres principales sources d'erreurs lors de la réalisation d'un audiogramme. Les premières sont liées à l'audiométriste, dont le protocole de tests doit être irréprochable, tandis que les autres proviennent d'un mauvais calibrage de l'audiomètre utilisé.

En effet, la plupart des audiométristes sont d'accord pour dire que le calibrage initial de l'audiomètre ne garantit pas un étalonnage fiable dans le temps. Ce problème, qui est le plus souvent lié aux transducteurs de sortie, oblige à une vérification régulière de l'audiomètre (Recommandations IEC N°60645-1) dans son ensemble et plus particulièrement concernant les niveaux sonores qu'il dispense.

Pour cette raison, une vérification régulière du calibrage de l'audiomètre est nécessaire afin d'être sûr que le son produit par le transducteur est bien à la fréquence demandée et au niveau souhaité, qu'il est bien émis uniquement sur le transducteur choisi, et qu'il est exempt de distorsions ou de bruits d'interférences.

En d'autres termes, si un son pur à 1000 Hz et à 40 dB HL est demandé, l'audiomètre doit fournir un signal conforme aux standards internationaux qui spécifient les caractéristiques physiques des signaux émis par l'audiomètre. Ces standards indiquent aussi la marge de tolérance pour que le signal produit reste acceptable. La plupart de ces spécifications sont

indiquées dans les normes ANSI S3.6-2004 (Norme américaine), ISO 389-1-5-7 (Norme européenne).

L'audiomètre nécessite d'être calibré si les mesures indiquées par le sonomètre ne correspondent pas à celles indiquées dans la norme choisie, en tenant compte de la marge de tolérance. Après un rappel sur les différents réglages de l'audiomètre devant être vérifiés, nous aborderons plus précisément la procédure de calibrage, à savoir le processus qui permettra de s'assurer que l'audiomètre joue bien le rôle attendu : proposer des signaux conformes à la norme choisie pour chacun des transducteurs de sortie dont il dispose.

1. Audiomètre : les points à surveiller

L'audiomètre est un système qui utilise des signaux très spécifiques tels que des sons purs continus ou discontinus, des sons wobulés, des bruits blancs filtrés ou non et autres signaux vocaux captés par son microphone ou issus d'un lecteur CD. Les audiomètres sont classés par type en fonction de leurs possibilités (ANSI S3.6-2004, ISO 389-1-5-7).

Au-delà de la mesure conforme du niveau des différents signaux pour une fréquence et une intensité données, d'autres composants de l'audiomètre doivent être pris en compte dans la procédure de vérification de conformité de l'audiomètre.

1.1 Les atténuateurs

Le niveau de chacun des signaux, pour chaque canal de l'audiomètre, est réglable grâce à l'atténuateur qui permet de moduler l'intensité du son produit.

Ces atténuateurs sont calibrés afin que les niveaux indiqués correspondent avec exactitude à des valeurs physiques spécifiques et standardisées. Si l'atténuateur est réglé sur 45 dB HL, cela signifie

que le signal émis correspond à un niveau de 45 dB HL. En ce qui concerne les variations d'intensité, chaque changement de 5 dB de l'atténuateur doit correspondre à un changement effectif de 5 dB en sortie sur le transducteur. Cette vérification de la linéarité des atténuateurs est sujette à une marge de tolérance indiquée dans la norme de +/- 1 dB pour une variation demandée de 5 dB.



1.2 Le sélecteur de sortie

Il permet de sélectionner le transducteur de sortie parmi les possibilités suivantes : écouteur gauche ou droit pour la conduction aérienne, vibrateur pour la conduction osseuse, ou hauts-parleurs pour les tests en champ diffus.

1.3 Le vumètre

Il permet de régler le niveau d'entrée du signal lors de l'utilisation du microphone ou du lecteur CD lors de la réalisation de tests d'audiométrie vocale. Si ce niveau d'entrée n'est pas ajusté correctement, le test ne sera pas recevable car le signal ne sera pas émis au niveau souhaité malgré l'indication d'un niveau conforme par l'atténuateur.

1.4 Les transducteurs de sortie et leur câble

Au-delà du niveau sonore émis, une vérification régulière des transducteurs est nécessaire afin de s'assurer de leur raccordement correct à l'audiomètre, ou concernant leurs



câbles qui ne doivent pas être à l'origine de dysfonctionnements en raison de faux contacts.

2. La cabine de test : l'écrin de l'audiomètre

Il peut être intéressant, lors de la réflexion autour du calibrage de l'audiomètre, de s'interroger sur la cabine et notamment sur ses caractéristiques acoustiques. En effet, la réalisation de tests d'audiométrie avec un matériel calibré ne peut s'envisager que dans un lieu silencieux et adapté, et le calibrage pour les signaux émis en champ diffus dépend bien entendu de ce lieu. Des normes strictes établissent le niveau maximal acceptable par bande de 1/3 d'octave permettant la réalisation des différents tests. Ces normes sont d'autant plus strictes concernant les tests par conduction osseuse ainsi que pour la mesure des seuils liminaires d'audition en champ diffus. Pour ces dernières, le bruit de fond, même très réduit, de la cabine reste un obstacle qui ne permettra pas de mesures précises en-deçà de 25 dB HL. Ce niveau sera toutefois suffisant pour déceler la présence ou non d'une baisse auditive

3. Les différents types de décibels et leur rôle dans le calibrage de l'audiomètre

3.1 Le décibel SPL : mesure linéaire de la pression acoustique

La sensibilité de l'oreille humaine varie selon les fréquences. Par exemple, le seuil d'audition moyen chez le normo-entendant est de 26,5 dB SPL à 250 Hz tandis qu'il est de 7,5 dB SPL à 1000 Hz. Le décibel SPL (Sound Pressure Level) indique la variation de pression acoustique de l'air induite par le signal. Cette

variation de pression est comparée à la valeur de référence définie pour le 0 dB SPL, 2×10^{-5} Pascal.

Il se calcule de la façon suivante : $X \text{ dB SPL} = 20 \log P/P_0$

X : Intensité du signal en dB SPL,
P : Variation de pression acoustique induite par le signal

$P_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pascal : Référence pour le 0 dB SPL

Le décibel SPL est linéaire et ne dépend donc pas de la fréquence testée. Il se mesure facilement à l'aide d'un sonomètre linéaire.

3.2 Le décibel RETSPL : mesure linéaire de la pression acoustique au sein d'un coupleur

Pour la mesure de niveau en dB SPL au sein de la cavité d'un coupleur standardisé, on parle de dBRETSPL si les trois conditions suivantes sont réunies :

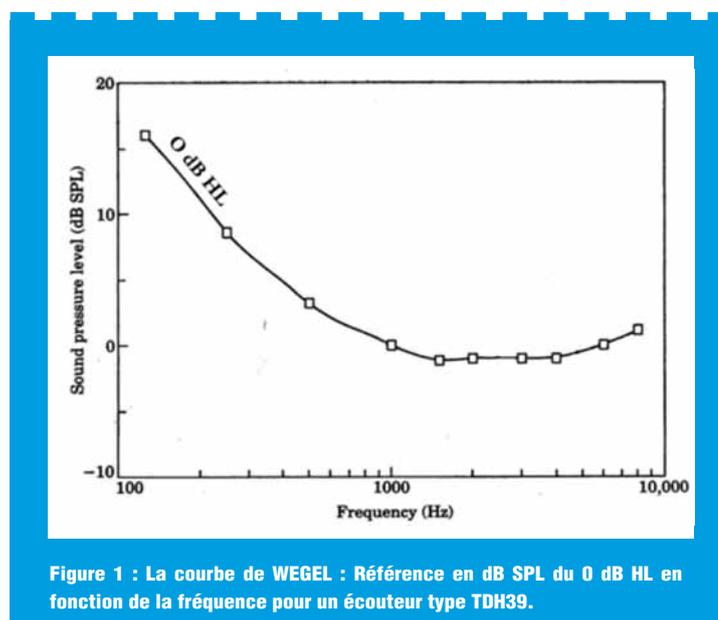
- l'axe de l'écouteur et l'axe de l'oreille artificielle sont confondus et verticaux,
- l'ensemble coupleur - transducteur ne présente pas de fuite acoustique,

- la force de couplage est de 4.5 N +/- 0,5 N, soit un poids d'environ 500 g.

C'est cette unité que nous retrouvons dans les normes présentées précédemment concernant le calibrage du casque à conduction aérienne. Pour le calibrage du vibreur à conduction osseuse, on utilise une unité spécifique (RETFLs) car il s'agit cette fois-ci de mesurer la force exercée par le vibreur et non l'onde sonore qu'il produit.

3.3 Le décibel HL : mesure de la pression acoustique avec correction physiologique

Le dB HL ou dB physiologique est une linéarisation du dB SPL tenant compte du seuil d'audition moyen par fréquence chez le normo-entendant. C'est lui qui est utilisé pour la réalisation de l'audiogramme et c'est cette unité que nous retrouvons sur les atténuateurs de l'audiomètre. Ainsi, lorsque l'on demande un niveau HL, l'audiomètre apporte la correction nécessaire pour une émission du bon niveau SPL.





En d'autres termes, le 0 dB HL correspond au niveau minimal perceptible chez le normo-entendant pour chaque fréquence. La figure suivante permet de visualiser le lien qui unit ces deux différentes unités de mesure. Cette courbe est variable selon le modèle de transducteur de sortie utilisé.

4. Calibrage de l'audiomètre par un technicien spécialisé : vérification annuelle

Il est nécessaire, et recommandé (CEI N°60645-1) de faire vérifier et calibrer le matériel d'audiométrie annuellement par un technicien spécialisé qui maîtrise les différents aspects de la procédure de calibrage. Cette vérification concerne de nombreux points de fonctionnement de l'audiomètre et nécessite un matériel adapté au calibrage des différents transducteurs.

4.1 Matériel nécessaire au calibrage de l'audiomètre

- Le coupleur 6 CC ou 2 CC

Equipé d'un microphone de pression, il permet d'effectuer des mesures de niveau des signaux émis par les deux principaux casques utilisés en audiométrie (TDH 39 et Sennheiser HDA 200) ainsi que pour les inserts. Il est conforme à la norme IEC 60318 et est indispensable pour la réalisation du protocole de calibrage avec ces différents types d'écouteurs. Un jeu d'adaptateurs, fourni avec l'oreille arti-

cielle, permet un ajustement parfait des différents types d'écouteurs audiométriques (Figure 2).



- La mastoïde artificielle

Il s'agit d'un transducteur qui permet de transformer la vibration émise par le vibreur audiométrique (B71 ou B72) en un signal électrique qui peut être mesuré à l'aide du sonomètre (Figure 3).

- Le sonomètre Classe 1, équipé d'un microphone de champ libre

Il répond à des normes strictes et doit être vérifié et étalonné régulièrement par le fabricant qui établit alors un certificat de conformité. Avant chacune de ses utilisations, il faut vérifier son calibrage global à l'aide d'un pistonphone qui sera lui-même régulièrement calibré par le fabricant (Figure 4).

- Le pistonphone

Il s'agit d'un générateur de signal dont les caractéristiques sont clairement établies. Il émet le plus souvent un signal à 1000 Hz et 94 dB SPL qui permet de confirmer ou éventuellement d'ajuster la sensibilité globale du sonomètre. Il doit pouvoir s'ajuster parfaitement autour du microphone du sonomètre.

- Le fréquencesmètre

Il permet de confirmer la fréquence du signal et peut être branché directement à l'audiomètre car ce genre de variations fréquentielles ne provient que très rarement du transducteur. Il est le plus souvent aujourd'hui intégré au sonomètre.

4.2 Vérification et ajustement des différents composants de l'audiomètre

Avant de démarrer le protocole de calibrage pour les différents transducteurs, il convient de vérifier plusieurs points concernant le fonctionnement de l'audiomètre :

- Vérification et ajustement éventuel de la linéarité des atténuateurs

Les atténuateurs des audiomètres proposent le plus souvent des variations de niveau sonore par pas de 5 dB HL. Cette vérification consiste à s'assurer que l'on retrouve bien cette variation de 5 dB sur le transducteur de sortie (CA, CO ou champ diffus). Cette vérification peut se



Figure 2 : Coupleur conforme à la norme IEC 60318 permettant l'étalonnage des écouteurs audiométriques.



Figure 3 : Mastoïde artificielle conforme à la norme ANSI S3.26-1981 permettant le calibrage des vibreurs audiométriques.



Figure 4 : Exemple de sonomètre de mesure et son pistonphone.



Frequency (Hz)	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
TDH-39 earphones	45,0	25,5	11,5	8,0	7,0	6,5	9,0	10,0	9,5	15,5	13,0

Figure 5 : Valeurs de référence dB RETSPL correspondant à la valeur 0 dB HL à différentes fréquences pour les écouteurs audiométriques TDH39.

Frequency (Hz)	500	1000	4000	6000	8000	9000	10000	11200	12500	14000	16000
RETSPL (dB) : Sennheiser HDA200	11,0	5,5	9,5	17,0	17,5	18,5	22,0	23,0	28,0	36,0	56,0

Figure 6 : Valeurs de référence dB RETSPL correspondant à la valeur 0 dB HL à différentes fréquences pour les écouteurs audiométriques HDA200 (Haute fréquence).

faire à niveaux élevés à l'aide du sonomètre, mais aussi à niveaux faibles par une mesure électrique du signal.

Les normes à ce propos indiquent qu'une variation de 5 dB de l'atténuateur doit engendrer à la sortie une variation comprise en 4 et 6 dB. Si la variation indiquée par l'atténuateur est de 1 dB, celle-ci doit être comprise entre 0,7 et 1,3 dB à la sortie.

- Calibrage fréquentiel

Il est nécessaire pour s'assurer que chaque fréquence émise corresponde bien à la fréquence demandée. La tolérance est de +/- 1% pour un audiomètre de type 1 ou 2. Elle est de 2% pour un audiomètre de type 3, 4 ou 5.

A 1000 Hz, par exemple, la fréquence du signal proposé doit être comprise entre 990 Hz et 1010 Hz pour un audiomètre de type 1 ou 2, tandis qu'elle doit se situer entre 980 Hz et 1020 Hz pour un audiomètre de type 3, 4 ou 5.

Pour les audiomètres à balayage fréquentiel dont la fréquence du signal émis varie progressivement des graves vers les aigus, la tolérance indiquée dans la norme est de 5%, soit une fréquence comprise entre 950 Hz et 1050 Hz lorsque 1000 Hz est affiché sur l'atténuateur.

- Mesure du taux de distorsions harmoniques

Une vérification du taux de distorsions harmoniques à haut niveau est aussi nécessaire afin de s'assurer que celles-ci ne dépassent pas 2,5% au casque et 5% au vibreur.

- Mesure des temps d'attaque et de retour des différents signaux émis

Il s'agit de mesurer le temps nécessaire

à l'apparition (temps d'attaque) puis à la disparition (temps de retour) du signal. Ces durées doivent être comprises entre 20 et 200 ms selon la norme ANSI S3,6 2004.

4.3 Protocole de Calibrage tonal

Lorsque les vérifications et ajustements des différents points présentés précédemment sont terminés, il convient de calibrer très précisément chacun des signaux émis par l'audiomètre. Pour cela, un protocole est clairement établi et décrit dans les normes pour chacun des signaux générés, tenant compte du type de transducteur utilisé ainsi que de sa référence exacte. Sa réalisation est relativement simple lorsque l'on dispose du matériel adéquat ainsi que des valeurs de référence correspondant au matériel utilisé.

4.3.1 Signaux émis au casque en conduction aérienne

Pour le calibrage du casque à conduction aérienne, chacun des écouteurs doit être calibré de façon indépendante.

L'écouteur testé doit être placé sur un coupleur 6 CC décrit précédemment. Celui-ci est maintenu par un système permettant de proposer une pression standardisée du casque sur le coupleur dont la cavité représente approximativement les caractéristiques de l'oreille humaine. Le microphone haute qualité du sonomètre se positionne à l'intérieur de cette cavité pour y mesurer les signaux émis par l'écouteur.

Le sonomètre doit avoir été calibré au préalable à l'aide du pistonphone et doit avoir fait l'objet d'une vérification complète lors des douze derniers mois.

Le processus de calibrage se déroule alors de la façon suivante :

- Choix de la fréquence et réglage de l'atténuateur sur 70 dB HL par exemple, ou à un niveau suffisant pour que le signal émerge nettement par rapport au bruit de fond ambiant
- Relevé du niveau émis à la fréquence concernée et comparaison au niveau attendu, établi par les normes. Par exemple, pour un niveau de 70 dB HL à 500 Hz, le sonomètre doit indiquer $70 + 11,5 = 81,5$ dB SPL. La marge de tolérance est de +/- 3 dB jusqu'à 5000 Hz puis de +/- 5 dB à partir de 6000 Hz.
- Modification du niveau d'émission de l'audiomètre pour cette fréquence afin de retrouver la valeur attendue.
- Reproduction de ce protocole pour chacune des fréquences et pour chaque type de signaux que peut émettre l'audiomètre (sons purs, bruit blanc, bruits blancs filtrés, bruit rose etc.)

Concernant l'étalonnage haute fréquence (8000 Hz à 16000 Hz) pour des écouteurs tels que le Sennheiser HDA 200, il se réalise de la même façon. Pour cela, il faudra simplement avoir recours à l'adaptateur adéquat pour un bon ajustement au coupleur, et se référer aux valeurs de la norme pour les hautes fréquences (**Figures 5 et 6**).

