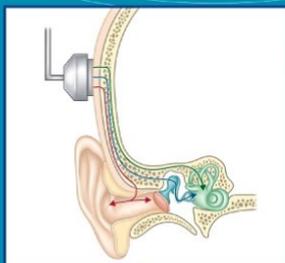
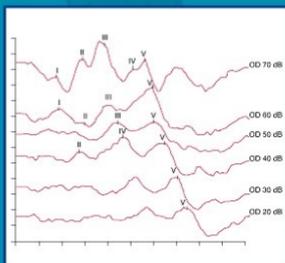
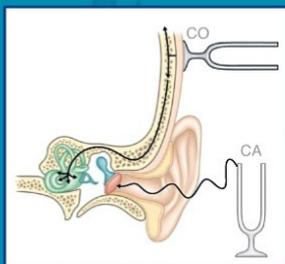


Audiologie pratique

Audiométrie



- ▶ *du dépistage au diagnostic*
- ▶ *tests audiométriques*
- ▶ *éléments d'acoustique*
- ▶ *notions d'appareillage auditif*



François Legent
Philippe Bordure
Catherine Calais
Olivier Malard
André Chays
Jacques Roland
Stéphane Garnier
Xavier Debrulle

3^e édition



ELSEVIER
MASSON

Audiologie pratique

Audiométrie

3^e édition

Chez le même éditeur

Du même auteur

Atlas pratique oreille et bouche. F. Legent, J. Billet, O. Malard, 2000, 256 pages.

ORL. Pathologie cervico-faciale. F. Legent, P. Fleury, P. Narcy, C. Beauvillain, Abrégés de médecine, 1999, 408 pages.

Anatomie. Nerfs crâniens et organes correspondants (Tome 3). F. Legent, L. Perlemuter, M. Quéré, 1976, 308 pages.

Chez le même éditeur

Vertiges : manuel de diagnostic et réhabilitation. J.-P. Sauvage, 2010, 200 pages.

Les vertiges. Diagnostic. Thérapeutique. Conseils. Examens complémentaires. A. Chays, 2009, 200 pages.

Chirurgie otologique et oto-neurologique. P. Bordure, A. Robier, O. Malard, 2005, 264 pages.

Oto-rhino-laryngologie et chirurgie cervico-faciale. E. Dhillon, traduit par O. Malard, 2008, 176 pages.

Les surdités de perception. A. Robier, ORL. 2001, 192 pages.

Manuel pratique de chirurgie otologique. D. Portmann, P. Boudard, G. Lacher, M. Nègrevergne, 1997, 400 pages.

Précis d'audiométrie clinique. M. Portmann, C. Portmann, 1988, 336 pages.

Les enfants déficients auditifs. J.-C. Lafon. Handicaps et Réadaptation, 1985, 216 pages.

Audiologie pratique

Audiométrie

3^e édition

**F. Legent, P. Bordure, C. Calais, O. Malard,
A. Chays, J. Roland, S. Garnier, X. Debruille**



**ELSEVIER
MASSON**



Ce logo a pour objet d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, tout particulièrement dans le domaine universitaire, le développement massif du « photocopillage ». Cette pratique qui s'est généralisée, notamment dans les établissements d'enseignement, provoque une baisse brutale des achats de livres, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que la reproduction et la vente sans autorisation, ainsi que le recel, sont passibles de poursuites. Les demandes d'autorisation de photocopier doivent être adressées à l'éditeur ou au Centre français d'exploitation du droit de copie : 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris. Tél. 01 44 07 47 70.

Les illustrations de couverture et 1.2, 1.3, 1.5, 2.4, 2.6, 2.19, 2.20, 4.1, 4.5, 5.2, 6.1, 11.7, 11.8 ainsi que les annexes Ib et Ic ont été réalisées par Éléonore Lamoglia – © Éléonore Lamoglia

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays.

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (art. L. 122-4, L. 122-5 et L. 335-2 du Code de la propriété intellectuelle).

© 1998, 2002, Masson, Paris

© 2011, Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

ISBN : 978-2-294-70835-0

Elsevier Masson SAS, 62, rue Camille-Desmoulins, 92442 Issy-les-Moulineaux cedex
www.elsevier-masson.fr

Auteurs

François LEGENT, ORL, professeur émérite de la Faculté de médecine de Nantes, membre de l'Académie nationale de médecine.

Philippe BORDURE, professeur des universités, chef du service ORL et chirurgie cervicofaciale du CHU de Nantes.

Catherine CALAIS, ORL et phoniatre, praticien hospitalier au CHU de Nantes.

Olivier MALARD, professeur des universités, ORL au CHU de Nantes.

André CHAYS, professeur des universités, chef du service ORL et chirurgie cervicofaciale du CHU de Reims.

Jacques ROLAND, ancien directeur du département acoustique du Centre scientifique et technique du Bâtiment.

Stéphane GARNIER, audioprothésiste, membre du Collège national d'audioprothèse.

Xavier DEBRUILLE, audioprothésiste, membre du Collège national d'audioprothèse.

Abréviations

ABLB	<i>Alternate binaural loudness balance</i>
ASHA	<i>American Speech-Language-Hearing Association</i>
ASSR	<i>Auditory steady state response</i>
AT	Amplitude du tympanogramme
BAHA	<i>Bone anchored hearing aid</i>
CA	Conduction aérienne
CAE	Conduit auditif externe
CC	Conduction cartilagineuse
CO	Conduction osseuse
COA	Conduction osseuse absolue
COR	Conduction osseuse relative
CRRMP	Comité régional de reconnaissance de maladies professionnelles
CS	Compliance statique
dB	Décibel
ÉchoG	Électrocochléographie
G	Gradient
HL	<i>Hearing level</i>
HTL	<i>Hearing threshold level</i>
ICA	Indice de capacité auditive
ILD	<i>Interlatency difference</i>
IPA	Indice précoce d'alerte
IRM	Imagerie par résonance magnétique
IT	<i>Interpeak time</i>
LCR	Liquide céphalorachidien
Leq	<i>Level equivalent</i>
LLR	<i>Long latency response</i>
MLR	<i>Middle latency response</i>
MMN	<i>Mismatch negativity</i>
NRT	<i>Neural response telemetry</i>
OA	Otoémissions acoustiques
PA	Potentiel d'action
PAC	Potentiel d'action composite
PDA	Produits de distorsion acoustique
Pe	<i>Peak equivalent</i>
PEA	Potentiels évoqués auditifs
PEAA	Potentiels évoqués auditifs automatisés
PEAPé	Potentiels évoqués auditifs précoces par stimulation électrique
POM	Pression de l'oreille moyenne
PS	Potentiel de sommation
ROC	Réflexe d'orientation conditionné
RS	Réflexe stapédien
SAL	<i>Sensorineural acuity level</i>

VIII

SISI	<i>Short increment sensitivity index</i>
SPL	<i>Sound pressure level</i>
SSEP	<i>Steady state evoked potential</i>
SSI	Seuil subjectif d'inconfort
STAR	<i>Supra threshold amplitude of the reflex</i>
STO	Système tympano-ossiculaire
TAC	Test auditif comportemental
UR	Unités relatives
VCA	Volume du conduit auditif
VIH	Virus de l'immunodéficience humaine

Avant-propos

Cette édition de *Audiologie pratique – Audiométrie* vient après la *Pratique des tests d'audition en consultation* de 1993, devenu *Manuel pratique des tests de l'audition* en 1998, puis *Audiologie pratique – Manuel pratique des tests de l'audition* en 2002. Au fil des éditions, ces ouvrages ont progressivement débordé le champ de l'examen de l'audition. Élément fondamental de la chaîne des compétences vouées à l'amélioration de l'audition, l'audiométrie ne se conçoit qu'en parfaite connaissance du mode de fonctionnement des autres maillons. Cette collaboration, indiscutable pour la prise en charge de la surdité de l'enfant, s'impose pour tous les déficients auditifs, non seulement pour corriger, mais aussi pour dépister et prévenir. Aussi a-t-il paru important d'aborder le chapitre de l'appareillage. C'est pour cette raison que l'équipe rédactionnelle s'est élargie, avec la collaboration de Stéphane Garnier et Xavier Debrulle, membres du Collège national d'audioprothèse, et le concours d'André Chays. Mais comment aborder l'audition sans un socle de solides notions d'acoustique ? L'otologiste ne peut se contenter de jongler avec les décibels. Il doit savoir que désigner une intensité sonore par des décibels arbitraires est une entorse aux règles habituelles des pressions sonores. Il doit être capable d'identifier chaque décibel évoqué, sans confondre les décibels HL et les décibels SPL. Jacques Roland, ancien directeur du Département acoustique du Centre scientifique et technique du Bâtiment, a rédigé un rappel à l'orthodoxie acoustique.

Si les premiers audiomètres ont fait leur apparition à la fin du XIX^e siècle, il n'en fut pas de même pour la pratique de l'audiométrie en France. Après le premier audiomètre de l'anglais Hughes, en 1879, Jules Ladreit de Lacharrière, médecin-chef de l'institution des Sourds-muets de Paris, présentait dans les *Annales des maladies de l'oreille et du larynx* de 1882 un audiomètre fabriqué par un électricien sur ses indications. Mais jusqu'à la Seconde Guerre mondiale, l'audiométrie resta surtout du domaine de la recherche, avec notamment Raoul Caussé, directeur du Laboratoire d'otologie expérimentale à l'École pratique des Hautes Études. En 1928, il faisait une importante mise au point sur la technique de l'audiométrie radioélectrique. Dans cette période d'avant-guerre, Maurice Aubry, alors jeune laryngologiste des hôpitaux, selon l'expression du moment, fut un des rares cliniciens à s'intéresser à l'audiométrie clinique, notamment pour le masquage – appelé alors assourdissement – et la conduction osseuse. Il comparait les deux modalités de présentation, audiogramme américain et courbe de Wegel, sans prendre parti.

C'est à Jean-Étienne Fournier (1906–1972) qu'on doit la modernisation de l'audiométrie en France dans l'après-guerre, après une décennie d'isolement. De formation scientifique, il sut tirer profit de séjours aux États-Unis pour « fréquenter la plupart des laboratoires et des instituts où l'audiométrie est étudiée, pratiquée et enseignée. Il a acquis une connaissance approfondie du sujet », comme l'écrivait Raoul Caussé en présentant la 3^e édition de son *Abrégé d'audiométrie* édité en 1948 en Belgique. En 1951 paraissait en France son *Précis d'audiométrie vocale*. Non seulement il décrivait clairement l'état d'avancement des connaissances dans ce domaine, mais il apportait une importante contribution à son introduction en France en proposant des listes de mots adaptés à cette technique toute nouvelle, puisqu'elle n'avait pris naissance qu'en 1938 et n'avait commencé à se développer aux États-Unis qu'après-guerre, tant pour l'appareillage que pour l'expertise des nombreux anciens combattants rendus sourds par les armes modernes. Il suscita en 1952 un Cours international d'audiologie clinique dans le cadre de la chaire d'ORL de Paris avec les conférenciers européens les plus compétents, abordant tous les aspects de l'audiométrie, comme en témoignent les 600 pages de sa publication. Jean-Étienne Fournier a laissé une empreinte encore très vivace avec ses célèbres listes de mots mono- et dissyllabiques phonétiquement équilibrés.

Depuis un demi-siècle, les énormes progrès de l'électronique ont transformé le matériel d'exploration audiométrique, mais les contraintes des examens restent les mêmes pour respecter les conditions optimales de réalisation, la vérification régulière des qualités de fonctionnement des appareils, l'attention au comportement des patients. Dans tous les cas, l'examen audiométrique reste un examen complémentaire dont les résultats doivent toujours être confrontés aux données de la clinique. C'est pour cette raison que l'acoumétrie, tant vocale qu'au diapason, garde une valeur inestimable pour redresser une grossière erreur. Les explorations fonctionnelles modernes de l'audition, dites objectives, permettent d'explorer des champs de l'audition que l'audiométrie conventionnelle ne peut pas atteindre, et sont notamment devenues indispensables pour le dépistage et le diagnostic des surdités de l'enfant. Mais il ne faut jamais s'abriter derrière des courbes ou des kyrielles de chiffres. Si un doute persiste après un examen audiométrique, il faut savoir le renouveler quelque temps après, avec un patient mieux préparé, et s'accrocher à la clinique. En fait, en audiologie comme souvent en médecine, tout commence et finit par la clinique.

François Legent

1 Acoumétrie

On désigne par « acoumétrie » l'ensemble des procédés utilisés pour évaluer l'audition en dehors de l'audiométrie. Avant que celle-ci n'ait droit de cité, l'exploration de l'audition était réalisée uniquement par l'acoumétrie vocale et par l'acoumétrie instrumentale, avant tout le diapason. L'otologiste disposait d'une série de diapasons pour effectuer une étude quantitative aux différentes fréquences. L'intérêt de cette étude quantitative a été totalement détrôné par l'audiométrie. Mais l'acoumétrie tant phonique qu'au diapason permet d'éviter de grossières erreurs audiométriques. L'examen au diapason donne très rapidement d'utiles indications sur le type de surdité. Des résultats audiométriques venant en contradiction imposent de reprendre l'examen audiométrique qui, bien sûr, garde la suprématie.

Acoumétrie vocale et à la montre

Acoumétrie vocale

Bien que l'acoumétrie vocale ait été détrônée par l'audiométrie, elle reste un moyen intéressant de déterminer l'importance d'une surdité et surtout de dépister ou confirmer une cophose.

L'examineur doit se placer perpendiculairement à l'oreille testée et rester derrière le sujet, de sorte que ce dernier ne soit pas influencé par la lecture labiale. L'autre oreille doit être éliminée, par l'examineur ou un collaborateur, soit par des mouvements alternatifs et rapides d'obturation du méat, soit en introduisant l'index mouillé ou vaseliné dans le conduit. *Il prononce alors à une distance plus ou moins grande de l'oreille des mots ou des chiffres, à voix haute et à voix chuchotée, de tonalité variable : aigus (6, 10, i, u), graves (2, 11, 12, e, o).*

La voix haute a des caractéristiques graves avec une structure harmonique, alors que la voix chuchotée est un bruit d'écoulement beaucoup plus aigu. Les données de la voix chuchotée sont remarquablement stables pour un même examineur.

Une voix chuchotée perçue à 6 m permet d'affirmer une audition peu altérée. En revanche, la voix chuchotée dans le creux de l'oreille n'a pas de valeur ; elle serait de l'ordre de 70 à 90 dB.

Cette technique permet donc théoriquement de déterminer à quelle distance le sujet perçoit la voix ; elle est cependant rendue très imprécise par les conditions de sa réalisation : inégalité des timbres vocaux, réflexe

d'élévation de la voix en fonction de l'éloignement, qualités acoustiques du local.

Enfin, la voix haute à proximité de l'oreille permet, quand elle n'est pas perçue, de dépister une cophose, sous réserve d'avoir masqué l'oreille opposée par des mouvements alternatifs rapides d'obturation du méat auditif externe.

Acoumétrie à la montre

L'examen à la montre, bien que grossier, permet un dépistage simple des surdités moyennes. C'est un moyen d'investigation facile pour les médecins et les malades eux-mêmes.

La montre émet un son complexe qui intéresse surtout les fréquences aiguës. Il est bien sûr nécessaire de travailler toujours avec la même montre, et de déterminer au départ la distance moyenne à laquelle elle est perçue par une oreille normale.

Le patient est placé au milieu de la salle d'examen et on lui demande de fermer les yeux.

L'examineur ou son assistant doit obturer, en appuyant sur le tragus, le méat auditif externe de l'oreille opposée à celle que l'on veut tester.

La montre est placée à une distance supérieure à 1 m de l'oreille examinée, afin que le son ne puisse pas être perçu. Puis, progressivement, on rapproche la montre en la tenant dans l'axe du conduit auditif externe, jusqu'au point précis où le sujet commence à percevoir le tic-tac.

On recommence l'épreuve plusieurs fois de suite. Si le point où la montre est perçue est toujours le même, on mesure la distance exacte qui sépare ce point de l'entrée du méat. En cas de différence entre les réponses, l'examen devient peu fiable.

Acoumétrie au diapason

Intérêt de l'examen au diapason

Le diapason a été le premier instrument utilisé pour établir non seulement l'importance d'une surdité mais aussi sa nature transmissionnelle ou neurosensorielle. Ernst Heinrich Weber (1795–1878), de Leipzig, décrit le test qui a immortalisé son nom en 1825. C'est en 1855 que Heinrich Adolf Rinne¹ (1819–1868), otologiste de Göttingen, publia le test comparant la conduction et la conduction aérienne (CA) du même côté. Le Français Jean-Pierre Bonnafont (1808–1891), médecin militaire, joua un rôle important

1 Souvent mal orthographié et prononcé : Rinne n'a pas accent

dans l'introduction de l'examen aux diapasons pour tester l'audition, dès 1834. L'examen aux diapasons peut être qualitatif pour préciser la nature transmissionnelle ou neurosensorielle, et quantitatif avec des diapasons parfaitement étalonnés. Il peut être alors très précis et permettre de reconstituer un audiogramme.

Plus d'une quinzaine de tests utilisant des diapasons ont été décrits avant l'ère de l'audiométrie. Seuls quelques tests ont gardé de l'intérêt pour permettre d'obtenir, dès l'examen clinique, une orientation sur le type de surdité, perception ou transmission : le Weber, le Rinne, le test d'occlusion, et la comparaison conduction osseuse-conduction chondrale. Bien que l'acoumétrie au diapason ne puisse remplacer l'audiométrie dans la détermination du niveau exact d'une surdité en fonction des différentes fréquences, elle fait partie intégrante de l'examen otologique, au même titre que l'otoscopie.

Par quelques tests rapides et simples, il est possible d'obtenir, dès l'examen clinique, une orientation sur le type de surdité, perception ou transmission.

Par ailleurs, l'acoumétrie permet, dans un nombre non négligeable de cas, de corriger certaines erreurs audiométriques en dépistant de fausses transmissions ou de fausses perceptions.

Choix du diapason

L'acoumétrie au diapason n'a en pratique qu'un intérêt qualitatif. Pour la réalisation des quelques tests encore employés, deux fréquences sont utilisées : 250 et 500 Hz. Le choix entre ces deux fréquences varie selon les auteurs ; toutefois, le 250 Hz semble préféré par une majorité pour réaliser le test de Rinne. Le recours aux fréquences plus basses risque de provoquer une confusion entre la perception sonore et la sensation vibratoire. Les diapasons de fréquence plus élevée ont l'inconvénient d'être mal perçus par voie osseuse, et risquent d'être perçus par voie aérienne lorsque l'on teste la conduction osseuse (CO).

Il suffit donc de disposer d'un diapason en acier d'une valeur approximative de 250 ou 500 Hz, qui soit peu volumineux et d'utilisation facile, même s'il est peu précis. Pour cette acoumétrie qualitative, on a intérêt à utiliser un diapason avec un pied de grande surface dit *diapason à bouton* (figure 1.1), qui facilite la transmission crânienne et s'avère plus confortable pour le patient.

Mode d'emploi du diapason

Le son produit doit être dépourvu d'harmoniques, ce qui interdit la percussion sur un corps métallique. Aussi doit-on avoir recours à la percussion sur



Figure 1.1
Diapason à bouton.

un corps à la fois résistant et élastique. Il était jadis recommandé de frapper avec un « marteau mou » le diapason tenu verticalement d'une main. Le recours au condyle fémoral est une très bonne alternative, ainsi que l'éminence thénar, le coude ou le talon d'une chaussure. Il peut aussi être stimulé simplement en pinçant les deux branches entre le pouce et l'index.

Pour explorer la CA, il faut tenir les branches du diapason verticalement, en orientant le plan des branches parallèlement à l'axe du conduit pour obtenir la meilleure efficacité sonore.

Weber acoumétrique

Principe

Il permet de déterminer si la surdité est de type transmission ou perception, lorsque les deux oreilles ont des atteintes très différentes, ou mieux lorsqu'une oreille est saine (figure 1.2).

Weber, l'inventeur de ce test, a constaté que lorsqu'on parle en se bouchant une oreille, on perçoit le son de sa propre voix dans cette oreille bouchée. Il a marqué le début de l'ère de l'exploration qualitative de l'audition.

L'explication scientifique du Weber est aisée pour l'oreille normale ou atteinte de surdité de perception ; elle repose sur le principe de Stenger (cf. Test

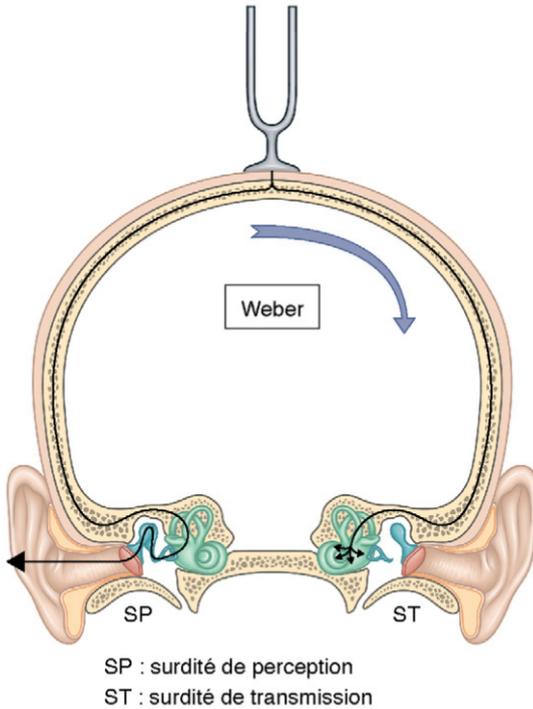


Figure 1.2

Le Weber acoumétrique.

Mettre le pied du diapason sur le vertex (ou le menton ou les incisives inférieures, point souvent le plus efficace). Le son est perçu par l'oreille la plus sourde en cas de surdité de transmission, ou par la meilleure oreille en cas de surdité de perception.

de Stenger, p. 248). Il n'en est pas de même pour la surdité de transmission où la latéralisation a donné lieu à plusieurs théories, faisant intervenir notamment des différences de phase liées aux divers modes de transmission de la CO.

De façon plus simpliste, on peut l'imaginer de la manière suivante. En cas de transmission unilatérale, le son est perçu par les deux cochlées, mais il ne peut s'extérioriser du côté sourd du fait de l'obstacle transmissionnel ; il n'en est pas de même pour une oreille normale ou en cas de surdité de perception où une partie de l'énergie sonore se perd vers l'extérieur.

Technique

Après stimulation du diapason, son pied est appliqué fermement sur un des points suivants : vertex, front, racine du nez, menton ; on demande au sujet à quel endroit il perçoit le son.

Si le sujet hésite, on peut appliquer le pied du diapason sur les incisives, ce qui procure souvent des réponses plus franches.

Résultats

En cas d'audition normale bilatérale, le son est perçu de façon diffuse à l'intérieur de la boîte crânienne : le Weber est indifférent.

En cas de surdité de transmission :

- unilatérale, le son est perçu du côté malade ;
- bilatérale, le son est localisé du côté le plus atteint.

En cas de surdité de perception :

- unilatérale, le son est mieux perçu du côté sain ;
- bilatérale, le son est localisé du côté le moins atteint.

En fait, dans les atteintes auditives bilatérales, le son est souvent perçu de façon diffuse à l'intérieur de la boîte crânienne : le Weber est dans ce cas mal latéralisé ou indifférent.

Le Weber est surtout intéressant dans les surdités unilatérales.

Remarque

Lorsque le son est perçu par la meilleure oreille, il faut toujours se méfier d'une réaction intellectuelle du sujet testé, qui pense que l'oreille la plus sourde ne peut pas entendre mieux que la meilleure oreille.

Rinne acoumétrique

Principe

Ce test compare la CO à la CA.

Technique

Pour tester la CO, le pied du diapason doit être appliqué fermement sur la mastoïde, sans toucher le pavillon pour éliminer la conduction cartilagineuse (CC). Puis les branches du diapason sont placées verticalement devant le méat auditif externe, à environ 2 cm de l'oreille. On demande alors au patient si le son est perçu plus ou moins fort.

On peut également attendre que le son ne soit plus perçu par voie osseuse avant de tester la CA. On demande alors au patient s'il perçoit à nouveau le son. En cas de réponse négative, le test sera renouvelé en commençant cette fois par la CA.

Résultats

En cas d'audition normale ou de surdité de perception du côté testé, la CA est supérieure à la CO.

En cas de surdité de transmission du côté testé, la CO est supérieure à la CA.

CA > CO : audition normale ou surdité de perception

CA < CO : surdité de transmission

Remarques

Un Weber latéralisé du côté sourd est indispensable pour interpréter CA < CO. En effet, cette formule se retrouve aussi en cas de cophose, mais le Weber est alors latéralisé du côté de la meilleure oreille.

La terminologie classique de Rinne positif ou de Rinne négatif est parfois source d'erreurs. Il est préférable de parler de valeurs comparatives de la CA et de la CO. On évite ainsi les confusions qui peuvent exister entre les notions de Rinne audiométrique et de Rinne acoumétrique. En effet, en acoumétrie, il est classique de dire que le Rinne est négatif quand la CO est supérieure à la CA, ce qui traduit une surdité de transmission. En revanche, en audiométrie, on dit qu'il existe un Rinne lorsqu'on note un écart entre la CO et la CA, c'est-à-dire en cas de surdité de transmission.

En cas de surdité de transmission, la valeur du Rinne audiométrique de l'oreille atteinte influence la précision des réponses. Un Rinne audiométrique d'au moins 25 dB est le plus souvent nécessaire pour que la CA soit inférieure à la CO au diapason (figures 1.3 et 1.4).

Test d'occlusion, le Bing acoumétrique

Principe

C'est la comparaison entre la CO conduit ouvert (conduction osseuse relative = COR) et la CO conduit fermé (conduction osseuse absolue = COA). Ce test date de 1891.

Les vibrations osseuses de basses fréquences se propagent au conduit auditif externe d'où elles diffusent tant vers la membrane tympanique que vers l'extérieur.

L'obturation du méat canalise ces vibrations aériennes du conduit vers la membrane tympanique et renforce donc l'intensité de la CO, si l'appareil transmissionnel est fonctionnel (cf. La conduction osseuse en audiométrie pour les fréquences moyennes, p. 215).

Technique

Le pied du diapason est placé sur la mastoïde pour tester la CO, puis on obture le conduit auditif externe en effectuant une pression du doigt sur le tragus. On demande alors au sujet s'il perçoit le son plus fort lorsque son conduit est obturé (figure 1.5).

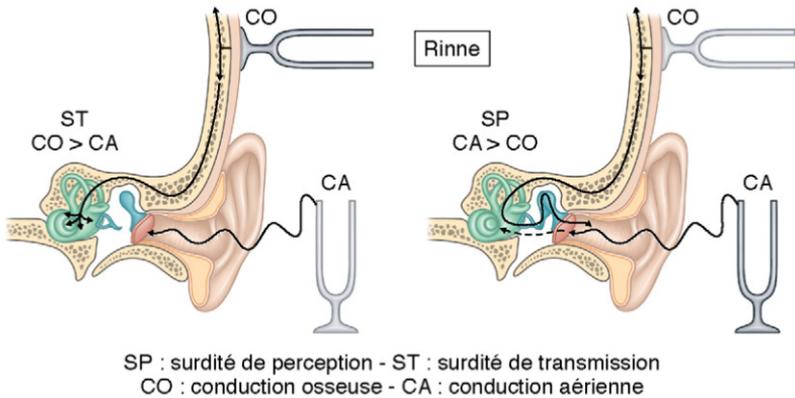


Figure 1.3

Principe du Rinne acoumétrique.

Il compare la durée de perception :

- par voie aérienne, en portant les branches à environ 2 cm du méat auditif ;
- et par voie osseuse, en plaçant le pied du diapason sur la mastoïde.

a. Rinne d'une surdité de transmission : $CO > CA$. b. Rinne d'une surdité de perception : $CA > CO$.

Une variante de la technique consiste à attendre que le son émis par CO ne soit plus perçu pour obturer le conduit. On demande alors au patient si le son réapparaît.

Résultats

Dans les surdités de perception ou en cas d'audition normale, le son doit être nettement renforcé par l'obturation du conduit.

En cas de surdité de transmission, la perception du son n'est pas modifiée par l'obturation du conduit.

OA > COR : audition normale ou surdité de perception

COA = COR : surdité de transmission

Remarques

En pratique, c'est un test peu fiable.

Le nombre important de réponses erronées est lié à la réaction intellectuelle du sujet testé, qui admet difficilement qu'il puisse mieux percevoir un son lorsque son oreille est obturée.

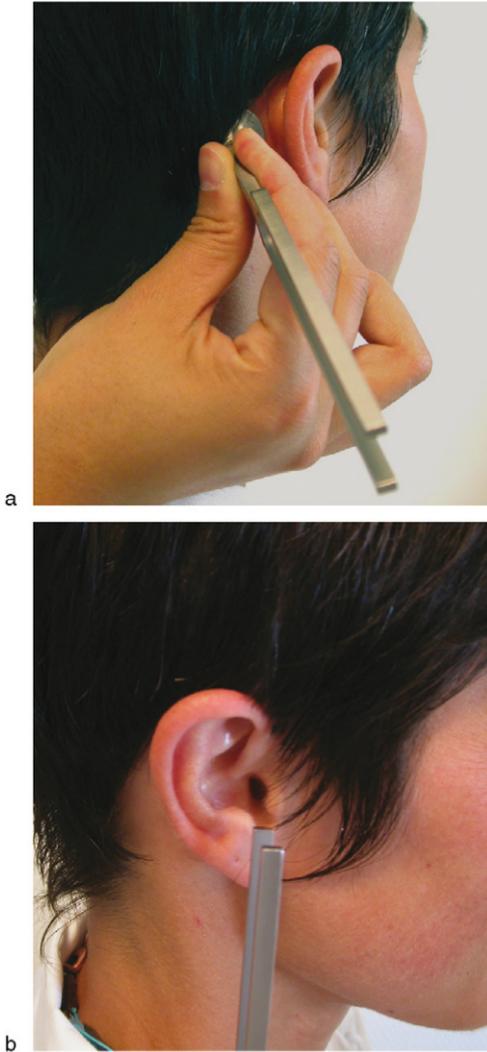


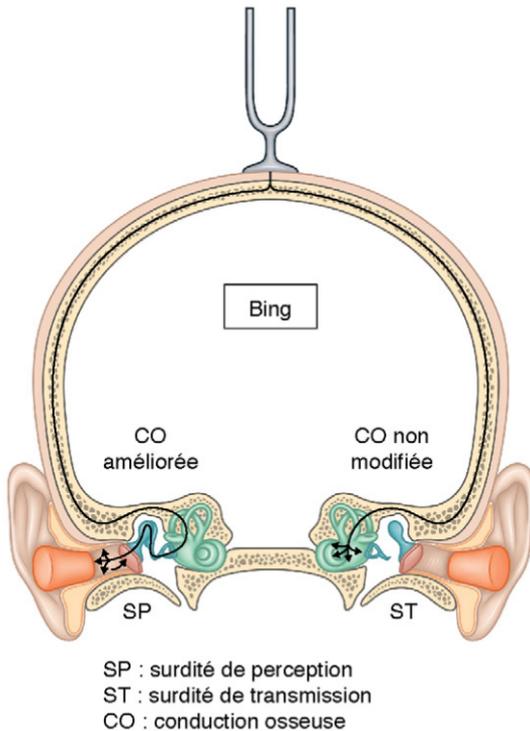
Figure 1.4

Rinne acoumétrique.

Le pied du diapason doit être appliqué fermement sur la mastoïde (a), sans toucher le pavillon pour éliminer la CC. Puis les branches du diapason sont placées verticalement devant le méat auditif externe, à environ 2 cm de l'oreille (b).

Test de la conduction chondrale

En 1925, Lewis a proposé de comparer la conduction tragiennne en appuyant le pied d'un diapason sur le tragus et en fermant le conduit.

**Figure 1.5****Le Bing acoumétrique.**

L'obturation du conduit auditif externe :

- augmente l'intensité et la durée de perception du diapason par voie osseuse (vertex ou mastoïde) en cas d'audition normale ou de surdité de perception ;
- ne la modifie pas en cas de surdité de transmission.

En cas de surdité de perception, la CO reste inférieure à la CA, elle-même inférieure à la conduction tragiennne ; en cas de surdité de transmission, la conduction tragiennne perd sa supériorité par rapport à la CO, et peut même lui devenir inférieure.

Ce test fait intervenir à la fois la CC et l'obstruction du conduit. Pour éviter cet inconvénient, on peut recourir à la comparaison de la *conduction conchale* à la CO.

Technique

Le pied du diapason est d'abord placé sur la mastoïde en évitant de toucher le pavillon, pour tester la CO. Puis, pour tester la CC, le pied du diapason est placé sur la face postérieure de la conque, en évitant d'écraser le pavillon

qui doit être discrètement replié vers l'avant, sans obturer le conduit auditif externe. On demande alors au patient si le son est mieux ou moins bien perçu.

Lorsque le sujet hésite, il peut être utile de modifier la technique et d'attendre que le son ne soit plus perçu par voie osseuse avant de tester la CC ; on demande alors au patient s'il perçoit à nouveau le son.

Résultats

En cas d'audition normale ou de surdité de perception, la CC est supérieure à la CO.

En cas de surdité de transmission, lorsque le Rinne est d'au moins 25–30 dB, la CC devient inférieure à la CO.

Ce test est particulièrement intéressant dans l'otospongiose. Dans ce cas, l'expérience montre qu'une CC inférieure à la CO correspond à une ankylose complète. En revanche, une CC supérieure à la CO doit attirer l'attention, car elle correspond habituellement à une atteinte transmissionnelle insuffisante pour justifier une intervention.

CC > CO : audition normale ou surdité de perception

CC < CO : surdité de transmission

Conclusion

L'audiométrie a détrôné l'acoumétrie. Mais l'acoumétrie garde un grand intérêt pour :

- orienter la conduite de l'examen otologique ;
- alerter devant une discordance avec les résultats de l'examen audiométrique, ceci d'autant plus si l'audiométrie n'a pas été effectuée par l'otologiste lui-même.

L'audiométrie tonale explore l'audition des sons purs. Elle constitue la base de l'examen de l'audition. Les diapasons sont étalonnés selon les octaves de la gamme tempérée. L'*octave* est caractérisée par un rapport de fréquences égal à 2/1. Elle correspond à une échelle logarithmique de base 2, donc ut 2 = 128 Hz, ut 5 = 512 Hz, ut 6 = 2048 Hz, etc. En audiométrie, les sons purs sont délivrés par *octaves normalisées* : 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 et 8000 Hz, etc.) [cf. Division du champ auditif en hauteur, p. 222]. L'audiométrie des hautes fréquences a recours aux fréquences supérieures jusqu'à 16 000 Hz. Il n'y a pas de norme au-delà.

Dans les examens habituels, les demi-octaves ne sont habituellement pas explorées, excepté par les audiomètres automatiques. Cependant, le 3000 Hz est intéressant à connaître car cette bande de fréquences joue un rôle important dans l'intelligibilité de la voix. Plus rarement sont explorées aussi les fréquences intermédiaires 1500 et 6000 Hz.

Conditions matérielles d'examen

Matériel

Comme pour tout instrument de mesure, le matériel d'audiométrie et les techniques de réalisation de l'audiogramme nécessitent une normalisation :

- d'abord pour pouvoir comparer deux examens réalisés à différents moments et par différents opérateurs ;
- et pour éviter certains pièges d'interprétation.

Les principales caractéristiques à prendre en considération concernent la cabine, l'audiomètre, les transducteurs.

Cabine audiométrique

L'insonorisation d'une cabine audiométrique doit être telle qu'elle permette des examens sans que le bruit environnant n'interfère sur les sons explorés. C'est donc pour l'examen de la conduction osseuse (CO) et l'audiométrie tonale en champ libre que les conditions sont les plus strictes. Des normes ISO sont proposées, par octave et même par tiers d'octave. Pour ne pas avoir un effet de masque, le bruit résiduel ne doit pas dépasser 15 dB. Ce niveau doit être celui de la zone fréquentielle la plus forte et non pas un chiffre moyenné. Les normes sont moins strictes pour les examens avec écouteurs et pour la vocale en champ diffus.

Pour obtenir un tel résultat, il faut commencer par faire une étude sonométrique du site. Les basses fréquences, peu gênantes pour l'oreille, sont transformées par les matériaux des parois en harmoniques ; c'est contre elles qu'il est le plus difficile de se protéger. Elles se transmettent par les contacts au sol. On lutte contre ces fréquences par des élastomères, ou mieux par des ressorts qui ont les fréquences de résonance les plus basses (moins de 10 Hz). Les cabines doivent avoir une double paroi ou, mieux, des parois désolidarisées de l'environnement. Enfin, le temps de réverbération joue un rôle important pour le champ diffus, ce qui impose une étude particulière du revêtement intérieur.

En pratique, lors de l'installation d'une cabine d'audiométrie, il faut faire établir un devis en niveaux de pression acoustiques ambiants pour le site considéré et non pas seulement en termes d'atténuation.

Pour les audioprothésistes, le décret de juin 1985 n° 85-590 fixe les conditions d'aménagement de la cabine. Le niveau de bruit ne doit pas excéder 40 dB(A). Les normes sont peu sévères car l'audioprothésiste s'adresse à des personnes atteintes de surdité pour lesquelles un bruit ambiant de 35 à 40 dB(A) n'est pas gênant. Il n'en est pas de même pour l'étude des seuils en pathologie. Les normes internationales donnent des indications très précises sur les niveaux de pression acoustique acceptables, par bande d'octave, pour réaliser un examen audiométrique. Ces valeurs sont d'autant plus faibles que l'on désire tester les fréquences graves (125 Hz) et la CO. Il faut installer la cabine audiométrique sur un sol très stable (lourd). Il est utile de disposer d'une double cabine, les parties réservées au testeur et au sujet testé étant isolées au plan phonique. Un double vitrage de séparation permet l'observation du sujet et assure la communication visuelle entre testeur et testé. La communication orale est assurée par un interphone, souvent intégré à l'audiomètre. Du fait du bruit de fonctionnement actuel d'un ordinateur, il est souhaitable de prévoir une connectique permettant de disposer l'unité centrale à l'extérieur de la cabine insonorisée. Enfin, un éclairage basse tension à variateur (transformateur et variateur à l'extérieur de la cabine) présente le triple avantage d'être silencieux, froid et de spectre agréable.

Pour les examens en champ diffus ou acoustique, le sujet doit être assis à 1 m des haut-parleurs, situés à la hauteur de sa tête (ISO 8253-2).

Audiomètre

Il existe cinq classes d'audiomètres selon la recommandation CEI 2001 (n° 60645-1) qui précisent les caractéristiques, avec des niveaux de sortie maximale (U_{\max}) variables selon les fréquences et le type d'appareil, mais aussi les zéros de référence pour l'étalonnage. Les classes 4 et 5 correspondent aux appareils de dépistage et n'ont pas de CO, ni de masquage. En

clinique, il est indispensable de disposer d'un appareil de classe 1 ou 2, avec notamment la possibilité de masquage, et divers types de son. Pour réaliser les examens dans de bonnes conditions, il faut disposer d'un audiomètre à deux canaux pouvant être étalonnés séparément selon l'entrée et selon la sortie.

Les appareils à deux canaux disposent habituellement d'un système de verrouillage (*lock level*) de l'écart de niveaux entre les deux canaux couplés. Ceci permet, notamment, de garder à une intensité constante la différence de sortie pendant toute la durée du test entre le son d'un côté et le bruit de masque de l'autre côté, et ainsi de mieux gérer le masquage dans certains cas. Il ne faut pas confondre les appareils à deux canaux avec un seul oscillateur, et les rares appareils haut de gamme avec deux oscillateurs.

Certains audiomètres très haut de gamme sont de véritables laboratoires avec, par exemple, une résolution fréquentielle par fractions d'octave (jusqu'à 1/48), et même la possibilité d'incrémentation jusqu'à 1 Hz. Ces appareils permettent la recherche et la réalisation de presque tous les tests décrits. Nombre de ces tests ont cependant perdu beaucoup de leur intérêt en clinique avec l'apparition des potentiels évoqués auditifs (PEA) et de l'imagerie moderne.

L'audiomètre peut être piloté par un ordinateur.

Certains audiomètres sont destinés à la fois aux cliniciens et aux audioprothésistes, dont les contraintes sont différentes. En effet, les fabricants d'audioprothèses donnent les caractéristiques en décibels SPL (*sound pressure level*). Les audioprothésistes doivent donc réaliser non seulement une audiométrie tonale et vocale HL (*hearing level*) classique, mais aussi une audiométrie SPL en champ diffus en tonale (son vobulé ou bande étroite) avec courbe de Wegel, et en vocale, sans et avec prothèse. Sinon, ils doivent établir des correspondances HL-SPL.

Il est important de se souvenir que l'étalonnage est normalisé pour l'adulte et que cela peut entraîner de petites inexactitudes dans l'audiométrie de l'enfant du fait du plus petit volume du conduit et de la moindre épaisseur de l'os.

Écouteurs et ossivibrateur

En pratique, il s'agit :

- de l'*écouteur supra-aural DT 48™*, qui est plus moderne que l'écouteur de référence TDH39™ ;
- de l'*ossivibrateur B71™*, qui a fait l'objet des travaux les plus précis et les plus nombreux. Ils ont des normes d'étalonnage (ISO389 : caractéristiques de surface, valeur de force d'application sur la mastoïde mesurée en newtons).

Pour l'ossivibrateur, les normes d'étalonnage varient selon l'emplacement sur la mastoïde ou le front.

Certains appareils ont une sortie spécifique pour chacun de ces deux sites. Sinon, l'appareillage est étalonné seulement pour la mastoïde. Il faut alors effectuer une correction pour le front, en sachant que la CO est moins bonne par application du vibreur sur le front : d'environ 15 dB pour le 250 et le 500 Hz, et de 10 dB pour les fréquences supérieures (cf. Conséquences de ce transfert crânien, p. 217- 218). Outre le site d'application, interviennent aussi la surface et la pression du vibreur. La force idéale serait comprise entre 750 et 1000 g.

L'*écouteur à insertion (insert)* permet d'augmenter l'atténuation inter-aurale, surtout pour les basses fréquences, et s'avère donc intéressant en cas de masquage difficile (leur transfert crânien est moindre). Il est également plus léger. De plus, en cas de collapsus du conduit, il évite une fausse transmission (cf. Les opérateurs, p. 244 et annexe III, p. 260). Mais les contraintes sont plus importantes qu'avec un écouteur supra-aural : nécessité d'avoir différents diamètres, adaptation parfois difficile voire impossible, soins d'hygiène plus importants, dégradation plus rapide. Cet écouteur s'étalonne aussi à l'aide d'un conduit artificiel. Il existe une annexe à la norme qui en définit les conditions et donne des valeurs à l'ER3A (norme européenne CEI 645).

L'*écouteur circumaural* est une adaptation de l'écouteur classique à un casque spécial. Il permet une atténuation du bruit ambiant d'environ 25 dB grâce à une coquille prenant appui sur le pourtour de l'oreille par l'intermédiaire d'un coussin en mousse. Ce type d'écouteur est donc utile pour l'audiométrie de dépistage hors cabine, ou même dans une cabine mal isolée. De plus, il procure un meilleur confort. Certains sont homologués, le TB 48™ de Beyer, le HDA 200™ de Sennheiser. Mais, comme pour l'écouteur à insertion, cet écouteur circumaural n'a pas de norme d'étalonnage (figure 2.1).

Mise en place des transducteurs

Les *écouteurs* doivent être mis en place et ajustés par l'opérateur, après avoir fait retirer les lunettes et les boucles d'oreilles du patient. *Il importe de vérifier que l'ouverture acoustique de l'écouteur supra-aural est bien adaptée sur le pavillon et centrée sur le conduit.*

Une mauvaise adaptation provoque une fuite d'énergie portant surtout sur les basses fréquences.

Une mauvaise orientation des sons vers l'entrée du conduit peut entraîner une perte sur les fréquences au-delà du 500 Hz pouvant atteindre 15 dB. Pour l'écouteur à insertion, il faut faire ouvrir la bouche et bien introduire l'écouteur adapté au conduit.



Figure 2.1

Les différents transducteurs.

a. TDH39™. b. Circumaural. c. Ossivibrateur B71™ d. Insert.

L'ossivibrateur est placé sur la mastoïde, ou sur le front en apportant les corrections éventuelles.

Tout contact doit être évité entre l'ossivibrateur et le pavillon de l'oreille pour ne pas entraîner une stimulation en conduction cartilagineuse.

Aux fortes intensités, le vibreur sur 250 et 500 Hz risque de provoquer des harmoniques et des *sensations tactiles* (à environ 40 dB sur 250 Hz, à 60 dB sur 500 Hz, à 70 dB sur 1000 Hz) induisant des réponses erronées.

Aux fréquences 3000 et 4000 Hz, lors de l'examen à forte intensité d'une oreille atteinte de surdité de perception, *le rayonnement du son par le vibreur peut être perçu par voie aérienne* et donner une CO meilleure qu'elle n'est en

réalité. S'il existe un doute, on peut obturer le conduit par un bouchon mousse, car il ne modifie pas la CO à ces fréquences élevées.

Contrôles du matériel

L'ensemble du matériel doit être contrôlé régulièrement. Il importe de distinguer les contrôles quotidiens et les contrôles annuels, selon les recommandations de la norme européenne CEI n° 60645-1.

Le contrôle quotidien comporte tout d'abord des essais subjectifs par un opérateur connaissant parfaitement son audition. Il faut aussi vérifier l'état général de l'audiomètre et des transducteurs, l'état des connexions, et rechercher d'éventuels bruits parasites. L'étalonnage est effectué chez l'adulte, et l'utilisation de serre-tête d'adulte chez l'enfant doit en tenir compte.

Le contrôle annuel est fait par un laboratoire, et porte sur :

- l'exactitude des fréquences (avec un fréquencemètre) ;
- la pureté des sons (avec un oscilloscope) ;
- la vérification des niveaux (avec l'aide d'une oreille artificielle ou d'un coupleur, d'une mastoïde artificielle, d'un sonomètre...);
- le pas de progression aux bas niveaux.

En pratique, ces tests sont rarement réalisés en France.

L'étalonnage porte sur l'ensemble audiomètre-transducteur. Tout changement d'écouteur impose donc un nouvel étalonnage.

L'étalonnage comporte tout d'abord des contrôles de routine avec essais subjectifs par un opérateur connaissant parfaitement son audition.

Les étalonnages de l'ensemble audiomètre-écouteurs et audiomètre-ossivibrateur sont tels que le 0 dB est obtenu pour des intensités physiques correspondant au seuil de sujets dont les oreilles sont supposées normales (dB HL, cf. Le décibel HL, p. 207). En conséquence, il n'est donc pas impossible qu'un sujet ait une audition un peu meilleure sur certaines fréquences.

Précautions

- Ne jamais mettre en marche un audiomètre alors que le patient a des écouteurs sur les oreilles, ce qui pourrait engendrer un bruit traumatisant. À la fin de chaque examen, mettre l'intensité au minimum.
- Nettoyer très souvent avec un antiseptique les écouteurs, l'ossivibrateur, et tout le matériel en contact avec les patients. Chez un patient porteur d'une infection du pavillon, isoler l'écouteur avec une compresse ou une fine feuille de plastique.





- Ne jamais faire un audiogramme immédiatement à un sujet qui vient d'être exposé à des bruits intenses. Attendre au moins 2 heures.
- Toujours vérifier l'absence de cérumen dans les conduits avant de faire un audiogramme.
- En cas de conduit étroit ou collabé, placer un petit tube de plastique dans le conduit pour éviter une fausse surdité de transmission (cf. p. 262-3).
- Dans la mesure du possible, il est souhaitable que le patient ait eu un examen otoscopique sous moyen grossissant dès que la membrane n'est pas parfaitement examinable, et un examen au diapason pour guider la conduite de l'examen.
- Attention au faux Rinne pour les fortes intensités en CO, car un vibreur peut engendrer des réponses tactiles et une émission sonore audible par voie aérienne en l'absence d'atteinte transmissionnelle (voir plus haut).
- Il faut toujours s'enquérir d'éventuels acouphènes qui peuvent gêner la recherche du seuil.
- Si un examen vestibulaire calorique est prévu lors de la même séance, il est préférable de le réaliser après l'examen audiométrique, car la persistance d'eau dans le conduit risque de retentir momentanément sur la transmission.

Tests qualitatifs

Weber audiométrique

Principe

Il est le même que celui du test acoumétrique du même nom (cf. Weber acoumétrique, p. 4).

Technique

La réalisation de ce test doit précéder l'étude de la CO.

Le vibreur est placé au milieu du front, à égale distance des deux oreilles, et maintenu à l'aide d'un serre-tête.

On réalise ce test avant tout sur la fréquence 1000 Hz.

Le son, continu ou pulsé automatique, est envoyé en seuil ascendant, en augmentant progressivement l'intensité de 5 en 5 dB, jusqu'à ce que le patient le perçoive. Si le patient ne latéralise pas bien le côté, on augmente de 10 dB. Il ne faut prendre en considération qu'une franche latéralisation.

Résultats

Ils sont semblables aux résultats du test de Weber acoumétrique, avec théoriquement de meilleures conditions : réalisation en cabine audiométrique, absence d'harmoniques, intensité précisée, durée contrôlée, stabilité.

Ce test est intéressant mais exposé à des risques d'erreur :

- recrutement faisant latéraliser une surdité de perception du côté le plus sourd ;
- phénomènes de résonance pour le 1500 et le 2000 Hz aux fortes intensités ;
- perception par voie aérienne du vibreur, surtout aux fréquences élevées.

Il ne faut donc accepter qu'une réponse nette et spontanée. Mais parfois, le sujet fait appel à une logique qui l'incite à donner une réponse erronée.

Les réponses sont moins fiables entre 1000 et 3000 Hz. En pratique, on réserve ce test aux basses fréquences.

Le Weber vocal paraît moins entaché d'erreurs (voir infra).

En cas de surdité de perception unilatérale, le son est perçu du côté sain. Si la surdité de perception est bilatérale, le son est localisé du côté le moins atteint, c'est-à-dire du côté où le seuil osseux est le meilleur.

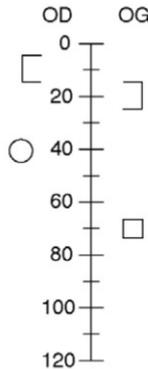
Une flèche indique le sens de la latéralisation.

En cas de surdité de transmission unilatérale, le son est perçu du côté sourd. Si la surdité de transmission est bilatérale, le son est localisé du côté le plus atteint, donc du côté où le Rinne est le plus important.

Le problème est plus complexe lorsqu'il existe une surdité mixte bilatérale ou une surdité mixte d'un côté avec de l'autre une surdité de transmission pure.

Schématiquement, on peut dire que le Weber est latéralisé, pour une fréquence donnée, du côté où la valeur du Rinne (moins la valeur de la CO) est la plus élevée (figure 2.2).

CO = 10 dB
Rinne = 30 dB
Rinne - CO = 30 - 10 = 20 dB



CO = 20 dB
Rinne = 50 dB
Rinne - CO = 50 - 20 = 30 dB

Figure 2.2

Exemple de surdité mixte bilatérale.

Ici, le Weber est latéralisé à gauche.

Weber vocal

Dans certaines circonstances, il peut être intéressant d'utiliser, à la place de sons purs, le matériel phonétique d'audiométrie vocale. Ceci est notamment le cas pour aider à décider du côté à opérer en cas de surdité mixte, d'origine otospongieuse par exemple, ou ancrer une prothèse osseuse. Il donne la valeur fonctionnelle de l'oreille vers laquelle la voix se latéralise sans nécessiter de masquage.

Il se réalise très facilement, comme pour une audiométrie vocale classique, avec des listes de mots dissyllabiques. On demande au sujet de lever la main correspondant au côté où les mots sont perçus tout en répétant les mots.

Rinne audiométrique

Principe

C'est la comparaison entre la courbe en conduction aérienne (CA) et la courbe en CO, ce qui est parfaitement illustré par l'expression anglo-saxonne « *air-bone gap* ».

En cas d'audition normale, les deux courbes sont donc plus ou moins parfaitement superposées sur l'horizontale à 0 dB. En fait, une différence de 5 dB ne peut être considérée comme pathologique mais comme simplement liée à l'attention du sujet testé, à la technique de l'opérateur, à l'appareillage, à l'isolement de la cabine ou à la position de l'écouteur et du vibreur sur la mastoïde.

En cas de surdité de perception, les deux courbes de CA et de CO sont abaissées mais restent superposées.

En cas de surdité de transmission, la CO n'est pas altérée alors que la CA est abaissée. Il existe ainsi un espace entre les deux courbes ; la mesure de cet espace donne la valeur du Rinne audiométrique en décibels (cf. Rinne acoumétrique, p. 6).

En cas de surdité mixte, les deux courbes sont abaissées mais de façon plus importante pour la CA.

Rinne audiométrique et atteinte transmissionnelle

La présence d'un Rinne audiométrique traduit-elle toujours l'existence d'une atteinte transmissionnelle ?

Un petit Rinne peut s'observer sans aucune atteinte transmissionnelle, et être simplement lié aux variations interindividuelles des densités osseuses (cf. La conduction osseuse en audiométrie, p. 214).

Plusieurs observations de surdité avec Rinne audiométrique et présence d'un réflexe stapédien ont été publiées chez des patients atteints de

malformation labyrinthique. La formule audiométrique peut évoquer, dans ce cas, une ankylose stapédovestibulaire et faire proposer une stapédecotomie. Cette intervention expose, dans ce type de malformation, à un « geyser » de liquide céphalorachidien (LCR). L'existence du Rinne ne serait pas une erreur audiométrique mais due à la fois :

- à une CO rendue anormalement bonne du fait de la malformation labyrinthique ;
- et à un abaissement de la CA lié à une diminution des mouvements de la platine par augmentation de la pression périlymphatique.

La transduction des vibrations crâniennes se trouve ainsi améliorée au niveau des liquides labyrinthiques, mais entrave la CA.

De même, une surdité mixte peut s'observer au cours de l'évolution d'une *maladie de Paget*. Or, la qualité de la CO semble perturbée par la texture osseuse modifiée, ce qui explique que, là aussi, l'existence d'un Rinne audiométrique ne corresponde pas nécessairement à une atteinte du système tympano-ossiculaire.

Répercussions des pathologies de l'oreille moyenne sur la conduction osseuse

La chaîne ossiculaire intervient dans la physiologie de la CO (cf. p. 215). Il n'est donc pas étonnant que cette CO puisse être modifiée par certaines pathologies de l'oreille moyenne. Le cas le plus connu est celui de l'otospongiose. Carhart a démontré, dès 1950, que la fixation de la platine dans l'otospongiose abaissait la CO d'environ 5 dB sur le 500 Hz, 10 dB sur le 1000 Hz, 15 dB sur le 2000 Hz, 5 dB sur le 4000 Hz. Cette baisse de la CO par fixation de l'étrier est appelée depuis « *encoche de Carhart* ».

L'apparition de la stapédecotomie, quelques années après, a permis de confirmer cette hypothèse en montrant l'amélioration de la CO après l'intervention, avec disparition de l'encoche.

D'autres pathologies de l'oreille moyenne peuvent aussi influencer la CO, notamment l'ankylose de la tête du marteau et même les otites avec épanchement.

Il est important de noter que la CO frontale est beaucoup moins affectée que la CO masto idienne par les pathologies de l'oreille moyenne, car la chaîne ossiculaire intervient peu dans son mécanisme de transmission.

Conclusion

En cas de modification anatomique du labyrinthe osseux ou du crâne, l'existence d'un Rinne audiométrique impose beaucoup de prudence avant d'envisager une éventuelle intervention.

La notion d'association entre CO et la « réserve cochléaire » doit être prise avec beaucoup de prudence.

Audiométrie tonale liminaire

Objectif

Elle étudie les seuils de perception des sons purs en CA par des écouteurs, et en CO par un vibreur.

L'examen nécessite une bonne compréhension et coopération du sujet testé, un audiomètre bien calibré, et une cabine parfaitement insonorisée. En dehors d'une cabine, le seuil s'élève d'au moins 15 à 20 dB (audition diminuée).

Information du patient

Il convient dans un premier temps d'informer clairement le patient sur :

- la façon dont il devra répondre ;
- l'obligation de répondre chaque fois que le son est perçu dans l'une ou l'autre oreille, même très faiblement ;
- la nécessité de répondre aussitôt que le son est perçu et d'arrêter de répondre aussitôt que le son disparaît ;
- l'ordre général de présentation des sons ;
- l'oreille testée en premier.

Il faut prévoir une durée d'examen de l'ordre de 15 minutes.

Le son étudié

Bien que seule l'audiométrie tonale liminaire avec son « continu » soit considérée par la norme ISO comme étant l'examen de référence, on peut recourir aussi à d'autres types de son, notamment le son automatiquement pulsé et le son modulé. En fait, le son dit continu est présenté pendant une brève période dont la durée importe sur la qualité de la réponse. Le mesurage se fait par pas de 5 dB, mais il est possible d'opérer par pas de 1 dB.

Réalisation

L'examen débute habituellement par la meilleure oreille.

Le son dit *continu*, présenté pendant au moins 1 seconde, constitue la référence de l'exploration tonale. En fait, ce son est présenté de façon discontinue, pendant un temps qui ne doit être ni trop court, ni trop long, pour ne pas risquer des erreurs.

Chaque stimulation doit durer un temps suffisant, sous peine de faire intervenir une mauvaise intégration corticale. Une durée de moins de 1 seconde pourrait influencer le seuil (cf. Sonie et durée du son, p. 225). De même, un son présenté trop longtemps provoque parfois des réponses incertaines (cf. Fatigue, p. 55). En pratique, le son doit être présenté pendant 1 à 2 secondes (ISO 8253) avec des intervalles variés de 2 à 5 secondes, jamais plus courts que la durée du son d'essai. Certains audiomètres disposent d'une fonction permettant de donner une impulsion de durée fixe (1,5 seconde).

Un son *pulsé automatiquement* est souvent préféré car il a l'intérêt d'être mieux identifié par les patients, surtout aux faibles intensités ou lorsqu'existent des acouphènes. Mais il importe alors, là aussi, que sa durée soit de l'ordre de 500 ms. Au-dessous de 200 ms, la qualité du résultat serait très compromise. Un son pulsé de durée 200 ms, avec intervalle de même durée, est parfaitement adapté.

Enfin, le son peut être *vobulé* (c'est-à-dire avec une modulation variant entre deux limites fixes), appelé aussi *son modulé*, particulièrement intéressant chez les enfants et pour la tonale en champ diffus.

Pour *familiariser le patient avec l'examen*, on lui présente tout d'abord un son d'essai de l'ordre de 40 dB à 1000 Hz, du côté le moins sourd.

Cette fréquence de 1000 Hz est choisie pour commencer l'examen car :

- c'est la fréquence de référence en acoustique ;
- elle se situe au milieu du spectre d'audition ;
- elle est longtemps conservée dans de nombreux cas de surdité ;
- son audition ne surprend pas.

Si le patient ne répond pas, il faudra incrémenter le niveau sonore de 5 en 5 dB, jusqu'à ce qu'une réponse soit obtenue.

Puis on recherche pour chaque fréquence l'intensité minimale perçue par le malade, avec le pas de 5 dB. Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour ce mesurage :

- soit on augmente progressivement l'intensité de 5 en 5 dB à partir du 0, jusqu'à ce que le son soit perçu par le patient : *méthode du seuil ascendant*. Le seuil est alors déterminé par la plus faible intensité à laquelle le sujet perçoit le son ;
- soit on envoie un son fort, perçu d'emblée par le patient (de l'ordre de 25 dB au-dessus du seuil présumé), puis on diminue progressivement l'intensité de 5 en 5 dB jusqu'à la disparition du son : *méthode du seuil descendant*. Le seuil est déterminé par l'intensité la plus faible à laquelle le sujet perçoit toujours le son.

Il peut exister un écart de l'ordre de 5 dB entre les deux techniques.

La technique utilisée est fonction des habitudes de l'examineur, mais elle doit également s'adapter au sujet testé. La méthode ascendante est théoriquement la plus précise, mais la méthode descendante est parfois plus simple pour le patient.

C'est pourquoi il semble intéressant et plus précis d'utiliser une méthode intermédiaire, dite *méthode par encadrement*. Elle consiste à réaliser deux ou trois balayages, en utilisant alternativement la méthode descendante puis la méthode ascendante. Si les niveaux de réponses s'écartent de plus de 10 dB, il convient de répéter l'essai.

On commence en général par tester la fréquence 1000 Hz ; puis on explore les sons aigus (2000, 4000, 8000 Hz), et enfin les sons graves (500, 250 et plus rarement 125 Hz). Les fréquences graves sont testées de préférence par voie descendante.

Le sujet répond soit en faisant un signe, en levant le doigt ou la main, soit en disant oui ou non, soit en pressant et relâchant un commutateur.

Conduction aérienne

Elle étudie l'ensemble de l'appareil auditif, depuis le conduit auditif externe jusqu'aux centres nerveux.

C'est par son étude que débute habituellement l'examen.

Les écouteurs doivent être bien appliqués sur l'oreille et centrés sur la conque. Il faut veiller à ce que les cheveux du patient ne s'intercalent pas entre les deux.

Les audiomètres ne peuvent dépasser une intensité maximale qui est fonction non seulement de la fréquence, mais aussi de l'appareil.

Pour les classes 3, 4 et 5 (cf. Audiomètre, p. 14), cette valeur maximale est de l'ordre de 90 à 100 dB. Mais pour les audiomètres de classes 1 ou 2, elle atteint 110 à 120 dB. Ces audiomètres ont une sécurité normalisée bloquant l'augmentation de l'intensité à 100 dB. Pour franchir cette barre, il faut activer cette sécurité qui se désactive automatiquement lorsqu'on change de fréquence.

Conduction osseuse

Elle explore essentiellement l'oreille interne et les voies de conduction nerveuse. Son mécanisme est très complexe et fait intervenir, pour certaines fréquences, le conduit auditif externe et la chaîne ossiculaire (cf. La conduction osseuse en audiométrie, p. 215). Les vibrations sonores sont transmises au moyen d'un transducteur mécanique à la boîte crânienne. Le vibreur, tenu par un serre-tête, est appliqué sur la mastoïde derrière le pavillon *qu'il ne doit pas toucher*.

Mais, à l'exception d'un système implanté, le revêtement cutané qui s'interpose altère la transmission. Aussi les seuils absolus en CO sont-ils moins précis qu'en CA.

À la sortie des audiomètres, on mesure pour le vibreur une *force* vibratoire, alors qu'en CA, on mesure une *pression* acoustique. On ne peut établir aucune relation entre la force vibratoire et la pression acoustique, même si elles sont exprimées en décibels. La comparaison des deux modes de transmission est rendue possible, cependant, en prenant pour référence le seuil normal d'audition en CO et le seuil normal d'audition en CA. On peut ainsi comparer les pertes auditives dans les deux modes de conduction.

Le seuil d'un sujet « normal » oscille autour de la ligne idéale. Selon la stratégie de l'opérateur, la vigilance du testé, les conditions matérielles, la courbe peut se situer pour certaines fréquences entre 5 et 10 dB de perte sans qu'on puisse évoquer une altération de l'audition.

Est-il possible d'obtenir un seuil de CO plus bas que le seuil de CA ? Cette question a été longtemps débattue. Dans l'immense majorité des cas, la CO est égale ou meilleure que la CA. Pour des raisons statistiques concernant les variations interindividuelles des qualités mécaniques du crâne, il n'est pas impossible que la CO soit parfois légèrement inférieure à la CA. De plus, les résultats se situent dans une fourchette de 5 dB tant pour la CO que pour la CA. Une telle découverte n'est pas usuelle et dérange les habitudes. Il ne faut pas pour autant modifier le résultat de l'examen.

Pour les mêmes raisons, l'audiogramme d'une surdité purement neurosensorielle peut avoir une courbe aérienne se situant 5 à 10 dB au-dessous de la CO, sans qu'on puisse en tirer de conclusion.

Les intensités maximales obtenues par voie osseuse sont de l'ordre de 70 dB HL pour les fréquences de 1000 à 4000 Hz. Aux deux extrêmes, cette intensité baisse autour de 45 à 50 dB HL.

On ne teste pas en CO la fréquence 125 Hz, qui donne une forte sensation vibratoire.

En pratique, la recherche de la CO n'est nécessaire que si la CA du même côté est altérée.

Audiométrie tonale en champ diffus

Elle ne présente d'intérêt en clinique que pour l'audiométrie de l'enfant et pour évaluer le gain prothétique. Elle est beaucoup plus utilisée par les audioprothésistes qui peuvent, notamment, faire varier les conditions de présentation du signal (orientation, bruit d'ambiance, etc.).

Elle est plus délicate à réaliser que l'audiométrie au casque, car elle impose des conditions matérielles d'installation particulières et des moyens de

contrôle sonométriques. Le haut-parleur doit être placé à la hauteur de la tête du sujet assis. La distance qui sépare le haut-parleur du sujet testé doit être au moins égale à 1 m.

L'étalonnage doit être réalisé dans les conditions d'utilisation, à l'aide d'un sonomètre, en prenant comme point de référence l'endroit où se trouveront exactement les sujets testés, mais sans personne lors de l'étalonnage. En pratique, on peut réaliser un étalonnage avec un sujet normo-entendant ; on règle l'amplificateur de telle sorte que le sujet référence soit à la limite de compréhension d'une liste de spondées à 15 dB SPL, et puisse en répéter la moitié à 0 ou 5 dB HL.

Les sons purs ne pourraient être utilisés que dans un champ acoustique parfaitement libre, sans risque de réverbération qui pourrait provoquer des ondes stationnaires. En pratique, on a recours à des sons modulés ou en bande étroite.

Il est possible de réaliser une audiométrie séparée pour chaque oreille :

- soit en utilisant un casque antibruit ; l'audioprothésiste a plus volontiers recours à l'obturation de l'oreille controlatérale par un moulage. L'affaiblissement obtenu par occlusion est souvent médiocre et peut entraîner des erreurs de mesure, notamment lorsque l'oreille testée est beaucoup plus atteinte que l'autre oreille ;
- soit en masquant, de préférence avec un écouteur à insertion.

Conventions graphiques

Audiogramme clinique

En clinique, le seuil d'audition est habituellement donné en perte de décibels.

Le graphique clinique utilisé depuis plus de 50 ans est appelé audiogramme américain. (cf. figure 2.21, p. 50). Il facilite l'appréciation de la perte auditive. Les fréquences audiométriques sont en abscisse de 125 à 8000 Hz.

Ce graphique en coordonnées rectangulaires doit respecter certaines conventions internationales.

Il est précisé qu'une octave sur l'axe des fréquences doit correspondre à 20 dB sur l'axe des niveaux d'audition.

La représentation graphique des demi-octaves 1500, 3000 et 6000Hz est le plus souvent située à mi-distance des octaves qui les encadrent pour harmoniser l'ensemble du graphisme. Cependant, sur certains audiogrammes, la demi-octave est située selon l'échelle logarithmique de base 2 des octaves (cf. Division du champ auditif en hauteur, p. 222).

Conditions du mesurage du seuil d'audition	Symboles		
	Oreille droite	Oreille gauche	Binaural
Seuil aérien sans masquage avec masquage*	○ △	× □	B
Seuil osseux sans masquage - sur le front* - sur l'apophyse mastoïde*	<	Y >	
Seuil osseux avec masquage - sur le front - sur l'apophyse mastoïde	┌ └	┐ ┘	
Seuil aérien avec correction auditive	◊	◊	◊B
Absence de réponse en conduction aérienne	↯	↯	

Figure 2.3

Conventions de notation des résultats.

Pour noter les résultats sur un audiogramme, il convient d'utiliser les symboles normalisés ci-dessus, en couleur ou en noir. En CA, les seuils sont reliés par un trait plein tandis qu'en CO, ils le sont par un trait en pointillés. Les symboles * ne sont pas normalisés.

Les points adjacents doivent être reliés par un trait continu pour la CA, et un trait discontinu pour la CO.

Si on utilise des couleurs, le rouge doit être employé pour les symboles et le tracé de l'oreille droite, et le bleu pour les symboles et le tracé de l'oreille gauche.

La grille de l'oreille droite est située à gauche et celle de l'oreille gauche est à droite, ce qui correspond à la position des oreilles du sujet testé placé face à l'opérateur.

Si le son n'est pas perçu aux intensités maximales obtenues avec l'audiomètre, une flèche verticale dirigée vers le bas est notée sous le symbole correspondant à la CA ou à la CO (figure 2.3).

Masquage de l'oreille controlatérale

Ce qu'il faut comprendre

Pourquoi masquer ?

La nécessité d'éliminer l'oreille controlatérale est liée aux phénomènes de transfert crânien et d'atténuation interaurale (cf. Masquage de l'oreille controlatérale, p. 216). À certaines intensités, il n'est pas possible de

transmettre le son à une oreille, que ce soit par voie aérienne ou par voie osseuse, sans qu'il parvienne, plus ou moins atténué, à l'oreille controlatérale.

Par voie osseuse, l'atténuation interaurale varie entre 0 et 10 dB.

Par voie aérienne, la valeur de l'atténuation interaurale varie selon les individus, les fréquences et le type de surdité éventuelle de l'oreille controlatérale.

Si la valeur de l'atténuation interaurale varie approximativement entre 50 et 60 dB, on peut admettre en pratique une valeur de 45 dB, sans commettre d'erreur importante. Certains audiologistes proposent de mettre la barre à 40 dB.

Le son adressé à l'oreille interrogée stimule la cochlée de l'oreille controlatérale, dès que le niveau de ce son excède la valeur de l'atténuation interaurale.

Pour être sûr d'avoir obtenu le seuil en CA de l'oreille interrogée, il faut être certain de ne pas avoir en fait testé involontairement l'oreille controlatérale par voie osseuse. La courbe aérienne de l'oreille testée serait alors le « fantôme » de la courbe osseuse de l'autre oreille (on parle de *courbe fantôme*).

Il faut donc appliquer sur l'oreille non interrogée un bruit suffisant pour qu'il masque dans celle-ci le son-test utilisé dans l'autre oreille.

Quand masquer ?

Pour la CA : lorsqu'on dépasse 45 dB.

Pour la CO : la connaissance de la CA est indispensable pour savoir quand masquer lors de la recherche de la CO du même côté.

On doit masquer dès qu'un Rinne commence à apparaître au-delà de 10 dB. Il ne sert à rien de masquer tant que la recherche de la CO se situe au niveau de la CA.

Comment masquer ?

Le masquage de l'oreille controlatérale doit toujours être réalisé *par voie aérienne*. Il existe par ailleurs des techniques de masquage par voie osseuse, mais qui s'effectuent de façon ipsilatérale.

On utilise un procédé de masquage par le bruit. Celui-ci peut être :

- soit *une fréquence pure, de fréquence inférieure à la fréquence examinée* par exemple, on masquera avec la fréquence 500 pour tester la fréquence 1000 Hz ;
- soit *le bruit blanc* qui contient toutes les fréquences du spectre sonore et qui peut ainsi être utilisé sans modification pour masquer toutes les fréquences testées ;
- soit *un bruit à « bande étroite »* ; cette bande est à cheval centrée sur la fréquence d'épreuve, mais celle-ci est retirée de la bande masquante. C'est la méthode la plus utilisée, car ce bruit donne le meilleur masquage pour une fréquence donnée (cf. Bande critique, p. 227).

À quelle intensité masquer ?

Notion de valeur de masque

Pour qu'un bruit B2 masque un autre bruit B1, il faut que l'intensité de B2 soit légèrement supérieure à celle de B1. La différence entre les deux intensités ($B2 - B1$) représente la valeur de masque Vm .

La valeur de masque du bruit à bande étroite, utilisé en audiométrie courante, varie sensiblement avec la fréquence ; sa dispersion interindividuelle est suffisamment faible pour être considérée comme négligeable (figure 2.4).

Cette valeur de masque est fonction de l'appareil audiométrique utilisé ; on la mesure pour chaque fréquence, sur des oreilles normales. Elle est habituellement de 15 à 20 dB.

Il faut en tenir compte dans le calcul de la valeur de masquage.

Si une norme CEI (60545) précise que les niveaux de masquage de bandes étroites doivent être étalonnés en termes de niveaux de masquage effectif, il semble que la plupart des appareils ne répondent pas à cette norme, excepté pour le masquage par voie osseuse. Avant de recourir au masquage, il importe donc de connaître l'étalonnage de l'audiomètre.

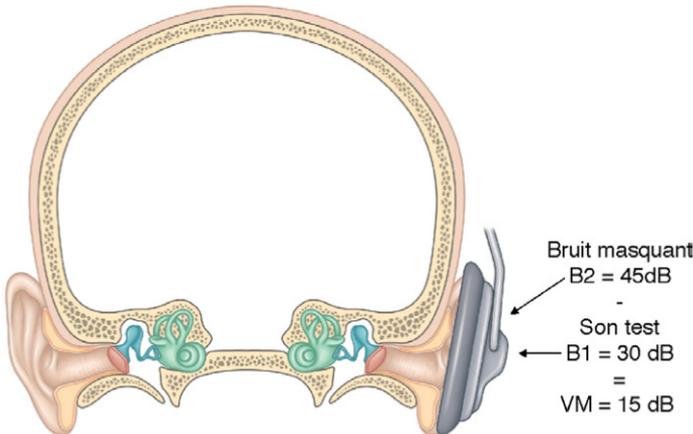


Figure 2.4

Notion de valeur de masque (Vm).

Notion de masquage efficace et non retentissant

Le son masquant doit être d'intensité suffisante, mais il ne doit pas être trop fort.

Le son masquant doit être suffisant pour masquer l'audition cochléaire de l'oreille à éliminer : *condition d'efficacité*.

Il ne doit pas masquer l'audition cochléaire de l'oreille interrogée : *condition de non-retentissement*. En effet, si le son masquant a une intensité supérieure à la valeur de l'atténuation interaurale, il pourra à son tour retentir sur l'oreille testée (figure 2.5).

L'intensité de masquage doit donc être comprise entre une valeur minimale d'efficacité et une valeur maximale de non-retentissement.

Cette condition est parfois impossible à réaliser en cas de surdité de transmission bilatérale importante ; le bruit masquant doit être si intense, pour être perçu, qu'il déborde largement du côté opposé.

Pour obtenir le seuil en CO, on doit alors recourir à une autre technique (cf. Masquage par voie osseuse, p. 45).

Même pour la recherche du seuil en CA, il est parfois impossible d'être certain de l'exactitude des courbes obtenues. Dans ce cas, il faut savoir reconnaître que le masquage n'est pas possible et ne donner qu'une valeur relative aux courbes.

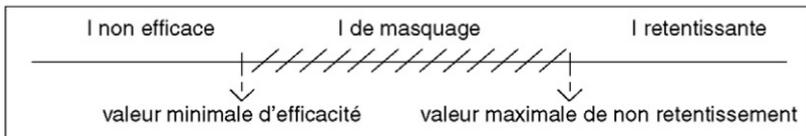


Figure 2.5

Notion de valeur de masque efficace et non retentissant.

Calcul du masquage pour l'étude de la voie aérienne

1. Pour un son d'intensité I émis par voie aérienne dans l'oreille testée ($I_{\text{son-test}}$) d'intensité supérieure à 50 dB, le son qui parviendra à l'oreille controlatérale par voie osseuse, par le phénomène du transfert crânien, aura une intensité égale à : $I_{\text{son-test}} - 50 \text{ dB}$ (en admettant la valeur de l'atténuation interaurale égale à 50 dB).

Intensité passant du côté non testé : $I_{\text{son-test}} - 50 \text{ dB}$

2. Le son résultant du transfert crânien ne sera « entendu » par l'oreille controlatérale que si son intensité est supérieure ou égale au seuil osseux S_0 de cette oreille (figure 2.6).

Le son à masquer sera donc : $I_{\text{son-test}} - 50 \text{ dB} - S_0$ oreille masquée

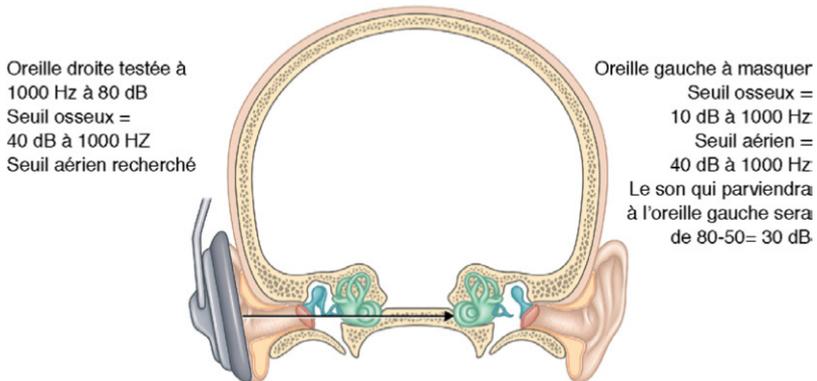


Figure 2.6

Exemple 1 Calcul de masquage pour l'évaluation de la CA.

Pour 80 dB émis dans l'oreille droite, l'intensité résultante du transfert crânien est de 80 – 50, soit 30 dB. Mais, le seuil osseux de l'oreille controlatérale étant de 10 dB, la cochlée de cette oreille ne perçoit en fait que 30 – 10, soit 20 dB. C'est cette intensité qu'il faudra masquer.