4.3.2 Signaux émis par le vibreur en conduction osseuse

Le calibrage du vibreur (B71 ou B72) pour les tests effectués en conduction osseuse nécessite l'utilisation d'une mastoïde artificielle. Le calibrage de la conduction osseuse est sensiblement similaire à celui de la conduction aérienne. Toutefois, les valeurs de référence sont propres à ce transducteur.



En l'absence de mastoïde artificielle, le calibrage de la conduction osseuse ou au moins sa vérification peuvent se faire en testant un certain nombre de patients dont la déficience auditive est, avec certitude, purement neurosensorielle (surdité de perception pure). En effet, dans ce cas, les courbes mesurées en C.A. et en C.O. sont superposées. Cette méthode n'est bien entendu utilisable que dans la mesure où le calibrage en conduction aérienne a été correctement effectué.



Le principe est de noter, pour chaque patient, l'écart mesuré entre la conduction aérienne et la conduction osseuse pour chacune des fréquences comprises entre 250 Hz et 4000 Hz. La réalisation de ce protocole sur un certain nombre de patients permettra d'indiquer les valeurs

correctives à apporter afin d'obtenir une superposition parfaite des courbes d'audiométrie mesurées en conduction aérienne et en conduction osseuse. Ces corrections seront d'autant plus précises que la population testée (perte neurosensorielle pure) sera importante.

Ce protocole ne doit pas faire appel à des normo-entendants même si, dans leur cas aussi, les courbes mesurées en conduction aérienne et en conduction osseuse sont superposables. En effet, la mesure s'effectuant à des niveaux très faibles, la fiabilité sera moindre en raison du bruit de fond ambiant résiduel de la cabine audiométrique. De plus, dans le cas où le sujet perçoit le niveau minimum émis par l'audiomètre, rien n'indique qu'il ne percevrait pas le niveau inférieur.

4.3.3 Signaux émis en champ diffus

Cette fois-ci, les signaux sont émis dans la salle de tests au travers des haut-parleurs, plutôt qu'au casque ou par conduction osseuse. Le signal émis est, cette fois-ci, capté par le microphone de champ libre du sonomètre qui doit être positionné au niveau de la tête du patient lors du déroulement du test.

Les valeurs indiquées par la norme ANSI diffèrent selon le positionnement de la source (le haut-parleur test) par rapport au

patient (0°, 45°, 90°). Pour un positionnement à 0° (face au patient), les valeurs diffèrent de 2 dB selon qu'il s'agisse d'une mesure monaurale ou binaurale. Pour rappel, le haut-parleur doit être positionné à un mètre du patient. Le technicien doit donc adapter les valeurs choisies selon la configuration technique de la cabine.

De la même façon qu'au casque, ce test doit être réalisé à un niveau suffisant (70 dB HL, par exemple) pour que le signal émerge très nettement par rapport au bruit ambiant.

Lors du calibrage tonal en champ libre, le niveau pour chaque stimulus et pour chaque fréquence doit être ajusté afin que le niveau mesuré par le sonomètre corresponde aux niveaux imposés par les normes, en tenant compte bien sûr de la marge de tolérance.

Pour des raisons acoustiques (ondes stationnaires), le signal utilisé en champ libre n'est plus un son pur mais un son modulé en fréquence (wobulé) (Figure 7).

4.4 Protocole de calibrage vocal

Deux types de signaux vocaux peuvent être émis par l'audiomètre : celui provenant du microphone et celui provenant d'une source CD. L'un comme l'autre permettent la réalisation de tests d'audiométrie vocale. Pour chacune de ces sources, le niveau sonore obtenu à la sortie doit être conforme à la norme choisie.

4.4.1 Calibrage du signal vocal entrant

Afin de produire un signal d'intensité conforme à la sortie de l'audiomètre, il convient de régler au préalable le niveau du signal entrant provenant du CD ou bien du microphone. Afin de moduler l'intensité de ce signal à l'entrée, l'utilisation du vumètre est indispensable. En effet, l'affichage qu'il propose permet un réglage précis du niveau d'entrée de chacune de ces sources (Microphone, CD1 et CD2).

Si l'audiométrie vocale se réalise à la voix, au travers du microphone, le niveau d'entrée doit être réglé de sorte que le vumètre indique en moyenne 0 dB pour les pics de la voix. Lors de la réalisation du test, il faudra vérifier de façon très régulière que le niveau de la voix reste constant et ajuster le cas échéant le niveau d'entrée du microphone afin que le vumètre indique toujours 0 dB en moyenne pour les pics de la voix.

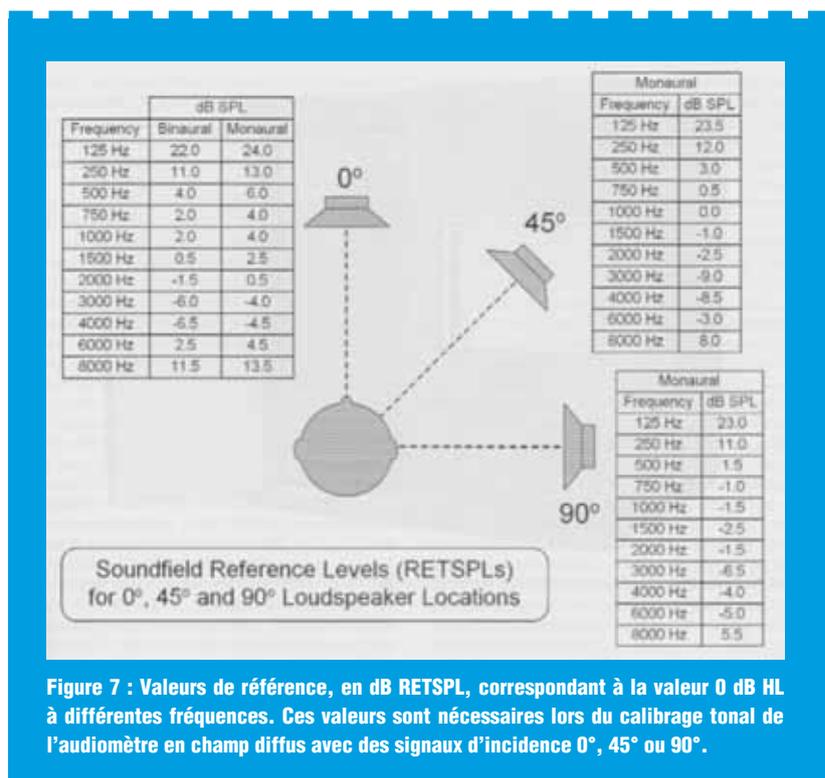


Figure 7 : Valeurs de référence, en dB RETSPL, correspondant à la valeur 0 dB HL à différentes fréquences. Ces valeurs sont nécessaires lors du calibrage tonal de l'audiomètre en champ diffus avec des signaux d'incidence 0°, 45° ou 90°.



Si l'audiométrie vocale est réalisée à l'aide d'un CD, le niveau d'entrée devra être ajusté, pour chacun des canaux, en utilisant un signal de calibrage spécifique et propre au CD qui le contient. Il peut s'agir s'un son pur à 1000 Hz, ou d'un bruit blanc. Son niveau d'enregistrement est lié aux listes vocales proposées sur ce même CD et correspond au niveau moyen des pics de la voix utilisée dans les listes. Le niveau d'entrée est alors réglé de sorte que le vumètre indique 0 dB.

4.4.2 Calibrage du signal vocal à la sortie de l'audiomètre

Le calibrage de l'audiomètre pour la réalisation de tests vocaux s'effectue de façon comparable à l'étalonnage tonal. Cette fois-ci, c'est le signal source proposé par le CD qui est émis dans le coupleur ou la mastoïde artificielle. Ce signal de calibrage à 1000 Hz est émis à l'entrée vocale de l'audiomètre tandis que le vumètre doit afficher 0 dB. Telles sont les conditions permettant la mesure du niveau sonore à la sortie, au sein du coupleur. La norme indique que ce signal doit se situer à 12,5 dB au-delà du niveau HL, soit 19,5 dB SPL, le correctif HL-SPL à 1000 Hz étant de 7,5 dB pour un casque TDH39. Ainsi, si l'atténuateur indique 0 dB HL lors d'un test vocal, cela signifie que le niveau moyen des pics de la parole est de 19,5 dB SPL. Ainsi, si l'atténuateur est positionné sur 70 dB HL, le technicien doit lire sur son sonomètre $70 + 19,5 = 89,5$ dB SPL pour calibrer l'audiomètre équipé du casque type TDH39.

5. Vérification très régulière par l'audiométriste

En plus du calibrage annuel effectué par un technicien spécialisé équipé du matériel adéquat, il est recommandé (CEI N°60645-1) de s'assurer aussi régulièrement que possible du bon fonctionnement de son audiomètre. Pour cela, différents points sont à vérifier de façon très régulière, pour chacun des transducteurs, afin de limiter les conséquences induites par un dysfonctionnement :

- Confirmation subjective du niveau du signal émis pour chaque fréquence, à 60 dB HL par exemple.
- Confirmation subjective du bon fonctionnement de l'atténuateur par pas de 5 dB.

Calibrage de l'audiomètre ? Testez vos connaissances



- 1) Le calibrage initial de l'audiomètre permet une utilisation à long terme, sans risque d'erreurs de mesure. Vrai Faux
- 2) Seuls les niveaux émis en champ diffus sont sujets à variation dans le temps, ceux émis au casque restant stables. Vrai Faux
- 3) Après avoir changé le câble de l'écouteur qui présentait un faux contact, je dois à nouveau faire étalonner mon audiomètre par un technicien spécialisé. Vrai Faux
- 4) En l'absence de mastoïde artificielle, le calibrage du vibreur utilisé pour les tests effectués par voie osseuse peut se faire en prenant pour étalon une population suffisante d'individus normo-entendants. Vrai Faux
- 5) Lorsque je change de CD pour la réalisation de tests d'audiométrie vocale, l'audiomètre ajuste son niveau afin de délivrer un signal conforme sur le transducteur de sortie. Vrai Faux
- 6) Lorsque je change de lecteur CD pour la pratique de l'audiométrie vocale, je dois à nouveau faire étalonner mon audiomètre par un technicien spécialisé. Vrai Faux
- 7) Lorsque je réalise l'audiométrie vocale en utilisant le microphone de l'audiomètre, je ne dois pas prendre de précaution particulière car l'audiomètre ajuste automatiquement le niveau en sortie. Vrai Faux

- 1) **Faux** Il existe une variation non négligeable des signaux émis par les différents transducteurs au fil du temps car les matériaux vieillissent et subissent des agressions extérieures (chocs, variations de température et du pourcentage d'humidité dans l'air...). Une vérification annuelle de l'ensemble de la chaîne audiométrique est donc indispensable.
- 2) **Faux** Les hauts-parleurs de champ diffus sont davantage sujets aux variations que les écouteurs audiométriques. Cela implique une vérification très régulière des niveaux émis en champ libre à l'aide d'un sonomètre. Pour les écouteurs audiométriques, une vérification annuelle est suffisante.
- 3) **Faux** Les caractéristiques du câble étant clairement définies, un nouveau calibrage n'est pas nécessaire si ce câble est identique à celui qu'il remplace.
- 4) **Faux** Il est préférable dans ce cas, d'avoir recours à une population de mainteneurs dont le trouble auditif est de type perception pure. En effet, la mesure en conduction osseuse pour le normo-entendant ne peut être précise en raison du niveau de bruit, même très faible, présent dans la cabine audiométrique.
- 5) **Faux** Les différents CD ne sont pas enregistrés au même niveau, il est donc indispensable d'ajuster le niveau d'entrée de l'audiomètre en utilisant le signal de calibrage propre à chaque CD. Le vumètre doit indiquer 0 dB pendant sa diffusion.
- 6) **Faux** Seul le niveau d'entrée de l'audiomètre doit être ajusté en utilisant le signal de calibrage propre à chaque CD.
- 7) **Faux** Il est nécessaire d'ajuster le niveau de l'entrée microphone de l'audiomètre avant de démarrer le test. Le vumètre doit indiquer 0 dB en moyenne pour les pics de la parole. Le niveau de la voix doit bien entendu rester constant pendant tout le déroulement du test.



- Confirmation de la qualité sonore des signaux émis, de l'absence de distorsions ou de bruits d'interférences.
- Vérification des différents câbles et de leur connexion afin de confirmer l'absence de faux contacts.
- Vérification périodique des niveaux émis sur les différents transducteurs en testant une personne dont l'audition est connue. Si un écart de 10 dB ou plus est mesuré, il faudra calibrer à nouveau le système dans son ensemble.

En cas de problème de transducteur, un échange ne peut être envisagé sans un nouveau calibrage du système. Toutefois, s'il s'agit simplement d'un problème de câble, celui-ci peut être remplacé par son homologue sans calibrage complémentaire.

Ces procédures, régulières et rigoureuses, permettront d'utiliser l'audiomètre en toute confiance pour la réalisation des

différents tests d'audiométrie, qu'ils soient à visée diagnostique, ou prothétique. Toutefois, bien d'autres paramètres sont à prendre en compte pour assurer la reproductibilité des mesures sur différents systèmes audiométriques.

En effet, les protocoles liés à la recherche du seuil d'intensité pour chaque fréquence sont eux aussi décrits dans les normes et doivent être réalisés avec soin.

La notation des résultats sur les graphiques d'audiométrie tonale ou vocale joue aussi un rôle prépondérant dans l'échange d'informations entre les différents protagonistes qui seront amenés à les analyser. Il est donc de notre responsabilité d'établir l'audiogramme tonal ou vocal « dans les règles de l'art » afin d'apporter aux différents professionnels de l'équipe pluridisciplinaire en charge du patient des éléments précis et reproductibles qui permettront de prendre les meilleurs décisions.

■ Références

Acoustical Society of America : ANSI S3.6-2004 Specification for audiometers ; 2004

GELFAND S.A.: Essentials of Audiology; 3ème édition; Editeur : Thieme ; 2009

KATZ J., MEDWETSKY L., BURKARD R., HOOD L.: Handbook of Clinical Audiology ; 6ème édition ; Editeur LIPPINCOTT WILLIAMS & WILKINS ; 2009

LEGENT F., BORDURE P., CALAIS C., MALARD O., CHAYS A., ROLAND J., GARNIER S., DEBRUILLE X.: Audiologie pratique - Audiométrie ; 3ème édition ; Editeur : Elsevier Masson ; 2011

PORTMANN M&C : Précis d'audiométrie clinique ; Editeur : Masson ; 6ème édition ; 1988

Collège National d'Audioprothèse : Précis d'audioprothèse Tome 1 - Le bilan d'orientation prothétique ; 2ème édition ; Editions du Collège National d'Audioprothèse ; 2007

Société Française d'Audiologie : Guide de Bonnes Pratiques en Audiométrie de l'Adulte ; 2009

BRUEL & KJAER Product Data : Artificial Mastoid - Type 4930

BRUEL & KJAER Product Data : Artificial Ears -Types 4152 and 4153

ANSI S3.1-1999 (R2003)	Maximum Permissible Ambient Noise for Audiometric Test Rooms
ANSI S3.6-2004	Specification for Audiometers
ANSI S3.7-1995 (R2003)	Coupleur Calibration of Earphones, Method for
ANSI S3.13-1987 (R2007)	American National Standard Mechanical Coupleur for Measurement of bone vibrators
ANSI S3.21-2004	Method for Manual Pure-Tone Treshold Audiometry
ANSI S1.4-1983 (R2006)	Specifications for Sound Level Meters
IEC 60645-1 2001	Audiological Equipment : Part 1 – Pure-Tone Audiometers
IEC 60645-2 1993	Audiological Equipment : Part 2 – Equipment for Speech Audiometry
IEC 60318 1998	Electroacoustics : Simulators of Human Head and Ear. Part 1 – Ear Simulator for the Calibration of Supra-Aural Earphones
IEC 60318 2007	Electroacoustics : Simulators of Human Head and Ear. Part 6 – Mechanical Coupleur for the Calibration on Bone Vibrators
ISO 389	Reference Zero for the Calibration of Audiometric Equipment

Annexe : Quelques normes ANSI, IEC et ISO qui régissent la pratique de l'audiométrie.

Les portables GSM pour bien comprendre



Nouveau chez SMS: »sydney« et »vegas«, téléphones portables amplifiés avec de multiples fonctions pour personnes malentendantes

- amplification d'écoute effective, réglable jusqu'à + 30 dB
- écoute inductive
- fonction d'appel d'urgence
- branchement pour kit main-libre
- Bluetooth
- grosses touches avec écriture nette
- grand afficheur couleur avec fort contraste, et toutes les fonctions d'un téléphone portable moderne.

Découvrez tous nos produits sur : www.humanteknik.com



SMS Audio Electronique Sarl · 173 rue du Général de Gaulle · F-68440 Habsheim
Téléphone : 03 89 44 14 00 · Télécopie : 03 89 44 62 13 · e-mail : sms@audiofr.com



Cas clinique

Patiente Hyperacousique

Hervé BISCHOFF

Audioprothésiste D.E.
Membre du
Collège National
d'Audioprothèse

herve.bischoff@lcab.fr



■ Anamnèse

Madame P. 37 ans, est professeur de musique depuis 15 ans. Elle pratique le piano à raison de 8h/jour.

Elle signale un acouphène aigu type sifflement centré sur 6000 Hz à 5 dB du seuil à gauche qui est apparu le 1^{er} février 2010 à 6h du matin. Un rééquilibrage de l'occlusion dentaire et un traitement de Rivotril sur quelques semaines ont permis de le maîtriser subjectivement.

Aujourd'hui cet acouphène ne lui pose aucun problème puisqu'elle dit elle-même s'y être habituée.