3. Le son qu'il faudra émettre dans l'oreille controlatérale devra :

– être masquant, c'est-à-dire avoir au moins la valeur de masque :	V _m +
– être supérieur ou égal au son à masquer :	I son-test - 50 dB - So +
– être entendu par l'oreille à masquer :	Sa oreille masquée

Ce son étant émis par voie aérienne, son intensité devra donc être supérieure ou égale au seuil aérien S_a de l'oreille à masquer.

Au total, l'intensité minimale efficace du son qu'il faudra émettre dans l'oreille controlatérale pour masquer le son-test émis dans l'autre oreille sera :

$$I_{min} = V_m + I_{\text{son-test}} - 50 \text{ dB} - S_o + S_a$$

ce qui peut encore s'écrire

$$I_{min} = V_m + I_{\text{son-test}} - 50 \text{ dB} + (S_a - S_o) \text{ oreille masquée}$$

ou

$$I_{min} = V_m + I_{\text{son-test}} - 50 \text{ dB} + \text{Rinne oreille masquée}$$

Exemple 1 (suite a)

Pour masquer 80 dB émis à 1000 Hz dans l'oreille droite, il faudra émettre dans l'oreille gauche un son d'intensité supérieure ou égale à $80 - 50 + 30 + 15 = 75$ dB (dans le cas où la valeur de masque est de 15 dB).

4. Le bruit masquant doit être non retentissant, c'est-à-dire que le bruit produit dans l'oreille controlatérale ne doit pas venir exciter la cochlée de l'oreille testée.

Pour que le son masquant devienne retentissant, il faut :

- qu'il soit masquant, donc au moins égal à la valeur de masque :	Vm +
- qu'il soit supérieur à la valeur de l'atténuation interaurale :	50 dB +
- qu'il soit entendu par la cochlée de l'oreille opposée à l'oreille masquée et donc qu'il soit supérieur au seuil osseux de l'oreille testée	So oreille testée

L'intensité du son masquant sera donc non retentissante si elle est inférieure à :

$$I_{max} = Vm + 50 \text{ dB} + So \text{ oreille testée}$$

Exemple 1 (suite b)

$$I_{max} = 40 + 50 + 15 = 105 \text{ dB}$$

Si le bruit masquant émis dans l'oreille gauche a une intensité supérieure à 105 dB, il viendra retentir sur la cochlée de l'oreille droite.

L'intensité du son masquant est à la fois *efficace* et *non retentissante*, si elle se situe entre deux valeurs :

$$I_{min} < I \text{ son masquant} < I_{max}$$

avec

$$I_{min} = Vm + I \text{ son-test} - 50 \text{ dB} + Rinne \text{ oreille masquée}$$

et

$$I_{max} = Vm + 50 \text{ dB} + So \text{ oreille testée}$$

Exemple 1 (suite c)

L'intensité du son masquant émis dans l'oreille gauche à 1000 Hz devra donc être comprise entre 75 et 105 dB. En pratique, l'oreille gauche sera masquée à 80 dB.

Calcul du masquage pour l'étude de la voie osseuse

Pour la recherche des seuils osseux, le masquage de l'oreille controlatérale s'impose dans tous les cas.

Le calcul pour obtenir l'intensité efficace et non retentissante de masquage est identique à celui réalisé pour la CA, mais dans ce cas, la valeur de l'atténuation crânienne est négligeable.

$$I_{min} = Vm + I_{son-test} + Rinne \text{ oreille masquée}$$

$$I_{max} = Vm + 50 \text{ dB} + So \text{ oreille testée}$$

(I_{max} est inchangée, car il s'agit toujours d'un son masquant émis par voie aérienne.) (figure 2.7)

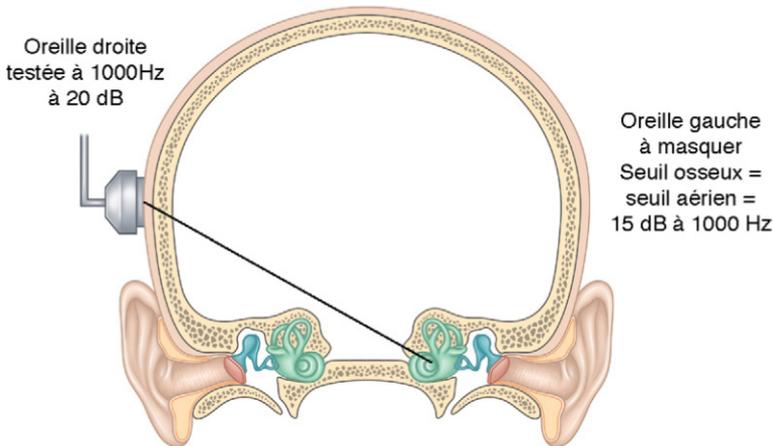


Figure 2.7

Exemple 2 Calcul du masquage pour l'évaluation de la CO.

Pour masquer un son de 20 dB émis à 1000 Hz dans l'oreille droite par voie osseuse, il faut émettre dans l'oreille gauche un son d'intensité supérieure ou égale à $20 + 15 = 35$ dB et inférieure à $20 + 50 + 15 = 85$ dB. En pratique, l'oreille gauche sera masquée à 40 dB à 1000 Hz.

Ce qu'il faut retenir du masquage de l'oreille controlatérale

Il existe différentes techniques de masquage.

Certains audiologistes réalisent d'abord la totalité de l'audiogramme sans masquer, puis masquent en fonction des courbes obtenues.

D'autres masquent d'emblée, dès qu'il existe un risque de retentissement d'une oreille sur l'autre.

Aucune technique n'est parfaite. Le choix dépend essentiellement des habitudes de chacun.

Enfin, dans ce masquage controlatéral intervient le retentissement central ou *masquage central*. On abaisse ainsi le seuil testé d'environ 4 à 5 dB pour un masque de 40 dB, mais le masquage central peut atteindre 8 à 10 dB aux très fortes intensités (cf. Masquage central, p. 232).

Il semble intéressant de proposer *deux techniques différentes* :

- *une technique classique*, qui tient compte des formules citées précédemment, pour calculer les intensités de masquage efficaces et non retentissantes ;
- *la technique dite du plateau*, qui présente un intérêt qualitatif et permet, sans recourir aux formules, de régler un certain nombre de cas de masquage. Mais la connaissance des formules permet d'en comprendre la méthodologie.

Récapitulatif des formules de masquage

Intensité minimale (I min) : efficace

- Pour la CA : $I \text{ min} = V_m + I \text{ son} - \text{test} - 50\text{dB} + \text{Rinne oreille masquée}$
- Pour la CO : $I \text{ min} = V_m + I \text{ son-test} + \text{Rinne oreille masquée}$

Intensité maximale (I max) : non retentissante

- Pour la CA et pour la CO : $I \text{ max} = V_m + S_o \text{ oreille testée} + 50 \text{ dB}$

Illustration de la technique classique

Une démarche audiométrique, étape par étape, est proposée en l'illustrant par deux exemples qui seront repris à chaque stade de l'examen.

Puis, à la fin du chapitre, les deux exemples seront résumés de façon globale (figure 2.8).

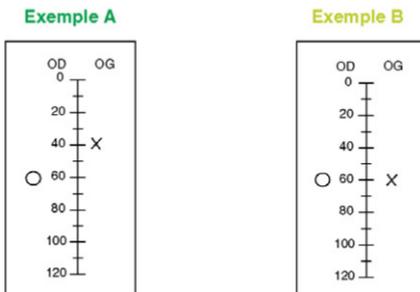


Figure 2.8

Deux exemples A et B pour illustrer la démarche du masquage. Pour les symboles, se rapporter à la figure 2.3.

1. L'examen audiométrique débute habituellement par la recherche des seuils en CA de la meilleure oreille, puis de la plus sourde.

Chaque fois que le seuil aérien obtenu pour l'une et/ou l'autre des deux oreilles est supérieur à 45 dB, ou même 40 dB, se pose la question de l'exactitude de ce seuil.

2. On commence par rechercher la CO sans masquer, en plaçant le vibreur sur le front du sujet. On sait que les valeurs ainsi obtenues correspondent aux seuils de l'oreille qui aura le meilleur seuil osseux, avec la correction vue précédemment (cf. Mise en place des transducteurs, p.16), par rapport à la CO mastoïdienne (figure 2.9).

3. À ce stade de l'examen, on peut savoir si un ou les deux seuils aériens sont exacts sans qu'il soit nécessaire de masquer, ou si l'un et/ou l'autre peut éventuellement représenter le fantôme du seuil osseux déterminé.

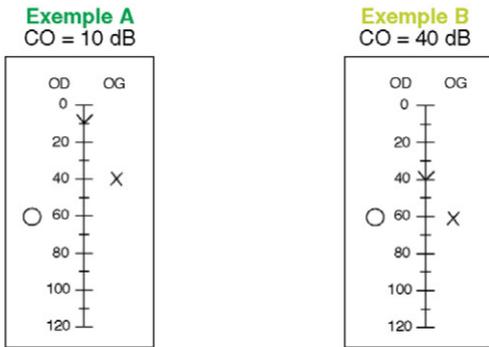


Figure 2.9
Recherche de la CO d'abord sans masquage.

Exemple A	Exemple B
Sa OG est certain. Sa OD doit être vérifié, car Rinne OD > 50 dB.	Avec une CO = 40 dB, Sa OG et Sa OD sont certains, car Rinne OD et Rinne OG < 50 dB ne peuvent dépasser 20 dB, et sont donc < 50 dB.

4. Détermination de SaOD de l'exemple A. Il faut masquer l'oreille contrôlatérale, avec un son masquant d'intensité comprise entre deux valeurs :

$$I_{min} = I_{\text{son-test}} - 50 \text{ dB} + \text{Rinne oreille masquée} + V_m$$

$$I_{max} = S_o \text{ oreille testée} + 50 \text{ dB} + V_m$$

5. Pour calculer le **Rinne de l'oreille masquée**, on se place dans le cas d'un Rinne maximum, en supposant que le seuil osseux de l'oreille masquée correspond au seuil osseux le meilleur, déterminé précédemment. On est ainsi certain d'effectuer un masquage efficace (figure 2.10).

Avec un essai de masquage OG à 70 dB, Sa OD a été trouvé à 75 dB.

Essai de masquage OG avec 70 dB

Sa OD a été trouvé à 75 dB

Rinne OG, max = 30 dB

Rinne OD, max = 55 dB, donc So de OD ne peut être inférieure à $75 - 55 = 20$ dB.

Est-ce que le masquage est suffisant ?

$I \text{ min} = 75 - 50 + 30 + 15 = 70$ dB **oui**

Est-ce que le masquage est retentissant ?

So OD, min = 20 dB

Pour ne pas être retentissant, le masquage doit être inférieur à :

$I \text{ max} = 20 + 50 + 15 = 85$ dB.

Donc, l'essai de masquage à 70 dB n'est pas retentissant.

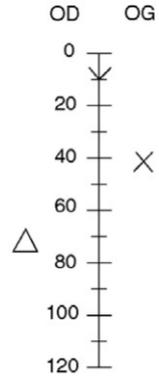


Figure 2.10

Exemple A : vérification du masquage de OG pour la recherche de Sa OD.

6. Par voie aérienne, il est toujours possible de masquer avec efficacité et sans retentissement, sauf en cas de surdité de transmission ou mixte bilatérale et si les deux oreilles présentent un Rinne important, entre 50 et 60 dB. Dans ce cas, il faut savoir reconnaître que le masquage est impossible et ne donner qu'une valeur relative aux courbes audiométriques obtenues.

7. À ce stade de l'examen, les seuils aériens « exacts » des deux oreilles sont déterminés. Il convient donc maintenant de rechercher le seuil osseux de chaque côté.

8. Pour la recherche du seuil en CO, le masquage de l'oreille controlatérale est pratiquement toujours nécessaire, compte tenu de l'atténuation interaurale négligeable d'un son émis par voie osseuse. Il est dangereux de se fier au seul test de Weber pour décider du côté à masquer, car :

- il peut y avoir des erreurs de latéralisation, par exemple si l'intensité à laquelle est réalisée ce test est insuffisante, ou par réaction intellectuelle du sujet testé qui pense que l'oreille la plus sourde ne peut pas entendre mieux que la meilleure oreille ;
- il se peut que le seuil osseux de l'oreille dans laquelle est latéralisée le Weber soit inférieur au seuil osseux de l'autre oreille (cf. l'exemple de la figure 2.2, p. 20, où le Weber est latéralisé vers l'oreille gauche).

9. À chaque fois que le seuil aérien est altéré d'un côté, le seuil osseux du côté correspondant doit être recherché, en masquant l'oreille controlatérale avec un son d'intensité comprise entre les deux valeurs I_{\min} et I_{\max} .

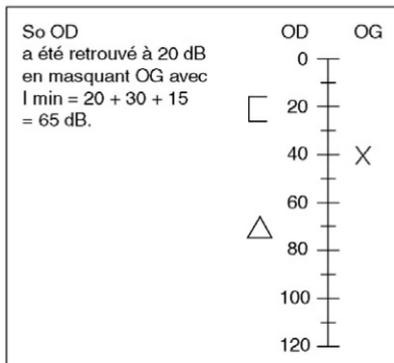
$$I_{\min} = I_{\text{son-test}} + \text{Rinne oreille masquée} + V_m$$

$$I_{\max} = S_o \text{ oreille testée} + 50 \text{ dB} + V_m$$

10. Par voie osseuse, il n'est possible de masquer avec efficacité et sans retentissement que si le Rinne de l'oreille masquée est inférieur à 50 dB. Au-delà, dans ces conditions, l'intensité minimale est égale à l'intensité maximale.

Dans le cas contraire, il faut effectuer un test de masquage par voie osseuse pour déterminer le seuil osseux du côté testé (figure 2.11).

Exemple A (suite)



Exemple B (suite)

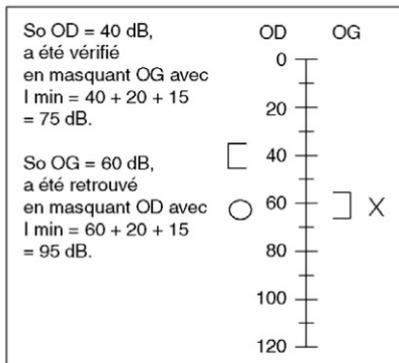


Figure 2.11

Bilan d'étape pour les exemples A et B.

Exemple A (suite)

11. Lorsque les quatre courbes sont obtenues, il convient de vérifier qu'elles concordent avec les résultats du test de Weber et s'assurer qu'il n'y a pas de possibilité d'erreur ou d'éventuelle courbe fantôme (figure 2.12).

Rappel

L'intensité du son masquant ne peut pas dépasser une valeur maximale, fonction des possibilités de l'audiomètre (110 dB le plus souvent).

L'intensité de masquage n'est pas définie une fois pour toutes pour l'étude de la CA ou de la CO ; elle doit être modifiée en fonction de la fréquence testée et selon l'intensité du son-test.

Pour vérifier So OG,
il faut faire un masquage par voie osseuse.
En effet, il n'est pas possible de masquer OD,
car Rinne OD = 50 dB.

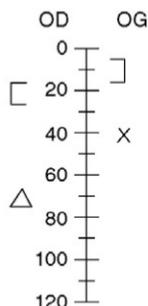
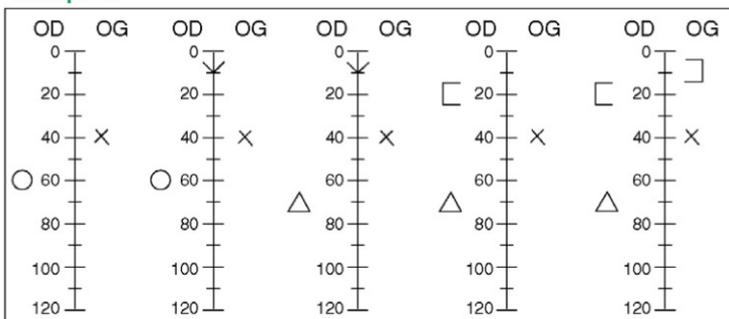


Figure 2.12

Vérification de la CO de OD de l'exemple A.

On peut les inscrire dans un tableau situé sous l'audiogramme (figure 2.13).

Exemple A



Exemple B

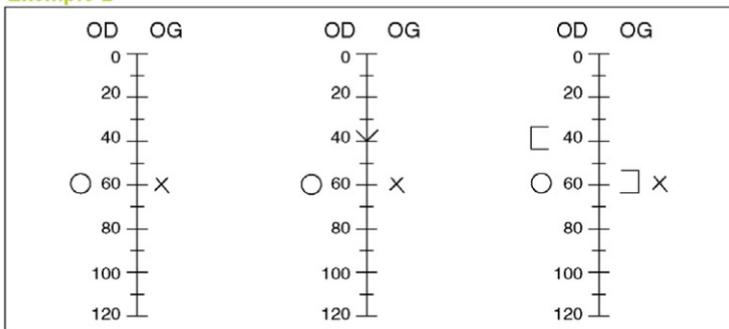


Figure 2.13

Récapitulatif des deux exemples A et B.

Les valeurs de masquage doivent être notées de façon distincte sur l'audiogramme.

Les audiomètres informatisés enregistrent automatiquement le masquage et l'inscrivent sur la feuille audiométrique imprimée en fin d'examen (figure 2.14).

WEBER vers... mettre OD ou OG ou ? si non latéralisé							
Masquage OG (OD testée)	CA						
	CO						
Masquage OD (OG testée)	CA						
	CO						
		250	500	1000	2000	3000	4000

Figure 2.14

Exemple de disposition graphique permettant d'indiquer l'intensité du masque.

Méthode de recherche d'un plateau

Elle permet de déterminer le seuil tonal en CO et en CA sans avoir recours à des formules complexes de masquage. Elle est recommandée par l'ISO.

Principe

Il est basé sur l'étude du masquage par voie aérienne de l'oreille opposée à l'oreille testée afin de déterminer les seuils aériens et osseux en audiométrie tonale (figure 2.15).

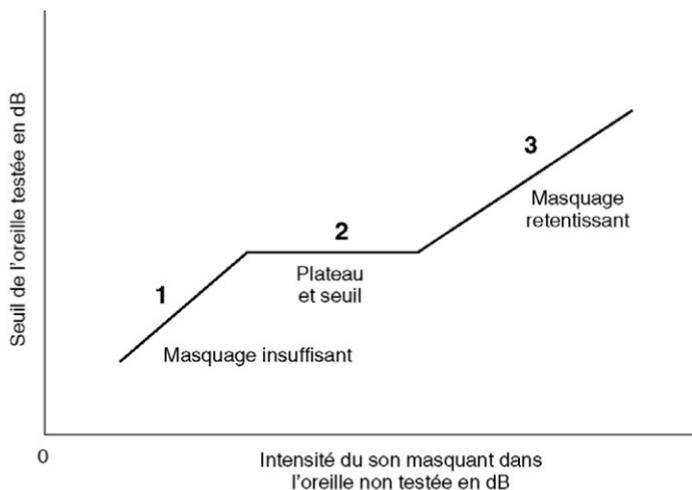


Figure 2.15

Principe de la recherche d'un plateau.

1. Si c'est l'oreille masquée qui perçoit le son-test, l'augmentation de l'intensité du son masquant entraîne une augmentation du seuil de perception du son-test : *le masque est insuffisant.*
2. Si c'est l'oreille testée qui perçoit le son-test, l'augmentation d'intensité du son masquant ne modifie pas le seuil de perception du son-test : *c'est le plateau qui correspond au seuil de l'oreille testée.*
3. Après ce plateau, *le son masquant devient retentissant* sur l'oreille testée et l'augmentation de l'intensité du son masquant entraîne de nouveau une augmentation du seuil de perception du son-test. On est sur la deuxième partie ascendante de la courbe (3).

Détermination des seuils aériens

Quand les seuils ne dépassent pas 40 dB de perte, le masquage est inutile. Si les réponses apparaissent au-delà de 40 dB, un masquage controlatéral par voie aérienne est nécessaire. *En pratique, la méthode du plateau est utilisée si le seuil aérien de la meilleure oreille n'atteint pas 40 dB de perte. Dans le cas contraire, cette méthode paraît trop approximative.*

On présente à l'oreille testée, qui est donc la plus mauvaise, un son (son-test) au niveau du seuil obtenu sans masquage. On masque au niveau de l'oreille opposée à partir de son seuil obtenu sans masquage. On augmente progressivement l'intensité du masque. Deux possibilités peuvent se présenter :

- le son-test reste audible jusqu'à ce que l'intensité du masque atteigne l'intensité du son-test : *on est au niveau liminaire d'audition de l'oreille testée. On se trouve dans la zone du plateau ;*
- le son-test disparaît après une faible augmentation de l'intensité du masquage. On augmente l'intensité du son-test de 5 dB pour qu'il soit de nouveau entendu. Il suffit alors d'augmenter de 5 dB le masque pour que le son-test disparaisse. *On se trouve dans la première portion ascendante de la courbe.*

La procédure est répétée jusqu'à ce que le son-test reste perceptible malgré l'augmentation de l'intensité de masque au-delà de 10 dB. *On se trouve alors au niveau du plateau qui correspond au seuil aérien de l'oreille testée (figure 2.16).*

La procédure est répétée jusqu'à ce que le son-test reste perceptible malgré l'augmentation de l'intensité de masque au-delà de 10 dB. *On se trouve alors dans la plage du plateau qui correspond au seuil aérien de l'oreille testée.*

La méthode du plateau présente plusieurs limites :

- soit le plateau est impossible à atteindre car le masquage est retentissant sur l'oreille testée ;
- soit le plateau est trop petit et donc impossible à repérer car la marge entre masque efficace et masque retentissant est trop étroite.

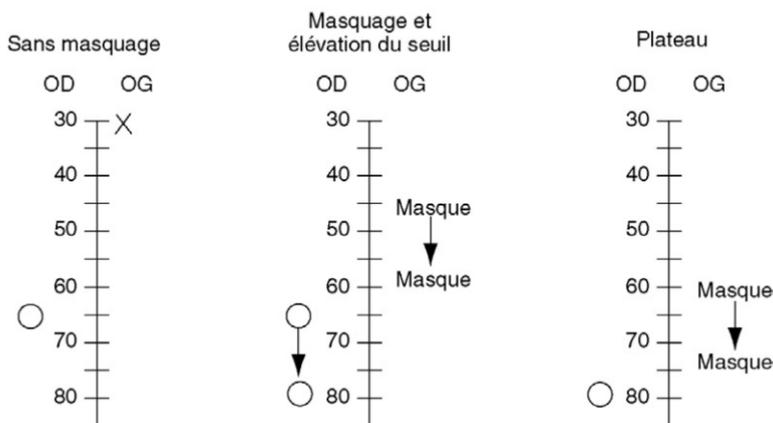


Figure 2.16

Exemple de détermination des seuils en CA de l'oreille droite pour la fréquence 2000 Hz.

Le seuil de perception aérien de l'oreille gauche est de 30 dB ; celui de l'oreille droite est de 65 dB sans aucun masquage. On délivre 65 dB à l'oreille droite. On masque l'oreille gauche en commençant par une intensité de 30 dB et en augmentant progressivement jusqu'à la disparition du son-test. Dans le cas présent, le son-test disparaît pour une valeur de masque de 45 dB. Cela signifie que la réponse était due à la cochlée de l'oreille masquée. On augmente alors de 5 dB l'intensité du son-test qui disparaît de nouveau avec un masque de 50 dB. Et ainsi de suite jusqu'à ce que le son-test délivré à une intensité de 80 dB ne disparaisse plus malgré l'augmentation de l'intensité de masque à 60 dB, 65 dB, 70 dB puis 75 dB. On est donc au niveau du plateau et le seuil aérien de l'oreille droite est de 80 dB.

Par ailleurs, la méthode est trop approximative si la meilleure oreille a un niveau d'audition aérienne plus bas que 50 dB. Dans ces cas, il faut déterminer le seuil osseux global ; il va donner le Rinne maximal de la meilleure oreille et permettre de masquer selon les techniques décrites dans le chapitre précédent.

Détermination des seuils osseux

Les seuils aériens sont connus.

L'ossivibrateur qui délivre le son-test est placé sur la mastoïde de l'oreille testée, et l'écouteur qui délivre le masque est posé sur l'oreille controlatérale non testée.

Procédure

1. On délivre à l'oreille testée par voie osseuse l'intensité minimale perçue sans masquage. La question posée est de savoir si c'est bien l'oreille testée qui perçoit le son.

2. Le masquage controlatéral est d'abord réglé au niveau du seuil aérien de cette oreille masquée.

3. Puis l'intensité du masquage est progressivement augmentée pour faire disparaître le son-test. Deux possibilités se présentent.

a. *Ce son-test disparaît après une faible augmentation de l'intensité de masquage au-dessus du seuil aérien.* On augmente alors de 5 dB l'intensité du son-test. De nouveau, il suffit d'une augmentation de 5 dB de masquage pour faire disparaître le son-test. On se trouve alors sur la première phase ascendante de la courbe. On répète la procédure jusqu'au moment où le son-test reste perceptible, même si on a augmenté le masque de plus de 10 dB. On est alors au niveau du plateau qui correspond au seuil osseux de l'oreille testée.

b. *Le son-test persiste malgré une augmentation importante de l'intensité de masquage, nettement supérieure à celle de la valeur de masque, mais inférieure à la valeur de l'intensité retentissante.* Le son-test est bien perçu par l'oreille testée, et on se trouve au niveau du plateau de la courbe (figures 2.17 et 2.18).

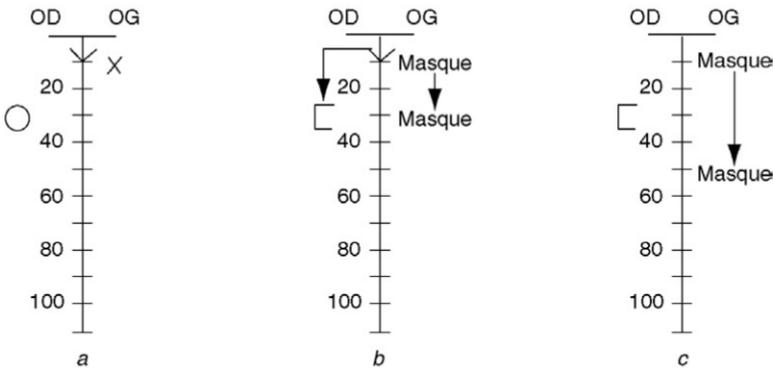


Figure 2.17

Exemple de détermination des seuils en CO de l'oreille droite pour la fréquence 1000 Hz. Les seuils aériens sont de 30 dB à droite et 10 dB à gauche. L'ossivibrateur est placé sur la mastoïde droite et l'écouteur sur l'oreille gauche. La difficulté est de savoir quelle est l'oreille qui entend l'ossivibrateur. On délivre alors un son masquant à gauche par voie aérienne en augmentant progressivement son intensité.

Dans notre exemple, l'augmentation par pas de 5 dB du masque jusqu'à 30 dB entraîne une élévation progressive du seuil de perception du son-test à 30 dB. C'est donc l'oreille masquée qui percevait le son-test. On se trouve donc sur la première phase ascendante de la courbe (1). Lorsqu'on augmente l'intensité du masque, le son-test est toujours perçu à 30 dB et cela jusqu'à 50 dB de masque. On est donc au plateau qui correspond au seuil de l'oreille testée, c'est-à-dire 30 dB (2). Au-delà de 50 dB de masque, le seuil du son-test augmente de nouveau car le masquage est retentissant ; c'est la deuxième phase ascendante de la courbe (3). Il existe donc une surdité de perception de 30 dB à droite (voir la figure 2.18).

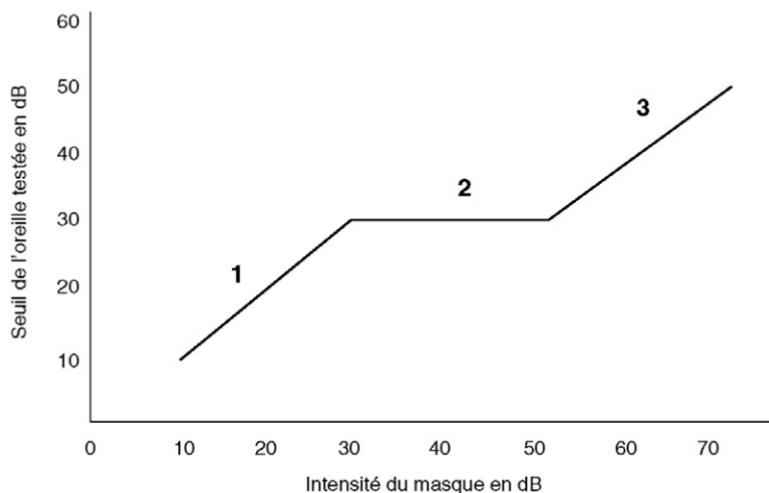


Figure 2.18

Recherche de la CO par la méthode du plateau.

Illustration de l'exemple de la figure 2.16.

À retenir

Lorsque la CA est établie avec certitude, au cours de la recherche de la CO, l'erreur de masquage risque de provoquer :

- une fausse transmission en cas de masquage insuffisant ;
- une fausse perception en cas de masquage trop fort.

Aussi faut-il s'interroger, surtout devant la moindre discordance avec les données de l'acoumétrie et de la tympanométrie :

- devant toute surdité de transmission, sur un masquage insuffisant ;
- devant une surdité de perception, sur un masquage retentissant.

Conclusion

Malgré des techniques de masquage bien utilisées, il est parfois difficile de préciser exactement le seuil en CO, notamment en cas d'importante surdité mixte bilatérale, tel qu'on peut l'observer dans l'otospongiose.

Pour poser l'indication opératoire, le recours à l'acoumétrie au diapason est parfois décisif (cf. Test de la conduction chondrale, p. 9).

Après l'opération, on a alors parfois la surprise de voir les seuils en CO remonter considérablement. Un tel constat traduit simplement que la courbe osseuse était anormalement abaissée par le masquage.

Masquage par voie osseuse

Il se trouve certaines situations où l'importance de la surdité de l'oreille opposée à celle qu'on veut tester ne permet pas de recourir à un masquage par voie aérienne controlatérale sans retentir sur l'oreille testée. Il est alors possible de recourir à un masquage par voie osseuse en plaçant le vibreur soit au niveau de la mastoïde de l'oreille testée (masquage ipsilatéral), c'est le test de Rainville, soit en mettant le vibreur sur le front (*sensorineural acuity level* [SAL] test).

Test de Rainville

Intérêt

Ce test, décrit en 1959 par Maurice Rainville, permet la recherche des seuils en CO, lorsqu'il est impossible de masquer sans retentissement l'oreille controlatérale, et que l'on est sûr de l'exactitude de la voie aérienne du côté testé.

Principe

Cette technique consiste à rechercher le niveau de masquage nécessaire par voie osseuse pour faire disparaître le son obtenu au seuil par voie aérienne sur la même oreille.

À l'opposé de la méthode décrite précédemment, le masquage est donc réalisé :

- sur l'oreille interrogée ;
- par voie osseuse.

Ce qu'il faut comprendre

Le masquage doit se faire avec un bruit à bande étroite de préférence à un bruit blanc.

Il est impératif, si l'intensité du masquage par voie osseuse n'est pas donnée en valeur efficace de masque, de commencer par déterminer la valeur de masque pour l'audiomètre utilisé, pour chaque fréquence, sur des oreilles normales :

- le niveau de bruit Ba nécessaire par voie aérienne pour masquer le seuil aérien Sa de cette oreille : $Ba - Sa = Vm1$;
- le niveau de bruit Bo nécessaire par voie osseuse pour masquer le seuil osseux So de cette oreille : $Bo - So = Vm2$.

Les valeurs de $Vm1$ (figure 2.19a) et $Vm2$ (figure 2.19b) sont équivalentes, car le niveau de bruit nécessaire pour masquer un son pur d'intensité déterminée est le même que le son et le bruit soient conduits à l'oreille par voie aérienne ou par voie osseuse.

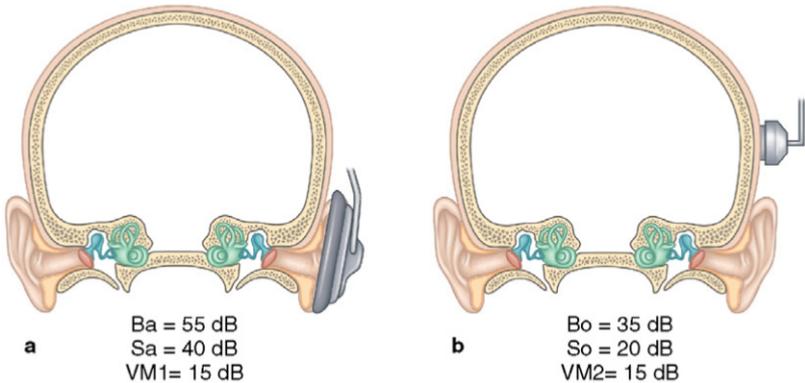


Figure 2.19

Exemple de détermination de la valeur de masque pour la CO.

Au seuil (Sa ou So), la même énergie sonore arrive à la cochlée, que le son soit conduit à l'oreille par voie aérienne ou par voie osseuse.

Cette énergie sonore perçue au seuil peut être masquée :

- soit par un bruit osseux Bo ;
- soit par un bruit aérien Ba .

On peut donc masquer indifféremment le seuil aérien par un bruit aérien ou par un bruit osseux.

Ainsi, si Bo est le bruit nécessaire par voie osseuse pour masquer So , Bo sera également le bruit nécessaire par voie osseuse pour masquer Sa .

On va donc déterminer Sa , puis l'on va rechercher Bo , le bruit nécessaire par voie osseuse pour masquer Sa . On pourra alors déduire le seuil osseux en utilisant la formule :

$$Bo - So = Vm$$

$$\text{D'où : } So = Bo - Vm$$

En pratique

Ce test est intéressant à utiliser dès que le masquage de l'oreille contrôlatérale, pour la recherche du seuil CO, ne peut être à la fois efficace et non retentissant, c'est-à-dire en fait quand le Rinne de l'oreille masqué est supérieur à 50 dB. La valeur de masque est en moyenne de 15 à 20 dB.

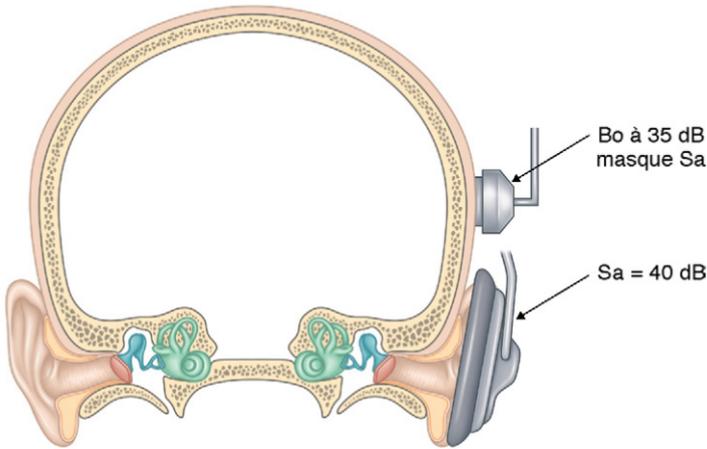
On recherche le seuil aérien Sa avec un son pulsé pour mieux l'identifier. Puis on laisse le seuil Sa en son pulsé dans l'écouteur, et on introduit un bruit dans le vibreur afin de masquer le son Sa . On détermine ainsi Bo .

On peut alors calculer le seuil osseux : $So = Bo - Vm$ (figure 2.20).

Remarques

En raison de l'effet d'occlusion du conduit dû à l'écouteur, pour les fréquences graves de 250 à 1000 Hz, en l'absence de surdité de transmission de l'oreille testée, le seuil osseux correspond en fait à un seuil en CO absolue (cf. Transfert crânien, p. 216).

La limite du test de Rainville est liée à l'exactitude du seuil par voie aérienne, ce qui peut soulever des difficultés en cas de surdité de transmission bilatérale importante.



Si VM = 15 dB le seuil osseux (absolu)
So sera de $35 - 15 = 20$ dB

Figure 2.20

Exemple de détermination du seuil (S_o) de la CO avec un seuil aérien à 40 dB du même côté. Test de Rainville.

Un son pulsé de 40 dB est appliqué par voie aérienne, puis on recherche par voie osseuse l'intensité minimale en bande étroite du bruit de masque qui fait disparaître le son pulsé. Si la disposition se produit à 35 dB par voie osseuse (Bo) et que la valeur de masque connue est de 15 dB, le seuil de la CO correspond alors à $35 - 15 = 20$ dB. Il s'agit de la CO absolue (cf. Transfert crânien, p. 216). Le test est plus facilement réalisé si l'on ajoute 5 dB au seuil aérien (on retire alors 5 dB au résultat obtenu).

SAL test

Ce test SAL (*sensorineural acuity level*), décrit en 1963 par Jerger, est une variante du test de Rainville.

Dans un premier temps, les seuils aériens sont précisés, S_a . Le test proprement dit consiste à placer le vibreur sur le front, à laisser l'intensité

maximale du bruit de masque (bande étroite) en permanence et à préciser les courbes aériennes obtenues dans cette nouvelle condition, *Sam*. Pour obtenir la valeur de la CO, il suffit de soustraire l'écart entre les deux valeurs *Sa* et *Sam* de la valeur de masque dans cette situation chez un sujet normal. La valeur obtenue correspond à une CO avec obturation.

Cet examen présuppose que la valeur du masquage ainsi provoqué a été précisée antérieurement dans un groupe de sujets normo-entendants. Si, par exemple, ce masquage fait passer le seuil, pour une fréquence donnée, de 0 dB à 45 dB, il suffit de soustraire à 45 dB la différence des valeurs trouvées en CO sans et avec masque.

On peut reprendre le raisonnement de façon différente en conservant 45 dB pour la valeur de masquage supposée. Si, pour une oreille normale, le masquage abaisse le seuil aérien de 45 dB, et que pour l'oreille testée, il ne l'abaisse par exemple que de 25 dB, ceci signifie que l'oreille testée est moins influencée par le masquage, et que la véritable *So* est de (45 - 25) dB, soit 30 dB.

On peut donc retenir la formule suivante : le seuil de CO (*So*) est égal à la valeur de masquage (*Vm*) [déterminée préalablement sur un groupe normo-entendant] moins la différence entre la CO avec masque (*Sam*) et la CO sans masque (*Sa*) de l'oreille testée, soit :

$$So = Vm - (Sam - Sa).$$

Exemple

Un patient a une surdité bilatérale avec une courbe aérienne où la perte sur le 1000 Hz est de 45 dB des deux côtés, avec manifestement une atteinte transmissionnelle associée. Quelle est la valeur de la CO du côté droit sur le 1000 Hz ?

1. Sur un sujet dont l'audition a été vérifiée normale, ou du moins sans atteinte transmissionnelle, on met les deux écouteurs sur les oreilles, et le vibreur sur le front. Le seuil aérien est recherché sur une oreille, en son pulsé, soit par exemple 5 dB de perte (qui en fait n'entre pas en compte). Puis on masque ce seuil par voie osseuse avec un bruit (bande étroite) en stimulant avec le maximum, soit 70 dB. On recherche l'intensité nécessaire qu'il faut envoyer dans l'écouteur pour que, de nouveau, le son pulsé soit entendu, soit par exemple 50 dB. On en tire comme conclusion que ce bruit de masque, à cette intensité de 70 dB, a une valeur de masque de 50 dB.

2. Pour le patient à explorer, on établit le même dispositif avec, là aussi, un bruit de masque en CO de 70 dB. Si son seuil, trouvé précédemment à 45 dB, passe à 75 dB, on peut en déduire que le masquage n'a été efficace que pour (75 - 45) = 30 dB, soit 20 dB de moins que pour l'oreille du sujet témoin.

Conclusion : la CO de l'oreille explorée sur le 1000 Hz a une perte de 20 dB.

Cette valeur de masque est établie une fois pour toutes dans les mêmes conditions.

Limites de ce test

En cas d'atteinte transmissionnelle importante, la CO émergeant du bruit de masque devient trop élevée.

La forte intensité du masquage peut faire intervenir le recrutement et modifier le résultat.

Enfin, comme pour le test de Rainville, il fait intervenir la CO absolue dans la détermination de la valeur de masque. Or, la CO d'une surdité de transmission ou d'une surdité mixte n'est pas influencée par l'obturation du conduit. Il faut donc diminuer d'autant de la valeur de masque la majoration entraînée par l'obturation du conduit (CO absolue – CO relative) [cf. Transfert crânien, p. 216].

Conclusion

L'audiométrie tonale liminaire est loin de constituer un examen facile. De nombreuses erreurs sont liées à des difficultés de masquage. Il est important d'y penser en permanence et de ne jamais oublier les principaux pièges de l'audiométrie (cf. chapitre 9). Au terme de l'examen tonal liminaire, on a pu déterminer la CO et la CA, et classer ainsi l'audition dans une des grandes catégories suivantes : audition normale ou subnormale, surdité de transmission, surdité de perception, surdité mixte (figure 2.21). Cette audiométrie tonale liminaire permet aussi, dans une certaine mesure, de quantifier l'importance de la surdité (cf. p. 61).

Audiométrie supraliminaire

Alors que l'audiométrie tonale liminaire se contente de préciser le seuil d'audition et n'offre guère de choix dans sa réalisation, l'audiométrie tonale supraliminaire a pour but d'étudier la capacité de l'oreille à réaliser une analyse dynamique du message sonore. Elle permet d'analyser la sélectivité temporelle, la sélectivité fréquentielle, et la capacité d'adaptation dynamique. Les altérations de ces capacités, intimement liées au niveau de l'oreille, entraînent des distorsions retentissant sur la compréhension de la parole, en particulier dans le bruit.

En pratique clinique, ce sont essentiellement les tests qui aident à localiser le niveau d'atteinte de l'oreille devant une surdité, en particulier pour essayer de savoir si elle se situe au niveau de l'oreille interne ou sur les voies nerveuses. De nombreux tests ont été décrits mais parmi eux émergent

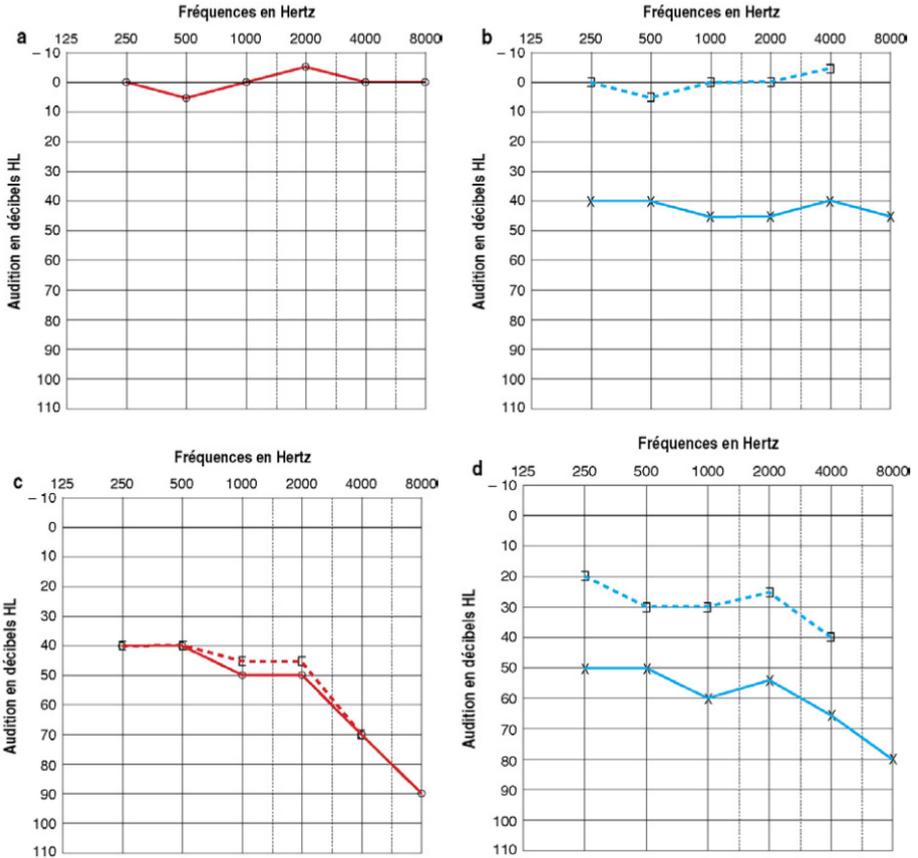


Figure 2.21

Les différents types de surdité en audiométrie tonale liminaire.

a. Audition normale : une différence de 5 dB ne peut être considérée comme pathologique mais liée à l'attention du testé, à la technique du testeur, à l'appareillage, à l'isolement de la cabine, à la position de l'écouteur sur l'oreille (il est donc aberrant de vouloir donner des résultats à 1 dB près).

b. Surdité de transmission : elle traduit une atteinte du système tympano-ossiculaire ou une obturation du conduit auditif externe. Elle est caractérisée par une CO normale et un abaissement de la CA : $CO = N$.

Le Rinne audiométrique est l'écart $CO - CA$. (Symboles audiométriques d'oreille gauche)

c. Surdité de perception (ou neurosensorielle) : elle traduit une atteinte de la cochlée ou des voies nerveuses auditives. Elle est caractérisée par un abaissement identique de CO et CA.

$CO \downarrow$ et $CA \downarrow$

$CO = CA$

(Symboles audiométriques d'oreille droite)

d. Surdité mixte : elle est caractérisée par un abaissement plus important de la CA que de la CO.

$CO \downarrow$ et $CA \downarrow$

$CO > CA$

ceux qui permettent de mettre en évidence un recrutement, en faveur de l'origine endocochléaire d'une surdité, et ceux qui révèlent une adaptation pathologique, en faveur d'une atteinte rétrocochléaire.

Parmi les tests de recherche du recrutement, il importe de bien connaître *le test de Fowler*, car c'est en fait le seul test qui corresponde exactement à la définition du recrutement. Il a été décrit par en 1936 sous le nom de ABLB (*alternate binaural loudness balance*). D'autres tests, tels que le SISI-test (*short increment sensitivity index*), ne donnent qu'un reflet du recrutement et ont perdu beaucoup de leur intérêt depuis l'av nement des PEA, car ils avaient surtout comme mérite d'aider à construire un faisceau d'arguments pour rechercher ou éliminer un neurinome du VIII. Un très bon reflet du recrutement est fourni par le *test de Metz* en impédancemétrie (cf. Atteinte de l'oreille interne, p. 98). Quant au *tone decay test* (décrit par Carhart en 1957), il permet d'illustrer l'adaptation pathologique dont la connaissance aide à mieux comprendre certaines altérations audiométriques provoquées par une atteinte rétrocochléaire.

Les audioprothésistes recherchent le seuil subjectif d'inconfort (ou SSI). Le SSI est le seuil auquel une personne perçoit un son comme étant inconfortable. Parallèlement à la détermination des seuils d'audition d'un patient, la connaissance de son niveau inconfortable donne une indication sur le champ audible total, plus communément appelé le champ dynamique. La détermination du SSI importe en fait peu dans la démarche diagnostique.

Seuil subjectif d'inconfort

C'est en fait l'estimation du début d'inconfort ressenti par le patient, et non pas la recherche de seuil douloureux. Il existe plusieurs procédures pour le déterminer. On l'estime dès que le son, en intensité croissant de 5 en 5 dB à partir d'environ 80 dB, déclenche une modification du comportement, particulièrement du faciès. Ce seuil se recherche soit au casque soit en champ diffus, habituellement avec un son vobulé ou pulsé. Cette recherche va de pair avec la détermination du *seuil subjectif de confort*, « ni trop faible, ni trop fort », qui donne le reflet du champ dynamique, type niveau d'écoute de la télévision. Pour établir ce seuil, le patient dispose d'un curseur de commande gradué en plusieurs niveaux. Ces notions sont très importantes pour l'adaptation prothétique. Cette mesure permet d'évaluer le champ dynamique résiduel pour chaque patient, et ainsi de limiter le niveau de sortie des aides auditives sur la base de mesures effectives. Lorsque le gain prothétique est calculé, notamment en fonction de l'ensemble des seuils relevés, la mesure de l'inconfort des patients apporte des différences dans le réglage des aides auditives : un abaissement du gain des sons forts (G80) et un abaissement de la limite de sortie de l'appareil (MPO) engendrent des taux de compression différents. Le patient sera moins g n  dans le bruit ambiant et en présence

de sons forts. En revanche, le niveau des sons faibles (G40) et l'expansion (TK : amplification des sons très faibles) ne sont pas modifiés, ce qui est assez logique.

Test de balance de Fowler

Ce test met en évidence le *recrutement* qui est une distorsion d'intensité. À intensité égale, le patient perçoit du côté de l'oreille qui recrute une impression d'intensité plus forte. L'oreille qui recrute perçoit un son plus fort. Elle est également capable de percevoir de plus petites différences d'intensité. Le recrutement traduit une atteinte de l'oreille interne ; c'est donc un signe de surdité endolabyrinthique.

Le test de balance de Fowler ne peut être réalisé qu'en cas de surdité à prédominance unilatérale.

Principe du test

Un son de même fréquence étant transmis en alternance dans les deux écouteurs, on recherche pour une intensité donnée dans l'oreille saine une sensation d'égale intensité dans l'oreille malade. Le test est renouvelé en augmentant progressivement l'intensité dans l'oreille saine. Si l'oreille malade recrute, l'augmentation d'intensité nécessaire à l'égalisation des sensations sonores dans cette oreille sera inférieure à l'augmentation d'intensité dans l'oreille saine.

Technique

Chez un patient présentant, par exemple, une surdité de perception gauche avec une audition normale à droite, on envoie dans l'écouteur droit un son de 10 dB ; puis on recherche pour un son de même fréquence transmis dans l'écouteur gauche l'intensité qui, pour le patient, sera équivalente aux 10 dB du côté droit. On renouvelle le test en transmettant un son de 20 dB du côté droit, et ainsi de suite jusqu'à 90 dB.

Cette recherche peut être réalisée à toutes les fréquences où la différence entre le seuil osseux de l'oreille testée et celui de l'oreille controlatérale est supérieure à 15 dB et inférieure à 60 dB.

Résultats

Ils sont notés sur un graphique indépendant de l'audiogramme (figure 2.22), portant en abscisse les intensités en décibels de l'oreille gauche, et en ordonnée les intensités de l'oreille droite.

On reporte sur le graphique le point correspondant à une sensation d'égale intensité sonore entre les deux oreilles. Les différents points obtenus sont reliés entre eux, dessinant une ligne plus ou moins droite.

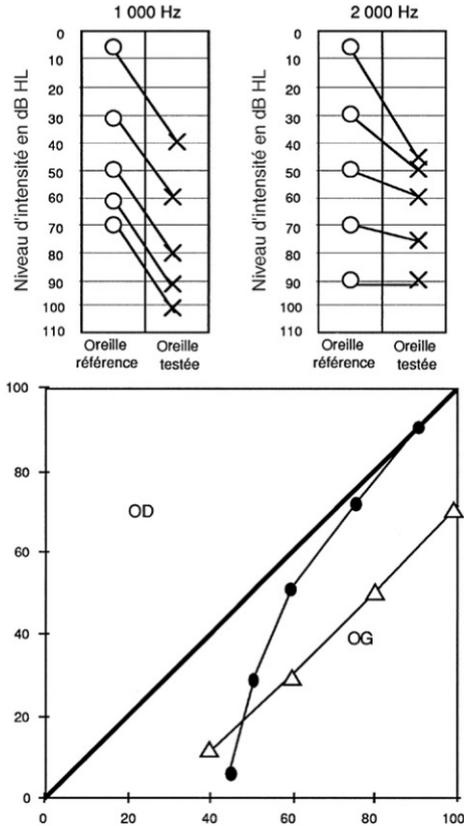


Figure 2.22

Différents types de représentation des résultats du test de Fowler.

Exemples : absence de recrutement sur le 1000 Hz, important recrutement sur le 2000 Hz
(Δ : 1000 Hz, \bullet : 2000 Hz).

Seuil d'audition en dB HL

En l'absence de recrutement, la ligne est parallèle à la diagonale du graphique.

En cas de recrutement, la ligne rejoint la diagonale. On parle de :

- recrutement incomplet, si elle se rapproche de la diagonale sans la toucher ;
- recrutement complet, si elle la rejoint ;
- sur-recrutement, si elle la traverse.

Ce test peut être réalisé à différentes fréquences. Il suffit d'utiliser sur le graphique une couleur différente, en fonction de la fréquence testée.

Le test de Fowler est le seul qui réponde à la définition du recrutement. Les autres tests tels que le test de Lüscher (cf. p. 223) ou le SISI-test n'en sont que des témoins indirects.

SISI-test (*short increment sensitivity index*)

Ce test consiste à faire entendre, pendant 2 minutes, un son pur continu à 20 dB SPL (et non pas HL) au-dessus du seuil, en augmentant son intensité toutes les 5 secondes de 1 dB pendant 0,2 seconde. Il est important de commencer par familiariser le patient avec les modalités du test.

Le sujet doit signaler chaque fois qu'il perçoit cette augmentation d'intensité. Le test comporte 20 stimulations. Il s'effectue aux fréquences 500, 1000, 2000 et 4000 Hz. Lorsqu'il y a une différence de plus de 40 dB avec la CO de l'autre oreille, un masquage est indispensable. Les audiomètres comportent habituellement un dispositif pour réaliser ce test.

Résultats

Si plus de 60 % des augmentations d'intensité sont perçues, le test est dit positif.

S'il y en a moins de 20 %, le test est dit négatif.

Entre les deux, le résultat est douteux.

Interprétation

Lorsque ce test est positif, il plaide pour une pathologie endocochléaire, sans qu'on puisse l'attribuer au seul recrutement.

Tone decay test

Plusieurs tests d'adaptation ont été décrits. Ils ont perdu beaucoup de leur intérêt. Mais la connaissance du principe sur lequel ils reposent permet de mieux comprendre certaines anomalies de l'audiométrie quotidienne. Le plus ancien est le « *tone decay test* » décrit par Carhart en 1957.

Principe

Ce *tone decay test* consiste à faire entendre un son continu juste au-dessus du seuil et à rechercher si le son est longtemps perçu ou s'il est nécessaire d'augmenter progressivement l'intensité du son pour que son audition soit maintenue. Une importante dégradation du seuil traduit une *adaptation pathologique*, à distinguer d'une simple fatigabilité, très peu modifiée par l'arrêt momentané de la stimulation.

La *fatigue à long terme*, ou à haut niveau d'exposition, provoque une élévation temporaire du seuil pour les sons faibles et moyens, de quelques

minutes à quelques jours. Mais on peut aussi observer une *fatigue à court terme*, ou à bas niveau d'exposition, qui atteindrait son maximum après 1 minute et serait achevée en moins de 2 minutes.

L'adaptation, phénomène physiologique, s'étudie à fortes intensités avec un son pulsé et un son continu. En clinique, l'adaptation pathologique se recherche juste au-dessus du seuil.

Réalisation

Le test décrit initialement par Carhart s'effectue aux fréquences 2000, 1000 et 500 Hz, en *son continu* par voie aérienne, avec un chronomètre, souvent intégré dans l'audiomètre. On commence par déterminer le seuil aérien ; puis on envoie le son 5 dB au-dessus de ce seuil et le temps de perception à cette intensité est noté. À chaque fois que le testé signale ne plus entendre, on augmente de 5 dB et on recommence à chronométrer. On poursuit ainsi, sans jamais l'interrompre, la stimulation au seuil jusqu'à ce que le patient entende pendant 60 secondes le seuil sans dégradation. Mais ce test ainsi réalisé se montre fatigant.

Plusieurs modifications ont été apportées. Rosenberg a simplifié ce *tone decay test* en le réalisant en 60 secondes, augmentant de 5 dB à chaque fois que le patient signale qu'il n'entend plus. L'écart trouvé entre l'intensité initiale et l'intensité après 60 secondes traduit l'importance de l'adaptation. *Une adaptation de plus de 30 dB en 60 secondes témoigne d'une atteinte rétrocochléaire.*

Enfin, plus simplement, Jerger a proposé en 1975 un test d'adaptation supraliminaire et non plus au seuil (Supra Threshold Adaptation Test) dont le protocole est très simple. On présente au patient, du côté exploré, un *son continu* (500, 1000 ou 2000 Hz) à 100 dB HL pendant 60 secondes, et un *bruit blanc* de 70 dB dans l'autre oreille. On demande au sujet de laisser le bras levé tant qu'il perçoit le son, et de l'abaisser quand il n'entend plus. Si le son n'est plus audible à la fin des 60 secondes, le test est dit positif et traduirait une atteinte rétrolabyrinthique. Pour s'assurer que les consignes ont été bien comprises, on peut répéter le test avec un son pulsé qui ne doit s'accompagner d'aucune dégradation du seuil.

Conclusion

L'étude de l'adaptation en clinique ne présente plus guère d'intérêt diagnostique actuellement, depuis que les PEA permettent d'identifier beaucoup plus facilement les atteintes rétrolabyrinthiques. Cependant, la connaissance de ce phénomène d'adaptation permet de mieux comprendre certaines anomalies trouvées en audiométrie classique, tonale et vocale, et de pouvoir être plus facilement alerté, par exemple, devant une difficulté à préciser un seuil. Cette adaptation pathologique explique aussi l'écart entre courbe en son continu et en son pulsé en audiométrie automatique.

Audiométrie automatique

En 1947, Georg von Bekesy a proposé un nouvel audiomètre permettant aux patients hypoacousiques d'établir eux-mêmes leur seuil d'audition pour une fréquence lentement variable. L'intensité de l'appareil est réglée par le patient qui agit lui-même sur une commande. On lui demande d'appuyer sur le commutateur chaque fois qu'il entend un son. Ce commutateur agit automatiquement sur un atténuateur qui réduit le son jusqu'à devenir infraliminaire. Quand le patient n'entend plus le son, il relâche la commande, ce qui entraîne automatiquement l'augmentation d'intensité. Un tel appareil est dit « à fréquences glissantes ». Bekesy a pu montrer que ce type d'audiométrie permettait non seulement d'étudier le seuil d'audition, mais mettait aussi en valeur le recrutement.

Seuil d'audition en audiométrie automatique à fréquences glissantes

L'audiomètre automatique a un moteur qui agit en permanence sur l'atténuateur, avec habituellement une modification de 2,5 dB HL/s. Toutes les fréquences sont donc explorées progressivement, à raison de 10 à 40 secondes par octave (30 paraît une bonne valeur). L'appareil entraîne aussi un système d'enregistrement des modifications d'intensité.

La courbe obtenue oscille autour d'une valeur moyenne qui peut être considérée comme le seuil d'audition. L'écart moyen entre les pointes supérieures et inférieures, ou crêtes et creux, est de l'ordre de 10 dB. Au-delà, le seuil est moins fiable. Une amplitude de 3 à 5 dB traduit un recrutement. L'examen peut être réalisé avec un son continu ou un son pulsé (2,5 coupures par seconde).

En 1960, Jerger a classé les divers types d'audiogrammes rencontrés, comportant la comparaison d'un enregistrement en son continu (C) et d'un enregistrement en son pulsé (P). Il a identifié cinq types :

1. type 1 : C et P superposables : audition normale ou surdité de transmission ;
2. type 2 : C et P superposables jusqu'à 1000 Hz ; puis la courbe C baisse plus que la P, témoignant d'un recrutement. L'exemple en est la maladie de Menière ;
3. type 3 : C s'éloigne rapidement de P et s'effondre. Un tel écart témoigne d'une atteinte rétrocochléaire (par exemple le neurinome) ;
4. type 4 : C et P sont d'emblée très éloignés. Cet aspect a la même signification que le type 3.

Un type 5 a été ajouté ultérieurement. Il associe une courbe continue meilleure que la courbe pulsée. *C'est un excellent signe de simulation.*

Cette audiométrie automatique à fréquences glissantes a constitué un atout considérable pour le dépistage des lésions rétrolabyrinthiques. L'apport des PEA en a beaucoup diminué l'intérêt, probablement du fait des difficultés technologiques et du coût.

Pour une audiométrie de contrôle, lorsqu'on veut calculer le seuil par octave, on utilise les crêtes et creux situés dans les deux tiers d'octave qui entourent la fréquence, et on en fait la moyenne de la même façon que pour la méthode suivante (figure 2.23).

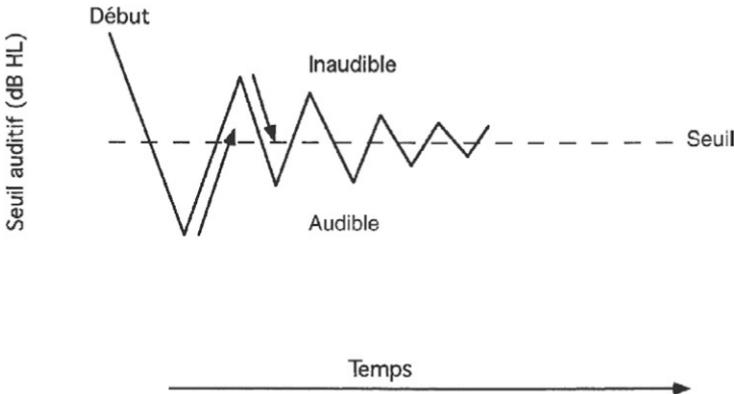


Figure 2.23
Principe de l'audiométrie automatique.

Seuil d'audition en audiométrie automatique à fréquences fixes

Cette technique est très utilisée dans certains pays pour le dépistage. La norme ISO 8253-1 en définit les modalités d'utilisation, tout comme, d'ailleurs, pour l'audiométrie à balayage de fréquences.

Elle est basée sur le même principe du contrôle de l'intensité par le patient. L'appareil émet des sons à des fréquences définies à partir de 250 Hz, en augmentant progressivement le niveau sonore depuis -10 dB, jusqu'à ce que le son soit perçu. Après plusieurs excursions, une temporisation fait passer à la fréquence suivante. On utilise le plus souvent un son pulsé.

Un audiogramme particulier est adapté à ce type d'examen. Il faut savoir rejeter les erreurs de manipulation, notamment les amplitudes anormalement grandes ou petites (inférieures à 3 dB). L'interprétation est visuelle ou calculée.

Pour le calcul, la norme ISO 8253 précise que le niveau liminaire d'audition est déterminé à partir du tracé en faisant la moyenne des trois crêtes et celle des trois creux les plus proches de la fréquence en question. La moyenne des moyennes, arrondie au décibel entier, est considérée comme le niveau liminaire d'audition.

Cette méthode est rapide et permet habituellement d'explorer les deux oreilles en moins de 10 minutes (figure 2.24).

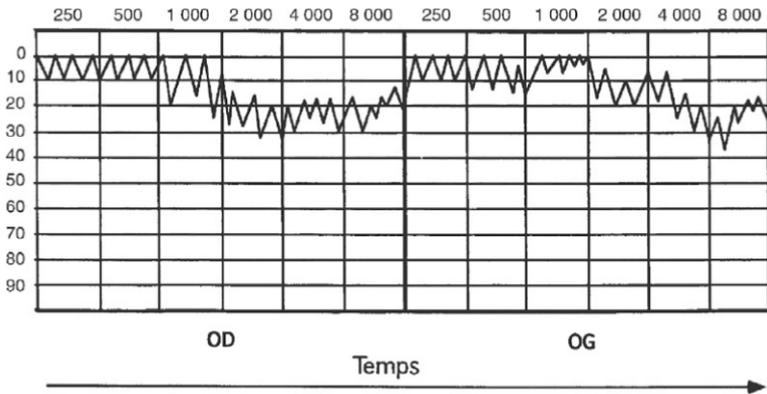


Figure 2.24

Principe de l'audiométrie automatique à fréquences fixes.

Seuil d'audition en audiométrie par balayage fréquentiel asservi à niveau constant

Inventée par Christian Meyer-Bisch, cette méthode a recours à un appareil appelé Audioscan™.

La technique repose sur un balayage fréquentiel (125 à 16 000 Hz) continu à niveau constant. Les plages de fréquences balayées et les niveaux explorés sont commandés automatiquement par un système programmé asservi à la réponse du patient. La logique de la méthode repose sur la détection d'encoches auditives, puis sur leur exploration en fréquence et en intensité (figure 2.25).

On effectue un premier balayage fréquentiel en commençant à 0 dB pour 1000 Hz, puis en glissant vers les hautes puis les basses fréquences, toujours à la même intensité. Le sujet appuie sur le commutateur tant qu'il entend le son, et relâche dès qu'il ne l'entend plus.

Le sujet normo-entendant peut ainsi avoir son audiogramme tracé d'emblée sous forme d'une ligne horizontale, en 1 à 2 minutes.

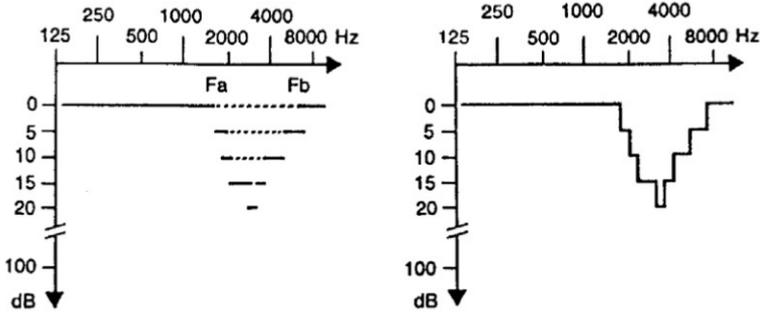


Figure 2.25

Principe de l'audiométrie automatique par balayage fréquentiel asservi à niveau constant. L'audiogramme montre ici un scotome sur le 4000 Hz, très caractéristique d'une origine sonotraumatique.

Document provenant de l'Institut national de recherche et de sécurité

Si une encoche est dépistée, elle est mémorisée par l'appareil qui va alors l'explorer immédiatement, lors du balayage suivant, à un niveau supérieur de 5 dB par rapport à l'exploration précédente. Par itérations successives, l'encoche se trouve dessinée en totalité. Dans ce cas, le temps d'exploration est plus long.

Cette méthode d'audiométrie automatique permet ainsi de détecter toute atteinte du spectre fréquentiel, entre 125 et 16 000 Hz. Elle détecte des pertes auditives localisées non constatées aux fréquences habituelles de l'audiométrie tonale, tout en associant une audiométrie hautes fréquences.

Audiométrie hautes fréquences

C'est la mesure de l'audition des fréquences supérieures à 8000 Hz. Elle permet d'étendre l'exploration du champ auditif sur les fréquences aiguës, et d'étudier le fonctionnement des cellules ciliées de la partie basale de la cochlée.

Matériel

Il existe maintenant une norme qui définit les fréquences dans la gamme 8 à 16 kHz, les zéros d'étalonnage, et la façon d'étalonner les écouteurs avec une oreille artificielle (norme CEI 318). Certains audiomètres cliniques modernes proposent maintenant une extension aux hautes fréquences jusqu'à 10 kHz, mais les fréquences doivent être : 8, 10, 12,5, 14 et 16 kHz.

Il n'existe pas de norme au-delà. L'audiométrie hautes fréquences requiert un matériel spécifique. L'audiomètre doit pouvoir générer des fréquences de 8000 à 20 000 Hz.

Différents types de transducteur existent. Par voie aérienne, il est possible d'utiliser un casque, une sonde auriculaire type « insert », ou de réaliser le test en champ diffus. Écouteur et insert génèrent des ondes stationnaires près du tympan en fonction de la fréquence de stimulation et de la longueur du conduit. Ces inconvénients expliquent en partie les difficultés de calibration des appareils d'audiométrie hautes fréquences.

La voie osseuse peut être aussi utilisée en clinique, en particulier pour l'étude des acouphènes. Les vibrateurs standard ne peuvent pas être utilisés, car d'importantes distorsions apparaissent au-delà de 4000 Hz. Des transducteurs radiofréquences ont été spécialement conçus pour l'audiométrie hautes fréquences.

Déroulement de l'examen

Il a lieu dans une cabine d'audiométrie standardisée, à la suite de l'audiométrie tonale liminaire. Il est important de placer le transducteur dans l'axe du conduit auditif externe s'il s'agit d'un écouteur ou d'un insert. Un son pulsé ou continu peut être utilisé, et il n'y a pas de différence de résultat entre les deux modes de stimulation. La technique de détection des seuils est identique à celle de l'audiométrie tonale liminaire standard.

Intérêt clinique

Compte tenu des difficultés de calibration du matériel et de l'importante variabilité interindividuelle, les applications cliniques de l'audiométrie hautes fréquences restent limitées.

Les résultats doivent être interprétés avec prudence en tenant compte de normes en fonction de l'âge.

Elle paraît utile dans la surveillance de personnes soumises à des traumatismes sonores (bruit industriel, musiciens), ou de patients traités par des médicaments ototoxiques (cisplatine, aminoglycosides).

Quantification de l'audition en audiométrie tonale

Il est souvent demandé de « chiffrer » la surdité. S'il n'est pas possible de quantifier véritablement une audition sur un seul examen tonal, il a été depuis longtemps proposé de calculer des moyennes de perte sur plusieurs fréquences. Un des intérêts de ces moyennes est de permettre de suivre l'évolution de la perte auditive.

La moyenne des fréquences conversationnelles a été la première utilisée. Elle s'effectue avec les fréquences 500, 1000, 2000 Hz.

Puis la fréquence 4000 Hz, qui joue un rôle important dans l'intelligibilité, a été incorporée dans le calcul.

Ce fut d'abord avec *la moyenne pondérée* suivante :

$$\frac{(500 \times 2) + (1000 \times 4) + (2000 \times 3) + 4000 \text{ Hz}}{10} = X \text{ db } 10$$

Depuis 2003, pour donner encore plus d'importance au 4 kHz, le calcul de la perte auditive pour les surdités professionnelles est devenu la simple moyenne arithmétique des seuils tonaux à 0,5, 1, 2 et 4 kHz (cf. p. 238).

Ainsi, on se trouve très loin d'une appréciation globale de l'audition par un pourcentage.

Pour les patients qui souhaitent ardemment un tel pourcentage, la notion de perte moyenne en décibels peut donner une « idée » quantitative du déficit. D'ailleurs, bien souvent, lorsque l'ORL donne le résultat en perte de décibels, le patient retient un pourcentage qui est pour lui beaucoup plus évocateur.

Conclusion

L'audiométrie tonale liminaire est un temps fondamental dans l'exploration de l'audition.

Elle est parfois difficile à réaliser lorsqu'un masquage s'impose.

Elle est insuffisante pour donner la valeur réelle de l'audition, car elle n'explore qu'un seuil.

Aussi importe-t-il de distinguer schématiquement deux circonstances d'examen à but différent :

- l'audiométrie de dépistage et de surveillance, notamment dans le milieu professionnel, où la simple valeur de la CA suffit dans la plupart des cas. Toutefois, les conditions de réalisation n'en doivent pas moins être d'une grande rigueur et identiques lors des examens successifs de surveillance pour déceler précocement une évolutivité anormale (cf. Protections individuelles, p. 240) ;
- l'audiométrie tonale qualitative, dans le cadre d'un examen otologique ou d'une adaptation prothétique. Dans ce cas, l'étude des seuils aériens doit être toujours être complétée par une audiométrie vocale, et parfois par des tests supraliminaires et une audiométrie objective.

3 Audiométrie vocale

Introduction

L'audiométrie¹ vocale étudie l'audition non plus avec des sons purs comme en audiométrie tonale mais avec des phonèmes, des mots ou des phrases. Elle apporte un complément indispensable à l'audiométrie tonale en confirmant les seuils d'audiométrie tonale liminaire et elle peut mettre en évidence des difficultés de discrimination verbale qui n'apparaissent pas sur les résultats de l'audiométrie tonale. C'est un examen global qui teste en réalité une fonction sociale puisqu'il met en cause non seulement l'appareil neurosensoriel de l'audition, mais aussi l'intelligence, la connaissance de la langue, la culture et le pouvoir de suppléance mentale. Cependant, en choisissant bien le matériel phonétique et les conditions d'examen, cette audiométrie vocale permet aussi de différencier les distorsions d'origine endocochléaire des atteintes centrales. Ses résultats constituent alors un appoint de grand intérêt pour l'adaptation prothétique et pour guider la rééducation d'un enfant sourd.

Principes généraux

L'audiométrie vocale est réalisée avec un matériel phonétique adapté aux tests réalisés et aux patients testés, dans des conditions précisées par des normes internationales qui sont mises à jour régulièrement (ISO 8253-3). Cette normalisation n'est pas évidente compte tenu de la grande variété de matériel phonétique utilisé, dans différentes langues et pour des conditions de réalisation variées (audiométrie vocale au casque, en champ diffus, audiométrie dans le bruit, etc.).

Matériel phonétique

On a recours, selon la finalité de l'examen, à :

1 La *speech audiometry* a été développée tardivement par rapport à la tonale, par l'armée américaine, lors de la Deuxième Guerre mondiale, pour aider à la réhabilitation des vétérans déficients auditifs. Elle a été introduite en France au début des années 1950 par J.-E. Fournier sous le nom d'« audiométrie vocale », terme en fait impropre puisqu'elle est basée sur la reconnaissance de la parole

- des *logatomes*, éléments monosyllabiques sans signification, peu utilisés pour l'examen clinique ;
- des *mots monosyllabiques* avec signification (par exemple : bile, cire, dur, lac, soif...), utilisés préférentiellement pour les scores de discrimination ;
- des *mots dissyllabiques* avec signification. Les *spondées*, mots constitués de deux syllabes également accentuées, sont les plus utilisés pour l'étude du seuil d'intelligibilité ;
- des phrases courtes.

Les mots présentés à l'auditeur doivent être phonétiquement équilibrés, avec des phonèmes en proportion sensiblement égale à celle dans laquelle ils sont présents dans les conversations habituelles.

La suppléance mentale intervient de façon croissante en fonction du matériel utilisé ; elle est moindre avec les logatomes et elle est à son maximum avec les phrases. Il importe d'essayer de limiter l'influence de l'intelligence et de la connaissance de la langue.

Mode de présentation du message vocal

La voix enregistrée est préférable à celle de l'opérateur via un microphone. La voix enregistrée sur CD a le double avantage de donner un matériel parfaitement étalonné et de permettre l'examen dans une seule cabine. Elle contribue à éviter certains facteurs propres à l'opérateur qui peuvent influencer sur le taux d'intelligibilité, comme le sexe (la voix des femmes est plus aiguë, celle des hommes est plus riche en harmoniques et donc plus informative), la qualité de la voix, plus ou moins timbrée, l'articulation ou la prononciation des mots. Il existe des enregistrements spécifiques pour l'enfant. Des équipements comme le BioSound-System™ intègrent de très nombreux tests d'audiométrie vocale sans bruit et avec bruit, avec non seulement de nombreuses listes de mots d'audiométrie vocale mais aussi des fichiers d'ambiances sonores. Le système a l'originalité d'apporter une aide au choix et à la réalisation des différents tests.

Ces enregistrements sur CD contiennent aussi :

- un bruit de référence (cf. *speech noise*, p. 68 et *Physioacoustique*, p. 205) pour servir à l'étalonnage de la chaîne d'émission vocale en champ diffus, permettant de régler le gain de l'amplificateur à l'aide d'un sonomètre ;
- des bruits divers : domestiques, animaux, ambiance ;
- des items en ambiance sonore.

Mais cette méthode par enregistrement est rigide et le débit de mot n'est pas toujours bien adapté au patient.

La voix de l'opérateur à l'aide d'un microphone nécessite un vumètre pour contrôler l'intensité vocale. Elle donne beaucoup plus de souplesse à l'examen, qui peut ainsi être plus rapide ; elle s'impose souvent chez l'enfant. Elle nécessite que l'opérateur se situe à l'extérieur de la cabine, de préférence dans une autre cabine, en s'arrangeant pour que le patient ne puisse pas lire sur ses lèvres sauf dans le cas particulier de tests associant une épreuve d'intelligibilité et la lecture labiale. Elle impose :

- de parler de façon claire et habituelle ;
- en utilisant des listes de mots normalisées et non pas récitées de mémoire ;
- avec une accentuation et une intonation naturelles ;
- et avec un débit vocal régulier et contrôlé.

Pour les spondées, il importe d'avoir la même intensité contrôlée au vumètre pour chacune des deux syllabes.

La distance locuteur-microphone doit être maintenue constante.

Audiomètre

Par convention, le 0 dB HL (*hearing level*) se définit par les réponses correctes de 50 % des mots. L'intensité du message vocal varie selon le type de stimulus utilisé. Ce 0 dB HL correspond à un niveau de pression sonore de 19 ou 20 dB SPL (*sound pressure level*) pour les spondées selon le type d'écouteur. Il correspond à 27 ou 33 dB SPL selon l'écouteur pour les mots monosyllabiques. En pratique, l'audiomètre est calibré en décibels SPL avec un bruit blanc. Un facteur de correction doit être effectué directement sur l'audiomètre ; aucune correction supplémentaire n'a besoin d'être réalisée. Ainsi, les appareils sont étalonnés de telle façon qu'un sujet jeune normal a, théoriquement, un seuil tonal très voisin du seuil vocal.

Stimulation acoustique

L'examen au casque étudie séparément chaque oreille. C'est l'examen de base qui permet de tester une oreille puis l'autre.

L'audiométrie vocale en champ diffus avec des haut-parleurs est intéressante dans certaines circonstances, telles l'évaluation d'une prothèse auditive ou chez les jeunes enfants. La norme concernant l'audiométrie en champ diffus recommande d'installer un haut-parleur en position frontale par rapport à l'auditeur, avec un angle d'incidence de 0°. Il importe alors de réaliser en premier un examen sans prothèse ; puis, exactement dans les mêmes conditions, un nouvel examen est effectué avec l'aide auditive, ce qui permet d'en apprécier le bénéfice.