Elle signale également une gêne aux bruits forts depuis 2 ans avec une recrudescence depuis ce fameux 1^{er} février 2010. Les bruits forts et aigus lui font mal (couverts, crissements du métro, certaines voix aiguës etc...).

Le seul élément relevé susceptible d'être relié s'est produit la veille : la cuvette des toilettes est retombée brutalement faisant un claquement bref et intense.

Elle se plaint également d'une douleur musculaire dans le visage qui s'est accentuée progressivement et qui peut aller jusqu'à une sensation de brûlure.

Elle a mis en place progressivement depuis 2 ans toute une stratégie de protections auditives :

- Porte des pianissimo -25 dB pendant les cours de musique
- Porte des boules Quiès dans la rue, le train, et pour dormir
- Met du coton dans les oreilles le reste du temps

Sur le plan psychologique, elle est très nerveuse et de nature anxieuse. Elle n'a pas le moral en ce moment car elle se demande si elle va devoir arrêter de travailler et donc ne plus jouer de musique.

Sur le plan général, pas de vertige signalé, pas d'allergie connue, pas d'opération de l'oreille, pas d'otite.

Avec des dynamiques temporelles du tronc cérébral normales, les PEA n'ont pas montré d'anomalie rétro-cochléaire.

L'évaluation par questionnaires et Echelle Visuelle Analogique de gêne montre un score élevé avec pour le questionnaire de sensibilité de Khalfa 10, 18, et 6 total : 34/42, pour le questionnaire GÜF de Nelting 30/45 -> degré 4/4 et pour l'EVA un score à 9,7. Le retentissement psychologique est donc très important.

Le Quotient de Johnson (Johnson Hyperacusis Quotient) indique, avec un score de 77,49 dB HL, une hyperacousie légère.

- Avant traitement : Seuil liminaire moyen ODG sur 250, 500, 1000, 2000, 4000, 6000, 8000 = 8,93 dB HL
- Seuil d'inconfort moyen = 86,42 dB HL
- JHQ = 77,49 dB HL

Les seuils d'inconfort relevés sont des seuils subjectifs et non le seuil atteint pour observer le réflexe cochléo-palpébral. A noter que la plus grande prudence est à observer lors de ce test et notamment pour les patients acouphéniques ou hyperacousiques. Il est indispensable d'obtenir l'accord du patient avant de réaliser ce test (certains refusent ou ont trop peur d'une aggravation de leur acouphène ou de leur hyperacousie).

Le JHQ montre tout comme les questionnaires et l'EVA la présence d'une hyperacousie. L'importance du niveau d'hypersensibilité n'est cependant pas corrélée entre le résultat du JHQ et ceux des questionnaires et de l'EVA de gêne.

■ Audiométrie

Voir les 3 figures page suivante.

■ Adaptation prothétique

Nous avons adapté à Madame P.

deux bruiteurs en OPEN avec un spectre de bruit blanc. Bien que la patiente se plaigne essentiellement des bruits aigus, l'utilisation d'un bruit à large spectre type bruit blanc se justifie car le seuil d'inconfort est dégradé sur l'ensemble des fréquences et pas seulement dans la zone de la plainte.

Le volume a été augmenté progressivement au fur et à mesure de ses progrès sur une période d'environ 3 mois. Cette augmentation se poursuit si elle est tolérée de manière à ne jamais venir perturber la perception de la voix. A ce stade le volume reste inchangé jusqu'à la fin du traitement.

Nous lui avons donné comme ligne directrice de retirer progressivement ses protections auditives lorsque le niveau sonore ne le nécessitait pas. Les protections ne sont en effet pas recommandées dans ce cas car elles augmentent le contraste avec les bruits forts et peuvent déclencher, pérenniser ou accentuer une hypersensibilité aux bruits.

Les protections auditives sont nécessaires pour protéger l'oreille des sons potentiellement toxiques pour elle mais ne doivent pas la surprotéger.

Cependant une fois que le patient a pris l'habitude de les porter, les protections auditives ne doivent pas être retirées brutalement, au risque d'accentuer encore les somatisations au bruit.

■ Suivi prothétique à 1 mois

Après un mois de port des bruiteurs, Madame P. est arrivée très souriante, ce qui contrastait avec la première fois.

Dans les premiers jours de port des bruiteurs, elle les trouvait fatigants les premières heures, puis au bout d'une dizaine de jours n'y faisait plus attention.

CAS CLINIQUE ◀



Elle a ressenti progressivement un meilleur confort vis-à-vis des sons forts, ce qui l'a encouragée à porter les bruiteurs toute la journée.

Elle ressent toujours une douleur musculaire dans le visage, mais cela s'est amélioré.

Elle ressent globalement une amélioration de sa qualité de vie.

Elle supporte mieux la télévision avec les bruiteurs : niveau 8 alors qu'auparavant elle supportait difficilement 5-6. Elle a même pu regarder un film complet la veille du rendez-vous.

La musique d'un magasin ou la voix de son ami est plus supportable. Il peut éternuer à côté d'elle sans que cela ne soit douloureux. Elle ne remarque plus de gêne avec les oiseaux.

Au cours du mois, elle est allée à un mariage qui s'est bien passé mais elle avait cependant pris la précaution de porter des bouchons Pianissimo -25 dB et ne s'est jamais approchée de la musique amplifiée.

Elle a pu retirer les cotons au bout de 10 jours, mais porte encore les boules Quiès dans la rue.

Les bruits de vaisselle sont toujours très forts et douloureux, mais sont plus supportables.

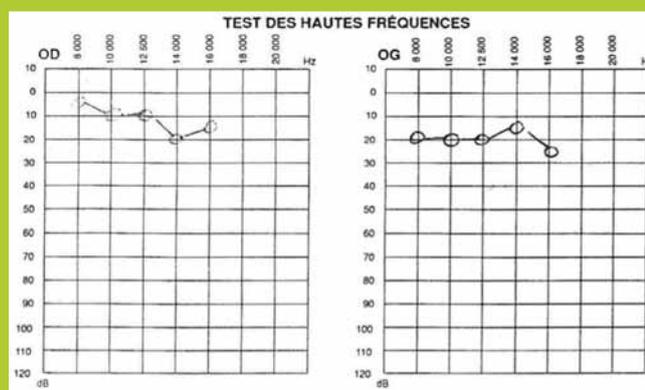
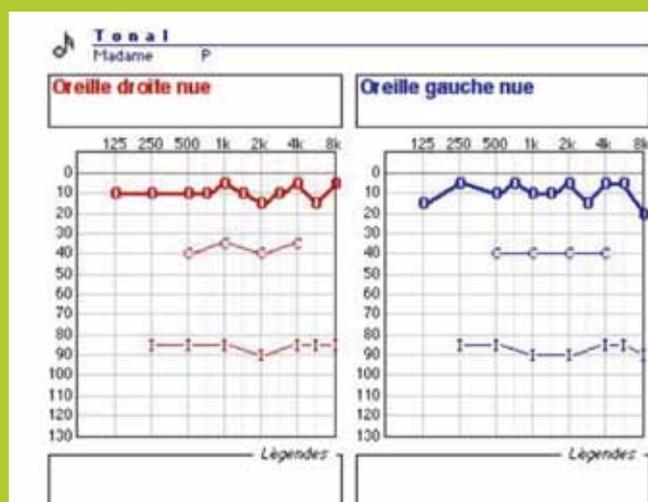
Les crissements de frein et les klaxons sont encore douloureux.

Quand elle a mal, elle se masse autour de l'oreille ce qui la soulage, la douleur part plus vite et elle a l'impression de pouvoir agir sur ce qui lui arrive.

■ Suivi prothétique à 3 mois

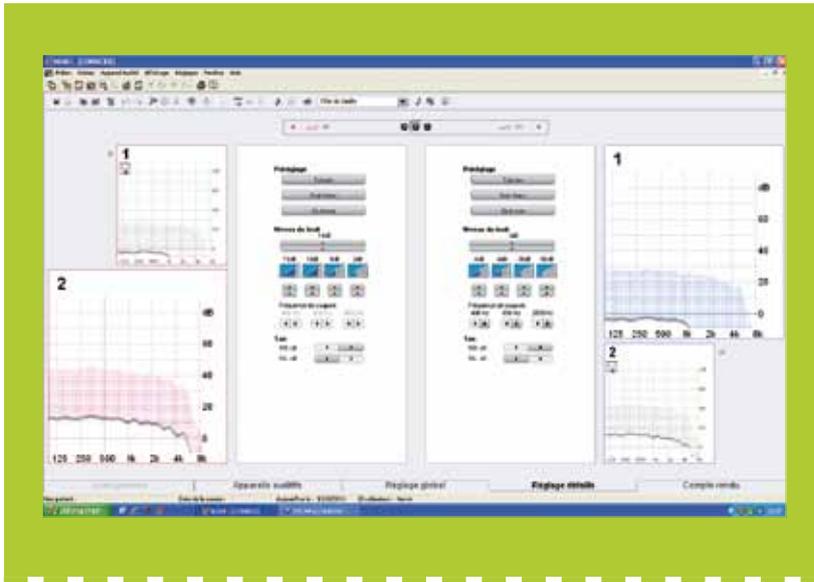
Les douleurs musculaires au niveau du visage ont progressivement disparu. Pour elle, c'est une amélioration très importante car cette gêne ressentie était la plus invalidante.

Elle n'est plus autant dans l'évitement des sons : elle réussit à parler avec des gens dans la rue ce qu'elle évitait de faire auparavant





> CAS CLINIQUE



et supporte les bruits forts (scooter ou camion par exemple) avec ses bruiteurs. Elle ne ressent plus le besoin de porter ses boules Quiès.

■ Suivi prothétique à 6 mois

- L'hyperacousie a disparu et la dynamique auditive s'est normalisée. Le quotient de Johnson le confirme.
- Après 6 mois : Seuil liminaire moyen ODG sur 250, 500, 1000, 2000, 4000, 6000, 8000 = 8,93 dB HL
- Seuil d'inconfort moyen = 103,57 dB HL
- JHQ = 94,64 dB HL

Madame P. garde une appréhension et une gêne vis-à-vis des sons forts (qui sont forts et gênants pour tout le monde). Le JHQ ne permet pas de traduire cette gêne résiduelle qui peut exister après traitement et qui est lié à l'exacerbation de l'attention vis-à-vis des bruits forts. Nous lui avons conseillé d'entamer une prise en charge de type TCC ou sophrologique pour traiter ce point particulier.

■ Discussion

On constate dans plus de 50% des cas une amélioration dans le premier mois de port des bruiteurs comme cela s'est passé pour cette patiente. Mais ce n'est pas toujours le cas et il faut alors encourager le patient et magnifier les premières évolutions.

Après une période de port des bruiteurs de 6-8 mois, on peut estimer que la dynamique s'est normalisée. Cependant une gêne résiduelle peut subsister vis-à-vis des sons forts.

Cette gêne résiduelle est normale puisqu'elle correspond à des sons forts qui sont gênants pour tout le monde. Par contre l'attention exacerbée du patient anciennement hyperacousique envers les sons forts va rendre ces sons plus présents et lui donner l'impression que son hyperacousie est toujours présente. Ce phénomène doit être expliqué au patient et une prise en charge spécifique sophrologique ou TCC peut lui être proposée pour l'aider à prendre du recul par rapport à ce comportement inadéquat.

Bien que la prise en charge des patients hyperacousiques soit statistiquement efficace avec les bruiteurs (55 % amélioration totale - 8% amélioration nette - amélioration partielle 16 %) certains patients ne sont pas ou peu améliorés :

- soit parce qu'il n'a pas été possible de mettre en place les bruiteurs (la gêne à l'initialisation du port des bruiteurs était trop grande).
- soit parce que le volume sonore des bruiteurs n'a pas pu être suffisamment augmenté.
- soit parce que d'autres éléments sont venus interférer avec le traitement, comme les incidences psychologiques de l'hyperacousie ou de l'environnement (accidents de la vie,...). Une prise en charge spécialisée par un psychiatre peut s'avérer indispensable pour évaluer le type et le niveau de l'atteinte et pour mettre en place un traitement adéquat. Il sera par la suite possible de revenir vers les bruiteurs pour traiter spécifiquement l'hyperacousie.

Par ailleurs les cas liés à des causes objectives ou des maladies reconnues doivent être traités par les médecins compétents.

■ Conclusion

La prise en charge d'un patient qui se plaint d'une hypersensibilité auditive peut paraître impressionnante lors de la première rencontre.

Il montre souvent un grand désespoir et décrit sa situation très négativement. Il a tôt fait de transmettre son pessimisme aux professionnels de santé qui le suivent.

Cette situation qui semble sans espoir va se débloquer très fréquemment après un mois de port des bruiteurs. La différence dans le comportement du patient est significative et provient du fait qu'il a pris conscience qu'il existe une solution. Dès lors, il abordera la suite de son traitement beaucoup plus positivement.

Phonak Target™ 1.2

Toujours adapté à vos besoins

Nouveau avec:

- **AudiogramDirect** – pour des tests in situ
- **Réglages de compression** – pour ajuster rapidement la compression globale
- **Outils de vérification** – pour un processus de vérification simple et sans souci
- **NAL-NL2** – la plus récente version totalement mise en place



Phonak Target™ – le logiciel d'appareillage révolutionnaire
De nombreux conseils et astuces pratiques sur: www.phonakpro.com/target-fr



Interview

Professeure Christine PETIT

Pour inaugurer notre nouvelle rubrique « Interview », nous avons le plaisir de vous présenter un entretien de la Professeure Christine PETIT. Professeure au Collège de France depuis 2002 et grande spécialiste de la génétique humaine, elle dirige le laboratoire de Génétique et Physiologie de l'Audition à l'Institut Pasteur. Nous tenons à la remercier très chaleureusement pour sa gracieuse collaboration et sommes honorés de vous faire partager l'interview de cette grande personnalité de la recherche biomédicale.



■ Pouvez-vous nous rappeler les données et connaissances génétiques en matière de surdité chez l'adulte et chez l'enfant ?

On estime à plus de 150 le nombre de gènes, qui lorsqu'ils sont défectueux, conduisent à une surdité de perception ou neurosensorielle isolée (non syndromique) chez l'enfant ou le jeune adulte. A ce jour, une soixantaine d'entre eux ont été identifiés.

Nos travaux ont permis de montrer que la part de l'hérédité dans la surdité du jeune enfant est considérable. Dans les pays développés, deux tiers, voire trois quarts des surdités sévères ou profondes de l'enfant sont d'origine génétique. Nous avons également établi qu'il s'agit quasi-exclusivement d'atteintes monogéniques. En d'autres termes, chaque forme de surdité est due à l'atteinte d'un seul gène.

En ce qui concerne la surdité du jeune adulte, nous ne disposons pas encore de données précises.

L'hérédité est également en cause dans la susceptibilité au développement d'une surdité après prise de certains médicaments, en particulier certains antibiotiques, comme les aminoglycosides, ou encore certains médicaments anticancéreux, comme le cisplatine.

Quant à la surdité neurosensorielle

de la personne vieillissante, la presbycusie, la contribution des gènes de susceptibilité est d'environ 50 %. Il s'agit d'une hérédité de type multigénique, c'est-à-dire que plusieurs gènes chez un individu concourent au développement de la perte auditive. Des facteurs environnementaux interviennent aussi, on parle d'origine multifactorielle. De même, il existe des facteurs génétiques de susceptibilité aux traumatismes sonores.

■ Pouvez-vous nous expliquer le déroulement de vos recherches ?

Au début des années quatre-vingt dix, la recherche des gènes responsables de surdité isolée accusait un retard considérable par rapport aux autres domaines de la génétique humaine. Ce retard s'expliquait par les difficultés particulières de l'analyse génétique de ce handicap sensoriel, dues principalement au fait que dans les pays développés, les malentendants s'unissent souvent entre eux. La transmission des gènes défectueux provenant du père ou de la mère ne pouvait être suivie, faute de pouvoir distinguer, par des critères cliniques, les différentes formes de surdité. Nous avons pensé que si nous pouvions étudier des familles atteintes de surdité vivant dans des isolats géographiques, nous pourrions contourner cet obstacle. Les isolats géographiques sont en règle générale fondés par un petit nombre de personnes et la consanguinité y est élevée. Par conséquent, dans les familles atteintes de surdité vivant dans les isolats géographiques, une altération génique unique est vraisemblablement en cause. C'est grâce aux collaborations nouées avec des chercheurs et des cliniciens de Tunisie puis du Liban, et à la participation de familles malentendantes de ces pays, que nous avons pu initier l'analyse génétique de la surdité. C'est ainsi que nous

avons localisé sur les chromosomes les deux premiers gènes responsables de surdité neurosensorielle sévère ou profonde chez l'enfant. Notre laboratoire a donc joué un rôle pionnier en montrant comment accéder à ces gènes.

Nous avons ensuite développé des approches spécifiques pour rechercher les gènes de surdité dans les intervalles chromosomiques définis par l'analyse génétique. Nous avons ainsi découvert une vingtaine de gènes de surdité. Aujourd'hui, grâce au séquençage complet du génome humain, j'aurai l'occasion d'y revenir, les gènes responsables de surdité peuvent théoriquement être identifiés sans analyse génétique préalable.