Pour l'audiométrie vocale monaurale en champ diffus, le contrôle de l'autre oreille par un masquage éventuel repose sur les mêmes principes qu'en tonale (cf. Audiométrie tonale, p. 28).

Enfin, cette audiométrie vocale peut être effectuée avec un vibreur.

L'enfant accepte parfois mieux le vibreur que le casque. De même, l'étude de la conduction osseuse avec masquage se trouve parfois plus facile à réaliser avec des mots.

Chez l'adulte, en cas de surdité mixte où le seuil osseux est difficile à établir et se trouve souvent anormalement abaissé par un masquage retentissant, il peut être intéressant d'établir un *seuil osseux en audiométrie vocale*, donnant ainsi une idée sur la valeur d'au moins une des deux oreilles. Chez un otospongieux, il permet d'évaluer le résultat postopératoire (cf. Annexe III, p. 267).

Audiométrie vocale classique

On peut lui reconnaître trois buts :

- corroborer la tonale, par le niveau du *seuil d'intelligibilité* ;
- donner des informations sur la compréhension de la parole dans la vie courante, par les *scores de discrimination* ;
- apporter des éléments d'orientation diagnostique, par l'allure de la *courbe d'intelligibilité* et sa comparaison avec la tonale.

L'examen audiométrique vocal est réalisé après l'examen tonal, dont le résultat aide au choix du premier côté à explorer et des intensités de départ. On commence par l'oreille considérée comme ayant la meilleure audition.

Il importe de bien préciser le déroulement de l'examen, en précisant le type de mots utilisés, en expliquant que l'intensité ira en diminuant, de telle sorte que le sujet comprendra de moins en moins de mots.

De nombreuses méthodes ont été proposées. Le choix dépend de l'objectif de l'examen : tracer une courbe d'intelligibilité qui donne les meilleurs renseignements, se contenter d'un seuil d'intelligibilité, déterminer le score de discrimination.

Réalisation d'une courbe d'intelligibilité

On commence par l'oreille la plus sensible. Des listes de dix mots sont émises à des intensités connues ; le sujet testé doit répéter les mots tels qu'il les comprend, dès qu'il les entend, aussi faibles soient-ils. En France, on utilise habituellement les listes de spondées (mots dissyllabiques) de Fournier (cf. Annexe IV, p. 276). Pour chaque intensité d'émission, le pourcentage de mots correctement répétés est reporté sur un graphique ou *audiogramme vocal* qui est standardisé (voir plus bas). Bien que ces listes de mots ne soient

pas phonétiquement équilibrées, elles permettent de réaliser une courbe d'intelligibilité adaptée aux conditions cliniques.

En modifiant l'intensité et en renouvelant les tests, on obtient une série de points qui dessinent une *courbe d'intelligibilité* (ou score de reconnaissance vocal) [figure 3.1].

La méthode descendante est la plus utilisée. En pratique, on calcule la valeur moyenne du seuil tonal aux fréquences 500, 1000 et 2000, c'est-à-dire aux fréquences conversationnelles, et on fait entendre la première liste à une intensité située 20 dB au-dessus de cette valeur.

Puis on fait entendre une deuxième liste avec une intensité inférieure de 10 dB. Lorsqu'on se rapproche du seuil, on diminue seulement de 5 dB. On arrive ainsi à obtenir une liste avec plus de 5 mots corrects, et une autre liste juste après, avec moins de 5 mots corrects.

La méthode ascendante demande plus de temps et ne semble pas donner de meilleurs résultats. Elle est plus pénible pour le sujet testé.

Masquage

Comme pour l'audiométrie tonale, il peut être nécessaire de masquer une oreille quand il existe une différence de plus de 45 dB entre l'intensité de la vocale et la moyenne des fréquences conversationnelles (500, 1000,

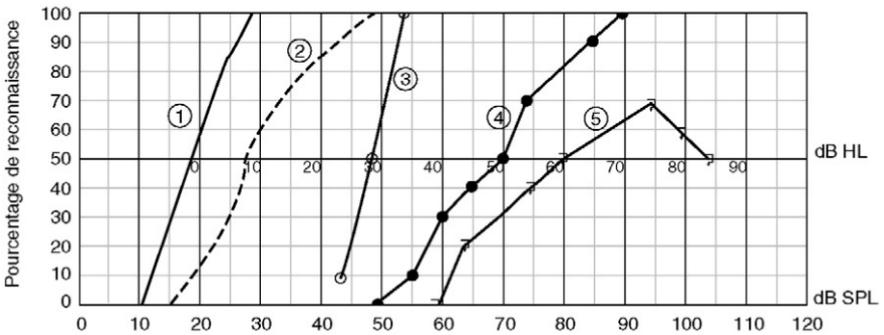


Figure 3.1

Différents types de courbes d'intelligibilité.

On peut remarquer que le 0 dB HL correspond ici à 19 dB SPL. Courbe 1 : courbe normale avec mots dissyllabiques (spondées). Courbe 2 en pointillés : courbe normale avec mots monosyllabiques. Courbe 3 : surdité de transmission. Courbe 4 : surdité de perception. Courbe 5 : surdité de perception avec courbe en cloche.

L'indice de capacité auditive, parfois utilisé, est la moyenne des pourcentages d'intelligibilité correspondant à la voix faible (30 dB HL), moyenne (45 dB HL) et forte (60 dB HL). Prenant comme exemple la courbe 4, on note 0 % à 30 dB, 40 % à 45 dB, et 80 % à 60 dB. L'ICA est donc la moyenne des pourcentages (0 + 40 + 80), soit 40 %.

2000 Hz) de la conduction osseuse de l'autre oreille. Ce masquage doit toujours être précisé sur l'audiogramme. Il se fait selon les mêmes principes qu'en audiométrie tonale, mais avec un bruit correspondant approximativement au spectre de la voix parlée. Ce *speech noise* est un bruit blanc, atténué au-dessus de 1000 Hz de 12 dB par octave.

Conventions graphiques

Les résultats des pourcentages de mots compris aux différentes intensités sont rapportés sur un graphique rectangulaire comportant en abscisse les intensités exprimées en décibels HTL (*hearing threshold level*) et en ordonnée les pourcentages de mots parfaitement compris pour une intensité donnée. Sur de nombreux graphiques sont aussi reportés en abscisse une échelle en décibels SPL qui est source de confusion. Cette échelle est utilisée lorsque l'audiomètre n'est pas calibré en décibels HL. En pratique, mieux vaut supprimer cette graduation qui peut être cause d'erreur.

Les normes ISO précisent que le rapport d'échelle de l'audiogramme vocal doit être de 20 % pour 10 dB.

On donne habituellement pour symboles graphiques aux courbes vocales ceux utilisés pour les courbes aériennes de la tonale de OD et OG, reliés par un trait plein en l'absence de lecture labiale, et par un trait en pointillés avec lecture labiale.

Résultats

La courbe d'intelligibilité a une forme sigmoïde. Son aspect varie en fonction du matériel phonétique utilisé. Elle est raide pour les mots dissyllabiques (courbe 1 de la figure 3.1), située entre 0dB et 20dB chez le sujet normal et beaucoup moins raide pour les mots monosyllabiques (courbe 2 de la figure 3.1). Pour déterminer le seuil d'intelligibilité, il convient d'utiliser des spondées, car plus raide est la courbe, meilleure est la précision du seuil.

Seuil d'intelligibilité vocale (ou niveau liminaire d'intelligibilité vocale)

Il est noté à l'intensité où 50 % des mots sont corrects. Mais on n'arrive pas toujours à une intensité qui permet d'identifier précisément 50 % des mots. Certains auteurs ont proposé d'apporter un correctif à l'aide d'un tableau. D'autres ont proposé d'établir une courbe d'intelligibilité de 2 en 2 dB dans cette zone critique. En fait, les résultats par ce procédé ne seraient guère différents. Sur les audiomètres informatisés, il suffit de préciser les deux points qui encadrent le 50 % d'intelligibilité dans la recherche avec un pas de 5 dB. L'appareil trace automatiquement la droite qui relie les deux points, et donne par extrapolation l'intensité correspondant au seuil d'intelligibilité.

Enfin, plusieurs méthodes ont été proposées pour déterminer directement ce seuil d'intelligibilité. L'essentiel pour un audiologiste est de toujours recourir à la même méthode pour pouvoir comparer plus facilement ses résultats dans le temps. En pratique, dans une échelle d'intensité allant de 5 en 5 dB HL, on peut se contenter de prendre la valeur supérieure d'une courbe d'intelligibilité avec des spondées qui encadrent le 50 % de mots corrects ; l'erreur est inférieure à 5 dB.

Il n'y a aucun intérêt à déterminer un seuil d'intelligibilité avec des mots monosyllabiques, car il est moins précis que celui déterminé avec des spondées. Le seuil d'intelligibilité objective la *sensibilité de l'oreille*. Une intelligibilité de 50 % des éléments dissyllabiques avec signification correspond en fait à une intelligibilité d'environ 85 % des phrases, ce qui signifie qu'il suffit de comprendre un mot dissyllabique sur deux pour pouvoir interpréter correctement un texte continu.

Seuil de sensibilité vocale (ou niveau liminaire de perception vocale)

C'est l'intensité la plus faible à partir de laquelle un sujet peut identifier la voix comme telle sans en comprendre le message. Chez un sujet normal, pour passer du seuil de détection au seuil de 100 % d'intelligibilité, l'amplitude d'intensité est d'environ 20 dB, avec 8 dB pour atteindre le 50 %. La dynamique de l'intelligibilité de la parole se situe dans une plage d'environ 20 dB HL.

Maximum d'intelligibilité (ou score maximal de reconnaissance vocale)

Il est défini par l'ordonnée du point maximum de la courbe. Cette notion est surtout intéressante pour les courbes en cloche. Il s'exprime en pourcentage.

Différentes courbes d'intelligibilité

Audition normale

Le seuil d'intelligibilité doit être de 0 dB HL, le maximum d'intelligibilité de 100 % à environ 10 dB HL, de sorte que l'on obtient *une courbe d'intelligibilité vocale de référence* (courbe 1 de la figure 3.1) en forme de S allongé en hauteur. Cette courbe est établie en fonction du score de reconnaissance vocale médian de sujets normo-entendants de 18 à 25 ans selon les normes ISO.

La surdité est caractérisée par l'éloignement et la déformation de la courbe par rapport à la courbe d'une audition normale.

Cas particulier (courbe en pointillés) : même en cas d'audition normale, lorsque l'examen audiométrique vocal est réalisé avec des listes de mots monosyllabiques, la courbe est inclinée vers la droite par rapport à la courbe

de référence obtenue avec des mots dissyllabiques. La part de la suppléance mentale étant moindre avec les mots monosyllabiques, l'intelligibilité est moins bonne.

Surdité de transmission

La courbe d'intelligibilité reste parallèle à celle d'une audition normale, mais est décalée vers la droite. S'il existe une ankylose stapédovestibulaire (otospongiose), la courbe est classiquement redressée par rapport à la courbe de référence, même en cas d'importante labyrinthisation (courbe 3).

Surdité de perception

Plusieurs types de courbe peuvent s'observer. La courbe peut rester parallèle à la normale, mais le plus souvent, elle est déformée. L'inclinaison de la courbe est liée à la chute sur les aigus, en audiométrie tonale, dans la zone des fréquences conversationnelles. Dans certaines surdités de perception, le maximum d'intelligibilité reste inférieur à 100 % malgré l'augmentation de l'intensité ; on obtient ainsi une courbe en pente (courbe 4), ou en forme de cloche (courbe 5).

Recherche directe du seuil d'intelligibilité

Elle semble peu utilisée en France, contrairement à d'autres pays comme les  tats-Unis. De nombreuses méthodes ont été proposées pour préciser ce seuil d'intelligibilité sans tracer l'ensemble de la courbe d'intelligibilité vocale. Il a paru intéressant de rapporter une des méthodes, qui répond aux recommandations des normes ISO et de l'ASHA (American Speech-Language-Hearing Association) [ISO 8253-3 : 1998].

Méthode descendante

1. Commencer par présenter un spondée à partir de 20 à 30 dB au-dessus du seuil supposé.
2. Baisser de 10 en 10 dB jusqu'à ce que le mot présenté soit incorrectement répondu ou non compris.
3.   ce niveau, envoyer un deuxième mot. Si ce deuxième mot n'est pas compris, c'est-à-dire s'il y a deux mots successifs non compris, augmenter alors de 10 dB et on obtient *la valeur de départ* ou *niveau supérieur*.
4.   ce niveau supérieur (*N sup.*), envoyer une liste de 5 mots et noter le nombre de mots corrects.
5. Descendre de 5 en 5 dB, en adressant à chaque niveau une liste de 5 spondées, et en notant le nombre de mots correctement répondus.
6. S'arrêter au niveau où les cinq mots sont incorrectement répondus ou non compris. C'est le niveau inférieur (*N inf.*).

Calcul du seuil d'intelligibilité

- Commencer par faire la somme des *mots correctement compris* de *N. sup.* compris à *N. inf.*
- Prendre le nombre de décibels de *N sup.* et en soustraire le nombre de mots compris.

Le seuil d'intelligibilité est donné par ce résultat auquel on ajoute 2 dB.

$$\text{Seuil d'intelligibilité} = N_{sup.} \text{ (dB)} - \text{nombre de mots répondus} \\ \text{entre } N_{sup.} \text{ et } N_{inf.} + 2\text{dB}$$

Exemple

Un sujet a un seuil tonal autour de 35 à 40 dB. On commence par lui envoyer un spondée à 70 dB qu'il répond. Puis un autre à 60 dB. À 40 dB, un premier spondée n'est pas répondu. On en envoie un deuxième qui n'est pas répondu.

N sup. est donc égal à $40 + 10 \text{ dB} = 50 \text{ dB}$.

Puis, on envoie des listes de 5 spondées à chaque niveau, à partir de 50 dB.

Le sujet répond, par exemple :

- 5 mots sur 5 à 50 dB ;
- 4 mots sur 5 à 45 dB ;
- 2 mots sur 5 à 40 dB,
- aucun mot à 35 dB ; ce niveau correspond à *N inf.*

Au total, 11 mots corrects entre *N. sup.* et *N. inf.*

Le calcul du seuil d'intelligibilité est donc de $50 - 11 = 39 \text{ dB}$, avec un facteur de correction de 2 dB, soit 41 dB.

Score de discrimination

Le score de discrimination ou pourcentage de discrimination traduit la sélectivité de l'oreille et ses capacités de discrimination des mots. Il ne prend pas en compte la sensibilité de l'oreille.

C'est le pourcentage de mots compris au niveau le plus confortable pour le patient. Ce niveau se situe habituellement entre 30 et 40 dB au-dessus du seuil d'intelligibilité.

Ce test n'a guère d'intérêt avec des spondées, utilisés pour la recherche du seuil d'intelligibilité. Les mots monosyllabiques et, mieux, les logatomes sont plus adaptés. En effet, les pourcentages d'intelligibilité varient beaucoup moins en fonction de l'intensité que lorsqu'on utilise des spondées. On a recours à des listes de 25 ou 50 mots monosyllabiques phonétiquement équilibrés (cf. Annexe IV, p. 277). Le test commence par demander si le

niveau choisi est confortable ou s'il faut le modifier. Le score peut éventuellement être étudié à un niveau d'intensité supérieure, de 5 ou 10 dB, selon le confort trouvé. Le résultat est donné en pourcentage de mots compris. Il s'agit seulement d'un score et non d'une capacité.

La détermination de scores de discrimination est indispensable pour préciser l'indication des implants cochléaires. Actuellement, le critère audiométrique est le score de discrimination de liste de mots monosyllabiques à une intensité de 60 dB.

Intérêt de l'audiométrie vocale classique

L'audiométrie vocale permet de corroborer les résultats de l'audiométrie tonale liminaire. Le seuil d'intelligibilité doit être sensiblement équivalent à la moyenne de l'intensité des trois fréquences conversationnelles (500, 1000 et 2000 Hz) perçues en audiométrie tonale liminaire.

Un écart de plus de 10 dB entre la moyenne des fréquences conversationnelles et le seuil d'intelligibilité doit faire remettre en cause la valeur de l'examen (étalonnage, fiabilité des réponses). Cet écart peut aussi être en rapport avec une pathologie rétrocochléaire ou avec une courbe tonale plongeante sur les fréquences aiguës. Dans ce dernier cas, il est proposé de ne pas tenir compte de la fréquence 2000 Hz pour la tonale.

Un seuil d'intelligibilité nettement meilleur que la moyenne de la tonale évoque avant tout une simulation.

À l'inverse, contrairement à une idée parfois rencontrée, le seuil d'intelligibilité ne doit pas être moins bon que la moyenne tonale puisque, dans les deux cas, la référence est l'audition d'un sujet normal.

Quant à la comparaison entre la forme des deux courbes tonale et vocale, elle ne paraît pas utile. Si l'intensité liminaire intervient dans les deux cas, l'une est fonction des fréquences et l'autre de l'intelligibilité.

L'intérêt majeur de l'étude du seuil d'intelligibilité est de permettre de confirmer la courbe tonale, ou d'alerter sur une pathologie rétrocochléaire ou sur la fiabilité de l'examen.

L'audiométrie vocale apprécie l'audition des mots aux fortes intensités car certaines surdités de perception empêchent la compréhension de 100 % des mots, quelle que soit l'intensité. C'est là que peut s'avérer intéressant l'indice de capacité auditive (ICA) de Fournier (cf. figure 3.1, p. 67).

Elle permet d'évoquer une atteinte rétrocochléaire lorsque la courbe d'intelligibilité est beaucoup plus altérée que ne le laissaient prévoir les résultats de l'audiométrie tonale.

Elle revêt un intérêt capital pour la prescription et le contrôle des aides auditives.

Enfin, en cas de surdité importante, on peut pratiquer l'épreuve vocale avec lecture labiale. On peut ainsi chiffrer la qualité d'une lecture labiale par comparaison des *courbes d'intelligibilité avec et sans lecture labiale*.

Chez l'enfant, l'examen en vocale est plus ludique que la tonale et donne des réponses plus fiables. Il permet de mieux faire comprendre aux parents qui assistent à l'examen la réalité et l'importance de la surdité.

Pour la surveillance des surdités et pour apprécier le gain réel après chirurgie, l'audiométrie vocale a une meilleure fiabilité que l'audiométrie tonale, mais n'en reste pas moins qu'un complément.

Indications

L'audiométrie vocale est donc un complément essentiel de l'audiométrie tonale. Mais la complexité de l'examen varie selon le type et l'importance de la surdité.

Pour une surdité de transmission, on peut se contenter du seul pourcentage d'intelligibilité, sans nécessairement tracer une courbe. Toutefois, la forme de la courbe constitue par elle-même un élément intéressant pour le diagnostic, comme dans l'ankylose stapédovestibulaire.

À l'inverse, pour une surdité de perception avec mauvaise intelligibilité, la courbe d'intelligibilité peut s'avérer insuffisante et devoir être complétée par un score de discrimination ou un test phonétique.

Une courbe tonale normale ne doit pas forcément faire s'abstenir de réaliser un test vocal lorsque le patient consulte pour une gêne fonctionnelle auditive. En effet, l'audiométrie vocale peut révéler des anomalies alors que l'audiométrie tonale paraît normale, ce qui oriente alors vers une pathologie rétrocochléaire ou centrale.

Limites de l'audiométrie vocale classique

Elle est insuffisante pour explorer les distorsions de perception phonétique et préciser les troubles d'intégration du message sonore au niveau des voies auditives, notamment pour l'appareillage, la prise en charge des enfants malentendants, les surdités d'origine neurologique. C'est là que les tests phonétiques et l'audiométrie vocale dans le bruit prennent tout leur intérêt.

Tests phonétiques

À côté des tests d'audiométrie vocale classiques qui nécessitent un acquis linguistique et font intervenir la suppléance mentale (type liste de spondées de Fournier), il existe des tests qui ne nécessitent pas de compréhension linguistique ; le patient doit répéter les sons qu'il peut percevoir sans y chercher

de signification. En étudiant les altérations phonétiques, ils peuvent apporter des renseignements très intéressants sur les troubles gnosiques auditifs et de compréhension. Ils sont particulièrement indiqués pour l'adaptation prothétique, en cas de mauvaise perception de la parole alors que l'audition tonale paraît conservée, et chez l'enfant sourd. Leur connaissance permet de veiller, lors de l'appareillage, à une meilleure qualité de discrimination, plus importante que le gain acoustique.

En France, les plus connus sont les tests phonétiques de Lafon.

Plusieurs tests ont été décrits par J.-Cl. Lafon en 1956, et modifiés en 1963. Tous ces tests ont leur intérêt, mais la longueur de certains d'entre eux les rend difficiles à utiliser en pratique courante. Les deux tests les plus utilisés sont le test cochléaire et le test d'intégration. Chacun d'eux comporte un matériel phonétique spécifique. Une bonne connaissance de la phonétique est requise pour permettre d'en tirer le meilleur profit.

Test cochléaire

C'est de très loin le plus utilisé, notamment par les audioprothésistes.

Le matériel phonétique (cf. Annexe IV, p. 276 et p. 277) est constitué par des mots courts faisant très peu intervenir la suppléance mentale et la recherche de signification.

Chaque unité de mesure est le phonème mais il faut préciser que l'identification de ceux-ci est soumise à leur entourage phonétique. En effet, les lieux d'articulation (ou point d'articulation) des consonnes sont variables, comme contaminés par les voyelles qui les entourent ; ainsi, par exemple, le point d'articulation du « k » sera différent selon son association avec le *i* (« qui »), avec le *e* (« que »), avec le *oi* (« quoi »), avec le *an* (« quand »).

Ces transitions entre phonèmes sont plus importantes que le phonème lui-même, car ce sont elles qui sont stables et donc signifiantes pour les centres nerveux de discrimination ; il y a 1300 transitions phonétiques pour 36 phonèmes. Chaque liste de 17 mots est phonétiquement équilibrée avec des difficultés égales de reconnaissance. Ces listes sont utilisées comme mesure qualitative et quantitative des distorsions. Elles existent non seulement en français mais aussi en italien, anglais et allemand.

Réalisation pratique

Il se pratique en binaural ou en monaural avec masquage controlatéral, à un seuil confortable, soit 30 à 40 dB au-dessus du seuil tonal à 2000 Hz. On fait répéter une liste de 17 mots, représentant 50 phonèmes. En cas d'échec, on recommence avec une augmentation de 10 dB, et éventuellement une troisième liste à 10 dB de plus. On note les erreurs et les phonèmes de remplacement. Les ajouts ne sont pas considérés comme des erreurs.

Ces listes sont utilisables pour l'adulte et pour l'enfant qui a acquis une certaine qualité d'articulation (enfant âgé de plus de 5 ans).

Notation

Les trois phonèmes de chaque mot sont pris en compte. Le nombre de phonèmes déformés est noté, pour chaque oreille, en précisant l'intensité à laquelle a été effectué le test. Chaque liste de 17 mots permet d'étudier 50 phonèmes, ce qui facilite le résultat en pourcentage d'erreurs.

Indications

Audioprothèse

Le réglage des appareils doit se faire en fonction de l'audiométrie phonétique qui évalue mieux le réel handicap social et linguistique que l'audiométrie tonale, qui est le reflet de la perception des sons purs, inexistantes dans la vie courante. Rien ne sert de renforcer le gain acoustique des sons purs si la reconnaissance des formes complexes de la parole (timbres, transitions phonétiques) est brouillée par un mauvais rapport signal-bruit. Ce test permet donc d'expliquer certains échecs d'appareillage.

L'examen se fait éventuellement sans et avec lecture labiale. Il permet de mesurer la qualité de la lecture labiale et peut déterminer ainsi le rôle de celle-ci dans la perception de la parole. Il est intéressant de comparer les erreurs émises : en lecture labiale seule, avec aide auditive seule, avec aide auditive et lecture labiale associée ; cela permet d'objectiver dans quelle proportion le sourd utilise ses reliquats auditifs.

Enfant

Outre l'aide à l'appareillage, ce test phonétique permet le suivi quantitatif et qualitatif des acquisitions, et donc de guider la rééducation orthophonique. C'est ainsi qu'il peut être indiqué chez un enfant dyslexique avec confusion sourdes-sonores (pain pour bain, feu pour vœu, chou pour joue).

Ce test phonétique cochléaire est plus sensible qu'une vocale avec spondees, car il compte pour « faux » tout phonème altéré. Par ailleurs, la prédominance d'un même phonème altéré va guider la rééducation.

Test d'intégration

Il est basé aussi sur l'identification d'erreurs phonétiques, mais sa particularité est d'être réalisé d'abord sans bruit, comme le test cochléaire, puis avec bruit. C'est la comparaison des réponses entre ces deux conditions qui permet de conclure ou non à des troubles d'intégration de la parole.

Réalisation pratique

Il se pratique avec une liste de 50 mots qui diffèrent peu entre eux, de telle sorte qu'un mot de la liste déformé par le sujet a une forte probabilité de correspondre à un autre mot de la liste (cf. Annexe IV, p. 278). Un seul phonème est testé par mot (à la différence du test cochléaire). En modifiant l'ordre de présentation des mots, aucune mémorisation n'est possible. Les listes de ce test sont donc répétables chez un même patient.

Ces listes sont émises en audition binaurale avec écouteurs :

- d'abord à un seuil confortable ;
- puis 20 dB en plus, sans bruit ;
- puis à cette même intensité avec bruit faible – le bruit utilisé est le « bruit rose » ;
- enfin avec bruit fort, à la limite du masquage.

La différence des erreurs avec bruit et sans bruit doit être inférieure à 4.

Transcription des résultats

L'opérateur note le nombre d'erreurs, qu'il suffit de multiplier par 2 pour obtenir un pourcentage sur 100 : par exemple, 12 erreurs sur 50 égalent 24 % d'erreurs (figure 3.2).

Indications

Chez l'enfant

Pour l'enfant en échec scolaire ou dyslexique, le test d'intégration est plus sensible que le test cochléaire, mais plus long à réaliser. Il permet de distinguer une simple difficulté d'intégration d'un trouble plus important tel qu'une surdité verbale, ou une dysphasie de réception, qui peuvent imposer d'autres tests orthophoniques.

Chez l'adulte

La comparaison entre le nombre d'erreurs, sans et avec bruit, donne une bonne indication sur l'origine des distorsions. En cas d'origine périphérique, le nombre d'erreurs est le même dans les deux tests ; en cas d'origine centrale, le nombre d'erreurs est nettement plus important pour l'audition dans le bruit. Plus la surdité est centrale, plus elle est discrète au test tonal et en audiométrie vocale classique, et plus elle est évidente au test d'intégration.

De fréquentes discordances de résultats apparaissent entre les performances aux tests phonétiques et l'épreuve d'intelligibilité classique avec les listes de mots dissyllabiques, puisque la suppléance mentale court-circuite les fonctions de discrimination et fait intervenir les centres de décodage et les fonctions plus élaborées du langage.

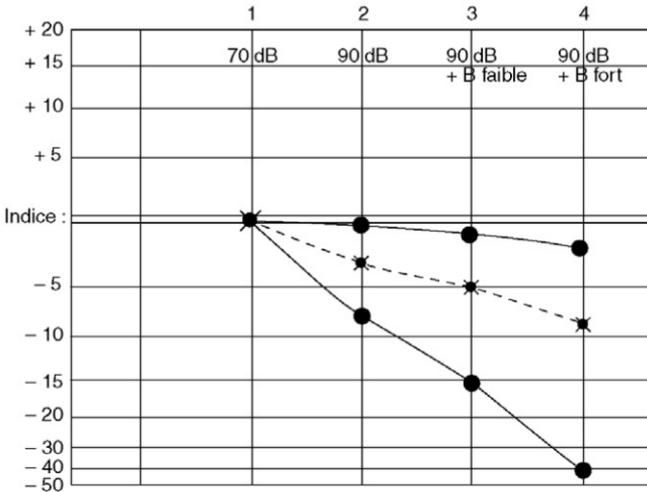


Figure 3.2

Graphique du test d'intégration.

Le graphique proposé pour ce test comporte en ordonnée le pourcentage d'erreurs et en abscisse une échelle d'écart entre le niveau optimal d'identification de la parole (70 dB) et les moins bons niveaux de netteté (90 dB, 90 dB avec bruit faible, 90 dB avec bruit fort). L'échelle logarithmique des pourcentages d'erreurs permet de donner, en pratique, une droite lorsqu'on réunit les pourcentages des différents tests pour un même patient. Un sujet normal ne fait pas plus de trois erreurs sur les 50 phonèmes testés, mais, statistiquement, on retrouve une ou deux erreurs (trait plein du haut). La pente indique la difficulté d'intégration phonétique. Le trait en pointillés est la courbe d'une perturbation fonctionnelle d'un adolescent. Lorsque la courbe est très inclinée (courbe la plus basse), elle signe une grande atteinte de l'identification comme on peut en rencontrer dans les « surdités verbales ».

Tests d'intelligibilité dans le bruit

L'audiométrie vocale classique se fait en milieu silencieux. Elle permet de tester l'aptitude à comprendre la parole. Elle permet aussi de rendre compte de la gêne sociale que peut entraîner un déficit auditif. Mais, souvent, les signes les plus précoces d'une gêne auditive se font sentir en milieu bruyant, alors même qu'il n'y a pas de déficit évident en audiométrie tonale et vocale. C'est le cas typiquement de la presbycusie débutante. L'audiométrie vocale dans le bruit révèle très tôt ces difficultés et représente ainsi un test diagnostique précoce des baisses de performance auditive.

Le but de ces tests est de déterminer un rapport *entre le niveau de compréhension de la parole et le bruit* de fond. La détérioration de ce rapport niveau de parole/bruit peut constituer un handicap majeur pour certaines surdités de perception, qu'elles soient de type endolabyrinthique, telles les surdités sonotraumatiques ou la maladie de Ménière,

ou de type rétrolabyrinthique, type neurinome du VIII ou sclérose en plaques. Elle est souvent l'explication de difficultés d'adaptation pour les presbyacousies.

L'étude de ce rapport niveau de parole/bruit est particulièrement intéressante lors des essais d'appareillages pour adapter au mieux le réglage et évaluer l'efficacité de l'adaptation.

De plus, chez certains sujets qui se plaignent d'une mauvaise intelligibilité mal expliquée par les examens classiques, cet examen permet de déceler ceux qui peuvent bénéficier d'examen plus complexes nécessitant un laboratoire spécialisé.

La norme ISO 8253-3 a donné des recommandations pour la réalisation de cette audiométrie vocale en présence d'un bruit de fond. Elles concernent notamment la nature du bruit de fond, la présentation et le mode opératoire. Il n'y a pas de procédure univoque et de multiples protocoles sont possibles. Ce manque d'uniformisation rend difficile la comparaison des résultats entre les différentes équipes.

La nature du bruit de fond : bruit aléatoire pondéré en fréquence, bruit modulé, bruit de conversation entre plusieurs locuteurs (*cocktail party*), paroles enchaînées d'un locuteur unique. Les bruits de *cocktail party* se rapprochent des situations réelles, mais leur calibrage est difficile et le bruit masquant n'est pas constant en amplitude. Le bruit blanc est constant et bien calibré, mais l'inconvénient est qu'il ne correspond pas à un bruit rencontré habituellement dans la vie courante.

La présentation :

- soit par écouteur, où le bruit de fond et le signal vocal proviennent du même transducteur ;
- soit en champ diffus avec le haut-parleur pour le signal vocal face à l'auditeur, et pour le bruit de fond, deux haut-parleurs ayant des dispositions symétriques, avec des angles d'incidence d'environ 45°. D'autres positions peuvent être choisies pour certains examens particuliers.

Le mode opératoire : il est préférable d'avoir un niveau de bruit constant et de faire varier l'intensité du signal vocal. Il est recommandé de le fixer à 60 dB.

Le déroulement de l'examen : il faut d'abord familiariser le sujet en réglant le niveau du signal vocal nettement au-dessus du bruit de fond. Puis on recherche le seuil d'intelligibilité en diminuant l'intensité du signal vocal.

En pratique, deux tests paraissent particulièrement intéressants : le test d'intégration de Lafon, décrit dans le chapitre précédent, et le test de Hirsch, qui est un test de stéréo-audiométrie évaluant la fonction binaurale.

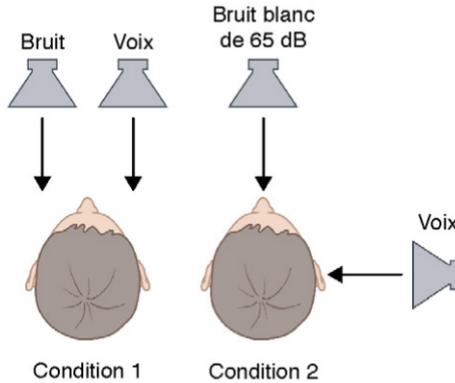


Figure 3.3
Test de Hirsch.

Il consiste à réaliser une courbe d'intelligibilité avec des mots dissyllabiques en présence d'un bruit blanc de 65 dB délivré par un haut-parleur placé à 1 m en face du patient. C'est un test d'audiométrie vocale dans le bruit et aussi de stéréo-audiométrie évaluant la fonction binaurale. Il peut être réalisé dans deux conditions. Condition 1 : le haut-parleur est placé en face, la voix et le bruit sont confondus. Condition 2 : le haut-parleur est placé à 90°.

Test de Hirsch

Il a l'avantage d'être reconnu au niveau international, de respecter la plupart des recommandations ISO et de pouvoir évaluer la discrimination de la parole dans le bruit en audition binaurale. C'est un test de réalisation simple, bien codifié et reproductible. Il est réalisé en champ diffus.

Il consiste à réaliser une courbe d'intelligibilité avec des mots dissyllabiques en présence d'un bruit blanc de 65dB délivré par un haut-parleur placé à 1 m en face du patient (figure 3.3).

Des listes de mots dissyllabiques de Fournier sont utilisées et délivrées à intensité décroissante par un haut-parleur. Deux conditions peuvent être testées :

- condition 1 : le haut-parleur est placé en face, la voix et le bruit sont confondus ;
- condition 2 : le haut-parleur est placé à 90°.

Si la fonction binaurale est normale ou restituée, la séparation des sources de voix et de bruit entraîne une amélioration de l'intelligibilité. Cette amélioration apportée par la stéréophonie peut être ainsi quantifiée. L'intérêt est double, à la fois pédagogique, montrant au patient l'apport de la stéréophonie, et aussi pour évaluer la qualité d'une adaptation prothétique. L'intérêt de ce test pour l'adaptation audioprothétique stéréophonique est évident.

Il est également utilisé dans l'indication des prothèses auditives à ancrage osseux pour les surdités profondes ou les cophoses unilatérales. Un gain significatif est un argument indispensable pour confirmer l'indication dans ces cas.

La principale critique de ce test est l'utilisation d'un bruit blanc, qui n'est pas naturel, moins naturel qu'un bruit de *cocktail party*, mais qui a l'avantage d'être parfaitement reproductible et de pouvoir être précisément calibré.

Audioprothèse et audiométrie dans le bruit

L'audiométrie vocale dans le bruit est particulièrement intéressante pour l'adaptation prothétique. La mesure de l'efficacité d'une aide auditive dans le bruit est un moyen de contrôler la qualité de l'adaptation et de l'optimiser si besoin. Elle permet d'apprécier l'apport d'un appareillage stéréophonique.

Dans le silence, un appareillage stéréophonique n'apporte en gain d'intensité qu'une légère amélioration par rapport à un appareillage monaural. En revanche, dans une ambiance type *cocktail party* de 60 à 70 dB SPL, l'appareillage des deux oreilles permet une amélioration très nette de l'intelligibilité et renseigne le sujet sur l'intérêt de la stéréophonie. De plus, celle-ci aide au paramétrage des prothèses.

Les progrès considérables réalisés dernièrement dans le domaine de l'audition dans le bruit par la nouvelle génération de prothèses numériques vont probablement amener à développer des tests d'audition dans le bruit adaptés à ces aides auditives.

Quantification de l'audition en audiométrie vocale

L'audiométrie vocale permet une meilleure quantification globale de l'audition que l'audiométrie tonale. Elle fait intervenir essentiellement le seuil d'intelligibilité en décibels ; d'autres éléments donnent aussi d'utiles renseignements, tels que le score de discrimination à un niveau de confort, le maximum d'intelligibilité en pourcentage et les tests d'intelligibilité dans le bruit.

Le seuil d'intelligibilité est important à obtenir avec une bonne précision, car ce seuil :

- permet d'être confronté à la moyenne des fréquences conversationnelles ;
- donne une valeur d'appréciation du seuil d'audition.

Existe-t-il un indice global d'audition ?

Il est tentant d'essayer d'établir un « *indice d'audition* », donnant à la fois la sensibilité de l'oreille et son pouvoir de compréhension dans la vie courante. Plusieurs tentatives ont été faites dans ce sens, avec notamment l'ICA

de Fournier (cf. figure 3.1, p. 67). Cet ICA s'obtient en faisant la moyenne de l'intersection des 50 % de mots corrects aux trois niveaux d'intensité de voix : faible (30 dB), moyenne (45 dB), et forte (60 dB).

En pratique, il semble très difficile de pouvoir mesurer par un seul indice la « qualité » d'une audition.

Conclusion

L'audiométrie vocale est un temps fondamental dans l'exploration de l'audition qui ne peut se réduire à une simple audiométrie tonale. L'audiométrie vocale a plusieurs intérêts. Elle corrobore les résultats de l'audiométrie tonale. Elle évalue la véritable valeur potentielle d'écoute de l'oreille, sa sensibilité, ses capacités de discrimination des mots et de la parole, et pour certains tests la fonction binaurale de l'audition.

4 Tympanométrie

La tympanométrie mesure les variations d'impédance de l'oreille moyenne lors des changements de pression appliqués dans le conduit auditif externe (CAE) à l'aide d'un impédancemètre. Aussi est-elle parfois appelée « impédancemétrie ». La tympanométrie n'est pas un examen auditif, mais elle complète très avantageusement l'audiométrie. Devenue un examen de routine car d'exécution facile et rapide, la tympanométrie est un outil diagnostique d'une très grande utilité.

Elle contribue à explorer l'oreille moyenne directement, objectivement, fidèlement. Elle permet d'évaluer l'intégrité du système de transmission de l'oreille moyenne, la pression de l'oreille moyenne (POM), la fonction tubaire.

Par l'étude du réflexe stapédien (RS), son intérêt s'étend à la fonction neurosensorielle et à l'exploration du nerf facial.

Définitions et terminologie

L'impédance représente la faculté pour un système de s'opposer à un mouvement alternatif. Elle dépend notamment de la masse et de la rigidité du système (cf. Physioacoustique, p. 212). Les unités sont données en *ohms*.

L'admittance est l'inverse de l'impédance. C'est donc la faculté plus ou moins grande, pour un système soumis à un mouvement alternatif, à se laisser mobiliser. Les unités sont données en millimhos (mho est l'inverse d'ohm) ou *mmho*.

L'immitance est le terme général concernant l'étude de l'admittance et de l'impédance.

La compliance, qui traduit l'élasticité, est l'inverse de la rigidité. Les unités sont données en *volumes équivalents*. En effet, l'absorption d'un son par un milieu dépend en particulier de l'élasticité de ce milieu. La quantité absorbée par un corps peut être assimilée à ce qu'absorberait une cavité à paroi solide et de volume connu, en sachant que l'énergie absorbée est d'autant plus grande que le volume est grand. De ce constat est née la notion de *volume sonore* ou de *volume équivalent* exprimé en *millilitres* (ml). Tous les résultats correspondent donc à des millilitres *équivalents*.

La compliance du système tympano-ossiculaire (STO) se situe (pour Margolis) :

- chez l'adulte normal, entre 0,3 et 1,4 ml, avec une moyenne de 0,8 ml ;
- et chez l'enfant normal, entre 0,2 et 0,9 ml, avec une moyenne de 0,5 ml.

Les appareils utilisés en audiologie donnent les résultats soit en unités de compliance (ml), soit en unités d'admittance (mmho).

Principe de la tympanométrie

Le principe de l'étude de l'impédance du STO consiste à envoyer un son dans le CAE dont le méat est obturé, et à évaluer la quantité d'énergie sonore absorbée par la membrane tympanique soumise à différentes conditions de pression.

En pratique, la tonale de sonde utilisée en clinique est une fréquence basse, 226 Hz. Elle permet de bien étudier le facteur rigidité et la mobilité tympanique. Pour cette fréquence 226 Hz, on peut assimiler l'admittance et la compliance.

Il existe des appareils avec des tonales de sonde plus élevées, notamment 678 Hz, qui permettent une étude d'autres composantes de l'impédance du STO. Les impédancemètres multifréquences sont également développés, mais leur utilisation est également beaucoup plus complexe que pour la simple fréquence 226 Hz. L'interprétation des résultats est différente.

Tympanométrie et réflexe stapédien

La contraction du muscle est obtenue en général par une stimulation sonore. *Le RS est bilatéral.* Ce réflexe protège essentiellement contre les bruits intenses de fréquences basses. Son effet maximum procure une atténuation d'environ 20 dB.

Le RS apparaît pour un son pur à un seuil de 70 à 100 dB HL (*hearing level*) selon les sujets, avec une médiane de l'ordre de 80 à 85 dB au-dessus du seuil tonal de la fréquence considérée. Chez l'enfant très jeune, ces chiffres sont plus élevés, de 90 à 110 dB.

Pour un bruit en bande étroite, le seuil se situe aux environs de 65 dB HL.

L'amplitude du RS augmente avec l'intensité pour les 10 à 15 dB HL au-dessus du seuil (cf. Principe du STAR, p. 93).

Un son de 500 ou 1000 Hz provoque une contraction réflexe dont l'amplitude reste quasi constante aussi longtemps que dure le stimulus. On obtient un plateau. En revanche, un son de 4000 Hz produit une réponse qui se dégrade en 15 à 20 secondes.

L'amplitude du RS est faible dans les premières années de la vie ; elle passe par un maximum à 25–30 ans (3 à 4 fois celle de la naissance). Puis cette amplitude va en diminuant pour devenir, vers 65 ans, moins importante qu'à la naissance.

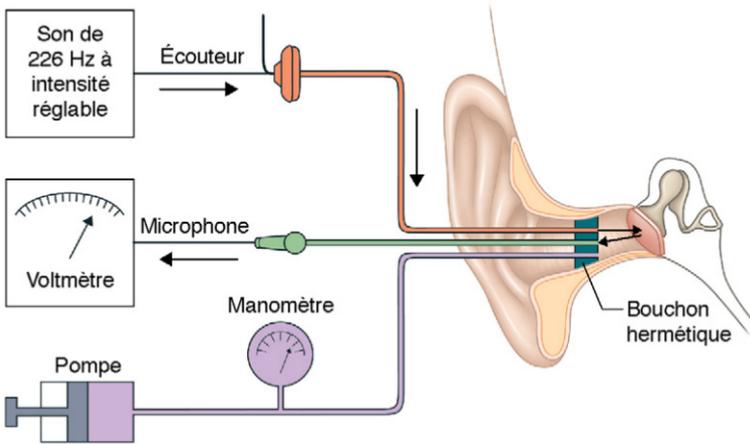


Figure 4.1
Principe de la tympanométrie.

Lors de stimulations répétées, l'amplitude de la réponse stapédienne reste constante. C'est un réflexe indéfiniment reproductible.

La contraction du muscle de l'étrier provoque une légère mise en tension de la membrane tympanique, mais surtout elle augmente l'impédance et diminue l'intensité du son qui parvient à l'oreille interne : elle la protège.

On peut de même obtenir la contraction du muscle du marteau par une excitation cutanée de la face ou un jet d'air sur l'œil. En pratique, seul le RS est étudié en pratique clinique.

Matériel

Les impédancemètres comportent une unité de commande et un casque. Ils répondent aux normes européennes IEC 60645-5.

Unité de commande

Elle est divisée en trois parties, chacune aboutissant à l'un des trois tubes de la sonde (figure 4.1).

Le premier tube est relié par l'intermédiaire d'un écouteur à un générateur qui émet la tonale de sonde avec une fréquence fixe de 226 Hz, et une intensité variable. Un rotacteur permet de modifier l'intensité de la tonale de sonde, et donc la pression sonore à l'intérieur du CAE. Ce rotacteur déplace aussi un index qui précise la compliance en fonction de l'étalonnage initial.

Le deuxième tube mesure la valeur de l'onde sonore réfléchie grâce à un microphone. En effet, une partie du son incident passe dans l'oreille moyenne ; l'autre partie est réfléchie par la membrane tympanique et captée par un microphone qui permet de mesurer cette quantité réfléchie grâce à un *voltmètre* ou *balance* qui est un pont électrique.

L'étalonnage de la balance est réalisé pour avoir 85 dB SPL (*sound pressure level*) avec une cavité de 2 ml. *Cet étalonnage doit être vérifié très fréquemment* car l'appareil est très sensible aux variations thermiques et hygrométriques. Il s'effectue en mettant la sonde dans une cavité adéquate de 2 ml.

Si la compliance de l'oreille augmente, la pression sonore diminue dans le conduit car une partie du son se trouve absorbée, le courant du voltmètre diminue. Inversement, si la compliance diminue, le courant du voltmètre augmente.

La sensibilité du voltmètre doit être réglée selon la fonction étudiée : tympanométrie ou étude du RS. Sur les appareils automatiques, le changement de sensibilité s'effectue sans intervention. On regrette parfois de ne pouvoir régler cette sensibilité à volonté, par exemple lors de la recherche d'un effet on-off.

Le troisième tube est relié à une pompe grâce à laquelle on peut faire varier la pression dans le CAE.

Cette pression déforme la membrane tympanique artificiellement et modifie sa rigidité. Les variations positives ou négatives par rapport à la pression atmosphérique s'affichent sur un *électromanomètre*. L'échelle des variations se situe entre +200 et -400 daPa (1 décapascal ou daPa = 1,02 mmH₂O). Cette échelle varie suivant les appareils.

Fonctionnement

Si la compliance de l'ensemble CAE et STO augmente ou diminue, ce qui peut être assimilé à une augmentation ou une diminution de volume de la cavité, il est nécessaire de modifier l'intensité du générateur pour maintenir la réception dans le microphone à 85 dB SPL. L'équilibre de la *balance* (un *pont électrique*) est réalisé soit à la main avec un rotacteur, soit avec un système automatique de gain. Un index de compliance est couplé avec le rotacteur d'intensité du générateur, et donne en permanence la valeur en millilitres.

Cette pression sonore de 85 dB SPL dans le CAE correspond à une intensité de l'ordre de 60 dB HL pour cette fréquence de 226 Hz, insuffisante pour déclencher un RS.

Appareils

Plusieurs types d'appareil ont été commercialisés. Certains sont entièrement automatisés. D'autres conservent une commande manuelle, notamment

pour intervenir sur la sensibilité du *voltmètre du microphone* qui doit être réglée selon la fonction étudiée : tympanométrie ou étude du RS. Le réglage manuel de cette sensibilité est parfois intéressant, notamment pour la recherche d'un *effet on-off*. Sur les appareils automatiques, le changement de sensibilité s'effectue sans intervention possible.

Certains appareils fonctionnent sans système automatique de gain, la compliance étant appréciée sur les modifications de voltage du microphone.

Casque

Il comprend :

- d'un côté, un écouteur audiométrique qui est placé sur une oreille : *l'oreille écouteur* ;
- de l'autre côté, un boîtier d'où partent trois tubes se regroupant dans un embout métallique appelé *sonde auriculaire*. Cette sonde est perforée de trois canaux qui font suite aux trois tubes souples.

La sonde est placée dans l'autre oreille : *l'oreille sonde*.

Pour assurer l'étanchéité parfaite entre les parois du conduit et la sonde, on doit revêtir celle-ci d'un embout. Il en existe de différents diamètres.

Écouteur controlatéral

Il envoie dans l'oreille opposée à *l'oreille sonde* des stimulations sonores pour déclencher le RS. L'étalonnage est effectué en décibels HL.

Actuellement, la majorité des impédancemètres possèdent un audiomètre (pour conduction aérienne) incorporé avec non seulement des sons purs (de 500 à 4000 Hz), mais aussi un bruit blanc et un bruit en bande étroite.

Stimulation sonore homo- ou ipsilatérale

On peut stimuler directement l'oreille du côté de la sonde. Le stimulus sonore déclenchant le RS passe alors par l'un des canaux de la sonde. L'étalonnage est ici fait en décibels SPL.

Cette stimulation ipsilatérale est réalisable seulement avec des sons purs. La stimulation ipsilatérale est la seule praticable en cas d'hypoacousie unilatérale importante.

Cette stimulation ipsilatérale expose à des artefacts aux fortes intensités où la tonale de la sonde peut interférer avec le stimulus. Si l'appareil dispose d'une cavité de calibrage, il est possible de préciser dans quelles conditions un éventuel artefact survient. Sur les impédancemètres permettant la visualisation directe sur écran du stimulus et de la réponse réflexe en temps réel, il est possible d'étudier la fiabilité de la réponse.

Modalités d'utilisation

La tympanométrie permet d'étudier la mobilité de la membrane tympanique en fonction des variations de pression dans le CAE. Elle permet d'évaluer :

- la compliance du CAE, donc son volume ;
- la compliance du STO.

Plusieurs modalités sont possibles et choisies en fonction du but recherché. Dans tous les cas, il faut s'assurer que l'obturation du CAE exploré est parfaitement étanche, et l'appareil correctement étalonné.

Tympanogramme de volume (figure 4.2)

Il évalue la compliance de l'ensemble CAE + STO, ou compliance absolue. Aussi est-il parfois appelé *tympanogramme absolu*. Pour mieux comprendre le principe, il paraît intéressant de rappeler le fonctionnement des appareils de première génération.

Appareils de première génération

Le principe consiste à faire varier la pression dans le CAE de +200 à -400 daPa, puis à établir une courbe de compliance en modifiant l'intensité du générateur lors de chaque changement de pression, de telle sorte que la balance reste toujours à 0 daPa.

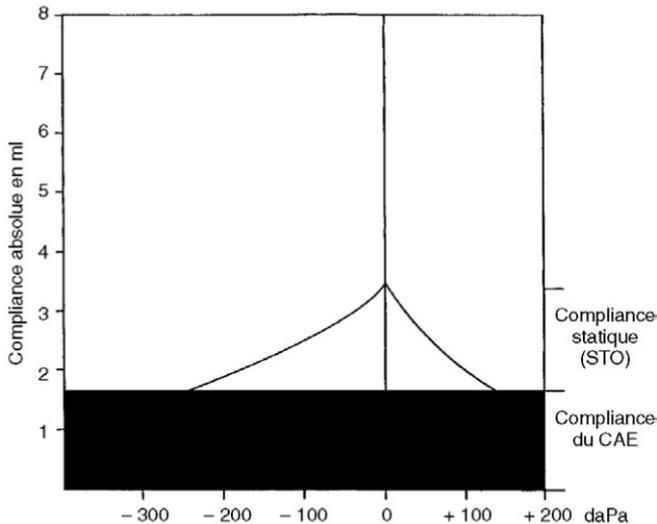


Figure 4.2

Tympanogramme de volume.

Appareils de deuxième génération

L'opération précédente est automatisée. Un système automatique de contrôle de gain détermine l'intensité du générateur pour que la balance reste en permanence sur le 0.

On obtient ainsi le tympanogramme de l'ensemble CAE + STO. En fait, il intéresse aussi l'oreille interne dans une faible mesure (à un moindre degré que l'impédancemétrie hautes fréquences).

Intérêt du tympanogramme de volume : il permet l'étude du volume équivalent du CAE (à +200 daPa).

Le volume du CAE ou volume du conduit auditif (VCA) pour une oreille normale est de 0,6 à 1,5 ml chez l'adulte normal avec une moyenne de 1,1 ml, et chez l'enfant normal, de 0,4 à 1 ml avec une moyenne de 0,7 ml.

Inconvénient : pour l'étude de la compliance du STO, il ne permet pas l'étude comparative de courbes. En effet, pour des STO équivalents, si le volume du CAE varie, la courbe tympanométrique se trouve modifiée.

Ce tympanogramme de volume, qui donne la compliance absolue, est donc sans intérêt clinique puisqu'il fournit des réponses variables, tant chez les sujets normaux que chez les sujets atteints d'une même pathologie.

Tympanogramme de compliance du système tympano-ossiculaire (figure 4.3)

Pour faciliter l'étude isolée de la compliance du STO, deux possibilités sont offertes :

- soit avec un appareil manuel ; il faut, dans un premier temps, rechercher la valeur isolée de la compliance du CAE à +200 daPa (VCA) ; puis, pour chaque valeur de compliance, soustraire du résultat la VCA ;
- soit avec un appareil automatique : il fait le tracé du tympanogramme en soustrayant automatiquement la VCA. Les courbes de ces tympanogrammes de compliance peuvent être comparées entre elles, et sont données en millilitres en fonction de la pression. Le tracé est parfois appelé *tympanogramme compensé*.

Définitions des paramètres du tympanogramme

Tous ces paramètres permettent de chiffrer les caractéristiques de la courbe. Ils sont donnés automatiquement par certains appareils.

Compliance statique

C'est la hauteur du pic par rapport à une ligne de référence, ici le VCA (segment BH). Elle s'oppose à la compliance trouvée lors du RS.

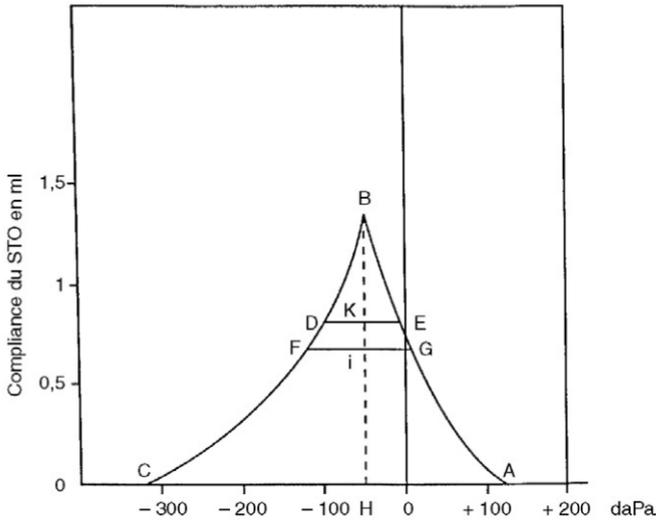


Figure 4.3

Tympanogramme de compliance du système tymano-ossiculaire.

La compliance statique (CS) varie beaucoup dans une population normale, allant de 0,30 à 1,60 ml. Son intérêt clinique est assez limité.

Dans l'exemple présent, la CS est de 1,4 ml.

Pression de l'oreille moyenne

C'est le segment HO qui correspond au pic de la courbe du tympanogramme. Ici, -50 daPa. Elle se situe normalement entre +50 et -100 daPa.

Amplitude du tympanogramme

C'est une amplitude de pression. Elle est donnée par le segment de droite FG coupant le tympanogramme à la mi-hauteur de BH ($B_i = iH$). Les résultats sont donnés en décapascals. Normalement, l'amplitude du tympanogramme (AT) se situe (pour Margolis) :

- chez l'adulte, entre 50 et 150 daPa, avec une moyenne de 100 daPa ;
- chez l'enfant, entre 60 et 150 daPa, avec une moyenne de 80 daPa.

Gradient

C'est un rapport entre deux segments. Prendre d'abord le segment parallèle à la ligne des pressions compris entre les deux versants de la courbe et correspondant à une longueur de 100 daPa. Ce segment coupe la verticale du pic en K.

Le gradient (G) est défini par le rapport $G = BK/BH$:

- une valeur faible (0,2 à 0,3) signifie une courbe aplatie ;
- une valeur élevée (0,7 ou 0,8) traduit un pic aigu.

Tous ces paramètres permettent de chiffrer les caractéristiques de la courbe. Ils sont donnés automatiquement par les appareils modernes.

Tympanogramme en unités relatives (figure 4.4)

En pratique courante, il donne des renseignements très souvent suffisants avec un appareil manuel d'emploi très facile.

La méthode consiste à d'abord déterminer la compliance à plus de 100 daPa, et à mettre l'aiguille de la balance à une extrémité indexée 0 unités relatives (UR). La balance est divisée en 10 UR.

Lorsque la dépression décroît, passe par 0 daPa, puis devient négative, l'aiguille de la balance se déplace car elle reçoit moins de courant. Son déplacement maximal correspond au pic de la courbe de tympanométrie. De nouveau, l'aiguille de la balance revient vers le 0 UR lorsque la dépression s'accroît au-delà du pic.

Intérêt du tympanogramme en UR : la compliance du CAE ou du VCA se trouve éliminée d'emblée. On obtient ainsi un tympanogramme de compliance du STO, mais en unités totalement arbitraires qui suffisent très souvent pour le diagnostic.

Réflexe stapédien

La présence d'un RS se traduit par la modification relative de la compliance de l'oreille lors d'un stimulus sonore ipsi- ou controlatéral. Ce réflexe est bilatéral.

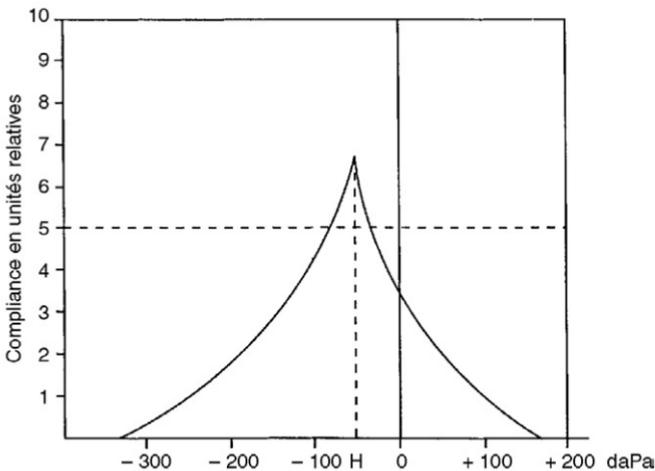


Figure 4.4
Tympanogramme en unités relatives.

L'étude du RS s'effectue en équipression avec l'oreille moyenne. Elle ne peut donc être réalisée qu'après l'étude tympanométrique avec détermination du pic de pression, quel que soit le type de tympanogramme (figure 4.5).

La contraction du muscle stapédien se traduit par un brusque déséquilibre du pont électroacoustique. Lors de la stimulation sonore, l'aiguille des compliances se déplace brusquement vers le sens positif, et s'y maintient si la stimulation a pour fréquence 500, 1000 ou 2000 Hz. Au-delà de 2000 Hz, il y a une fatigabilité au cours d'une même stimulation.

Technique de recherche du réflexe stapédien controlatéral

La sensibilité du voltmètre doit être réglée sur « réflexe ». La pression de la sonde est réglée sur le niveau correspondant au pic.

Le seuil du RS est déterminé en ajustant l'intensité du son de stimulation dans l'écouteur, au niveau le plus faible déclenchant un déplacement visible de l'aiguille.

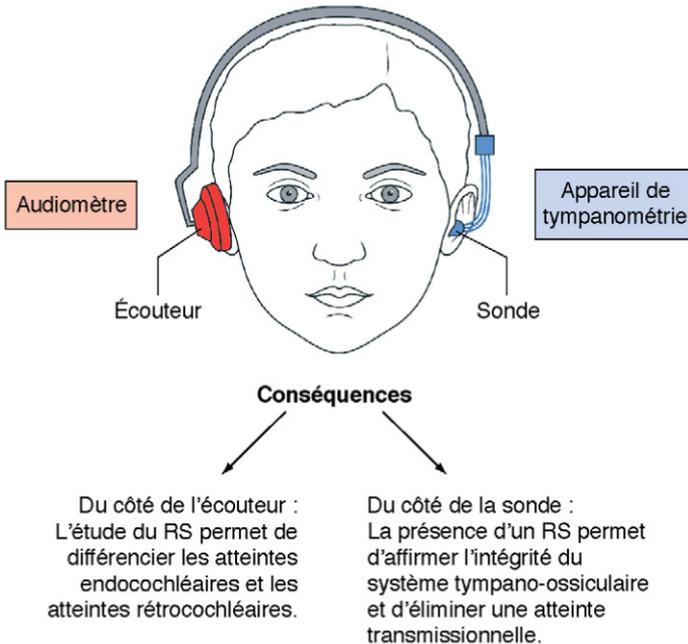


Figure 4.5

Le double intérêt de l'étude du réflexe stapédien.

Ici, étude du RS controlatéral.

On commence par stimuler l'oreille du côté opposé à l'oreille explorée, avec un son de 75 dB pendant 1 à 2 secondes. Selon l'absence ou l'existence d'une modification de la compliance, on augmente ou diminue de 5 dB la stimulation pour déterminer le seuil d'apparition du RS.

À partir de ce seuil, l'amplitude du RS croît rapidement quand on augmente l'intensité du stimulus sonore.

Le RS normal n'est pas une toute petite déflexion à peine visible sur le cadran des compliances. L'augmentation d'amplitude doit être franche et nettement visible pour une augmentation du stimulus sonore de 10 dB au-delà du seuil du RS.

Cette augmentation d'amplitude ou STAR (*supra threshold amplitude of the reflex*) de Freyss constitue un excellent témoin de la fonctionnalité de la chaîne.

Normalement, le STAR est supérieur à 2 UR.

Ce test sensibilise la courbe de tympanométrie.

Quand on fait une recherche de RS, particulièrement quand on veut explorer « l'oreille écouteur » dans les surdités de perception, il faut prendre l'habitude d'envoyer un stimulus à 10 dB au-dessus du seuil et durant au moins 5 secondes pour s'assurer de la stabilité de ce réflexe (cf. Test de dégradation, p. 99).

La recherche du RS par stimulation ipsilatérale peut s'imposer lorsque l'oreille controlatérale a une surdité importante. On a vu la possibilité d'artéfacts (cf. Modalités d'utilisation, p. 87). Le stimulus est donné en décibels SPL, car il n'y a pas de référence standardisée en décibels HL. Cette stimulation ipsilatérale est particulièrement intéressante en cas de surdité de transmission bilatérale.

Modes de transcription du réflexe stapédien

Il existe deux principales modalités de transcription.

Tout est écrit en toutes lettres. La fréquence et l'intensité de la stimulation du côté stimulé, et la présence ou non du réflexe du côté opposé.

Cette façon est simple, évite les erreurs, mais elle est peu parlante.

On peut l'envisager de différentes manières, dont deux sont proposées ici (figure 4.6).

Transcription directe du résultat du RS sur l'audiogramme tonal : le seuil du réflexe acoustique est reporté sur l'audiogramme, *du côté de la stimulation sonore* et transcrit par :

- un C en cas de stimulation controlatérale (cf. figure 4.10, p. 99) ;
- un I en cas de stimulation ipsilatérale.

Stimulation OD	RS/OG	STAR + 10 dB	Stimulation OG	RS/OD	STAR +10 dB
500 Hz dB	+ -		500 Hz dB	+ -	
1000 Hz dB	+ -		1000 Hz dB	+ -	
2000 Hz dB	+ -		2000 Hz dB	+ -	
Br. blanc dB	+ -		Br. blanc dB	+ -	

Fréquence	500	1000	2000	4000	Br.bl.	Fréquence	500	1000	2000	4000	Br.bl.
Contro.						Contro.					
Ipsi.						Ipsi.					
Adapt. path.			xxx	xxx	xxx	Adapt. path.			xxx	xxx	

Figure 4.6

Deux modalités de transcription des réflexes stapédiens.

Ce mode de transcription permet d'un seul coup d'œil de se faire une idée sur l'atteinte endo- ou rétrocochléaire de l'oreille recevant la stimulation « oreille écouteur ».

Enfin, il est intéressant de préciser si le RS est stable ou non.

L'étude du RS permet ainsi l'exploration dynamique du champ auditif restant. Si elle ne donne pas, stricto sensu, la valeur du recrutement, elle n'en reste pas moins un très bon test supraliminaire pour différencier une atteinte endocochléaire d'une atteinte rétrocochléaire.

Appareil de dépistage

Ces appareils de tympanométrie ne comportent que la sonde avec l'embout, sans écouteur controlatéral. Ils sont très utiles chez les enfants, car l'enregistrement se déclenche dès que l'étanchéité est assurée. Ils permettent une grande souplesse d'utilisation. On peut réaliser un RS ipsilatéral, parfois déclenché systématiquement sur certains appareils.

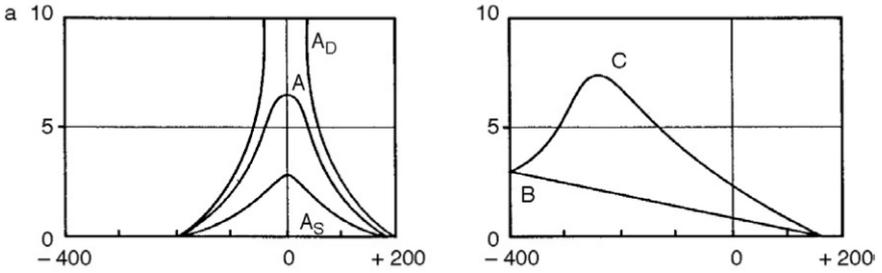
Certains appareils comportent un spéculum avec éclairage couplé avec la sonde, permettant ainsi de vérifier que l'ouverture de l'embout se situe bien dans l'axe de la lumière du conduit auditif.

Étude de différentes courbes tympanométriques pathologiques

La forme, la pression au sommet et l'amplitude du sommet suffisent pour caractériser un tympanogramme.

Plusieurs classifications ont été proposées, notamment par Jerger en 1970 (figure 4.7a et b).

Une courbe normale, bien dessinée, n'élimine pas formellement la présence d'un peu de liquide séreux dans le tympanum.



b

Tympanogramme	Pression	Compliance	Oreille moyenne
	Normale	Normale	Normale
	Normale	Diminuée	Liquide dans la caisse et/ou tympan épaissi et/ou fixation ossiculaire
	Normale	Augmentée	Tympan flaccide ou chaîne interrompue
	Négative	Normale	Dépression dans l'OM associée à une présence possible de liquide
	Négative	Diminuée	Liquide dans l'OM ou tympan épaissi et/ou chaîne fixée
	Négative	Diminuée	Tympan flaccide ou chaîne interrompue et forte dépression
	Négative	Normale	Pression anormalement positive

Figure 4.7

a. Classification des tympanogrammes selon Jerger.

b. Classification des tympanogrammes selon Fria.

Intérêt de l'enregistrement

Certains appareils permettent d'enregistrer les courbes et les divers paramètres, ce qui facilite les études comparatives et aide à déceler certains aspects particuliers tels que :

- les courbes à sommet bifide qui correspondent à des inégalités de résistance de la membrane tympanique (zones de sclérose et zones flaccides) ;
- les courbes avec des oscillations qui peuvent être :

- synchrones à la respiration, traduisant une *béance tubaire* ;
- synchrones aux pouls, parfois associées à des *acouphènes pulsatiles*. On peut les observer en cas de *chémodectome intratympanique* ;
- ou très rapides, évoquant la possibilité de *myoclonies des muscles ossiculaires*.

Tympanométrie et perforation tympanique

Lorsque le VCA dépasse 2 ml chez l'enfant, et 2,5 ml chez l'adulte, il faut évoquer l'existence d'une perforation, parfois punctiforme.

Il en est de même si, après avoir mis l'embout en place et s'être assuré de son étanchéité, l'aiguille du voltmètre des compliances reste bloquée sur une valeur élevée. En manœuvrant le rotacteur des compliances, on n'arrive pas à faire bouger l'aiguille ; on peut évoquer une sonde bouchée mais, le plus souvent, l'anomalie est liée à une petite perforation, parfois visible seulement sous microscope.

Manométrie tubaire

Dans les perforations tympaniques, l'impédancemétrie peut aider à connaître la perméabilité des trompes d'Eustache. Successivement, on :

- crée une dépression de -400 daPa ;
- vérifie ainsi l'étanchéité : la pression doit rester stable ;
- passe ensuite à -200 daPa ;
- fait déglutir au patient cinq gorgées d'eau ;
- note alors la position de l'aiguille des pressions. Elle peut ne pas avoir bougé ou s'être stabilisée par exemple vers -100 daPa : c'est la *pression résiduelle négative* ;
- recommence la même manœuvre, après avoir rétabli une pression de +200 daPa : on aura alors la *pression résiduelle positive*.

Les appareils automatiques avec enregistrement permettent de conserver un document.

Éléments diagnostiques apportés par l'étude du réflexe stapédien

Atteinte de l'oreille moyenne

Le réflexe stapédien dans les surdités de transmission

Un RS peut être considéré comme normal si, lors d'une stimulation sonore de 10 dB au-dessus du seuil, on obtient une augmentation

d'amplitude d'au moins 2 à 3 UR (STAR). Un tel RS traduit habituellement une oreille moyenne normale. Cependant, l'absence de RS ne permet pas d'affirmer la présence d'une surdité de transmission, comme Lutman l'a montré (figure 4.8).

Cependant, s'il arrive de trouver un RS dans les hypoacusies de transmission avec un Rinne de plus de 15 dB, son amplitude est habituellement faible.

L'association d'une hypoacousie de transmission importante et d'un RS doit faire mettre en doute l'audiogramme.

Il faut penser en premier à une courbe fantôme.

Mais il peut s'agir aussi de :

- fracture des branches de l'étrier ;
- tractus fibreux reliant l'étrier au manche du marteau avec interruption de l'articulation enclume-étrier ;
- collapsus du méat provoquant une fausse surdité de transmission.

Réflexe stapédien dans l'otospongiose : l'effet « on-off »

L'effet « on-off » correspond à une augmentation transitoire de la compliance apparaissant lors du début de la stimulation (« on »), et lors de la fin de la stimulation (« off ») [figure 4.9]. Ainsi, lors de la recherche du RS, au lieu d'observer une déviation de l'aiguille du voltmètre vers le sens positif pendant toute la durée de la stimulation, on voit les deux déflexions successives vers le sens négatif. Parfois, seul l'effet « on » apparaît, mais il n'a pas de signification pathologique. Cet effet « on-off » est quasi pathognomonique d'ankylose stapédovestibulaire débutante.

Un des intérêts de l'impédancemétrie dans l'otospongiose est la mise en présence de cet effet « on-off ». En effet, à ce stade de l'évolution de la maladie, il ne faut pas opérer. Les appareils automatiques rendent parfois difficile la recherche de l'effet « on-off », ce qui est très regrettable.

Quand l'ankylose est complète, il n'y a bien sûr aucun RS, mais un tympanogramme quasiment normal, avec une compliance un peu diminuée.

Quand une otospongiose a été opérée d'un côté et que, de l'autre côté, il existe une surdité de transmission, il ne faut pas stimuler cette oreille opérée au-delà de 90 dB pour rechercher un hypothétique RS controlatéral, car il y a risque de traumatisme sonore.

0	1-5 dB	6-10 dB	11-15 dB	16-20 dB	21-25 dB	26-30 dB	> 30 dB
5 %	9 %	23 %	29 %	43 %	54 %	68 %	94 %

Figure 4.8

Pourcentage de RS absents en fonction du Rinne audiométrique (Lutman).

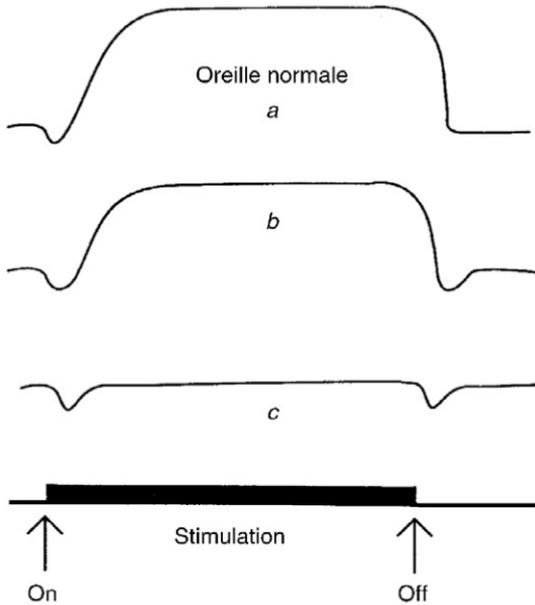


Figure 4.9

La déflexion initiale n'a pas de signification pathologique et peut s'observer avec une oreille normale (a). Entre les deux déflexions, la réponse avec effet « on-off » se situe à un niveau variable par rapport à la ligne basale (b,c).

Atteinte de l'oreille interne

La stimulation sonore est envoyée sur le côté testé soit par l'écouteur du casque (RS controlatéral), soit par la sonde (RS ipsilatéral).

Réflexe stapédien dans les surdités endocochléaires (test de Metz)

Le RS se déclenche habituellement pour une sensation d'intensité de l'ordre de 80 à 95 dB. Il correspond au seuil d'inconfort.

Chez les sujets atteints de surdité endocochléaire, ce seuil d'inconfort n'est pas modifié, c'est-à-dire que le seuil des RS reste le même que chez les sujets normaux, jusqu'à une perte auditive de 55 dB. On voit donc que le champ de l'audition confortable qui va de 0 à 85 dB est fortement réduit dans les surdités endocochléaires. Ce test de Metz donne un reflet du recrutement (cf. Audiométrie supraliminaire, p. 49).

D'où la règle : devant toute surdité de perception avec une perte auditive inférieure à 60 dB, lorsque le RS est obtenu à une intensité inférieure à 100 dB, l'atteinte est très probablement endocochléaire.

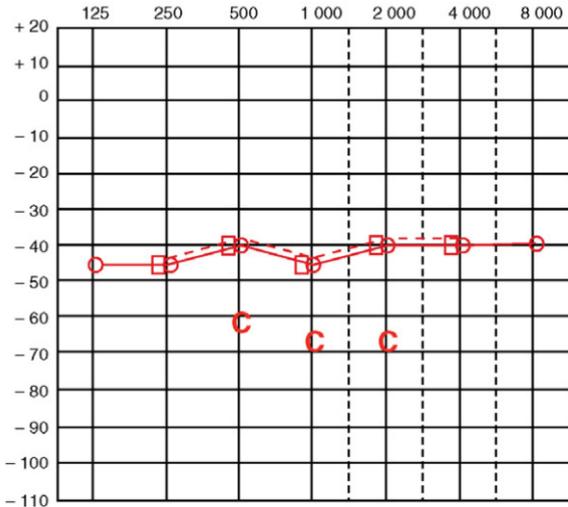


Figure 4.10

Surdité neurosensorielle type Ménière.

Transcription directe du RS (ici controlatéral) sur l'audiogramme tonal. L'écart entre le seuil tonal et le seuil des RS n'est que de 30 à 35 dB. Le champ d'audition confortable est fortement réduit.

La croissance de l'amplitude du RS en fonction de l'intensité est la même, qu'il y ait ou non un recrutement (figure 4.10).

Réflexe stapédien dans les surdités rétrocochléaires

Tout RS obtenu seulement pour des stimuli supérieurs à 100 dB doit faire suspecter une atteinte rétrocochléaire si la surdité de perception du côté de l'oreille stimulée est inférieure à 60 dB (barre des 100 dB de Freyss).

Adaptation pathologique

Chez un sujet normal, pour les fréquences 500 et 1000 Hz, quand on envoie durant 10 secondes une stimulation sonore à 10 dB au-dessus du seuil réflexogène, le réflexe s'installe en plateau et se maintient ainsi le temps de la stimulation.

Si une dégradation de 50 % de l'amplitude du RS (ou demi-vie) survient en moins de 5 secondes, ou 10 secondes pour certains auteurs, il existe une adaptation pathologique, de même type que la dégradation du seuil en audiométrie tonale liminaire. Ce test n'a pas d'intérêt pour les valeurs supérieures à 1000 Hz, car la demi-vie physiologique pour les fréquences 2000 et 4000 Hz est seulement de l'ordre de quelques secondes.

Ce test d'adaptation pathologique est très intéressant, mais en fait rarement positif.

Devant toute surdité de perception avec une perte auditive supérieure à 55 dB, lorsque l'intensité nécessaire pour obtenir un RS est supérieure à 100 dB, il faut suspecter fortement une atteinte rétrocochléaire.

Réflexe stapédien chez le jeune enfant

Son étude, dans le cas d'un examen de tympanométrie normale, est intéressante chez l'enfant, car la présence de RS permet d'éliminer une surdité profonde bilatérale.

Réflexe stapédien et diagnostic de cophose

Par stimulation :

- controlatérale, en cas de cophose unilatérale, les tympanogrammes sont normaux ; le RS est présent du côté de la cophose et absent du côté sain ;
- ipsilatérale, un RS est trouvé du côté sain, et aucune modification n'apparaît du côté cophotique.

Réflexe stapédien et simulateur

La découverte d'un RS chez un sujet qui dit ne rien entendre doit faire mettre en doute sa sincérité.

Si on peut déclencher un RS par stimulation de l'oreille présumée cophotique, surtout si ce réflexe est obtenu pour une stimulation de 80 à 85 dB environ, on peut affirmer que ce patient n'est pas cophotique.

Impédancemétrie multifréquentielle

Principe

Le principe de l'impédancemétrie multifréquentielle est de recourir à un panel de fréquence beaucoup plus large – jusqu'à 2000 Hz et plus. Le fonctionnement des instruments est beaucoup plus complexe que pour l'étude de l'impédancemétrie à fréquence fixe 226 Hz. Il est en effet nécessaire de recourir à une décomposition informatique des paramètres de l'admittance : la conductance et la susceptance, en fonction de l'angle de phase.