Une fois ces gènes responsables de surdité identifiés, notre objectif a été d'élucider la pathogénie de ces surdités qui comporte la compréhension du rôle de la protéine codée par chacun de ces gènes. Cette connaissance est indispensable pour guider la conduite thérapeutique. Cet objectif ne pouvait pas être atteint sans le recours à des modèles animaux des diverses formes de surdité humaine, j'aurai l'occasion d'y revenir. La souris s'est révélée un modèle d'étude tout à fait approprié pour comprendre la pathogénie de la surdité humaine héréditaire. L'inactivation, chez la souris, d'un gène responsable de surdité chez l'homme, conduit aussi à une perte auditive chez l'animal. En règle générale, elle mime fidèlement celle présente chez l'homme. Là aussi, nous avons joué un rôle pionnier. Pour tous les gènes que nous avons découverts, nous nous sommes systématiquement engagés dans l'étude des mécanismes physiopathologiques sous-jacents par l'analyse des modèles murins correspondants. En nous fondant sur les résultats que nous avons obtenus, nous avons pu proposer une classification pathogénique des surdités génétiques de l'enfant et du sujet jeune.



Biographie express

Christine PETIT est Docteur en Médecine (Université Paris-V) et Docteur ès-Sciences (Université Paris-VII.). Elle entre à l'Institut Pasteur en 1974. A partir de 1993, elle dirige l'unité de « Génétique Humaine », puis celle de « Génétique des Déficients Sensoriels » affiliées au CNRS, enfin celle de « Génétique et Physiologie de l'Audition », unité Inserm UMRS 587 (en partenariat avec l'université Paris VI). En 2002, elle est nommée Professeure au Collège de France, titulaire de la Chaire de Génétique et Physiologie Cellulaire. Elle est aussi Professeure à l'Institut Pasteur. Elle est membre de l'Académie des Sciences depuis 2001. Christine Petit est membre de nombreux Conseils Scientifiques d'institutions nationales et internationales. Ses travaux scientifiques ont été couronnés par de nombreux prix, les prix Charles-Léopold Mayer de l'Académie des Sciences (1999), Ernst Jung « für Wissenschaft und Forschung: Medizin » (Allemagne, 2001), L'Oréal-UNESCO « For Women in Science » (2004), « Freedom to Discover in Neuroscience » de l'Institut Bristol-Myers Squibb (USA, 2005), Louis-Jeantet de Médecine (Europe, 2006), le grand Prix INSERM de la recherche médicale (2007), Pasarow Award (USA, 2011).

De plus, l'étude approfondie des modèles murins de surdité humaine nous a permis de progresser dans la compréhension du fonctionnement normal de la cochlée. Nous avons ainsi, par exemple, compris le rôle des divers liens fibreux de la touffe ciliaire (site de la transduction auditive : conversion du signal acoustique en signal électrique) dans le traitement du son.

La signification physiologique de certains tests audiologiques a pu être revue à la lumière des résultats obtenus chez certains modèles murins de surdités humaines. Il en va ainsi de la signification des produits de distorsion acoustique très utilisés pour le diagnostic de surdité chez l'enfant et dont on sait qu'ils sont dus à l'activité non linéaire de la cellule ciliée externe. Jusqu'à présent, on interprétait l'absence de produits de distorsion acoustique comme indiquant une perte de l'activité de la fonction d'amplification des cellules ciliées externes. Or, dans un modèle murin de surdité humaine, nous avons observé qu'il pouvait exister une dissociation entre produits de

distorsion et amplification (appréciée par le seuil auditif), les premiers étant perdus alors que cette dernière persistait.

Conséquence de la découverte de ces gènes, le diagnostic moléculaire des surdités s'est progressivement développé. Notre laboratoire, l'unité de Génétique et Physiologie de l'Audition (Unité Inserm UMRS587) a pris part à ce développement. En collaboration avec l'unité de Physiopathologie Cellulaire et Moléculaire de la Rétine (Unité Inserm U968), nous avons mis au point la recherche des mutations dans l'ensemble des gènes conduisant à une surdité syndromique, le syndrome de Usher (ou parfois à une surdité isolée). Son but est d'identifier, parmi les enfants sourds, ceux qui sont atteints de ce syndrome. Il s'agit d'une véritable urgence diagnostique. En raison de la rétinopathie pigmentaire qui survient secondairement, la perte de la vision va compromettre l'usage de la langue des signes. Poser ce diagnostic constitue donc un argument majeur en faveur d'une implantation cochléaire, seule

capable d'assurer à ces enfants une pérennité de la communication avec leur entourage.

J'ai eu, avec mon équipe à l'Institut Pasteur, aujourd'hui étendue à l'hôpital d'Enfants Armand Trousseau, au CHU Bordeaux-2 et à l'Institut de la Vision, la très grande chance de nous inscrire dans cette aventure scientifique et médicale à un moment critique et j'ai le plaisir de voir aujourd'hui se développer, grâce aux résultats obtenus, des approches thérapeutiques nouvelles.

■ Pouvez-vous nous en dire un peu plus sur la situation actuelle de vos études ?

Nous avons le projet de développer très prochainement le diagnostic de l'ensemble des surdités héréditaires du sujet jeune, par les nouvelles techniques de séquençage à haut débit. Nous poursuivons la recherche des gènes responsables de surdité chez l'enfant et le sujet jeune, en faisant appel aux nouvelles techniques d'analyse des génomes.

Depuis quelques années, nous nous sommes aussi engagés dans la recherche des gènes de susceptibilité à la presbycusie. Ces recherches ont pu être initiées grâce au développement d'un réseau national qui regroupe huit équipes dans lesquelles sont associés ORL et audioprothésistes. Ces travaux ne peuvent être menés que sur de larges cohortes de malentendants et nécessitent donc un projet fédérant l'activité de plusieurs centres. En effet il s'agit d'identifier des gènes dont la contribution individuelle à la perte auditive pourrait être relativement modeste. En conséquence, des valeurs statistiquement significatives de liaison génétique ne peuvent être obtenues que par l'analyse d'un grand nombre de personnes atteintes. Nous venons d'obtenir les premiers résultats.



Tout un volet de cette étude sur la presbycusie est consacré à l'intelligibilité de la parole et fait intervenir des psycho-acousticiens, membres de notre réseau national. Ils ont développé des algorithmes qui permettent d'apprécier finement comment les différents paramètres physiques des sons de parole sont perçus. Ces tests spécifiques font partie intégrante des investigations de l'atteinte auditive dans ces cohortes de patients. Nous avons l'espoir de corrélérer l'atteinte de certains gènes avec une perte de l'intelligibilité de la parole bien plus forte que celle prédite par l'élévation du seuil auditif. Enfin comprendre comment se développe et fonctionne le système auditif est un axe majeur de nos recherches.

■ Comment vos recherches ont-elles pu aboutir concernant la physiopathologie de la surdité ?

Le déchiffrement de la physiopathologie de chaque forme de surdité repose comme je vous l'ai dit sur l'étude multidisciplinaire des modèles animaux, modèles murins des surdités humaines. Chez la souris, on peut explorer le fonctionnement cochléaire in vivo avec les mêmes tests électrophysiologiques que ceux mis en œuvre chez l'homme. Nous effectuons ces études électrophysiologiques in vivo sur souris mutantes, en étroite collaboration avec le Professeur Paul Avan du CHU de Clermont-Ferrand. Chez les souris mutantes, on peut de plus procéder d'une part à des études morphologiques par

microscopie optique et électronique et d'autre part à des analyses électrophysiologiques et biophysiques fines à partir des cochlées prélevées.

Tous ces efforts aboutissent aujourd'hui à une connaissance détaillée des mécanismes physiopathologiques en cause dans les différentes atteintes héréditaires de la cochlée. Ces modèles animaux ont mis en évidence quelques rares cas d'atteintes conjuguées de la cochlée et des neurones du nerf cochléaire et du système auditif central.

En nous fondant sur ces modèles, nous avons proposé une classification de la pathogénie des atteintes héréditaires de la cochlée en cinq grands groupes :

1. Anomalies de l'homéostasie ionique de la cochlée, en rapport par exemple avec des mutations dans le gène qui code la connexine 26.
2. Anomalies de la touffe ciliaire des cellules sensorielles, cellules ciliées externes comme internes. Il s'agit là du groupe le plus important, en termes de nombre de formes de surdité, mais non pas en termes de nombre de patients. En effet, la forme de surdité la plus fréquente chez l'enfant porte sur l'atteinte du gène qui code la connexine 26, gène exprimé dans toutes les cellules cochléaires à l'exception des cellules sensorielles.
3. Anomalies des structures en cause dans la stimulation des cellules sensorielles, et plus particulièrement de leur touffe ciliaire : ce groupe comprend toutes les anomalies de la membrane tectoriale.

4. Atteintes de la synapse des cellules ciliées internes.

5. Anomalies du métabolisme des radicaux libres de l'oxygène.

Concernant cette dernière catégorie, elle comprend quelques atteintes monogéniques du sujet jeune. Elle regroupe aussi des atteintes liées à la surdité déclenchée par l'exposition au bruit. Les anomalies du stress oxydant sont également en cause dans la presbycusie.

■ Quels sont les autres axes de recherche en génétique concernant l'audition ?

S'agissant de l'identification des gènes responsables de la surdité de l'enfant et du sujet jeune, les gènes connus sont responsables des formes les plus fréquentes, reste donc à découvrir ceux impliqués dans les formes rares de surdité héréditaire.

Certaines recherches visent à identifier les gènes responsables d'une prédisposition à la perte auditive déclenchée par l'exposition à des sons intenses. Elles sont principalement menées chez la souris.

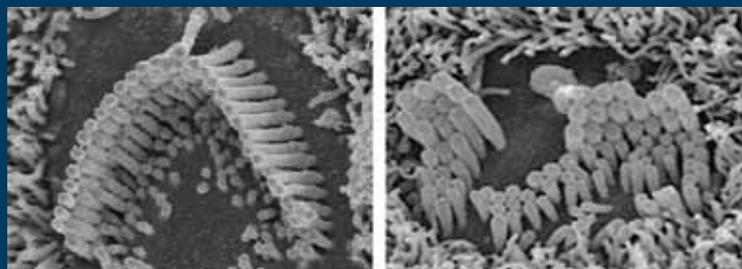
D'autres portent sur les facteurs génétiques qui sous-tendent la perception musicale.

■ Quel est l'intérêt d'un bilan génétique pour une personne sourde ?

La génétique permet le diagnostic moléculaire d'une surdité et donc d'en affirmer le caractère héréditaire. En ce qui concerne la surdité de l'enfant, le diagnostic moléculaire permet d'informer les parents, dans le cadre du conseil génétique, du risque de récurrence de la surdité chez les frères et sœurs et de la transmission possible à la génération suivante.

Le bilan génétique consiste en la recherche de mutations dans les gènes connus comme responsables de surdité. Grâce au séquençage dit à haut débit, l'efficacité du diagnostic moléculaire va progresser rapidement. Son coût actuel estimé à quelques centaines d'euros par patient devrait rapidement diminuer. Cependant, comme tous les gènes responsables de surdité n'ont pas encore été identifiés, le nombre de gènes à tester va augmenter.

Le diagnostic moléculaire ne requiert qu'un simple prélèvement sanguin pour



Microscopie électronique à balayage de la surface apicale d'une cellule ciliée externe de souris normale (à gauche) et de souris mutante pour la protéine harmonine (à droite). En absence d'harmonine, la touffe ciliaire est fragmentée. Chez l'homme, l'absence d'harmonine est responsable de la forme 1C du syndrome de Usher. Verpy E, Leibovici M, Zwaenepoel I, Liu XZ, Gal A, Salem N, Mansour A, Blanchard S, Kobayashi I, Keats BJ, Slim R, Petit C (2000) A defect in harmonin, a PDZ domain-containing protein expressed in the inner ear sensory hair cells, underlies Usher syndrome type 1C. *Nat Genet* 26, 51-55.



■ Que préconiserez-vous à des parents d'enfants sourds profonds bilatéraux, implantés dans l'une des oreilles et qui souhaiteraient « garder » l'autre oreille pour une éventuelle thérapie génique ?

Dans l'état actuel des connaissances, le succès de la restauration de la fonction auditive dépend principalement de la plasticité du cortex auditif, puisque ce dernier doit apprendre ou « réapprendre » la signification des messages sonores qui lui parviennent. Via les implants cochléaires, le message transmis a perdu beaucoup de sa complexité initiale, en particulier son spectre fréquentiel est considérablement appauvri. Même si la perception de la parole est davantage fondée sur la structure temporelle du message sonore que sur sa structure fréquentielle, il s'agit bien pour l'enfant ou l'adulte qui avait développé une audition, de réapprendre la signification d'un nouveau code.

L'efficacité de la thérapie génique sera soumise à deux conditions : la persistance de la plasticité cérébrale particulièrement critique pour les personnes sourdes profondes dès la naissance, mais aussi la persistance des cellules cochléaires cibles de l'atteinte et leur maintien dans un état qui autorise la restauration de leurs fonctions par transfert du gène normal (ou inhibition spécifique de la copie du gène altéré). Comment l'implant cochléaire posé initialement influence-t-il la plasticité des aires cérébrales qui seront mises en jeu par la thérapie génique pratiquée sur l'autre oreille ? Les résultats de la pose d'un second implant cochléaire différé par rapport au premier devraient donner des éléments de réponse. De surcroît, en cas de thérapie génique sur une oreille et d'implant cochléaire sur l'autre, l'information reçue par l'un et l'autre cortex auditifs sera différente et sollicitera encore davantage la plasticité cérébrale. Quant à la seconde condition, elle sera remplie pour certaines formes de surdité héréditaire mais pas pour d'autres. On mesure que les inconnues sont aujourd'hui très grandes.

en extraire l'ADN et rechercher des mutations par séquençage. Ce dernier est aujourd'hui restreint aux parties du gène qui contribuent à l'ARN messager (exons) à partir duquel la protéine est synthétisée.

Comme je vous l'ai dit, nous avons développé le diagnostic moléculaire du syndrome de Usher, quel qu'en soit le type clinique, dans le cadre d'un projet de recherche européen dit TREATRUSH que je coordonne (dans le programme FP7). Par le séquençage systématique de l'ensemble des exons des gènes responsables de ce syndrome, nous nous sommes aperçus que chez 15% des patients, il existe, en plus des mutations présentes sur chacune des deux copies d'un gène donné (qui à elles seules rendent compte le plus souvent de la maladie), d'autres mutations dans un ou deux autres gènes responsables du syndrome de Usher. Disposer de cette connaissance avant de s'engager dans la thérapie génique de la rétinopathie pigmentaire, qui est en développement dans plusieurs laboratoires dont le nôtre, est tout à fait critique. Cette connaissance est aussi indispensable dans le cadre du conseil génétique. Le diagnostic du syndrome de Usher doit donc comporter l'analyse de l'ensemble des gènes Usher. L'article rapportant ces travaux vient d'être publié (Bonnet et al, 2011).

Un autre intérêt du bilan génétique est le fait de pouvoir soustraire de certains protocoles thérapeutiques qui impliquent des aminoglycosides ou des médicaments anticancéreux les patients qui présentent

des mutations dans des gènes qui prédisposent à la survenue d'une surdité après prise de tels médicaments.

■ Et quelle est son utilité concernant les troubles centraux ?

Si l'on prend le cas des neuropathies auditives, que l'on peut distinguer cliniquement des autres surdités neurosensorielles, les cliniciens sont souvent dans l'embarras, ne sachant que recommander concernant les prothèses auditives et tout particulièrement l'implantation cochléaire.

On considérait jusqu'ici que les neuropathies auditives étaient dues à l'atteinte du nerf cochléaire et/ou des voies auditives centrales. En conséquence, le succès de l'implantation cochléaire était très incertain. Nos études ont permis de montrer, par l'isolement des gènes et l'étude des modèles animaux correspondants, qu'il existait des situations très contrastées. Ainsi, dans l'une de ces neuropathies auditives (mutations dans le gène qui code l'otoferline), seules les cellules ciliées internes sont atteintes ; l'implantation cochléaire est par conséquent efficace.

Dans une autre neuropathie auditive (publication soumise), les cellules sensorielles auditives, mais aussi les neurones du nerf cochléaire et des voies auditives centrales sont affectés. Qui plus est, la moindre stimulation de ces cellules aggrave leur dysfonctionnement et conduit à leur dégénérescence en raison de l'atteinte des

défenses anti-oxydantes. Dans ce cas, on ne peut pas préconiser l'utilisation de prothèse (prothèses auditives conventionnelles ou implants cochléaires), qui paraît inadaptée. En revanche, une thérapie anti-oxydante pourrait être développée.

■ Peut-on penser qu'il puisse y avoir un jour un dépistage génétique systématique ?

Dans le futur, toute personne pourra vraisemblablement disposer de la séquence de l'ensemble des exons de son génome. La signification des altérations détectées pourrait cependant être d'interprétation malaisée, dans certains cas. La difficulté principale reste l'interprétation de la signification des mutations (dites faux-sens) qui substituent un acide aminé de la protéine par un autre. Savoir s'il s'agit de mutations pathogéniques ou de simples polymorphismes asymptomatiques, n'est pas simple. Il y a nécessité, me semble-t-il, d'adosser le diagnostic moléculaire à des laboratoires spécialisés. Prenons le cas du syndrome de Usher, nous sommes engagés avec un laboratoire étranger, dans l'établissement de la structure tridimensionnelle de chacune des protéines Usher et de leurs interactions. Cette connaissance va contribuer à l'interprétation de la signification des mutations faux-sens, mais ne sera véritablement exploitable que par des laboratoires spécialisés.



■ Pourra-t-il apporter une fiabilité totale un jour ?