Au-delà de la fréquence 500 Hz, il existe un décalage de phase entre les ondes incidentes et réfléchies qui doit être pris en compte, alors que cela n'est pas nécessaire sur la fréquence 226 Hz. Cette nécessité de traitement informatique du signal conduit à l'utilisation d'un matériel beaucoup plus onéreux. L'analyse est décomposée selon un balayage fréquentiel dans les différentes composantes de l'impédancemétrie : l'admittance, la conductance et la susceptance. L'avantage principal de l'impédancemétrie

multifréquentielle repose sur les données obtenues par l'étude de la conductance, qui est le reflet inverse des forces résistives principalement présentes au niveau de l'oreille interne ; la susceptance en revanche traduit davantage des forces développées dans l'oreille moyenne et le ligament annulaire. Récemment, plusieurs équipes ont commencé à s'intéresser à l'impédancemétrie multifréquentielle pour évaluer sa place diagnostique dans les pathologies de l'oreille interne. En particulier, dans le cas de la maladie de Menière, il a été démontré l'existence d'une corrélation entre la fréquence de résonance et la pression des liquides endolabyrinthiques. Il existe des modifications de la décomposition des courbes de l'admittance, de la conductance et de la susceptance du tympanogramme sur un plan qualitatif et quantitatif.

Test G2Larg

Les valeurs de la courbe de conductance du tympanogramme à 2000 Hz peuvent être analysées de façon quantitative, en particulier pour la variable qui concerne la largeur en décapascals séparant les deux pics retrouvés sur la courbe (courbe dite en M). Dans la maladie de Menière, cette largeur est significativement augmentée et constitue une variable explorée dans le test dit du « G2Larg ». Le test est considéré comme positif lorsque la valeur dépasse 235 daPa. On considère que la valeur prédictive négative du test se situe aux alentours de 95 % dans la maladie de Menière.

L'intérêt principal du test est d'être non invasif, rapide et reproductible ; il ne nécessite que quelques minutes. Ses limites reposent sur le caractère intermittent de l'hydrops dans la maladie de Menière, ce qui fait qu'un peu moins de 60 % des patients malades ont un test G2Larg positif. La portée du test n'est pas encore totalement fixée, en particulier des études cherchent à évaluer son intérêt dans les autres pathologies de l'oreille interne, et sa place en association avec d'autres tests comme l'électrocochléographie.

Conclusion

L'impédancemétrie a pris depuis plus de 20 ans une place très importante dans l'examen audiolgique. L'apparition d'appareils automatiques délivrant un grand nombre d'informations chiffrées, pas toujours très compréhensibles pour les praticiens, a parfois pu rendre ésoérique un examen en fait très simple à réaliser. L'appareil manuel garde tout son intérêt, surtout lorsqu'il est à portée de main de l'otologiste, au mieux sur le lieu de l'examen otoscopique. En très peu de temps, l'otologiste peut acquérir des informations très intéressantes adaptées selon les cas, concernant le tympanogramme ou l'étude du RS. Cet examen a une place prépondérante à côté de l'audiométrie, mais il n'a pas supplanté totalement l'acoumétrie. Il faut en connaître les dangers (cf. Risques des examens audiolgiques, p. 251).

L'impédancemétrie donne des résultats qui sont ininterprétables en dehors du contexte clinique et de l'examen otoscopique réalisé sous moyen grossissant.

L'impédancemétrie n'est pas véritablement un examen audiométrique. Mais les renseignements qu'elle fournit en font un complément indispensable à un grand nombre d'examens otologiques.

Pour donner le maximum de son intérêt, cet examen devrait toujours être réalisé par l'otologiste lui-même, en tenant compte du contexte clinique, acoumétrique, et audiométrique.

5 Audiométrie objective

L'audiométrie objective est l'évaluation des capacités auditives d'un patient sans que sa participation active ne soit nécessaire. Elle complète les audiométries tonale et vocale, basées sur des réponses comportementales. Elle est rarement indispensable en pratique chez l'adulte, mais peut s'avérer nécessaire dans certaines circonstances : audiométrie chez le très jeune enfant, surdité rétrocochléaire et centrale, simulation, expertise, monitoring opératoire, évaluation des implants cochléaires, etc. De nombreux tests sont proposés. Bien qu'objectifs, les résultats des différents tests utilisés doivent être analysés avec prudence, en connaissant bien leurs indications, les conditions de réalisation et leurs limites. Il est indispensable d'interpréter ces tests à la lumière des résultats de l'audiométrie tonale et vocale.

Potentiels évoqués auditifs

Principes généraux

Les PEA (potentiels évoqués auditifs) sont de pratique courante en audiologie. Le principe des PEA est d'enregistrer par des électrodes de surface des potentiels électriques qui prennent naissance à différents niveaux du système nerveux, en réponse à une stimulation acoustique. La difficulté essentielle provient de la très faible amplitude de ces potentiels par rapport au bruit de fond électrique environnant. En effet, l'amplitude des PEA précoces est de l'ordre du microvolt alors que le bruit de fond a une amplitude de 100 μV (rapport signal/bruit de 1/100). Plusieurs types de potentiels peuvent être enregistrés (figure 5.1), dont la latence est fonction du délai d'activation du relais synaptique au niveau des voies auditives. Seuls sont envisagés ici les PEA de latences précoces, qui sont les plus souvent utilisés en pratique.

Classification

Il existe plusieurs types de PEA, classés en fonction de leurs latences. Les potentiels de latences précoces sont les plus souvent utilisés en pratique ; les latences (figure 5.1) sont comprises dans les 10 premières millisecondes. Ils ont pour origine l'activation des relais synaptiques auditifs du tronc cérébral. Il existe aussi des potentiels évoqués corticaux de latence plus longue. Les potentiels de latences moyennes ont des réponses comprises entre 10 et 50 ms (abréviation MLR pour « *middle latency responses* »). Il est possible aussi d'enregistrer des réponses qui apparaissent plus de 50 à 80 ms après le stimulus, appelées réponses de longue latence (LLR pour « *long latency* »).

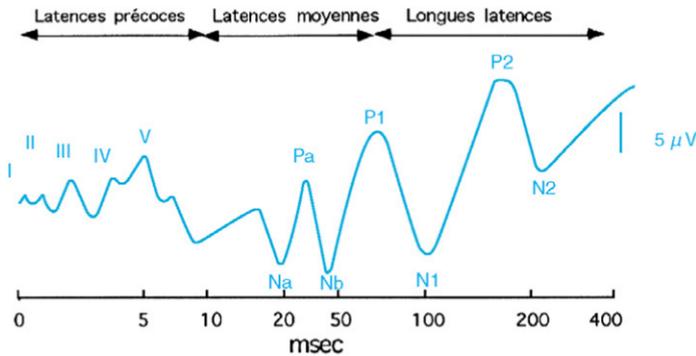


Figure 5.1

Les différents potentiels évoqués auditifs en fonction de leurs latences.

responses »). Parmi les PEA tardifs, les ASSR (« *auditory steady state responses* ») ou SSEP (« *steady state evoked potential* ») semblent prometteurs pour l'avenir. Ils nécessitent un investissement en temps et en matériel qui ne permet pas pour l'instant une diffusion en pratique courante. Le principe est d'enregistrer par des électrodes de surface les modifications électroencéphalographiques induites par des sons purs modulés en amplitude et à différentes fréquences. Ces sons purs ont une fréquence de modulation caractéristique qui permet de repérer la réponse auditive au niveau cortical grâce à une analyse fréquentielle. La réponse auditive est périodique, mais reste stationnaire en amplitude et en phase durant l'examen. L'avantage des PEA stationnaires est de pouvoir évaluer fréquence par fréquence l'intégrité des voies auditives jusqu'au cortex cérébral. On distingue aussi parmi ces potentiels corticaux ceux qui requièrent une tâche ou qui dépendent de l'état de conscience du sujet : potentiels cognitifs attentionnels et « *mismatch negativity* » (MMN).

Différentes modalités de PEA précoces

Les PEA précoces peuvent être étudiés selon trois modalités différentes. La première est la méthode standard, qui consiste à déterminer la latence et l'amplitude des réponses. La deuxième est l'analyse de la dynamique temporelle, qui étudie les variations des réponses en direct pendant le temps d'acquisition et qui peut montrer des anomalies de synchronisation des fibres auditives non visibles sur les enregistrements standard. Enfin, les PEA automatisés permettent de détecter avec un temps d'acquisition raccourci, grâce à une analyse informatisée du signal, la présence ou non de réponses auditives. Ils sont utilisés pour le dépistage néonatal des surdités. Nous nous limiterons dans ce chapitre à la méthode d'acquisition standard.

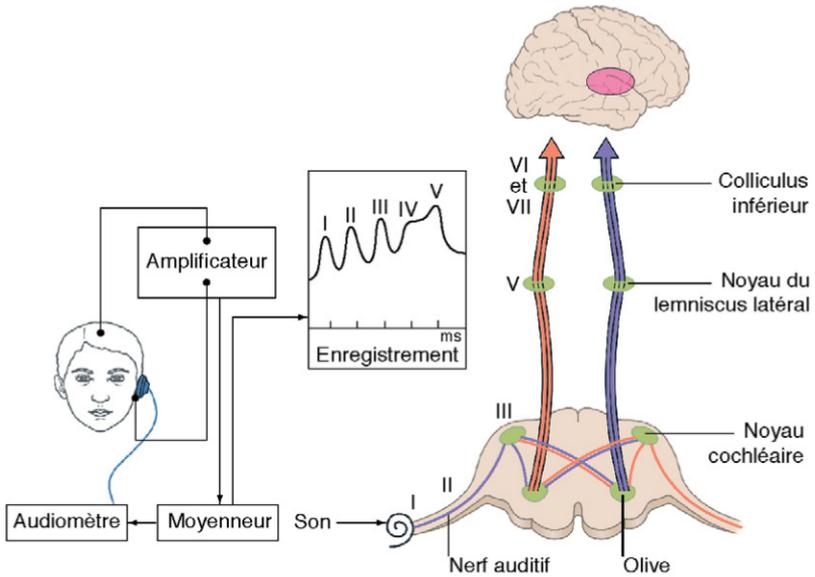


Figure 5.2

Générateurs des potentiels évoqués auditifs précoces et installation générale.

Générateurs des PEA

Le site exact des générateurs des PEA chez l'homme reste discuté, mis à part celui de l'onde I (figure 5.2). En effet, il existe des observations parfois discordantes entre les études électrophysiologiques et les résultats des PEA chez des patients ayant des pathologies bien localisées. Les études électrophysiologiques aboutissent aux résultats suivants :

- l'onde I a pour origine exclusive la partie distale du nerf auditif ;
- l'onde II provient de la partie proximale du nerf auditif, et probablement aussi de la partie plus distale du nerf ;
- l'onde III a pour origine les noyaux cochléaires, mais vraisemblablement aussi des fibres du nerf auditif qui entrent dans le noyau cochléaire ;
- l'onde IV provient du neurone auditif de troisième ordre qui se situe principalement dans le complexe olivaire supérieur ; mais y participent probablement aussi les noyaux cochléaires et les noyaux du lemniscus latéral ;
- l'onde V provient essentiellement du lemniscus latéral ;
- les ondes VI et VII naissent du colliculus inférieur.

Pour les ondes IV, V, VI et VII, les générateurs sont multiples, et plusieurs structures anatomiques contribuent à la formation de chaque pic.

Principes généraux

L'enregistrement des PEA doit prendre en compte la stimulation acoustique, l'enregistrement et l'amplification des réponses évoquées par la stimulation, et enfin le traitement du signal qui doit être extrait du bruit de fond électrique physiologique.

Stimulations acoustiques

L'enregistrement des PEA impose une stimulation auditive spécifique du système auditif, induisant une synchronisation du plus grand nombre de fibres nerveuses, en un minimum de temps.

L'absence de synchronisation empêcherait l'enregistrement des réponses. Ceci est d'autant plus vrai qu'on enregistre des potentiels précoces.

On utilise soit des clics, soit des bouffées tonales (cf. *Tone burst*, p. 205) ; ce sont des stimuli acoustiques très brefs. Plusieurs types de clic peuvent être utilisés en fonction de la polarité du choc électrique qui les déclenche : clics de raréfaction, clics de condensation ou clics alternés (alternance de clics de raréfaction et de clics de condensation). L'analyse spectrale d'un clic fait apparaître un éventail de fréquences entre 2000 et 4000Hz. Les clics filtrés, en particulier le logon 1000 Hz, permettent de tester l'oreille à 1000 Hz.

Enregistrement et traitement du signal, ou comment améliorer le rapport signal/bruit

Les PEA ne sont pas visibles sur un enregistrement direct, même après une très forte amplification, ce qui implique une amélioration du rapport signal/bruit. Deux techniques essentielles permettent de régler ce problème : l'enregistrement différentiel et la sommation.

Enregistrement différentiel

Son principe est de mesurer non pas un potentiel absolu obtenu au niveau d'une électrode, mais une différence de potentiel électrique entre deux électrodes proches. Ces électrodes doivent être placées suffisamment près l'une de l'autre pour que le bruit de fond capté par chacune d'elles soit pratiquement identique. Ainsi, l'enregistrement différentiel fait disparaître le bruit. Mais les électrodes d'enregistrement doivent être suffisamment éloignées pour que le signal physiologique soit différent au niveau de chaque électrode, et que la différence de potentiel entre les deux électrodes ne soit pas nulle. Un grand nombre de composantes du bruit comme les potentiels radio-induits, l'électrocardiogramme, sont similaires en différents endroits de la tête. Ces bruits sont donc en grande partie annulés par l'enregistrement différentiel.

Sommation ou moyennage

Elle permet d'améliorer considérablement le rapport signal/bruit. La sommation réalise la somme algébrique d'un nombre déterminé d'enregistrements élémentaires, réalisés de manière synchrone par rapport à un stimulus toujours identique.

L'effet de cette sommation est d'entraîner, au fur et à mesure de la sommation des réponses, d'une part la diminution du bruit de fond qui est aléatoire, et d'autre part l'augmentation du signal biologique enregistré, en proportion du nombre de stimulations.

Autres procédures

À ces deux techniques essentielles s'ajoutent d'autres procédures pour améliorer le rapport signal/bruit.

Elles font intervenir :

- la diminution des bruits non physiologiques en utilisant une cabine isolée électriquement (faradisée) ;
- la diminution de l'impédance des électrodes de surface, car une impédance élevée entraîne une augmentation du bruit. Il est important aussi qu'il n'y ait pas une trop grande différence d'impédance entre les deux électrodes d'enregistrement différentiel ;
- le rejet d'artéfact : il faut savoir qu'un artéfact isolé pourra avoir une valeur de plusieurs volts après sommation de 1000 enregistrements, et pourra simuler ou bien masquer une réponse physiologique attendue. Le but de ces systèmes est de réduire l'incidence de ces artéfacts en rejetant les enregistrements qui les contiennent. Le niveau de rejet peut être réglé, mais ce réglage est très difficile en pratique. L'erreur la plus commune est un rejet insuffisant. À l'opposé, un rejet trop fréquent a pour corollaire un temps d'examen plus long ;
- les filtres fréquentiels ont pour but de favoriser les fréquences du signal physiologique que l'on va enregistrer et de supprimer les fréquences des bruits de fond. Le filtre 50 Hz atténue le bruit du courant alternatif du secteur.

Réalisation pratique

Toute étude des PEA doit être précédée d'un examen otologique et d'un examen audiométrique classique tonal et vocal dans la mesure du possible.

Installation générale (figure 5.2)

L'examen se fait dans une cabine insonorisée, selon des normes identiques à celles de l'examen audiométrique (cf. Audiomètre, p. 14). Il est préférable

d'avoir une cabine paradisée pour limiter au maximum le bruit de fond électrique environnant.

Le patient est allongé, immobile, et doit être relaxé pour limiter les artefacts électromyographiques liés aux activités musculaires.

Le choix des électrodes : les électrodes cupules en argent sont très pratiques. Elles nécessitent l'utilisation d'une pâte ou d'un gel conducteur qui assurent une impédance faible. Il est possible également d'utiliser des électrodes autocollantes, ou encore des électrodes piquées à usage unique (plus désagréables pour le patient).

La mise en place des électrodes : elle est précédée par un nettoyage de la peau, nécessaire afin d'assurer la meilleure conductivité entre peau et électrode. L'électrode positive (qui est branchée à la prise « positif » du préamplificateur) est placée au vertex ; l'électrode négative au niveau de la mastoïde ou du lobule de l'oreille, imposant dans ce dernier cas le recours à une électrode piquée ou à clip. L'électrode neutre est collée au niveau du front. L'impédance doit être inférieure à 5 kohm.

Il est important de mettre l'appareil sous tension avant de placer les électrodes, et d'enlever les électrodes avant de débrancher l'appareil de PEA. Il faut aussi enlever lunettes et boucles d'oreilles.

Transducteurs acoustiques : un casque avec deux écouteurs est le plus souvent utilisé. On a parfois recours à des écouteurs à insertion (insert), placés dans le conduit auditif externe, soit en routine, soit pour le monitoring peropératoire.

Recommandations techniques pour l'enregistrement des PEA

Il n'existe pas de normalisation actuelle en matière d'enregistrement des PEA ; un minimum de standardisation a été proposé.

- Stimulus :
 - clics de 100 μ s de durée ;
 - transducteur type TDH49™ ;
 - différents types de clics peuvent être utilisés : clics de raréfaction, clics de condensation ou clics de polarités alternées qui limitent l'artéfact de stimulation induit par l'écouteur.

L'intensité des clics est quantifiée en décibels HL (*hearing level*), correspondant au seuil de détection du clic sur une population d'individus jeunes et sains. 0 dB HL correspond à peu près à 40 dB peSPL (*peak-equivalent sound pressure level*).

- Fréquence de stimulation : 1 à 80 Hz (clics par seconde). On utilise habituellement une fréquence de 12 à 30 Hz.

- Filtre : passe-bas : 30 Hz, passe-haut : 3000 Hz, avec un pas de 6 à 12 dB par octave. La fréquence basse de coupure peut être amenée à 100 ou 200 Hz en cas de parasitage.
- Amplification : elle est comprise entre $\times 50\ 000$ et $\times 150\ 000$.
- Nombre de clics pour chaque courbe (nombre de passages) : 1000 à 2000. Il n'y a pas de norme pour le nombre de passages et, dans certains cas, il suffit de 500 passages pour obtenir un tracé satisfaisant. Le but est d'obtenir au moins deux enregistrements reproductibles par intensité sonore, dont les latences des pics varient de moins de 0,2 ms.

Masquage controlatéral

Un masquage auditif controlatéral par un bruit blanc est nécessaire dès que l'intensité de stimulation est supérieure à 45 dB pour les écouteurs du casque, et 70 dB pour les écouteurs insérés dans le conduit auditif externe. Ces valeurs correspondent au seuil de transfert crânien.

Différents protocoles

Recherche d'une atteinte rétrocochléaire

C'est le dépistage de lésions du nerf auditif ou de lésions du tronc cérébral. Il est nécessaire de réaliser au moins deux enregistrements de chaque côté pour l'intensité testée, en pratique 90 dB HL (ces décibels HL en rapport avec les décibels pSPL sont parfois identifiés sous le sigle dB nHL), à une fréquence de 20 Hz afin d'obtenir des ondes I, III et V reproductibles.

Audiométrie objective et estimation du seuil

L'examen débute par des clics d'intensité modérée de 50 dB nHL et, en fonction de la présence ou de l'absence d'onde V détectable, l'intensité du stimulus est soit augmentée, soit diminuée par pas de 10 dB. À l'approche du seuil et lorsque l'onde V est la seule visible, il est nécessaire de s'assurer de la reproductibilité des courbes, en répétant les enregistrements à la même intensité.

Problèmes techniques et leurs solutions

Impédances élevées

Les électrodes en cause doivent être remises en place après un nettoyage rigoureux de la peau. Si ce n'est pas suffisant, on a intérêt à utiliser des électrodes piquées à usage unique.

Bruit de fond important

Dans certains cas, le bruit de fond électrique empêche l'enregistrement correct des PEA, soit par le rejet automatique de presque toutes les acquisitions, soit par la contamination du tracé qui rend impossible la détermination correcte des ondes. Il est important de vérifier d'abord l'impédance des

électrodes d'enregistrement. Si les impédances sont correctes, on demande au patient de se décontracter après l'avoir rassuré. On peut lui proposer d'essayer de s'endormir. Parfois, le bruit de fond a une origine difficile à déterminer (appareils électriques du voisinage par exemple), et cela surtout si l'examen n'est pas réalisé dans une cabine faradisée.

Réponse myogénique

Sur certains appareils, une réponse myogénique très ample peut masquer les PEA ; c'est le cas en particulier lorsqu'il existe une adaptation automatique de gain qui réduit les amplitudes des réponses de l'artéfact, mais aussi celles des PEA. Cette réponse est due à la contraction réflexe des muscles rétroauriculaires. Il existe deux solutions possibles pour pallier cette difficulté : soit augmenter l'amplitude des courbes si le logiciel le permet, soit refaire les enregistrements en limitant la réponse myogénique. Les réponses myogéniques peuvent être limitées en favorisant la relaxation du patient, en diminuant les intensités de stimulation ou en déplaçant les électrodes mastoïdiennes situées près du muscle rétroauriculaire pour les mettre sur le lobule.

Onde I impossible à déterminer

Les solutions pour tenter d'obtenir une onde I reproductible sont les suivantes :

- mise en place de l'électrode « négative » sur le lobule ;
- utilisation de clics de raréfaction ;
- détermination de la latence du potentiel d'action (PA) du nerf auditif par électrocochléographie (ÉchoG).

Critères d'analyse

Pour l'audiométrie objective, le critère retenu est le seuil d'obtention de l'onde V. Il est défini par l'intensité minimale de stimulation qui permet d'obtenir une onde V reproductible. La corrélation avec l'audiométrie tonale est bonne pour les fréquences 2 à 4 kHz.

Pour l'analyse de la topographie lésionnelle, les critères utiles en pratique sont les suivants :

- absence ou présence des ondes physiologiques, et en particulier des ondes tardives ;
- morphologie des ondes ; sont-elles bien définies ou au contraire déformées ou imprécises ;
- durée de l'intervalle I-V ;
- différence interaurale de l'intervalle I-V ;
- différence interaurale de latence de l'onde V.

Résultats « normaux »

La réponse normale comporte au moins cinq ondes bien définies lors d'une stimulation supraliminaires. Lorsque les stimulations ont des valeurs proches du seuil d'audition, l'onde V est la seule onde détectable (figures 5.3 et 5.4).

Notation et terminologie

Ondes des PEA : elles sont représentées en chiffres romains selon leur ordre d'apparition dans le temps (de I à VII). La latence des ondes se mesure à partir du début du stimulus acoustique jusqu'au pic du potentiel. L'amplitude comprend toute la hauteur du pic.

Électrodes : dans les enregistrements bipolaires, on utilise habituellement trois électrodes au niveau de la tête qui sont appelées respectivement électrode active, référence et électrode terre. En fait, ces termes prêtent à confusion et ne représentent pas une réalité physiologique. Il vaut mieux employer le terme d'électrode positive et négative en fonction de leur branchement sur le préamplificateur, ou bien inversée ou non inversée en

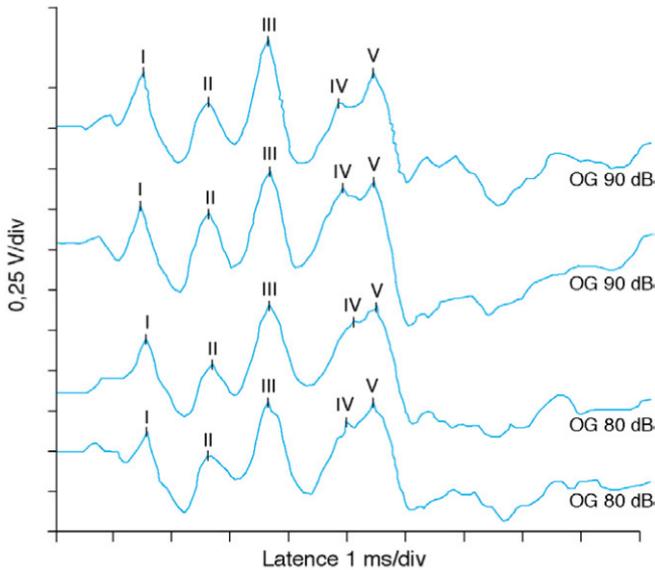


Figure 5.3

Potentiels évoqués auditifs précoces : aspect normal pour des stimulations supraliminaires.

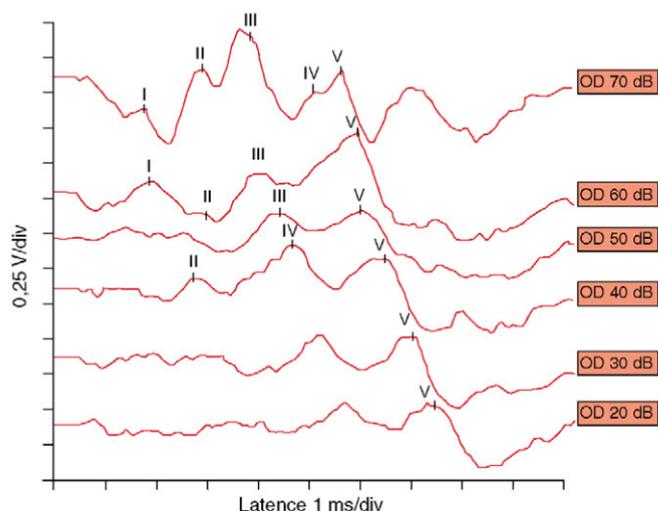


Figure 5.4

Potentiels évoqués auditifs précoces : réponses normales. Détermination du seuil auditif objectif chez un sujet normal. Dans ce cas, le seuil est à 20 dB.

fonction des branchements de l'amplificateur. La troisième électrode est appelée terre ou électrode neutre.

Enfin, les ondes I, II, III, IV, V, VI, VII représentent les pics positifs sur l'électrode placée au vertex, l'électrode du vertex étant l'électrode reliée à l'entrée « positive » du préamplificateur.

Latences des ondes

Il est impossible de donner des valeurs normalisées des latences, puisque les réponses des PEA dépendent de nombreux facteurs, liés à l'appareillage (paramètres de stimulation, paramètres d'enregistrement) ou au patient (âge, sexe, température corporelle, agents pharmacologiques).

On peut admettre schématiquement que chez un sujet adulte, les latences sont les suivantes lors de stimulations supraliminaires :

Onde	Latence
Onde I	1 à 2 ms
Onde II	2 à 3 ms
Onde III	3 à 4 ms
Onde IV	4 à 5 ms
Onde V	5 à 6 ms

Chez les nouveau-nés et les jeunes enfants, les latences sont plus longues, traduisant ainsi la maturation progressive des voies auditives. Elles sont semblables à celles de l'adulte à partir de l'âge de 2 ans.

Les latences varient de manière inverse à l'intensité de stimulation. Plus on se rapproche du seuil et plus les latences augmentent, et inversement.

Intervalles entre les ondes

Les intervalles entre les ondes sont nettement moins affectés que les latences des ondes par les modifications de paramètres de stimulation et l'importance ou le type de surdité.

I-V : 4 ms (sd = 0,2)

I-III et III-V : 2 ms

Différences interaurales de latences

La différence interaurale de latence est un critère majeur :

- IT I-V est la différence interaurale de latences de l'intervalle I-V. C'est un critère valide uniquement si l'onde I est clairement dessinée et si la différence interaurale de latence de l'onde I est inférieure à 0,2 ms ;
- IT I-V < 0,3 ms ;
- ILD V est la différence interaurale de latence de l'onde V. C'est le critère le plus souvent retenu en cas d'audition asymétrique ou de manque de définition de l'onde I, ce qui est en pratique une situation fréquente ;
- *ILD V < 0,3 ms* en cas d'audition symétrique.

Lorsqu'il existe une audition asymétrique, plusieurs procédures ont été proposées pour compenser l'augmentation de latence des ondes qui accompagne une surdité endocochléaire.

Une première procédure consiste à stimuler les deux oreilles avec des clics évoquant les mêmes niveaux de sensation sonore. Cette technique est critiquable. Elle se base sur une réponse comportementale pour réaliser un test électrophysiologique objectif. Pour conserver une symétrie de sensation sonore, une surdité unilatérale importante nécessite l'utilisation de forts niveaux de stimulation du côté sourd alors que, du côté sain, on peut être amené à utiliser des stimuli de faibles intensités. L'intensité requise du côté de la meilleure oreille peut alors être insuffisante pour obtenir des réponses complètes, et en particulier pour recueillir l'onde I.

Un deuxième type de procédure est la correction de latence de l'onde V. Plusieurs corrections ont été proposées, et nous décrivons celle qui paraît la plus simple à appliquer. En pratique, on soustrait 0,1 ms de la latence de l'onde V pour chaque 10 dB au-delà d'un seuil audiométrique tonal de 50 dB HL   4000 Hz.

S'il existe une atteinte transmissionnelle, l'absence de prédictibilité de l'allongement de latence de l'onde V en fonction du Rinne audiométrique empêche l'analyse fiable d'ILD V pour dépister une atteinte rétrocochléaire.

Interprétation

Elle doit être prudente et tenir compte des données indispensables de l'examen otologique et audiométrique. Elle doit aussi prendre en compte les limites des PEA, en particulier la subjectivité possible dans l'interprétation d'un seuil (figure 5.5). Il existe une bonne corrélation entre les seuils des PEA et les seuils d'audiométrie tonale pour les fréquences comprises entre 2000 et 4000 Hz. Cette corrélation n'est valable que pour ces fréquences. Les PEA n'explorent pas les fréquences conversationnelles 500 et 1000 Hz. Par ailleurs, les PEA n'explorent pas les voies auditives centrales, et un patient atteint d'une surdité centrale peut avoir des PEA normaux. Enfin, il faut savoir que PEA normal ne signifie pas audition normale (cf. Annexe IV, p. 276).

L'absence de normes et de distribution gaussienne des résultats ne permet pas de définir des résultats normaux des latences et des intervalles de latences. Les critères d'atteinte rétrocochléaire doivent être utilisés avec prudence. En effet, les faux négatifs sont possibles même avec des critères très restrictifs, et un petit neurinome intracanalair est compatible avec des PEA considérés comme normaux. Dans ce domaine, l'imagerie par résonance magnétique (IRM) est l'examen de référence.

Anomalies	Interprétations
Réponses normales	Audition normale Surdité de perception endocochléaire
Latences augmentées mais IT I-V < 0,3 ms ou ILD V < 0,3 ms	Surdité de transmission Surdité de perception endocochléaire
Absence d'onde reproductible	Surdité rétrocochléaire Surdité endocochléaire profonde
Latences augmentées et IT I-V > 0,3 ms ou ILD V > 0,3 ms	Surdité rétrocochléaire
Latences augmentées et ondes peu reproductibles et désorganisées	Surdité rétrocochléaire
Absences d'ondes tardives alors que les ondes précoces sont présentes	Lésion du tronc cérébral (sclérose en plaques, tumeur du tronc cérébral)

Figure 5.5

Topographie lésionnelle.

Intérêt clinique

Détermination objective des seuils d'audition

Les PEA n'explorent que les fréquences comprises entre 2000 et 4000 Hz. L'utilisation de clics filtrés permet néanmoins d'explorer la fréquence 1000 Hz.

Ce test est particulièrement utile chez les très jeunes enfants lorsque les tests d'audiométrie comportementale font suspecter une surdité. Il permet de confirmer ou non les seuils audiométriques obtenus. Le seuil objectif est obtenu à 10 dB HL dès la naissance et chez les prématurés de plus de 35 semaines. En revanche, pour un âge gestationnel inférieur, le seuil est plus élevé, et ce d'autant plus que l'âge gestationnel est faible.

Il est souvent utile de compléter les PEA par l'étude des otoémissions acoustiques (OA).

Dépistage d'une atteinte rétrocochléaire

Les PEA doivent être réalisés devant toute surdité de perception asymétrique, la plupart des vertiges (excepté le vertige paroxystique bénin de position) et pour les acouphènes. Ces symptômes peuvent révéler une pathologie rétrocochléaire, et en particulier un neurinome de l'acoustique (figure 5.6).

Il faut connaître les limites des PEA, qui n'ont pas une sensibilité diagnostique ni une spécificité de 100 %.

En effet, des résultats anormaux évoquant une atteinte rétrocochléaire n'indiquent pas dans tous les cas un neurinome du VIII ou une pathologie neurologique.

À l'opposé, on peut avoir des PEA normaux avec un petit neurinome du VIII.

PEA automatisés

La détermination des seuils des PEA chez un enfant est un examen long (30 à 45 minutes). Il doit être réalisé par un opérateur expérimenté qui va préciser le seuil d'audition en analysant les courbes enregistrées. La durée de passation n'est pas compatible avec un examen de dépistage. Les potentiels évoqués automatisés (PEAA) ont été développés pour le dépistage des surdités de l'enfant.

Des clics sont délivrés à haute fréquence (35 à 37 Hz) et à une intensité fixe de 35 dB HL. Un algorithme (système ALGO) permet de détecter l'onde V sur 500 acquisitions. Si l'enregistrement est compatible avec une réponse auditive, la réponse est positive. Dans le cas contraire, la réponse est négative. La durée moyenne de l'examen est de 3 à 7 minutes. La sensibilité varie de 90 à 100 % et la spécificité de 96 à 100 %. La Haute Autorité

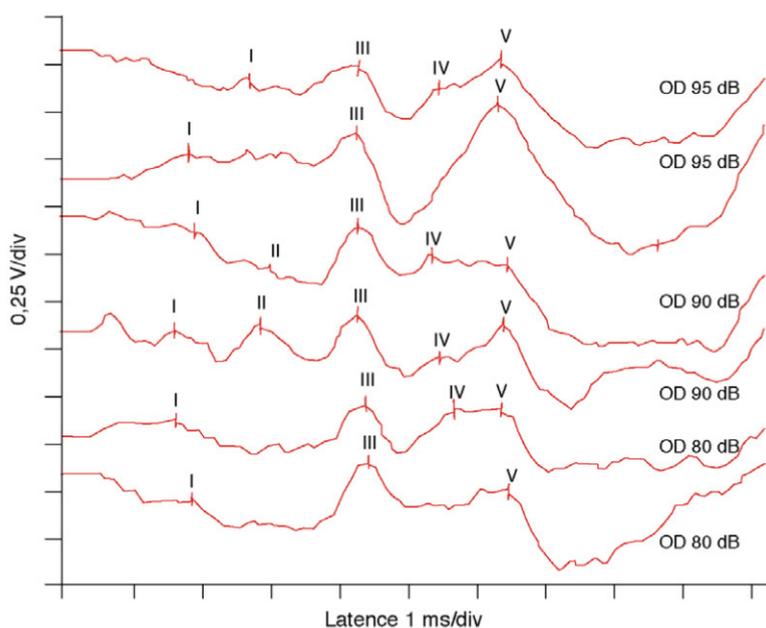
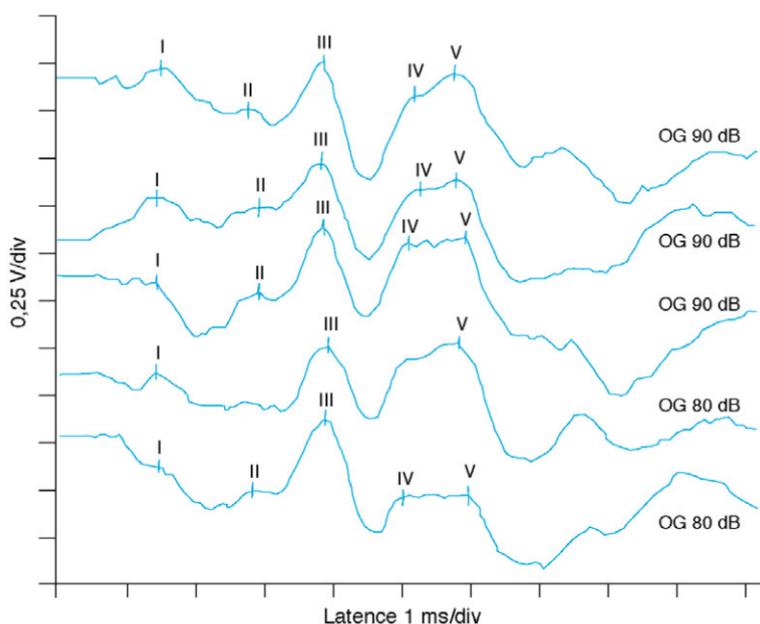


Figure 5.6

Neurinome de l'acoustique du côté droit : allongement des latences des ondes du côté droit par rapport au côté gauche.

de santé a validé en 2007 ce test pour le dépistage de surdités de l'enfant. L'avantage par rapport aux OA est l'absence de faux négatif en cas de neuropathie auditive, car le test explore les voies auditives de la cochlée au tronc cérébral, alors que les otoémissions n'explorent que la cochlée. Les inconvénients par rapport aux otoémissions sont une durée d'examen plus longue et un coût plus élevé, en particulier en consommable.

C'est l'examen de choix pour le dépistage de la surdité en néonatalogie et en unité de soins intensifs.

Autres intérêts

Sclérose en plaques (figure 5.7) : les PEA ont un intérêt non seulement dans le diagnostic de la maladie, mais aussi pour le suivi évolutif. Le plus souvent, ils font partie d'une étude fonctionnelle multimodale intégrant aussi les potentiels évoqués visuels et les potentiels évoqués somesthésiques.

Monitoring opératoire : les PEA sont de plus en plus souvent utilisés en monitoring opératoire de l'audition (chirurgie de la fosse postérieure, mais aussi en implantation cochléaire pédiatrique) et dans certaines interventions de l'oreille moyenne.

Les PEA paraissent aussi utiles dans la surveillance et l'évaluation des comas, ainsi que pour l'étude de la maturité neurologique des prématurés.

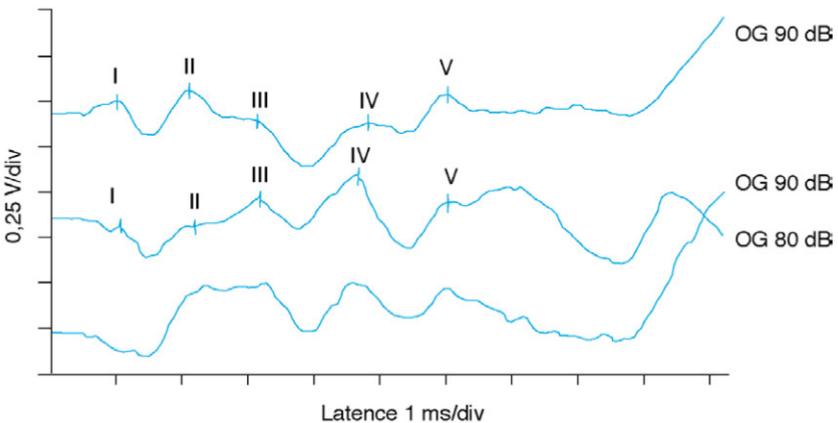


Figure 5.7

Sclérose en plaques chez une patiente à audition normale : on note l'augmentation de latence des ondes tardives, qui sont mal dessinées et difficilement reproductibles.