La fiabilité du diagnostic moléculaire est totale. C'est son interprétation qui peut soulever des problèmes, comme nous venons de le voir. De plus, la traduction clinique d'une mutation peut ne pas être univoque d'un individu à l'autre. Même une mutation qui supprime totalement la présence de la protéine peut conduire à une atteinte auditive de sévérité différente d'un individu à l'autre. Ainsi une même mutation dans le gène qui code la connexine 26, incompatible avec la présence de cette protéine, est associée le plus souvent à une surdité sévère ou profonde, mais peut l'être à une surdité modérée voire légère. Cette complexité tient au fait que des mécanismes de compensation d'origine génétique peuvent exister chez telle personne, et être absents chez telle autre. A l'inverse, des facteurs environnementaux peuvent aggraver la surdité, le bruit par exemple, ou la prise de certains médicaments. Les études épidémiologiques couplées à l'analyse des génomes permettront de clarifier les mécanismes à l'origine de ces variations d'expression clinique. D'autres modifications, comme les modifications épigénétiques, risquent d'échapper encore longtemps.

■ Pouvez-vous nous expliquer l'évolutivité de certaines surdités génétiques, dont on nous disait il y a quelques années qu'elles étaient forcément stables ?

Oui, c'est ce que les études initiales semblaient indiquer. L'évolutivité pourrait faire intervenir des facteurs génétiques ou environnementaux. A nouveau, l'exposition au bruit pourrait aggraver certaines surdités par la production de radicaux libres de l'oxygène. J'ai évoqué à plusieurs reprises les nuisances sonores. Elles sont considérablement sous-estimées. D'une manière générale, il serait bon de sensibiliser les pouvoirs publics à leurs effets, à commencer par l'exposition au bruit des jeunes enfants dans les écoles. La limitation de l'intensité acoustique dans les cantines devrait être un objectif prioritaire.

■ Quel est votre avis concernant les dépistages in utero ?

C'est un véritable problème qui se pose aux parents qui ont déjà un enfant sourd, et se demandent si l'enfant à venir le sera aussi.

Le Comité National d'Ethique, saisi de cette question, a considéré, dans un avis rendu il y a quelques années que la surdité isolée ne porte pas atteinte à la dignité des personnes et ne devait donc pas conduire à une interruption de grossesse. Il existe des positions différentes au sein même de l'Europe, en Belgique par exemple.

La question du dépistage prénatal se posera différemment si certains traitements de la surdité in utero sont développés. Des recherches sont développées en ce sens.

■ Comment évoluent les thérapies géniques

et quelles en sont les orientations ?

Aujourd'hui seules des prothèses sont proposées aux patients atteints de surdité génétique. La recherche sur les nouvelles thérapies se décline selon trois axes : les thérapies pharmacologiques, cellulaires, et géniques. Plusieurs laboratoires à travers le monde ont concentré leurs efforts depuis plusieurs années sur le développement de ces thérapies.

En ce qui concerne la thérapie pharmacologique, la délivrance locale, c'est-à-dire dans la cochlée, de médicaments qui ne lui parviennent pas par voie générale, est le défi majeur. Les composants doivent pouvoir être délivrés de façon répétée sans endommager l'organe.

La thérapie cellulaire est un axe de recherche majeur. La possibilité d'implanter des cellules souches pluripotentes dans la cochlée, cellules embryonnaires, d'origine neurale, ou provenant de la moelle osseuse, est explorée. Depuis peu, on parvient aussi à transformer des cellules de type fibroblastique en cellules pluripotentes, par transfert de gènes. Ces cellules pluripotentes (dites iPS pour induced pluripotent stem cells), sont capables pour certaines, après différenciation in vitro, d'effectuer la mécano-transduction. Il reste qu'elles devront acquérir, une fois réimplantées dans l'environnement cochléaire, l'ensemble des caractéristiques des cellules sensorielles ciliées.

La thérapie génique, quant à elle, connaît de récents développements (non encore publiés), qui paraissent particulièrement prometteurs. En effet, un groupe américain a réussi à obtenir la restauration de la fonction auditive chez une souris dont la surdité était due à l'inactivation d'un gène responsable de surdité chez l'homme. L'efficacité obtenue par injection par la fenêtre ronde d'un virus de type AAV (associated adeno-virus) porteur du gène d'intérêt paraît bonne. L'effet est plus prolongé lorsque l'injection virale a été réalisée au cours d'une cochléostomie.

■ Quel est le calendrier espéré pour ces thérapies géniques ?

Il serait très imprudent de parler de « calendrier », car on ne connaît pas les obstacles que le passage de la souris à l'homme pourrait rencontrer.

Il conviendra aussi de bien choisir les formes de surdité à tenter de traiter ainsi.

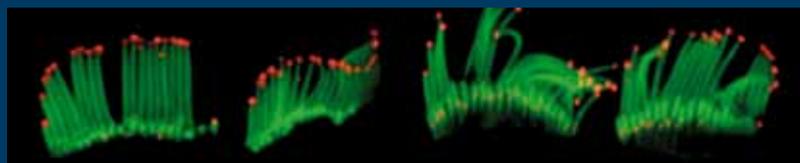


Image de microscopie confocale de touffes ciliaires (chez la souris à 12 jours post-natales) immunomarquées pour la protéine whirlin (en rouge), dont l'atteinte est responsable de la forme DFNB31 de surdité récessive chez l'homme. Le squelette d'actine a été marqué par la phalloïdine fluorescente (en vert). La whirlin joue un rôle essentiel dans la croissance de la touffe ciliaire. Delprat B, Michel V, Goodyear R, Yamasaki Y, Michalski N, El-Amraoui A, Perfettini I, Legrain P, Richardson G, Hardelin J-P, Petit C (2005) Myosin XVa and whirlin, two deafness gene products required for hair bundle growth, are located at the stereocilia tips and interact directly. Hum Mol Genet 14, 401-410.



Pour chaque forme de surdité, c'est la connaissance de sa physiopathologie indiquant combien de temps les cellules cochléaires cibles du déficit survivent qui dictera le développement des protocoles expérimentaux chez l'animal puis la mise en place des essais cliniques. Les bénéfices escomptés de la thérapie génique devront être comparés à ceux connus de l'implantation cochléaire.

A ma connaissance, il n'existe encore aucun essai clinique en cours portant sur le traitement d'une surdité par thérapie génique.

■ Avez-vous un message pour la communauté de l'audiologie ?

La communauté des ORL et des audioprothésistes est conviée à participer aux efforts de recherche susmentionnés. Son implication sera déterminante dans la réussite de ces projets. Quantité de données collectées ne seront correctement exploitées que grâce à leur expertise. ORL et audioprothésistes devraient

désormais s'approprier les connaissances acquises sur la physiopathologie des différentes formes de surdité. Elles devraient être intégrées dans l'enseignement universitaire et post-universitaire.

La description des diverses formes de surdité héréditaires identifiées par le gène en cause appelle une description clinique fine comportant leur évolutivité, qu'il appartient aux praticiens d'élaborer.

Suivre les avancées des recherches thérapeutiques est essentiel, dialoguer avec les chercheurs pour en apprécier la portée aussi.

Les chercheurs sont très demandeurs d'échanges avec les praticiens. Faire les bons choix dans le développement d'axes thérapeutiques repose très largement sur la qualité de ces échanges.

Mon message ? Se préparer aux thérapies auditives !

Propos recueillis par Christian RENARD pour les Cahiers de l'Audition, avec la participation efficace de Michèle ROA et Mélanie HARICHAUX.

Bibliographie

Bonnet C, Grati Mh, Marlin S, Levilliers J, Hardelin J-P, Parodi M, Niasme-Grare M, Zelenika D, Délépine M, Feldmann D, Jonard L, El-Amraoui A, Weil D, Delobel B, Vincent C, Dollfus H, Eliot M-M, David A, Calais C, Vigneron J, Montaut-Verient B, Bonneau D, Dubin J, Thauvin C, Duvillard A, Francannet C, Mom T, Lacombe D, Duriez F, Drouin-Garraud V, Thuillier-Obstoy M-F, Sigaudy S, Frances A-M, Collignon P, Challe G, Couderc R, Lathrop M, Sahel J-A, Weissenbach J, Petit C, Denoyelle F (2011) Complete exon sequencing of all known Usher syndrome genes greatly improves molecular diagnosis. *Orphanet J Rare Dis*, 6, 21.

Richardson GP, Boutet de Monvel J, Petit C (2011) How the genetics of deafness illuminates auditory physiology. *Annu Rev Physiol* 73, 311-34.

El-Amraoui A, Petit C (2010) Thérapie cellulaire dans l'oreille interne - Nouveaux développements et perspectives. *Med Sci (Paris)*, 26, 981-85.

Petit C, Richardson GP (2009) Linking genes underlying deafness to hair-bundle development and function. *Nat Neurosci* 12, 703-10.

L'annuaire Français d'Audiophonologie 36^e année - édition 2011




www.annuaire-audition.com

OCEP édition - 27-31 rue Gabriel Péri 94220 CHARENTON-LE PONT
T. 01 43 53 33 33 - F. 01 43 53 33 34 - marketing@ocep.fr

Port à 09004 par

À renvoyer à: OCEP édition, 27-31 rue Gabriel Péri 94220 Charenton-le-Pont

Nom / Raison sociale : _____

Adresse : _____

Code postal : _____ Ville : _____ E-mail : _____

Désire recevoir la 21^e édition de l'Annuaire d'Audiophonologie au prix unitaire de 64 € (frais de port inclus)

Total de la commande : _____ exemplaire(s) x 64 € = _____ €

Bande de règlement par chèque à l'ordre de OCEP édition

SONIC | groove.

groove™



Groove est imperceptible

Cette nouvelle solution auditive offre des avantages susceptibles de convaincre de nombreux candidats à l'appareillage. Spécialement adapté au mode de vie des patients actifs, Groove est un microCIC qui se glisse confortablement jusqu'au deuxième coude du conduit de l'oreille externe.

Imperceptible pour l'entourage, Groove brille par son efficacité dans les situations sonores bruyantes. Doté de l'un des meilleurs systèmes de réduction du bruit de notre industrie, Groove s'intégrera naturellement dans la vie active de vos patients.



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

SONIC
innovations

Notes de lecture

Dernières parutions scientifiques



LOUDNESS

Series : Springer Handbook of Auditory Research

Eds : FLORENTINE M.,
POPPER A. N., Fay R. R.
SPRINGER 290p. 2011. 109, 95 €

Premier point il s'agit d'un sujet important pour notre activité. La capacité d'un professionnel à paramétrer une aide auditive pour qu'elle soit efficace et confortable n'est pas une chose simple et pour ce faire, il faut maîtriser ce sujet correctement ce qui est loin d'être simple. Deuxième point, le fait de demander à M. Florentine de diriger ce travail est une excellente idée car l'équipe qui travaille à Boston est sans doute la meilleure au monde pour rapprocher la psychoacoustique de l'audiologie avec une bonne expérience dans les deux domaines, ce qui fait que cet ouvrage nous concerne plus particulièrement. Le chapitre 1 traite de la mesure de la sonie, le 2 des méthodes, des problèmes, des pièges liés à la mesure de la sonie, le 3 de la sonie et des effets liés au contexte, le 4 des corrélats de la sonie, des effets physiologiques, des sons de niveaux élevés ainsi que des données perceptuelles et physiologiques corrélées avec la sonie, le 5 de la sonie des sons stables, le 6 de la sonie des sons instables, le 7 de la sonie liée à l'audition binaurale, le 8 de la sonie des sons de l'environnement quotidien, le 9 de sonie et surdité, le 10 des modèles de sonie.

Un point supplémentaire au crédit de cet ouvrage, c'est la présentation du concept de « softness imperception » que nous avons présenté en 2008 à l'EPU à Paris qui, bien que discuté, mérite d'être présenté en détail.

SENSORY NEUROSCIENCE

Four Laws for Psychophysics

J. J. ZWISLOCKI
SPRINGER 170p., 2009

Nul besoin de présenter cet auteur au moins pour les gens de ma génération. Il a passé sa vie à faire de la recherche dans le domaine de l'acoustique liée à la perception et à la modélisation. Tout le monde connaît le coupleur de Zwislocki comme référence pour la mesure des caractéristiques des aides auditives. Ici nous sommes dans la psychoacoustique pure et dure. Le livre y consacre 4 chapitres : le 1^{er} traite des lois de Stevens, le 2^{ème} de la linéarité asymptotique, le 3^{ème} de la loi d'additivité, le 4^{ème} des lois liées à la sensibilité différentielle. Cet ouvrage est à rapprocher de celui dirigé par Mary Florentine présenté ci-dessus. On y retrouve aussi abondamment cité les travaux de l'université de Boston où travaillèrent R. Heilmann et C.H. Meiselman 2 éminentes collègues de l'équipe de Mary Florentine.

THE AGING AUDITORY SYSTEM

Series : Springer Handbook of Auditory Research

Eds : GORDON-SALANT S., FRISINA R. D.D., POPPER A. N., Fay R. R.
SPRINGER 304p. 2010. 109, 95 €

Un grand sujet qui reste une interrogation de tous les jours pour les professionnels avec une question toujours présente : quelle part pour les effets périphériques et centraux ?

Chapitre 1 : introduction et le survol du sujet, le 2 : physiologie de la presbyacousie cochléaire, le 3 : biologie cellulaire du système auditif central. Le 4 essaie de rapprocher les connaissances neurobiologiques acquises chez l'animal et la presbyacousie chez l'homme, le 5 présente des études comportementales chez le sujet âgé. Sont traités dans ce chapitre les aspects liés à la sensibilité et à la psychoacoustique. Le 6 analyse le rapport qu'il pourrait y avoir entre l'asymétrie auditive et les processus binauraux, le 7 les relations entre sénescence, audition, capacités cognitives et compréhension du langage parlé, le 8 les facteurs qui affectent la compréhension chez les sujets les plus âgés, enfin, le 9 l'épidémiologie du déficit auditif lié à l'âge, le 10 les interventions et les thérapies futures et essaie de synthétiser les leçons tirées des modèles animaux.

François DEGOVE

Audioprothésiste D.E.
Membre du
Collège National
d'Audioprothèse

francois.degove@
wanadoo.fr





Il s'agit là d'une très belle synthèse des connaissances actuelles.

HAIR CELL. REGENERATION, REPAIR AND PROTECTION

Series : Springer Handbook of Auditory Research

Eds : SALVI R. J., Fay R. R.
SPRINGER 316p. 2008. 99, 95 €

Ce livre comme tout le reste de la collection réunit des auteurs ayant une excellente connaissance du sujet traité. Ici un certain nombre de données relèvent de la biologie animale. On le comprend aisément. Il s'agit là d'un thème qui normalement ne fera que prendre de l'importance dans les années à venir puisque ces thérapies sont annoncées comme ayant des chances non négligeables d'être opérantes d'ici 5 à 10 ans chez l'homme. C'est un programme qui changera beaucoup de choses pour les gens qui travaillent dans le domaine prothétique. Et, au passage, on comprend aussi que ce n'est pas la peine de faire croître le nombre de professionnels dans des proportions importantes si on veut qu'ils travaillent tous.

THE NEUROPHYSIOLOGICAL BASES OF AUDITORY PERCEPTION

Eds. LOPEZ-POVEDA E. A., PALMER A. R., MEDDIS R.
SPRINGER 644p., 2010. 210,95 €

Ce livre comprend 57 chapitres. Il est très scientifique dans sa présentation. Il reprend les communications du 15^{ème} Symposium International sur l'Audition (ISH) qui s'est tenu en Espagne en 2009. Les comptes-rendus ont été regroupés en 9 grandes parties chacune comportant plusieurs chapitres. Partie 1 processus cochléaires/périphériques, partie 2 le masquage, partie 3 le codage spectral, partie 4 le timbre et la hauteur, partie 5 l'audition binaurale, partie 6 le traitement du signal de parole, partie 7 les scènes auditives, partie 8 l'attention, l'apprentissage, partie 9 la surdité. On trouve dans ce livre de grands noms. Il s'agit d'un

ouvrage faisant le point sur l'avancement de la recherche dans un domaine très actif et, de toute évidence cela bouge !

AUDIOLOGY ANSWERS FOR OTOLARYNGOLOGISTS

Eds: VALENTE M., FERNANDEZ E., MONROE H.
THIEME 120p, 2011-02-11. 39,95 €

Voici un livre court mais très rigoureusement construit. Il est vrai que les auteurs sont des spécialistes de renommée internationale et que tout le monde ne peut pas revendiquer ce niveau de compétences. Les objectifs qu'ils se sont fixés : apporter des définitions et des réponses précises à des questions que se posent les cliniciens au quotidien.

Ce n'est pas très original mais, ce qui l'est plus, c'est de réussir. C'est important de pouvoir avoir accès à des définitions à propos du recrutement ou de la différence interaurale ou, de comprendre comment le masquage expansif vient impacter la perception de la parole...

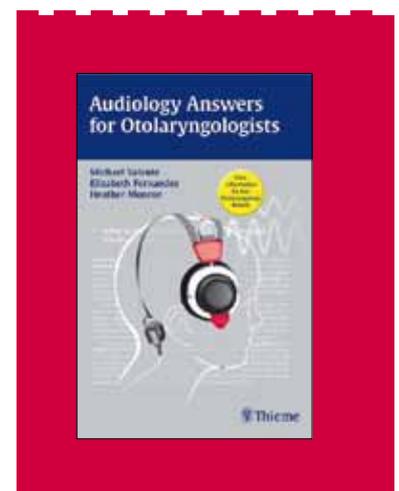
Chapitre 1 : psychoacoustique. On y présente les différents types de décibels, HL, SPL, SL... la localisation, le recrutement...

Chapitre 2 : l'audiométrie. La calibration est naturellement abordée avant la description de la passation des tests que ce soit en audiométrie tonale ou en audiométrie vocale. Certains pièges et aspects sont passés en revue même brièvement. Dans ce chapitre, l'audiométrie objective est aussi traitée. On y trouve même une procédure de masquage pour établir un diagnostic permettant de suspecter un hydrops cochléaire.

Le chapitre 3 aborde la question de l'évaluation des troubles vestibulaires. Cette question est assez éloignée de nos préoccupations quotidiennes. En effet, il serait assez peu satisfaisant de ne rien connaître à ce sujet alors nous en entendons parler très fréquemment. Le chapitre 4 traite de l'appareillage. L'ORL y apprendra un certain nombre de choses sur les appareils mais ce chapitre a surtout une grande qualité : montrer, figure à l'appui, que le travail prothétique est très technique et que, par exemple, l'utilisation

de la mesure in vivo apporte beaucoup d'éléments pour déterminer les seuils et permet de valider ou invalider certains résultats parfois difficiles à obtenir en audiométrie comportementale. Mais, nous sommes aux Etats-Unis et la France est en retard sur ce plan bien que les meilleurs professionnels ont intégré ces techniques dans l'appareillage. Il est vrai qu'elles prennent un peu de temps mais elles permettent une intégration et la levée de certaines ambiguïtés dans des résultats prothétiques parfois difficiles à évaluer. Pour ne pas importuner certains égos français, je renverrai le lecteur intrigué vers Thierry Renglet à Bruxelles.

Demandez-lui ce qu'on peut attendre comme résultats chez le petit enfant lorsqu'on fait abstraction de cette technique avancée ? Bien sûr certains caciques vous diront que nos amis anglosaxons n'ont pas encore compris les limites de ces systèmes contrairement à nous français qui ne les utilisons que très peu parce que nous n'avons pas encore bien compris ce que l'on peut en tirer ce qui n'est pas la même chose. La réalité est donc un peu différente. Nous sommes dans la même logique qu'avec les ronds points. Revenons à notre livre. C'est un très bon ouvrage mais il est en anglais bien sur !



„Cette nouveauté
va faire le
tour du monde“

HANSATON découvre la nouvelle liberté d'entendre avec AQ 2G X-Mini, le seul et unique système auditif rechargeable par induction avec écouteur externe. De plus, il protège l'environnement.

Réjouissez vous de cette Première Mondiale : AQ 2G X-Mini by HANSATON, une nouvelle conscience auditive.

Hansaton,
Leader mondial
de l'aide auditive
rechargeable par
induction

AQ 



Une innovation révolutionnaire en terme
de Rechargeable, made in Germany.

- Un vrai système auditif rechargeable proposant 20h d'autonomie.
- Compatible avec tous les écouteurs externes (S- M et P)
- Adaptable à presque tous les types de surdité.



HANSATON soutient « Plant for the Planet » en offrant un arbre pour
chaque système auditif AQ vendu. www.plant-for-the-planet.org

 **HANSATON**
hearing & emotions

PerfectRite®

Enfin la solution universelle sur mesure
de nettoyage pour Ric, intras, opens...



PerfectRite®

UN SYSTÈME ULTRA-SIMPLE
POUR VOTRE PATIENT

Elle devient son coffret de
rangement :

- Il y met chaque soir ses aides auditives
- Il lance très simplement le cycle d'entretien auto-programmé
- Le système nettoie et élimine le cérumen, il désinfecte et sèche totalement les aides auditives
- Le matin, votre patient remet ses aides auditives en parfait état de fonctionnement comme au premier jour

Réservez-la rapidement

Biotone est à l'initiative du premier Rite en 2005, avec le PAC de Sebotek, il était donc évident pour nous, de travailler au développement d'un **système universel de nettoyage** pour ce type d'aides auditives.

A l'issue de 2 ans et demi de recherches et de tests nous avons été récompensés par un réel succès lors du dernier congrès des Audioprothésistes. C'est avec grand plaisir que nous vous présentons la solution unique pour l'entretien quotidien des Rite, Open et intras.

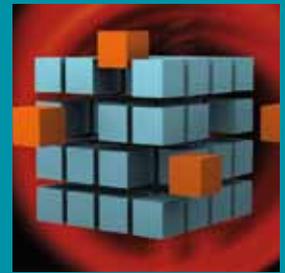
Finis les dômes encrassés, les écouteurs bouchés, les visites non programmées de vos patients dans votre laboratoire, ce qui vous prend du temps et surtout ce qui génère une grande **INSATISFACTION** clients.

INNOVATION
Congrès 2011

BIOTONE
www.biotone.fr

Veille Technique

Les innovations des industriels



■ Biotone Technologie

Après une année 2010, marquée par le succès des aides auditives de 6^{ème} génération, Biotone propose depuis quelques mois la nouvelle ligne Rexton, Génération+, disponible en contours - Insite+ et Bridge+, en Rite - Cobalt+ et Gem+, versions 8, 12 et 16 canaux. Elle offre notamment un Anti-Larsen par oscillation fréquentielle, permettant de donner plus de gain.

Le congrès 2011 aura aussi été l'occasion pour Biotone de dévoiler les dernières solutions auditives Rexton en entrée de gamme, en proposant le Day 6+ et le Day 4+, également de 7^{ème} génération. Cette nouvelle ligne dévoile ce qui se fait de mieux en matière de technologie auditive, comme le SoundRadiance®, système d'extension de la bande passante qui améliore la perception des sons à haute fréquence, le Speech Focus sur le 16 canaux qui permet une détection automatique de la parole à 360° et autre point très important, 70% de la nouvelle gamme est rechargeable.

Autre nouveauté de ce printemps 2011, la version HD du processeur auditif de Sebotek, qui intègre le système auditif PAC (Post Auricular Canal).

Après plus de 5 000 adaptations, depuis le lancement sur le marché du modèle VQ720 et 721 en 2005, le processeur, désormais plus petit

et équipé d'une pile 312, offre une bande passante de 14 000Hz et une gestion automatique de six situations sonores. L'embout inséré après le deuxième coude du conduit permet de réduire, 9 fois sur 10, les risques d'occlusion et de larsen, tout en procurant un son Haute Définition. Une excellente nouvelle en vue des renouvellements !



PerfectRite®, la solution unique pour l'entretien, quotidien des Rite, Open et intras.

Biotone est à l'initiative du premier Rite en 2005, en commercialisant le PAC de Sebotek. Il était donc évident pour nous, de travailler au développement d'un système universel de nettoyage pour ce type d'aides auditives et ainsi répondre à une réelle attente des audioprothésistes comme des patients, qui jusqu'à maintenant, n'avait aucune solution efficace pour l'entretien de leur Rite.

A l'issue de 2 ans et demi de recherches et de tests, nous avons été récompensés par un réel succès lors de sa présentation au congrès des Audioprothésistes 2011, qui s'est déroulé du 01 au 03 avril.



Fini les dômes encrassés, les écouteurs bouchés, les visites non programmées des patients, ce qui représente du temps et surtout qui génère une grande INSATISFACTION clients. **Un système ultra-simple pour le patient !**

Les oreillettes Alvis, protections spécifiques pour la chasse sont également disponibles depuis le dernier congrès. Plusieurs nouveaux modèles de téléphones Doro, comme le PhoneEasy 100w, un sans fil audition à petit prix, viennent compléter la liste des accessoires 2011, aux côtés de la gamme de produits d'hygiène et d'entretien Audioline, segment « essentiel dans le chiffre d'affaires d'un laboratoire ».



Côté marketing, nous avons mis en place il y a peu une plate-forme « web-to-print », qui offre clé en mains, aux audioprothésistes leur prochaine campagne de relance et de communication personnalisée.

D'autres outils de communication et d'aide à la vente sont également disponibles, tels que des meubles présentoirs, destinés à la mise en avant et à la vente de produits d'hygiène de la marque, des films en 3D pour les salles d'attentes et le catalogue 2011 : « Le reflet de votre laboratoire ».





■ Oticon

Nouveauté Genie : NAL-NL2

Depuis la version 2011.1 de Genie, Oticon propose la méthodologie NAL-NL2 pour ses aides auditives de dernière génération. Comme la version précédente, cette méthodologie a pour objectif de maximiser l'intelligibilité de la parole tout en conservant une perception sonore globale ne dépassant pas celle d'une personne normoentendante.

Elle se base sur des données cliniques récentes qui concernent les tests d'intelligibilité et le modèle de sensation sonore. Mais NAL-NL2 intègre également des ajustements résultant de l'observation des réglages fins qui ont été nécessaires pour les clients utilisant NAL-NL 1.

De plus, la technologie des aides auditives a beaucoup évolué depuis la mise au point de la première version de NAL et il était nécessaire d'intégrer les nouveaux schémas d'amplification dans NAL-NL2.

La principale nouveauté réside dans le fait que NAL propose désormais plusieurs TK. En effet, dans sa première version, la méthodologie ne calculait par canal, qu'un seul et unique taux de compression et donc qu'un seul niveau de déclenchement de la compression.

C'est pour respecter à la lettre les prescriptions d'origine qu'Oticon s'était limité à deux niveaux de réglages pour ses aides auditives utilisant la méthodologie australienne, alors que chaque canal de compression est à l'origine doté de 7 TK différents.

Il est désormais possible, sur l'ensemble des aides auditives utilisant la plate-

forme RISE 2, de régler les gains pour trois niveaux d'entrée différents : les sons faibles (45 dB SPL), les sons modérés (65 dB SPL) et les sons forts (80 dB SPL).

Toujours à propos de la compression et d'après les auteurs de la méthodologie, il peut être souhaitable de fournir aux personnes atteintes de pertes sévères profondes une compression multicanale rapide avec un ratio de compression élevé. En effet, une telle combinaison pourrait offrir un bon équilibre entre audibilité et confort pour ces dynamiques résiduelles restreintes. Toutefois, nous savons depuis longtemps que ces patients préfèrent beaucoup moins de compression (ratios plus faibles et/ou TK plus élevé). Pour les pertes sévères profondes, le ratio de compression est limité à 3:1 sur les hautes fréquences et à 2:1 sur les basses fréquences. Les gains varient très peu en fonction de la vitesse des compresseurs pour des niveaux d'entrée de 65 dB.

Des études sur les préférences en terme de gain indiquent que les adultes préfèrent plus de gain pour les niveaux faibles et moins de gain sur les niveaux élevés que ne le proposait la version NL1. Ce qui signifie des taux de compression plus élevés dans NAL-NL2. Ceci a été modifié dans la nouvelle mouture.

Une étude sur les résultats d'appareillage avec (Keidser & Dillon, 2006) indique que NAL-NL1, en moyenne, propose un gain trop élevé d'environ 3 dB pour les niveaux d'entrée moyens et pour les adultes atteints de pertes auditives moyennes sévères. A l'inverse, une étude sur les préférences des enfants montre qu'ils préfèrent une amplification un peu plus importante que celle fournie par NAL-NL1 (Ching et al.). Ils tirent avantage de cette

amplification à bas niveau et le risque de créer une perte auditive par traumatisme sonore est très faible sur ces niveaux faibles. Donc l'augmentation de gain fournie par NAL-NL2 est plus importante sur les bas niveaux. Le ratio de compression plus élevé qui en résulte est donc également plus adapté aux enfants.

En résumé, pour les niveaux faibles, NAL-NL2 fournit plus de gain à bas niveau pour les enfants et moins de gain à haut niveau pour les adultes.

En moyenne, un homme préférera environ 2 dB de gain de plus qu'une femme ayant la même perte auditive (Keidser & Dillon, 2006). En conséquence, les gains proposés sont augmentés de 1 dB pour les hommes et diminués de 1 dB pour les femmes. De plus, il faut tenir compte d'une taille de conduit plus grande pour un sujet de sexe masculin. Ces différences morphologiques ont été prises en compte dans les valeurs de RECD proposées par défaut.

NAL est basée sur l'importance de chaque fréquence pour l'intelligibilité : l'Index d'Articulation (IA). Dans le cas des langues tonales, les fréquences graves prennent plus d'importance que pour les langues non-tonales. L'IA spécifique a donc été intégré dans NAL-NL2. Par défaut, en France, le type de langue choisie est 'Non-Tonale' mais il est possible de le changer manuellement.

Contact Audiologie OTICON

Eric BOUGEROLLES

Responsable Audiologie, Pédiatrie & FM

06.87.52.97.68

ebo@oticon.fr



Il est désormais possible sur toutes les aides auditives récentes d'avoir trois niveaux de réglage fin.



— Siemens

A l'occasion du congrès des audioprothésistes 2011, Siemens a présenté ses nouveaux produits : contours d'oreille exclusifs, waterproof, surpuissants, rechargeables, nouvelle télécommande Bluetooth à faible consommation d'énergie.

Aquaris, solution waterproof

Premier contour d'oreille waterproof résistant jusqu'à 1 mètre sous l'eau, Aquaris résiste également à la poussière (Indice de Protection IP57*). Grâce à son boîtier monobloc étanche qui protège intégralement l'appareil, Aquaris est particulièrement adapté aux patients avec transpiration abondante, aux activités de plein air (risque de pluie) ou aux sportifs avec risque d'exposition à l'eau. Équipé de la puce BestSound, délivrant jusqu'à 63 dB de gain et 133 dB de niveau de sortie (simulateur d'oreille), il corrige les pertes auditives légères à modérément sévères. Compatible Bluetooth, grande autonomie avec sa pile 13, disponible en 2 niveaux de performance : séries 701, 501. Aquaris peut être adapté en open (tube fin) ou avec coude standard.



Accessoires : **Clip de sécurité** pour un maintien en toute sécurité. **Aquapac**, pochette hermétique pour garder les téléphones, baladeurs, télécommandes bien au sec.

*IP 57 : 5 indique le niveau de résistance à la poussière - un test de 8h d'exposition à la poussière a démontré la résistance et 7 le niveau de protection en cas d'immersion temporaire - 30 minutes dans 1 mètre d'eau n'endommage pas l'appareil.

Pure Carat, discrétion, autonomie et puissance

Mini-contour d'oreille RIC pile 13, compatible Bluetooth, Pure Carat est rechargeable. Discrét et confortable, Pure Carat

dispose de la fonction AutoPhone et de la bobine téléphonique. Son boîtier nano-coaté est protégé contre l'humidité.

Nouveauté Pure : Pure Carat est équipé de la fonction TCi (Tinnitus Control Instrument). Il convient aux personnes acouphéniques qui recherchent une solution confortable pour soulager leurs acouphènes.

Sa pile 13 lui confère une grande autonomie. Proposé en 3 niveaux de performance : Séries 701, 501 et 301, Pure Carat est compatible avec les miniEcouteurs S, M, P et NOUVEAU : SP (75 dB) pour couvrir les pertes auditives jusqu'à sévères.



Pure Carat et le nouvel écouteur SP

miniEcouteur SP 75 dB, discrétion et puissance

En complément des miniEcouteurs S, M et P déjà disponibles, Siemens lance le nouvel écouteur surpuissant SP pour Pure Carat. miniEcouteur SP (G:82/137 dB au simulateur d'oreille), plus de puissance pour les pertes auditives jusqu'à sévères.

Nitro SP, contour surpuissant équipé de BestSound



Les contours d'oreille surpuissants Nitro pile 675 sont maintenant équipés du circuit BestSound Technology. Avec 84 dB de gain et 145 dB de niveau de sortie, Nitro couvre les pertes auditives sévères à profondes. Proposé en 2 niveaux de performance : Séries 701, 301, Nitro est compatible Bluetooth.

Nitro offre jusqu'à 5 programmes d'écoute, dispose de la bobine téléphonique et d'une entrée audio avec activation FM de la parole. Avec sa LED (désactivable), son tiroir pile sécurisé et son coude renforcé, Nitro convient pour l'appareillage pédiatrique.

miniTek de Siemens, communication Bluetooth



Nouvelle télécommande Multipoint de Siemens, miniTek assure la connectivité Bluetooth entre les aides auditives et les appareils audio. miniTek transmet le son sans fil et en temps réel directement dans les aides auditives.

Pour écouter la TV ou la musique, miniTek agit comme un véritable casque stéréo haute performance.

Petite et discrète, miniTek peut se connecter à plusieurs appareils audio en même temps, comme deux téléphones (fixe et mobile), ou une télévision et une chaîne stéréo par exemple.

miniTek est équipée d'une bobine téléphonique, ainsi même les plus petits appareils auditifs qui ne disposent pas de bobine peuvent fonctionner avec les systèmes de boucle à induction installés dans les théâtres par exemple. Même chose pour les systèmes FM, miniTek est équipée d'une prise DAI qui permet l'utilisation des récepteurs FM. Avec toutes ces fonctionnalités, miniTek rend l'audition plus confortable que jamais en consommant cependant très peu d'énergie, ce qui en fait un accessoire pratique sous tous les aspects. Ces nouveautés seront disponibles au printemps-été 2011.

Nadège OUIDRANE

Tél. : 01 49 33 25 96

nadege.ouidrane@siemens.com

www.siemens.fr/audiologie



■ Starkey

La numérisation des empreintes ainsi que la fabrication au laser des coques ont permis la création d'aides auditives de petite taille qui se positionnent entièrement à l'intérieur du conduit auditif.

Toutes les inquiétudes quant à l'effet Larsen n'ont plus lieu d'être grâce à sa suppression et l'expérience vécue par les patients est améliorée grâce aux technologies de réduction des bruits.

Le résultat est une aide auditive haut de gamme, à caractéristiques uniques, invisible dans l'oreille et qui répond aux demandes des patients les plus exigeants.



Les intra-auriculaires profonds invisibles (iic)

L'évolution des technologies auditives Une aide auditive intra-auriculaire de type semi-profond (CIC, Completely-In-The-Canal) se définit par l'emplacement de la plaque-circuit, à 1-2 mm du méat du conduit auditif externe (Gudmundsen, 1994). Depuis des années, ce modèle intra-auriculaire (CIC) représente la référence des aides auditives quasi-invisibles. Les articles publiés décrivent les avantages du positionnement entièrement intra-auriculaire tels que la diminution de l'effet d'occlusion (Mueller, 1994),

une augmentation de la satisfaction des patients (Ebinger, Mueller, Holland & Holland, 1994), la diminution de l'amplification du bruit du vent (Fortune & Preves, 1994) et une amélioration de la localisation des sons dans l'espace par rapport au modèle contour d'oreille (BTE, Behind-The-Ear) (Best, Kalluri, McLachlan, Valentine, Edwards & Carlile, 2010).

Tous ces bénéfices pour les patients résultent du positionnement de l'aide auditive à l'intérieur du conduit auditif.

Les progrès réalisés en matière de modélisation numérique, de fabrication des coques au laser et de microprocesseurs ont permis de créer des aides auditives plus petites et plus performantes qu'auparavant.

On peut aujourd'hui fabriquer facilement des appareils auditifs sur mesure qui se positionnent parfaitement et entièrement à l'intérieur du conduit auditif externe. De plus, ces intra-auriculaires peuvent aujourd'hui s'adapter au conduit auditif au-delà du deuxième coude, permettant ainsi de les rendre invisibles.

Les performances et les avantages esthétiques de ce type de positionnement s'adressent à de nombreux utilisateurs potentiels dont beaucoup n'accepteraient pas de modèles plus visibles.

Un nouveau modèle d'aide auditive

L'évolution des technologies auditives permet de fabriquer des intra-auriculaires plus petits et assez petits pour être placés au-delà du deuxième coude du conduit auditif. Ces aides auditives insérées loin dans le conduit sont parfaitement invi-

sibles aux autres personnes (Figure 1).

Lorsque l'appareil auditif est positionné au niveau du deuxième coude du conduit auditif, il est considéré comme un intra-auriculaire profond invisible (IIC), une nouvelle catégorie quant à la taille et au positionnement de l'appareil.

Un appareil auditif IIC correspond à un intra-auriculaire dont la plaque-circuit est située au niveau ou à proximité du deuxième coude du conduit auditif et l'extrémité de la coque près du tympan. La position plus interne de l'appareil auditif apporte de nombreux avantages acoustiques.

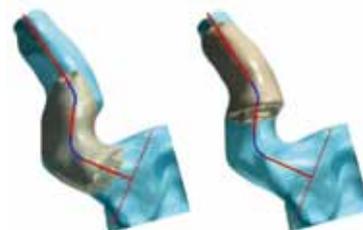
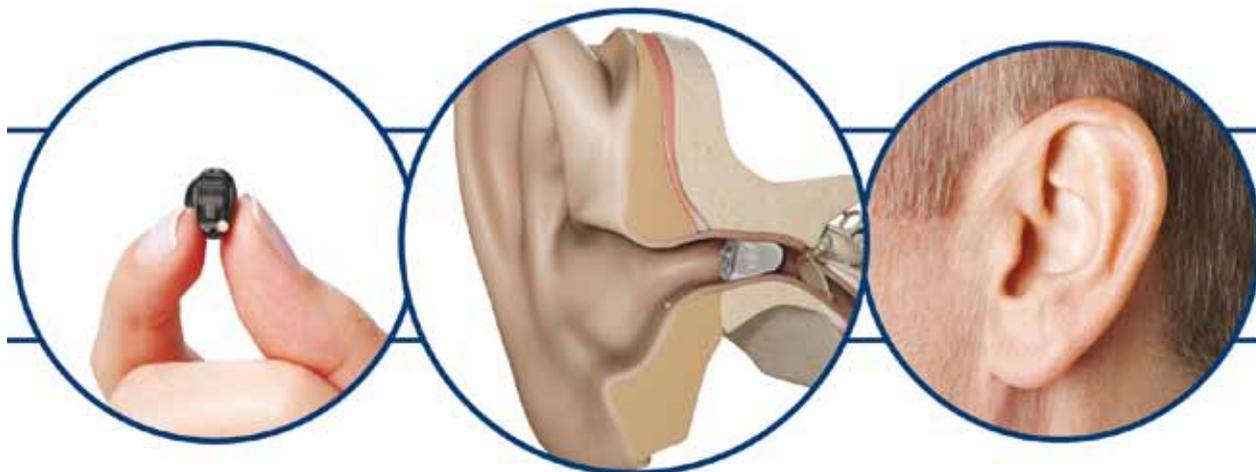


Figure 1 : Le dessin gauche montre le positionnement de l'intra-auriculaire CIC dont la plaque-circuit se place au méat du conduit auditif. Le dessin droit montre le positionnement de l'intra-auriculaire IIC au niveau du deuxième coude du même conduit auditif.

Avantages acoustiques d'un positionnement profond de l'aide auditive dans le conduit auditif

Le conduit auditif et le pavillon modifient les sons avant qu'ils atteignent le tympan. Le positionnement du microphone sur les contours d'oreille (BTE) diminue certains de ces effets bénéfiques. La perte de ces





signaux acoustiques entraîne une diminution de la capacité de l'utilisateur à localiser les sons.

Les données obtenues aux Laboratoires Starkey suggèrent que le positionnement du microphone de l'appareil auditif dans le conduit préserve certains de ces avantages naturels de l'oreille par rapport au positionnement du micro du contour.

La Figure 2 montre trois mesures d'indice de directivité (ANSI S3.35, 2004) : une oreille ouverte et sans aide auditive, un intra IIC et un contour. Par rapport à l'oreille ouverte, le positionnement du contour réduit la directivité.

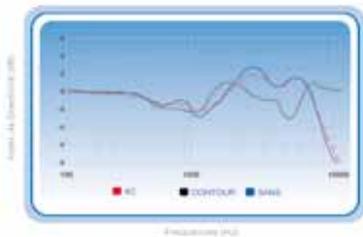


Figure 2 : Mesures des indices de directivité sur KEMAR d'un conduit auditif externe ouvert, d'un intra profond IIC et d'un contour d'oreille.

Les mesures avec l'intra IIC sont similaires aux mesures de l'oreille ouverte. De telles données confirment que le positionnement du micro dans le conduit, comme dans le cas de l'intra IIC, permet une meilleure capacité à localiser les sons par rapport au positionnement d'un contour (Best et al., 2010).

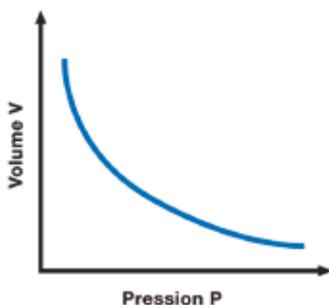


Figure 3 : Illustration de la loi de Boyle. Lorsqu'elle est appliquée au conduit auditif, la diminution du volume résiduel augmente la pression sonore produite par l'aide auditive.

La diminution du volume résiduel dans le conduit auditif liée à l'emplacement de l'intra IIC augmente la pression sonore au niveau du tympan et améliore la performance globale de l'appareil auditif. Comme l'illustre la Figure 3, la loi de Boyle stipule que la pression augmente lorsque

le volume diminue. De ce fait, un volume réduit entre l'extrémité de l'aide auditive et la membrane tympanique produit un niveau de pression sonore plus élevé pour un niveau égal d'émission.

Empreinte pour intra auriculaire IIC

Le positionnement précis et confortable de l'intra IIC dépend de l'empreinte du conduit qui doit avoir en longueur 10-12 mm au-delà du deuxième coude du conduit auditif.

Une bonne connaissance de l'anatomie et de la physiologie du conduit auditif ainsi qu'une technique appropriée permettent d'obtenir les empreintes nécessaires pour fabriquer ces intra-auriculaires facilement. Aucun équipement particulier n'est utilisé pour les empreintes IIC.

Cependant, il est utile d'avoir les instruments adéquats pour éclairer et visualiser le conduit auditif au-delà du deuxième coude. Une pâte à empreinte silicone fluide (25 shores par exemple) permet de remplir le conduit entièrement. Après l'anamnèse du patient, un coton-block aplati est placé au fond du conduit près de la membrane tympanique.

La lubrification du coton-block avec de l'Oto-Ease ou un produit similaire permet d'améliorer le confort lors du placement de celui-ci et de faciliter l'extraction de l'empreinte en silicone de l'oreille.

Starkey a conçu un coton-block aéré qui peut être utilisé pour égaliser la pression au cours du retrait de l'empreinte comme indiqué sur la Figure 4.

La sensation éprouvée par le patient sera alors similaire à celle vécue au cours d'une prise d'empreinte classique.



Figure 4 : Deux coton-blocks conçus spécialement. Le petit tube permet d'égaliser la pression durant la prise d'empreinte.

Références

- ANSI (2004). ANSI S3.35-2004 "Method of measurement of performance characteristics of hearing aids under simulated real-ear working conditions" (American National Standards Institute, New York).
- Best, V., Kalluri, S., McLachlan, S., Valentine, S., Edwards, B., & Carlile, S. (2010). A comparison of CIC and BTE hearing aids for three-dimensional localization of speech. *International Journal of Audiology, Early Online*, 1-10.
- Ebinger, K.A., Mueller, G.H., Holland, S.A., & Holland, J.W. (1994). Assessing the speech-understanding benefit from CIC hearing aids. *The Hearing Journal*, 47(11), 35-42.
- Fortune, T., & Preeves, D. (1994). Effects of CIC, ITC and ITE microphone placement on the amplification of wind noise. *The Hearing Journal*, 47(11), 23-27.
- Gudmundsen, G. (1994). Fitting CIC Hearing Aids-Some Practical Pointers. *The Hearing Journal*, 47(11), 10, 45-48.
- Mueller, G.H. (1994). CIC hearing aids: What is their impact on the occlusion effect. *The Hearing Journal*, 47(11), 29-35.

Dennis Van Vliet,
Au.D. & Jason A. Galster, Ph.D.



— Widex

La gamme CLEAR est désormais complète avec le lancement du CLEAR™220

Après le lancement du CLEAR™330 en mars 2001, Widex lance CLEAR™220 et rend la technologie InterEar de sa gamme CLEAR encore plus accessible.

CLEAR™220 se positionne comme l'aide auditive la plus avantageuse économiquement et la plus avancée d'un point de vue technologique sur son segment.

Un son plus naturel

La reproduction naturelle des sons de la vie de tous les jours n'est pas chose facile. Widex a développé la technologie nécessaire pour cela en s'appuyant sur sa réputation, à savoir celle d'offrir une reproduction sonore naturelle et agréable. CLEAR™220 reproduit des sons réels et complexes, immédiatement et naturellement grâce à l'utilisation de la technologie révolutionnaire de Widex. Cela inclut la transposition fréquentielle, l'écouteur 2 voies ClearBand, le Zoom inverse, SmartSpeak et le contrôle synchronisé du volume et des sélections de programmes.

CLEAR™220 a l'avantage de fonctionner avec les appareils d'aide à l'écoute DEX™ conçus pour une communication totalement sans fil et une utilisation intuitive.

Les programmes d'écoute ZEN qui aident à soulager les acouphènes sont également accessibles dans la série.

La gamme inter-aurale CLEAR en un coup d'œil			
Caractéristiques	CLEAR™440	CLEAR™330	CLEAR™220
Génération	C-TIS et connectivité inter-aurale InterEar		
Nombre de canaux	15	10	5
Système anti-larsen	InterEar		
Réducteur de bruit	Mise en évidence de la parole (SII) - InterEar	Mise en évidence de la parole (SII)	Réducteur de bruit multi-canal SIS
ZEN	Oui	Oui	Option
Fonctionnalité inter-aurale	Contrôle volume		
	Changement de programme		
	Téléphone +		-
	Alarme : perte de l'aide auditive partenaire		-
Système d'aides à l'écoute DEX	RC-DEX		
	TV-DEX		
	M-DEX		

Une programmation sans fil

Enfin, CLEAR™220 enrichit l'excellente précision de programmation de Widex en utilisant une électronique totalement sans fil. Pratique, intuitive et facile à utiliser, la technologie brevetée WidexLink, vous permet de mieux vous concentrer sur la recherche de la meilleure adaptation possible pour l'utilisateur, et ce dès la première fois.

CLEAR™220 est disponible dès juin 2011, dans toute une gamme de modèles et de couleurs pour répondre aux besoins de chacun.

Pour en savoir plus, consultez <http://www.widexpro.fr>.

Contact presse :
Service marketing WIDEX
01.69.74.17.40
communication@widex.fr



Des études cliniques*
démontrent que
ZEN, un programme
unique à **WIDEX**,
aide au soulagement
des **acouphènes**.

*Sweetow & Henderson Sabes (2010) «ZEN as a Sound Stimulator & for Relaxation» JAAA. Dr Robert Sweetow, Pr d'audiologie, Californie, spécialisé dans le traitement de l'acouphène.

LE PROGRAMME **ZEN** DE WIDEX

Environ 1,6 million de français souffriraient d'un acouphène agressif selon l'association France Acouphènes.

Des études cliniques* démontrent que **ZEN**, un programme révolutionnaire et unique à **WIDEX** générant une musique harmonieuse ou un bruit à bande large aide à la gestion des effets de l'acouphène, à la relaxation et à la concentration. Les tonalités **ZEN** sont basées sur la technologie fractale qui assure que la musique soit «prévisible mais non-répétitive».

Le programme ZEN est une exclusivité WIDEX disponible dans les aides auditives CLEAR[™], PASSION[™]440 et toute la série mind[™].

Pour plus de renseignements sur le **ZEN**, consultez notre site www.widexpro.fr





Actualités

du monde de l'audiologie

■ Tendances

Les 5 attentes les plus importantes des porteurs d'aides auditives

La synthèse des « outcomes » anglo-saxons et des enquêtes de la DREES pour le compte du ministère de la Santé a conduit à présenter les 5 attentes les plus importantes des porteurs d'aides auditives :

1. bonne perception de la parole dans le bruit,
2. sons clairs et naturels,
3. avoir une faible maintenance,
4. avoir un professionnel compétent, honnête et disponible,
5. ne pas avoir à subir d'agression sonore du genre larsen ou bruit fort agressif.

Le Monde des seniors

D'après l'organisation des Nations Unies, le monde des plus de 65 ans devrait tripler d'ici à 2050. Il est actuellement de l'ordre de 520 millions d'individus.

Au-delà des difficultés liées à la nécessité de verser des pensions, c'est le fait de devoir rembourser les dépenses de santé de tout ce monde qui semble aujourd'hui très préoccupant.

Les spécialistes pensent que les gens du « papy boom » ne vivront pas exactement comme les personnes âgées d'aujourd'hui, en maison de retraite ou préoccupés uniquement par leurs problèmes de santé. Ils pensent que ces personnes utiliseront toutes les technologies permettant de vivre à domicile et de garder des relations le plus longtemps possible avec un environnement bien vivant.

En effet, il est important de prendre conscience que les seniors n'ont pas



forcément envie de faire « vieux » ou encore qu'on les considère comme tel.

D'ailleurs, quand on leur explique que la TV ne s'intéresse qu'au moins de 50 ans, les seniors considèrent qu'il s'agit d'une erreur, car ils ont un pouvoir d'achat élevé. Le rapport bruit / signal est très défavorable pour la compréhension de la parole dans les films : une gêne souvent signalée par les gens d'un certain âge, mais jamais prise en compte par les diffuseurs. En règle générale, ils demandent simplement à ce qu'on prenne en charge certaines spécificités sans en « rajouter ».

Par exemple, s'il leur est important de pouvoir amplifier un peu une conversation téléphonique, les téléphones à grosses touches leur paraissent stigmatisant et sont donc rejetés, sauf en dernier ressort. L'idée serait donc de concevoir des objets dont les fonctions sont bien évaluées et d'éviter de transformer un téléphone en une machine très complexe, afin de remplir de manière simple des tâches qui séduisent les personnes dépendantes.

Une autre idée consisterait à utiliser une télécommande d'aide auditive comme téléphone ou comme relai pour écouter la TV directement dans les aides auditives. Mais le système doit rester simple de présentation usuelle et non stigmatisant.

Plutôt que d'envisager uniquement de leur vendre des produits pharmaceutiques, il faudrait trouver le moyen de permettre aux plus de 65 ans de faire une transition vers la « vieillesse ».

En effet, ils peuvent imaginer vivre encore 20 ans en apprenant et en se formant pour affronter une vie différente avec ses propres contraintes, comme la surdité par exemple.

Il y a derrière ces demandes une certaine volonté de dédramatiser les situations, tout en montrant qu'on a bien pris conscience qu'elles devaient être traitées.

Le spécialiste trouve donc sa juste place dès lors qu'il répond à des besoins identifiés, en ayant conscience que, s'il y a une demande, il y a aussi une exigence de la part des seniors et qu'on ne peut s'adresser à eux sans une certaine prudence. ■



XI^e Congrès de la SFA

Montpellier 24-26 novembre 2011

Cette année le congrès de la Société Française d'Audiologie se tiendra, sous la présidence de Françoise Artières, à Montpellier du 24 au 26 novembre sur le thème « De la prothèse à l'implant. »

Ce 11^{ème} congrès sera l'occasion d'aborder les derniers travaux et recherches, cliniques et fondamentales, ainsi que les techniques de réhabilitation de l'audition.

L'après-midi du jeudi 24 sera consacrée aux réunions de travail des commissions et aux synthèses de travaux.

Les vendredi et samedi seront affectés à des conférences et à des tables rondes.

Comité d'Organisation

Présidente du Congrès :

Françoise ARTIERES

Présidents d'Honneur :

Alain UZIEL - Jean-Luc PUEL
Catherine BLANCHET
Bernadette BOURRIER-PASSE
Francois DÉJEAN - Paul HAGEN
Christian MEYER-BISCH
Martine OHRESSER -
Martine SILLON
Frédéric VENAIL - Adrienne VIEU

Comité Scientifique

Paul AVAN - Eric BIZAGUET
Didier BOUCCARA - René DAUMAN
Nicole DENNI-KRICHEL -
Bruno FRACHET
Martial FRANZONI -
Bernard FRAYSSE
Benoit GODEY - Francois LE HER
Geneviève LINA-GRANADE

Christian MARTIN - Bernard MEYER
Michel MONDAIN - Sylvain MOREAU
Alain ROBIER - Olivier STERKERS
Jean Michel TRIGLIA - Eric TRUY
Geoffroy VANDEVENTER
Christophe VINCENT

Pré-Programme

Jeudi 24 novembre

Lieu : Faculté de Médecine

15:30 Accueil des membres de la SFA

16:00 Réunions de travail des commissions

18:00 Synthèse des travaux

Vendredi 25 novembre

Lieu : Corum

08:30 Session inaugurale :
F. Artières, J.L.Puel, A.Uziel

09:15 Traitement acoustique du signal
M.Pelizzone

09:50 Communications orales

10:40 Pause

11:15 Table ronde « Le futur de la prothèse auditive »
E. Bizaguet
Participants : F. Déjean,
T. Dodignon, B. Fraysse,
N. Matha

12:30 Déjeuner

14:00 L'implant cochléaire
G.O'Donoghue

14:40 Van Gogh souffrait-il d'une maladie de Ménière ?
C. Martin

15:00 Communications orales

15:40 Pause

16:00 Table ronde « Les avancées de l'implantation cochléaire »

B. Frachet - Participants :

O. Deguine, B. Godey,

E. Truy, C. Vincent

18:00 Visite du Musée Fabre

20:00 Dîner de Gala

Samedi 26 novembre

Lieu : Corum

09:15 Les voies auditives périphériques et centrales.
P.J. Govaerts

09:55 Communications orales

10:45 Pause

11:15 L'analyse des aires du langage.
H. Dufau

11:55 Déjeuner

13:15 Table ronde « Le profil atypique du langage chez les enfants sourds »
R. Dauman
Participants : M. Franzoni, S. Lautissier, Y. Lerosey,
D. Martinand Flesch,
S. Moreau

14:45 Pause

15:15 - 16:15 Communications orales

Inscriptions : www.sfaudiologie.fr





Compte-rendu de la 46^{ème} convention du BIAP Athènes du 27 Avril au 1^{er} Mai



La 46^{ème} convention du BIAP, Bureau International d'Audiophonologie, s'est déroulée à Athènes du 27 Avril au 1^{er} Mai, sous la présidence de Martial FRANZONI.

Cette convention organisée chaque année permet la rencontre au sein de commissions de nombreux professionnels (médecins O.R.L, phoniatres, neuropsychiatres, orthophonistes, audioprothésistes, psychologues, enseignants, linguistes, phonéticiens, physiciens...). Chaque commission concerne un

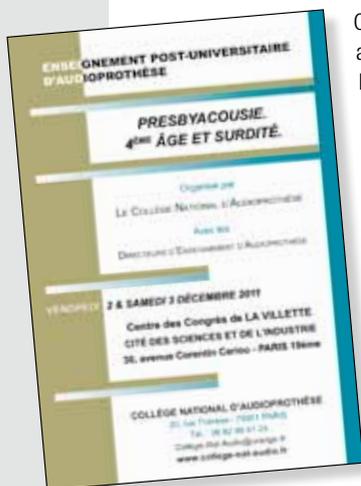
domaine spécifique de l'audiophonologie (l'appareillage, l'implantation cochléaire, le bruit, le dépistage de la surdité, l'intégration, la communication, le langage, les handicaps multiples, la guidance parentale, la voix, l'éducation auditive, les acouphènes, les troubles auditifs centraux...).

La réunion des différents membres de ces commissions lors des conventions a pour objectif de travailler sur un thème précis et d'aboutir à une recommandation. Ces recommandations longuement étudiées constituent ainsi des documents de grande valeur auxquels les professionnels de l'audiophonologie peuvent se

référer. Trois recommandations ont ainsi été adoptées par l'Assemblée Générale du BIAP lors de la convention d'Athènes:

- Nouvelle recommandation de la commission « Implantation Cochléaire » : L'implantation cochléaire bilatérale chez l'enfant.
- Nouvelle recommandation de la commission « Bruit » : Compétences exigées pour la réalisation de la prise d'empreinte de l'oreille.
- Nouvelle recommandation de la commission « Education auditive » : Education auditive : objectif et méthodologie.

La prochaine mini-convention du BIAP se tiendra à Bruxelles en Novembre 2011.



Comme chaque année, le Collège National d'Audioprothèse met en place, avec le concours des Directeurs des Enseignements préparatoires au diplôme d'Etat d'Audioprothésiste, un cycle de formation post-universitaire.

L'EPU 2011 aura lieu les Vendredi 2 et Samedi 3

Décembre 2011 à la CITE DES SCIENCES ET DE L'INDUSTRIE, Centre des Congrès de LA VILLETTE, 30, avenue Corentin Cariou à PARIS (19^{ème}) et sera rehaussée par une exposition des industriels fabricants et importateurs de matériels d'audioprothèse et d'audiophonologie.

Le Pré-programme de l'EPU est le suivant : Presbycousie, 4^{ème} âge et surdité

La surdité au 3^{ème} et 4^{ème} âge : Epidémiologie et impact sociologique de

EPU 2011

Cycle de formation post-universitaire

la surdité chez le sujet âgé. Etiologie et physiopathologie de la presbycousie. Généralités sur le vieillissement normal et pathologique. Maladies associées. Incidences sociales et économiques du vieillissement. Attentes du patient et de sa famille. Psychopathologie de la personne âgée. Cas particulier du vieillard.

La démarche prothétique :

Signes d'alerte. Dépistage. Annonce du diagnostic. Comment les convaincre ? Appareillage précoce. Analyse des besoins psycho-sociaux. Comment valoriser l'acte d'appareillage ?

Le bilan pré-prothétique :

Particularité de l'exploration de la fonction auditive du presbycousique et du vieillard. Surdité périphérique, surdité centrale. Analyse des troubles cognitifs, du décodage, de l'attention et de la mémoire. Psycho-acoustique du sujet âgé. Distorsions périphériques et atteintes centrales.

L'appareillage :

Anamnèse et analyse des besoins. Particularité du décodage de la parole. Compensation, plasticité et résultats attendus. Choix prothétique. Evolutivité des réglages. Compromis résultats confort. Adaptation des méthodologies à l'âge. Spécificité de l'appareillage du presbycousique et du vieillard. Education prothétique du patient et de sa famille.

Prise en charge globale : Appareillage, orthophonie, psychologie, psychomotricité, rôle des associations.

Spécificités de l'appareillage et de la prise en charge en institution.

Renseignements :

Collège National d'Audioprothèse
20, rue Thérèse - 75001 PARIS
Tél. : 06 62 99 41 24
10, rue Molière - 62220 CARVIN
Tél. : 03 21 77 91 24
College.Nat.Audio@orange.fr
www.college-nat-audio.fr



SEPTEMBRE 2011

Congrès Scientifique de la FNO (Fédération Nationale des Orthophonistes)

Du 29 Septembre au 01 Octobre 2011 à Metz

Ce 25^{ème} congrès des orthophonistes est l'occasion pour les professionnels belges, allemands, luxembourgeois, suisses et français de partager leurs pratiques thérapeutiques
Informations : www.orthophonistes.fr

*Congrès, formations,
conventions, journées d'études ...*

NOVEMBRE 2011

Congrès SFA (Société Française d'Audiologie)

Du 24 au 26 Novembre 2011 à Montpellier

Les avancées technologiques des implantations cochléaires et des prothèses auditives seront au cœur des débats des équipes pluridisciplinaires pour la 11^{ème} édition de ce Congrès
Informations : www.sfaudiologie.fr

Mini Convention du BIAP (Bureau International d'Audiophonologie)

Le 18 et 19 Novembre 2011 à Bruxelles

Les membres du BIAP se réunissent en cette fin d'année pour valider définitivement les recommandations adoptées lors de la Convention d'Athènes en Mai 2011
Informations : www.biap.org

Handicap et Sensorialité : Ecouter, Agir – Musique et Plasticité cérébrale

Du 18 au 19 Novembre 2011 à Paris

Fruit du rapprochement entre le LEAD de Dijon et l'INS HEA de Suresnes, ce colloque réunit un comité scientifique international centré sur l'étude de l'audition et de la musique
Informations : www.inshea.fr

OCTOBRE 2011

Formation Professionnelle ACFOS « Difficultés et complications après implantation cochléaire chez l'enfant »

Le 03 et 04 Octobre à Paris

Informations : www.acfos.org

31^{èmes} Journées Annuelles de la SFGG (Société Française de Gériatrie et Gérontologie)

Du 04 au 06 Octobre 2011 à Paris

Le Comité Scientifique se réunit une nouvelle fois cette année afin d'aborder de nombreux sujets, dont celui des troubles sensoriels des personnes âgées
Informations : www.jasfgg2011.com

Formation Professionnelle ACFOS « Les problématiques découlant d'un dysfonctionnement vestibulaire chez l'enfant sourd »

Le 06 et 07 Octobre à Paris

Informations : www.acfos.org

Congrès de la SFORL (Société Française d'ORL)

Du 15 au 17 Octobre 2011 à Paris

Le temps fort des ORL de France qui se retrouveront autour de tables rondes pour débattre de nouvelles recommandations et qui mettront, cette année, l'accent sur la formation
Informations : www.congres-sforl.fr

56^{ème} Congrès International de l'EUHA (Europäische Union der Högeräteakustiker)

Du 19 au 21 Octobre à Nuremberg

Ce congrès allemand réunit cette année encore audioprothésistes, scientifiques et professionnels : informations pratiques et développement des techniques professionnelles seront au cœur de ce séminaire de renommée mondiale.
Informations : www.euha.org

SSIPR

(Société Scientifique Internationale du Pré Réglage)

Du 29 octobre au 1^{er} novembre 2011 à Paris

Les séances de travail qui réuniront des audioprothésistes européens auront lieu du 30 octobre au 1^{er} novembre.
Informations : m.harichaux@laborenard.fr

DECEMBRE 2011

Formation Professionnelle ACFOS « Accompagnement des adolescents sourds »

Le 1^{er} et 2 Décembre à Paris

Informations : www.acfos.org/agenda/index.php

Formation Professionnelle ACFOS « Le contrôle audiophonatoire de l'enfant implanté et la rééducation de la parole »

Le 08 et 09 Décembre à Paris

Informations : www.acfos.org

EPU Cycle de formation post-universitaire Presbycusie, 4^{ème} âge et surdité

Le 2 et 3 Décembre à Paris

Informations : www.college-nat-audio.fr

SOUNDLens™



Proposez à vos patients le meilleur de la technologie dans des aides auditives invisibles.

**NOUVELLE
GAMME**

SOUNDLens 11.9.7

Les solutions intra-auriculaires IIC ou CIC bénéficient de composants plus petits pour offrir des améliorations qui donneront à vos patients des résultats optimaux :
100 % invisible, clarté sonore inégalée dans les environnements bruyants, meilleure élimination du larsen et définition sonore haute résolution.

Ces solutions invisibles sont un atout majeur pour la plus grande satisfaction de vos patients qui veulent une solution qui ne se voit pas.





AUDITION MUTUALISTE,
LA RÉFÉRENCE AUDITION.



**Audition Mutualiste recrute
pour ses centres des Côtes d'Armor :**
Deux audioprothésistes (H/F)

Postes CDI à temps plein (35h)
1 poste sur Lannion et Paimpol
1 poste sur St-Brieuc et Languoux

Salaire motivant
Nombreux avantages : présence d'un assistant, voiture de fonction,
chèques déjeuner, chèques vacances, etc.

Merci d'adresser un cv et une lettre de motivation à :

Mutualité Française - Côtes d'Armor
Jacqueline GIROD
7 rue des Champs de Pies - BP 8
22099 SAINT-BRIEUC CEDEX 9
Tel : 02 96 75 27 55
jgirod@mutualite22.fr

Les Cahiers de *l'Audition*

La revue du Collège National d'Audioprothèse

Offres d'emplois
Ventes et achats de matériel
Cessions et recherches
de fonds de commerce

Déposez vos petites annonces !

Pour tout renseignement :

Collège National d'Audioprothèse
College.Nat.Audio@orange.fr
03.21.77.91.24

AUDILAB
Audioprothésistes associés

**Le groupe AUDILAB recrute
Audioprothésistes**

Évolution de carrière
Formation interne
et formation
continue assurées

**Proposition
d'association**

Contactez-nous : 02 47 64 64 17
cf@audilab.fr - www.audilab.fr

**AF
AO**
1994-2001
2002-2003

A 1 heure de Paris par la route et le train,
à un carrefour autoroutier Nord/Sud/Est/Ouest,
au cœur de la Vallée des Rois,
aux portes de la Sologne,

Orléans

offre le charme d'une vie provinciale à proximité de Paris.



Vous êtes **Audioprothésiste D.E. (H/F)**, dynamique
et consciencieux(se), vous souhaitez vous investir au
sein d'une équipe motivée et solidaire ?

Le centre **Audition Conseil d'Isabelle CORNUAU**,
implanté à Orléans depuis 1995, vous donne l'opportunité
de vous épanouir et de progresser dans une ambiance
sérieuse et amicale.

Contactez-nous au 06 11 85 77 67.

**AUDITION
CONSEIL**
Isabelle CORNUAU



> ANNONCES

AUDITION MUTUALISTE, LA RÉFÉRENCE AUDITION.



Audition Mutualiste recrute un(e) Audioprothésiste D.E.
CDI - temps complet - Poste basé en Haute-Savoie (74)

Principales missions

- Vous réalisez le dépistage, procédez sur prescription médicale, à l'appareillage auditif de la clientèle, et en assurez le suivi audio prothétique.
- Vous assurez la gestion et le bon fonctionnement du centre dans le respect du cadre de référence et des budgets définis par l'entreprise.
- Vous proposez toute mesure d'amélioration du service et de développement de l'activité du centre.

Contrat

- CDI avec statut Cadre, prise de poste courant septembre 2011.
- 1 poste à pourvoir à temps complet (35h / semaine)
- Le centre audioprothèse est situé à Cluses (74 - Haute-Savoie), des déplacements sont également à prévoir sur les autres centres situés à Annemasse et Thonon les Bains (74)

Rémunération

- Fixe selon profil + Primes sur objectifs + Intéressement + Avantages (Tickets Restaurants, Mutuelle - Retraite/Prévoyance)
- Pour les déplacements, un véhicule de service est mis à votre disposition, ainsi qu'un téléphone et un ordinateur portable.

Merci d'adresser votre candidature par mail à :

recrutement@mutuelle-existence.fr - Information : 04 72 71 23 70.



Les Cahiers de *l'Audition*

La revue du Collège National d'Audioprothèse

Offres d'emplois
Ventes et achats de matériel
Cessions et recherches
de fonds de commerce

Déposez vos petites annonces !

Pour tout renseignement :

Collège National d'Audioprothèse
College.Nat.Audio@orange.fr
03.21.77.91.24



Dans le cadre de notre développement,
nous sommes à la recherche de

2 audioprothésistes D.E. H/F

ayant une expérience d'au moins 3 ans,
pour un poste à responsabilité sur Paris
et région parisienne.

Profil recherché :

- Dynamique
- Ayant le sens des responsabilités.

Salaire motivant et intéressement sur
chiffre d'affaire.

Contact

Gilles Coscas
06 24 72 58 60
g.coscas@coscas-audition.fr



www.laborenard.fr

Les Laboratoires d'Audiologie RENARD
recherchent pour le département de la
Seine-Maritime

un(e) audioprothésiste

poste à temps plein en CDI

- Poste à responsabilité
- Débutant accepté - Formation assurée
- Rémunération motivante

Contact

Christian Renard
03 20 57 85 21
contact@laborenard.fr

Pourquoi manquer les décibels de la vie ?



Pure SE
pile 10
compatible écouteur S

Pure
pile 312, rechargeable
compatible écouteurs S, M, P

Pure Carat
pile 13, rechargeable
compatible écouteurs S, M, P, SP

Taille x 1,5



Pure de Siemens
3 contours
4 puissances[®]
S (45dB), M (55dB),
P (65dB), SP (75dB)
3 montages
Dôme, embout, coque

Pure Carat de Siemens.

Puissance et discrétion pour les pertes auditives légères à profondes.

Compatible avec les miniÉcouteurs S, M, P et maintenant **NOUVEAU SP** (G:82 dB - NS : 137 dB[®]), Pure Carat est :

- Rechargeable, accu. 13
- Équipé d'une bobine téléphonique 
- Et de la fonction TCI anti-acouphènes
- Disponible en séries 701 et 501.

www.siemens.fr/audiologie

Answers for life.®

SIEMENS

ENCORE PLUS
DE **SANS-FIL**

wi
series™

i110 i90 i70

*Notre gamme s'élargit avec deux niveaux technologiques supplémentaires
pour répondre encore plus aux modes de vie et aux besoins auditifs de vos patients.*

ENCORE PLUS
DE **PATIENTS**