Électrocochléographie

L'ÉchoG est une méthode de recueil de potentiels auditifs à partir d'une électrode placée au contact de la cochlée. Elle a été initialement proposée pour l'évaluation de l'audition de l'enfant, mais son caractère invasif

imposant chez l'enfant le recours à une anesthésie générale l'a fait détrôner par les PEA. Cette technique présente un regain d'intérêt car, chez l'enfant, elle permet une détermination précise des seuils d'audition sur un champ fréquentiel plus large que celui des PEA, et apporte des arguments diagnostiques dans les pathologies endocochléaires comme l'hydrops ainsi que dans les neuropathies auditives. Les potentiels enregistrés sont générés par la cochlée et le nerf auditif.

Principe

Des potentiels sont enregistrés entre une électrode active placée au contact de la cochlée et une électrode de référence à distance. La stimulation est acoustique.

Les réponses sont amplifiées et le signal est traité avec un matériel similaire à celui utilisé pour les PEA. Les réponses sont plus amples que celles des PEA, car l'enregistrement est réalisé au plus proche des générateurs.

Technique d'enregistrement

La technique la plus fiable est l'enregistrement transtympanique par une électrode posée sur le promontoire. Des approches moins invasives sont possibles en plaçant l'électrode active sur la membrane tympanique ou dans le conduit auditif externe. Le rapport signal/bruit est plus favorable avec l'électrode transtympanique, assurant des résultats plus fiables.

L'électrode négative est placée sur la mastoïde. Les réponses sont enregistrées pendant 5 ms après le début de la stimulation. Elles sont amplifiées, filtrées et moyennées. Le nombre d'acquisitions nécessaires est nettement moins important que pour les PEA.

Les stimuli le plus souvent utilisés sont les clics, les clics filtrés et surtout les *tone bursts*, qui permettent de tester la sensibilité de l'oreille à différentes fréquences.

Le masquage de l'oreille controlatérale est inutile.

Résultats

Trois types de réponse peuvent être enregistrés (figure 5.8).

Potentiel microphonique

C'est une réponse oscillatoire contemporaine de la stimulation acoustique qui rend compte de la micromécanique cochléaire ayant pour origine les cellules ciliées et plus spécifiquement les cellules ciliées externes de la base cochléaire. La cochlée peut ainsi être comparée à un véritable microphone biologique.

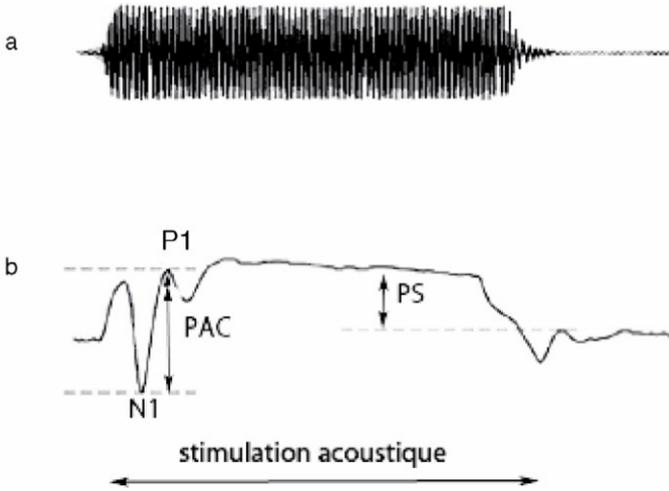


Figure 5.8

Électrocochléographie.

a. Potentiel microphonique dont la forme reproduit celle du stimulus (*tone burst* de 1000 Hz).
b. Potentiel d'action composite (PAC) qui est le résultat de l'activité synchronisée des fibres du nerf auditif. L'amplitude est mesurée entre N1 et P1. Le potentiel de sommation (PS) reflète l'activité des cellules ciliées internes.

Potentiel de sommation

C'est l'enveloppe du potentiel microphonique. Il peut s'agir d'une dérivation positive ou négative. L'amplitude est proportionnelle aux distorsions, et se trouve notablement augmentée en cas d'hydrops. Les cellules ciliées internes sont principalement à l'origine du potentiel de sommation (PS).

Potentiel d'action et potentiel d'action composite

Il correspond à l'activité des fibres du nerf auditif en réponse à des stimulations acoustiques de courte durée (clics, *bursts*). Son enregistrement répond aux mêmes principes que les PEA, avec stimulations acoustiques répétées et moyennage. L'amplitude étant beaucoup plus importante, les réponses émergent très rapidement après quelques stimulations. Le PA est composé d'un ou deux pics négatifs N1 et N2 qui correspondent aux ondes I et II des PEA. Les seuils du PA et du potentiel d'action composite (PAC) sont très proches des seuils comportementaux pour les mêmes stimuli.

Le PAC est la somme du PS et du PA. En pratique, on calcule le rapport PS/PA qui est habituellement compris entre 0,5 et 0,75 : une

augmentation significative de ce rapport est en faveur d'un hydrops labyrinthique.

Intérêt clinique

Audiométrie objective chez l'enfant

Les corrélations entre les seuils comportementaux et les seuils en ÉchoG sont très satisfaisantes, avec une précision de l'ordre de 10dB. L'exploration fréquentielle est bien meilleure que celle des PEA classiques et permet une évaluation plus précise de l'audition. L'ÉchoG complète les PEA lorsqu'une anesthésie générale est nécessaire.

Elle apporte des arguments diagnostiques en faveur d'une neuropathie auditive en montrant des potentiels microphoniques et PS bien conservés, contrastant avec des seuils élevés de PA et PAC.

Hydrips labyrinthique

L'ÉchoG est utile pour le diagnostic d'hydrips et de maladie de Menière, ainsi que pour l'évaluation objective de la réponse thérapeutique. L'augmentation du rapport PS/PA, qui est normalement compris entre 0,5 et 0,75, ainsi que l'augmentation de l'amplitude du PS sont en faveur de l'hydrips. La normalisation du rapport PS/PA lors d'un test osmotique est aussi un excellent argument diagnostique d'hydrips.

Otoémissions acoustiques provoquées

Les OA sont des sons de faible intensité émis par les cellules ciliées externes. Elles sont transmises de manière rétrograde par la chaîne ossiculaire jusqu'à la membrane tympanique et au conduit auditif externe. Elles sont alors enregistrables par une sonde acoustique miniaturisée placée dans le conduit auditif externe. Les OA peuvent être spontanées, présentes en l'absence de toute stimulation sonore, ou apparaître en réponse à un stimulus acoustique de faible ou moyenne intensité. Ce sont ces dernières, les otoémissions provoquées, qui sont utilisées en audiologie pratique. Leur présence traduit la contraction des cellules ciliées externes en réponse à une stimulation sonore de courte durée. Cette énergie intrinsèque est répercutée à la membrane basilaire. On arrive à les distinguer du stimulus grâce à leur retard par rapport à la stimulation, et par leur caractère reproductible.

Différents types d'otoémissions provoquées

- *Les OA provoquées* par des sons transitoires (clics ou bouffées tonales) : ce sont les premières à avoir été utilisées en audiologie pratique.

- *Les produits de distorsion* : les otoémissions sont évoquées par deux sons purs de fréquences proches (F1 et F2). Leurs fréquences correspondent à des combinaisons algébriques des fréquences des deux sons purs. En pratique, le produit de distorsion le plus étudié est $2F1 - F2$.
- Les OA provoquées par un son pur.

En pratique, on a recours uniquement aux OA provoquées et aux produits de distorsion.

Méthode d'enregistrement

Équipement

Il comprend un microphone placé le plus près possible de la membrane tympanique, un amplificateur, un moyennneur, un analyseur spectral, un écran graphique.

La stimulation acoustique est couplée au microphone.

Il existe plusieurs types d'équipement sur le marché. La qualité de la sonde et du logiciel d'analyse doit être prise en compte.

Mise en place de la sonde

C'est un geste important. L'extrémité de la sonde est entourée d'un embout en plastique ou en mousse identique à celui utilisé pour la tympanométrie. L'embout doit assurer une parfaite étanchéité au bruit, et la sonde doit être dans l'axe du conduit auditif externe, proche de la membrane tympanique.

La position de la sonde dans le conduit auditif externe conditionne le spectre du stimulus et la durée réelle du stimulus acoustique, qui ne doit pas se prolonger pendant le temps d'enregistrement des otoémissions. La position de la sonde a aussi une influence sur l'intensité et le spectre des otoémissions.

L'étanchéité de l'embout permet également de réduire le bruit de fond.

Amélioration du rapport signal/bruit

Les otoémissions ont une faible intensité et sont masquées par le bruit du patient ou de son environnement. Plusieurs artifices permettent d'améliorer le rapport signal/bruit et d'extraire les otoémissions du bruit de fond :

- l'étanchéité de l'embout ;
- la sommation ou moyennage : comme pour les PEA, la sommation va réaliser la somme algébrique d'un nombre déterminé d'enregistrements élémentaires, acquis de manière synchrone par rapport à un stimulus toujours identique. L'effet de cette sommation est d'une part la diminution du bruit de fond, qui est un élément aléatoire, et d'autre part l'augmentation du signal biologique enregistré, en proportion du nombre de stimulations ;

- la coopération du patient qui doit éviter tout bruit ; cette coopération est difficile à obtenir chez les nouveau-nés et les nourrissons. On réalise alors l'enregistrement juste après le biberon, pendant le sommeil.

Paramètres de stimulation

Des clics sont utilisés à une fréquence de 50 Hz. Pour diminuer l'importance de l'artéfact d'enregistrement dû à la stimulation, de nombreux appareils utilisent des stimulations non linéaires. Généralement, il s'agit de séries de quatre clics ; les trois premiers sont identiques, le quatrième a une polarité inversée et une amplitude supérieure. Lors de la sommation, l'artéfact de stimulation est donc réduit.

Le contrôle du stimulus est indispensable pour interpréter les résultats de l'enregistrement et les valider. De nombreux appareils permettent d'analyser le stimulus : sa durée, sa forme, son spectre.

Paramètres d'enregistrement

- La durée d'enregistrement des otoémissions est inférieure à 1 minute lorsque les conditions sont optimales.
- L'analyse débute 4 à 5 ms après la stimulation.
- La durée d'analyse est de 20 ms.
- L'analyse est réalisée après 200 à 300 séries de clics.

Critères de présence d'otoémissions

Il est indispensable de s'assurer de la validité des otoémissions enregistrées et de les différencier du bruit de fond ou du bruit de la stimulation. Plusieurs paramètres doivent être vérifiés. Les résultats de l'analyse de ces paramètres sont affichés par le logiciel d'enregistrement des otoémissions.

Latences des otoémissions

Il existe quelques millisecondes de latence entre la stimulation et les otoémissions. La présence d'une période de latence silencieuse entre le stimulus et la réponse rend improbable la contamination de la réponse par l'artéfact de stimulation.

Reproductibilité

C'est une caractéristique majeure des otoémissions qui les différencie du bruit de fond, ce dernier étant aléatoire. La reproductibilité est analysée par comparaison manuelle de deux courbes, soit plus fréquemment grâce au logiciel qui calcule un taux de reproductibilité des réponses. En pratique, les otoémissions doivent avoir une reproductibilité supérieure à 50 %.

Analyse spectrale

L'analyse spectrale comparative des otoémissions et du bruit de fond permet d'apprécier le rapport signal/bruit pour chaque bande de fréquences.

Si le bruit de fond est trop intense, les otoémissions peuvent être masquées. Il faut alors refaire l'enregistrement dans de meilleures conditions (diminution du bruit de fond, meilleure position de la sonde dans le conduit auditif externe). À l'opposé, l'existence des otoémissions ne fait aucun doute quand leur intensité est nettement supérieure à celle du bruit de fond.

Résultats

Une caractéristique fondamentale des otoémissions est leur reproductibilité intra-individuelle, qui persiste parfois au-delà de plusieurs années.

Elles sont présentes chez 90 à 100 % des adultes ou enfants normo-entendants (figure 5.9). À la naissance, elles ne sont présentes que dans 70 % des cas, probablement en rapport avec l'encombrement du conduit auditif externe par des résidus amniotiques, alors qu'elles peuvent être enregistrées dans près de 100 % des cas dès le 3^e jour après la naissance.

Les otoémissions sont très amples chez le nouveau-né, ce qui facilite leur enregistrement (figure 5.10). Au-delà de 60 ans, le pourcentage d'enregistrement diminue, et lorsque les otoémissions sont présentes, leur amplitude est plus faible.

Pathologie de l'oreille moyenne : toute pathologie de l'oreille moyenne va interférer avec la transmission sonore et l'enregistrement des otoémissions. Une surdité de transmission empêche cet enregistrement. Une dépression ou hyperpression de l'oreille moyenne provoque une diminution d'amplitude des réponses.

Surdité de perception endocochléaire : au-delà d'une surdité de 30 dB sur la meilleure fréquence, il n'y a plus d'otoémission détectable (figure 5.11). Si les otoémissions sont présentes, les seuils auditifs sont au moins égaux à 30 dB.

Surdité de perception rétrocochléaire : il est possible d'enregistrer des otoémissions pour des seuils audiométriques supérieurs à 30 dB.

Intérêt clinique

Le principal intérêt clinique des otoémissions est le dépistage de la surdité en période néonatale. C'est un test rapide qui peut durer moins de 1 minute, non invasif, et qui ne nécessite pas de local spécifique.

La présence d'otoémissions permet d'affirmer qu'il n'y a pas de surdité transmissionnelle, et qu'en cas d'atteinte cochléaire, les seuils auditifs sont au moins égaux à 30 dB. Par convention, on dit qu'un test est négatif quand les otoémissions sont présentes et qu'un test est positif quand elles ne peuvent pas être obtenues.

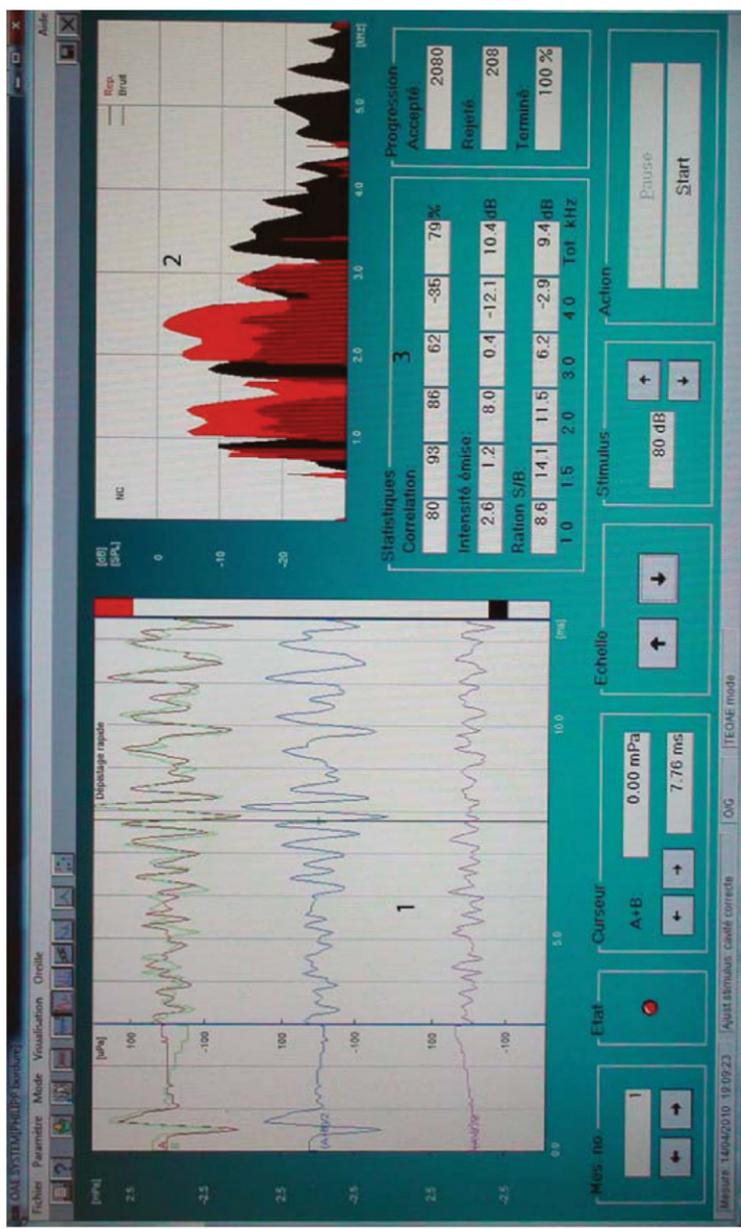


Figure 5.9 Aspect normal des otoémissions acoustiques provoquées chez un adulte. 1. Tracé des otoémissions. 2. Analyse spectrale des otoémissions (bruit en noir, otoémissions en rouge). 3. Données statistiques.

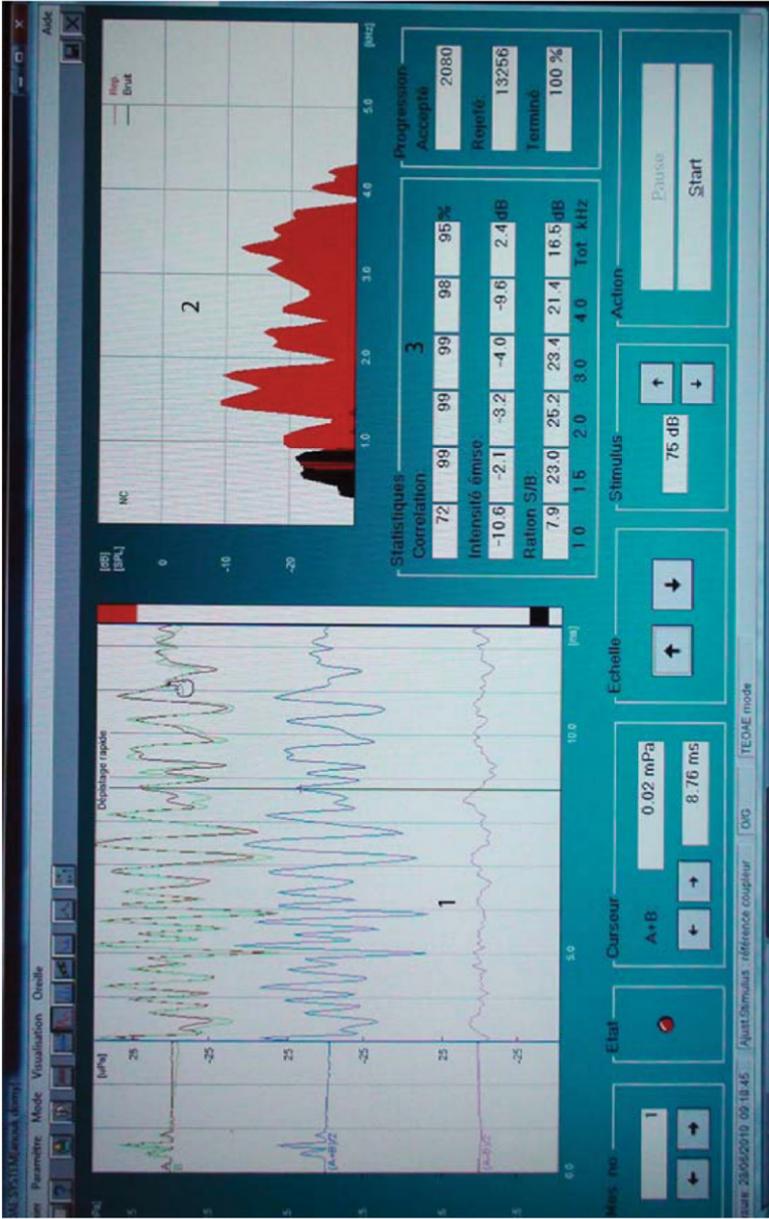


Figure 5.10

Aspect normal des otoémissions acoustiques provoquées chez un nouveau-né.

1. Tracé des otoémissions. 2. Analyse spectrale des otoémissions (bruit en noir, otoémissions en rouge). 3. Données statistiques. Les otoémissions sont beaucoup plus amples que chez l'adulte, avec un excellent rapport signal/bruit.

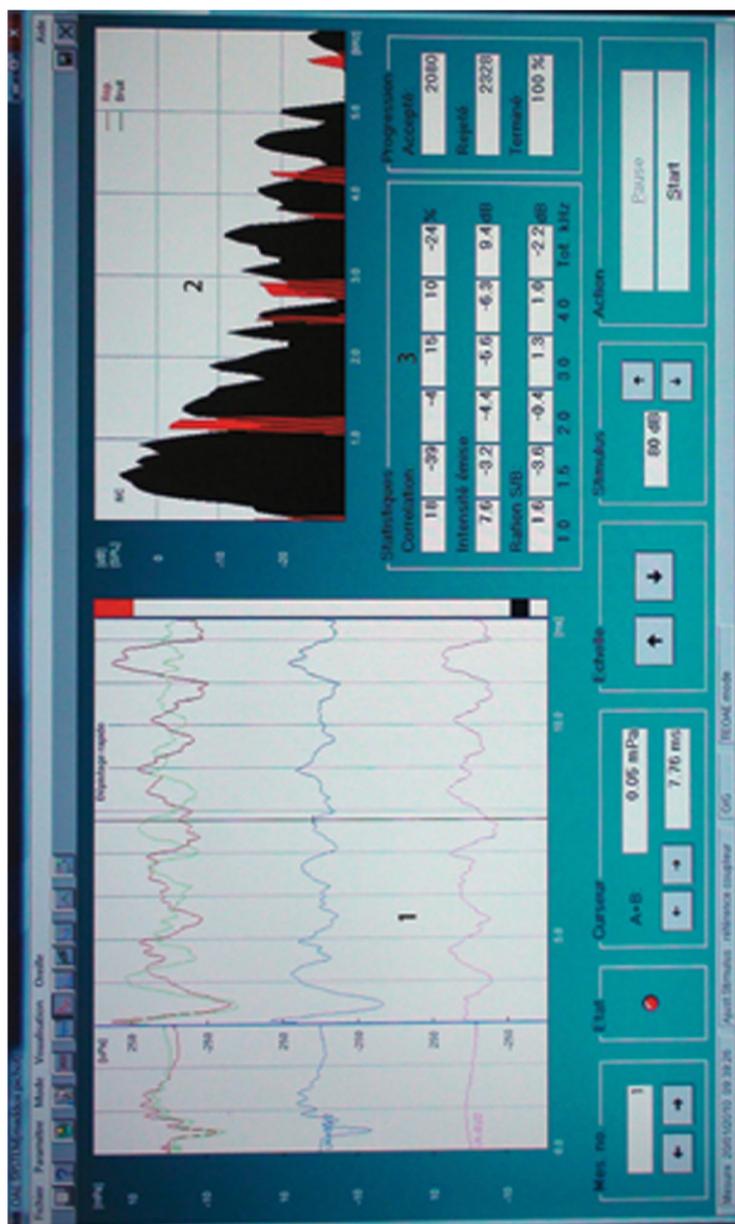


Figure 5.11 Absence d'otoémission acoustique provoquée chez un adulte atteint de maladie de Ménière avec une surdité de perception.

En pratique, la présence d'otoémissions signifie qu'il n'y a pas de surdité sévère ou profonde.

Mais il faut prendre garde à ne pas tirer de conclusions abusives sur l'audition de l'enfant :

- l'absence d'otoémissions ne veut pas forcément dire que l'enfant est sourd, mais impose de refaire l'examen et de le compléter par un examen audiolgique plus complet ;
- la présence d'otoémissions ne permet pas d'éliminer une surdité par neuropathie auditive d'une part, ni d'affirmer que l'enfant ne développera pas une surdité évolutive d'autre part. Il ne faut donc pas non plus rassurer abusivement les parents, et s'il existe des facteurs de risque de surdité, la répétition des examens audiolgiques dans le temps est indispensable. Si le diagnostic de neuropathie auditive est évoqué, les PEA et éventuellement une ÉchoG doivent être réalisés.

Les otoémissions ont d'autres applications cliniques :

- maladie de Ménière : un test osmotique positif montrant une amélioration des réponses est un bon argument en faveur d'un hydrops labyrinthique réversible. De même, l'observation d'un décalage de phase supérieur à 50° des otoémissions à 1000 Hz après décubitus est un signe évocateur d'une hyperpression intralabyrinthique et donc d'un hydrops ;
- pronostic des surdités brusques ;
- dépistage et diagnostic précoce des surdités toxiques ou professionnelles.

Produits de distorsion

Si on stimule la cochlée par deux sons purs, on recueille une forme d'otoémissions particulières qu'on appelle les produits de distorsion acoustiques (PDA). Les vibrations de chaque son pur et leurs traitements intracochléaires interfèrent entre eux, probablement au niveau de la touffe stéréociliaire des cellules ciliées externes, de telle manière qu'à partir de deux sons primaires de fréquence F_1 et F_2 sont engendrés des produits de distorsion de fréquence $mF_1 \pm nF_2$ où m et n sont des entiers naturels. Chez l'homme, on s'intéresse au PDA $2F_1 - F_2$, car il est très ample.

Paramètres de stimulation

Deux sons purs de fréquences F_1 et F_2 sont délivrés au niveau de l'embout méatique par deux microsondes acoustiques.

On choisit F_1 et F_2 tels que $F_2/F_1 = 1,20$; ces valeurs donnent une grande amplitude du produit de distorsion $2F_1 - F_2$.

L'intensité du stimulus ne doit en principe pas dépasser 70 dB SPL (*sound pressure level*). Au-delà de cette intensité, des produits de distorsion peuvent apparaître dans des cavités inertes et ne témoignent pas forcément d'un phénomène actif. L'intensité de F1 doit être supérieure à celle de F2 de 5 à 10 dB.

Critères d'analyse des produits de distorsion

En pratique, le produit de distorsion étudié est $2F1 - F2$ (figure 5.12).

Ils doivent émerger de 3 à 10 dB au-dessus du bruit de fond.

Étude de la courbe entrée-sortie

C'est la courbe qui donne les valeurs de l'amplitude des produits de distorsion en fonction de l'intensité de stimulation. Le produit de distorsion apparaît à une intensité seuil et son amplitude augmente de manière non linéaire jusqu'à saturation.

L'étude de la courbe entrée-sortie permet de déterminer le seuil des produits de distorsion pour différentes fréquences.

Elle apporte un critère de présence de produit de distorsion en montrant le phénomène de saturation linéaire caractéristique à partir d'une certaine intensité de stimulation.

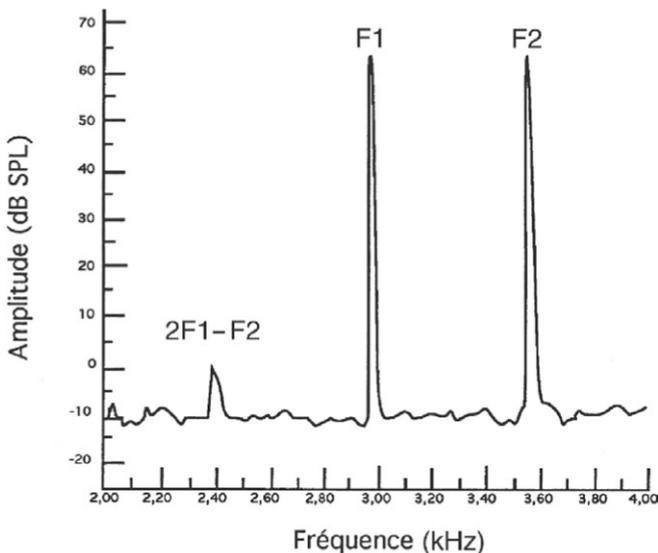


Figure 5.12

Produits de distorsion acoustiques.

F1 et F2 sont les sons stimulants, et $2F1 - F2$ est le produit de distorsion émis par la cochlée.

Audiogramme en produit de distorsion : DP-gram

Dans ce cas, le logiciel affiche l'amplitude des PDA en fonction de fréquences primaires F2 et F1 qui varient, alors que l'intensité est constante. En ordonnée est affichée l'amplitude des PDA, et en abscisse la valeur moyenne des fréquences primaires ou la valeur de F2.

Résultats

Les PDA sont présents chez tous les sujets normo-entendants.

Moins de 50 % des sujets normo-entendants ont des PDA lors de l'étude des basses fréquences (500 Hz).

La fréquence la plus basse qu'on puisse explorer par les produits de distorsion est 750 Hz, ce qui limite leur intérêt clinique.

Il existe un phénomène de saturation de l'amplitude des PDA à partir de 60–70 dB SPL. À des niveaux de stimulation supérieurs, des distorsions peuvent apparaître de manière passive, sans mettre en jeu des phénomènes cochléaires actifs. L'interprétation des résultats est donc plus aléatoire.

En cas de dommage de la partie cochléaire qui code pour les fréquences voisines de F2, le PDA tend à disparaître.

Il existe des tableaux de corrélation entre les seuils de détection des PDA et l'audiométrie tonale.

Intérêt clinique

C'est une méthode objective d'exploration de la cochlée. Elle n'est pas invasive et permet de tester la cochlée à partir de 750 Hz. Ces données sont d'un grand intérêt en audiologie pédiatrique lors de l'évaluation des surdités néonatales. L'enregistrement des produits de distorsion est utilisé aussi pour le dépistage des surdités dans les maternités ou les services de soins intensifs de néonatalogie.

Conclusion

Les techniques d'audiométrie objectives bénéficient des progrès constants des technologies et sont en constante évolution. Elles prennent de plus en plus d'importance dans l'évaluation diagnostique des surdités, mais leurs résultats doivent toujours être interprétés en fonction des données cliniques.

Introduction

Certains examens ne sont réalisés que dans des centres spécialisés, car ils sont indiqués dans des pathologies rares ou parce qu'ils requièrent une expertise particulière. C'est le cas de l'exploration des surdités centrales et de l'audiométrie pour l'implant cochléaire.

Exploration des surdités centrales

Les surdités centrales représentent une pathologie rare, le plus souvent observée par les neurologues en association avec d'autres troubles neurologiques. Elles sont déterminées par des lésions des voies auditives situées entre le tronc cérébral et le cortex. Les voies auditives afférentes diffusent de manière bilatérale dès le niveau du tronc cérébral, avec de nombreuses décussations jusqu'au cortex cérébral, et d'un hémisphère à l'autre par le corps calleux. Ces nombreux niveaux d'échange droite/gauche expliquent que le message acoustique parvient au cerveau malgré des lésions importantes. Il s'agit bien plus souvent d'*agnosie auditive* que de surdité et les patients entendent le son mais ils ne savent pas l'identifier, le quantifier, l'analyser. Les surdités corticales caractérisées par l'absence de perception sonore sont plus rares et le plus souvent transitoires. Elles témoignent d'atteinte bilatérale des radiations auditives. Les causes de surdité centrale sont multiples. On décrit le plus fréquemment les accidents vasculaires cérébraux, mais aussi des encéphalites, des tumeurs, la sclérose en plaques, les pathologies dégénératives, les maladies génétiques.

On peut distinguer différents syndromes cliniques qui sont la *surdité corticale*, l'*agnosie auditive* de loin la plus fréquente, l'*hémianacousie* (surdité corticale unilatérale) et l'*amusie* (trouble génétique de reconnaissance de la musique). Ces syndromes apparaissent souvent dans un contexte neurologique évocateur lié à des atteintes corticales bilatérales. Mais l'ORL doit penser à une atteinte centrale de l'audition dans des contextes moins typiques. C'est le cas :

- des troubles de l'intelligibilité rapportés par le patient, en particulier dans le bruit, et non expliqués par les données des examens audiométriques standard ;

- d'un mauvais résultat prothétique qui contraste avec le niveau de surdité du patient ou la mauvaise tolérance paradoxale des prothèses en binaural par rapport au port monaural ;
- d'un retard de langage ou d'apprentissage non expliqué chez un enfant.

La principale caractéristique des surdités centrales est le faible retentissement en audiométrie tonale ou en tout cas la discordance entre les troubles fonctionnels auditifs invalidants et le faible niveau d'altération de l'audiométrie tonale, et parfois aussi vocale.

La réalisation de tests spécifiques s'impose donc. De nombreux tests ont été décrits et sont parfois regroupés sous forme de batteries. En pratique, c'est le test d'intégration de Lafon, et surtout les tests dichotiques, qui permettent de confirmer l'atteinte centrale de l'audition. Des tests psychoacoustiques peuvent être nécessaires pour préciser le diagnostic ou guider la rééducation. Les tests audiologiques objectifs et l'imagerie sont souvent indispensables.

Du fait de l'interaction possible entre dysfonctions spécifiques et non spécifiques des processus auditifs centraux, il est recommandé de procéder, surtout chez l'enfant, à l'évaluation du quotient intellectuel, des niveaux de développement cognitif, de la parole et du langage, des facultés de mémoire et d'attention. Une approche multidisciplinaire est donc souvent indispensable.

Test de Lafon 60

C'est une version simplifiée du test d'intégration de Lafon. On utilise pour ce test des listes de mots extraits des listes d'intégration de Lafon. Il s'agit de deux listes composées chacune de 30 mots monosyllabiques. Pour chacun des mots, un seul phonème est étudié. On comptabilise les réponses justes, en milieu silencieux puis en présence de bruit. Il s'agit d'un bruit blanc avec un rapport signal/bruit égal à 1.

Le score final est le nombre de réponses correctes sur 60. Un score effondré ou inférieur à 50/60 est en faveur d'une atteinte centrale.

Pour les enfants ou les personnes dont l'attention est assez faible, une seule liste de 30 mots peut être proposée.

Tests dichotiques

Ces tests consistent à envoyer simultanément et de manière parfaitement synchronisée dans les deux oreilles des stimuli auditifs différents mais présentant des analogies en durée et en nature (figure 6.1). Il peut s'agir de bruit, de mots, de chiffres ou de phrases.

Deux types de test sont réalisés : soit test d'intégration binaurale, soit test de séparation binaurale.

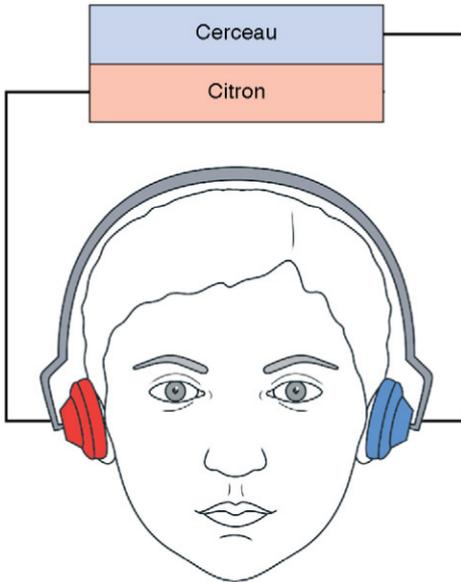


Figure 6.1

Principe des tests dichotiques.

Ils consistent à présenter simultanément et de manière parfaitement synchronisée dans les deux oreilles des stimuli auditifs différents mais présentant des analogies en durée ou en nature. Ils testent les voies auditives croisées.

Dans le test d'intégration binaurale, on demande au patient de répéter ce qu'il a entendu dans chaque oreille, c'est-à-dire les items perçus à droite et à gauche.

Dans le test de séparation binaurale, on demande au patient de répéter l'item perçu dans une oreille déterminée, à droite ou à gauche. Les listes sont dans ce cas présentées deux fois ; la première fois, le sujet doit répéter uniquement les items perçus à droite pour les cinq premiers, et à gauche pour les cinq suivants. C'est le contraire lors du deuxième passage.

Les items sont délivrés à 30 dB au-dessus du seuil tonal ou 50 dB en cas de seuils normaux en audiométrie tonale.

Un test peut comporter un seul type d'item, par exemple des phrases, mais il comprend le plus souvent la succession de différentes listes, par exemple substantifs, chiffres, adjectifs. Ces tests sont souvent longs et cotés en scores plus ou moins complexes.

Les tests dichotiques testent les voies auditives croisées. Pour 65 % de la population, l'hémisphère gauche est prédominant. Il existe donc une nette prévalence de l'oreille droite aux tests dichotiques chez l'adulte. Elle est

moindre chez l'enfant compte tenu des processus de maturation du corps calleux. Ces tests sont particulièrement intéressants pour dépister les atteintes corticales et commissurales interhémisphériques.

Tests de configuration

On délivre successivement trois sons avec des variations de durée ou de hauteur.

Pour l'étude des configurations en durée, il s'agit d'un son de 1000 Hz présenté pendant 250 ms (son court) et 500 ms (son long). À chaque train de trois sons, le patient doit déterminer la séquence : par exemple court-court-long ou long-court-long.

Pour la configuration en fréquence, le patient doit identifier un son de tonalité basse (880 Hz) et un son de tonalité aiguë (1122 Hz) lors de séquence de type basse-basse-aiguë ou aiguë-aiguë-basse, etc.

Ce type d'identification est assuré par l'hémisphère droit. La verbalisation de la réponse impose un passage vers l'hémisphère gauche par le corps calleux. Si l'on fait mimer ou fredonner la réponse, ce passage transcallosal n'est plus nécessaire.

Le taux de réussite est normalement supérieur à 75 %.

Tests audiologiques objectifs

Réflexe stapédien

Une élévation du seuil du réflexe stapédien au-delà de 100 dB pour une surdité inférieure à 50 dB fait suspecter une atteinte rétrocochléaire qui peut être localisée à la hauteur du nerf auditif, au niveau du tronc cérébral. Le réflexe est normalement présent dans les atteintes centrales cortico- et sous-corticales.

Otoémissions acoustiques provoquées

Elles sont présentes dans les atteintes centrales de l'audition. Leur présence en cas de surdité démontre objectivement que la surdité a pour origine une étape du traitement de l'audition située au-delà des cellules ciliées externes : cellules ciliées internes, ganglion spiral, neurone auditif, tronc cérébral et voies auditives jusqu'au cortex. Mais l'absence d'otoémissions n'élimine pas une atteinte centrale, car il n'est pas rare qu'une pathologie aussi banale que la presbycusie coexiste avec une pathologie centrale.

Une surdité avec présence d'otoémissions doit faire évoquer la neuropathie auditive. Cette neuropathie auditive est associée à une abolition du réflexe stapédien et à une absence, ou une altération majeure, des potentiels évoqués auditifs (PEA). Elle est liée soit à une atteinte des cellules ciliées internes, soit à une lésion des fibres nerveuses afférentes.

Une atteinte des fibres efférentes peut parfois être objectivée par l'absence de modulation d'amplitude en présence d'un masquage controlatéral.

Potentiels évoqués auditifs

Ils apportent une analyse purement fonctionnelle des voies auditives, confirmant l'atteinte centrale et permettant aussi de la localiser. Les PEA précoces sont anormaux dans les atteintes du tronc cérébral, et le plus souvent normaux dans les lésions cortico-sous-corticales.

Les potentiels évoqués semi-précoces, les PEA corticaux ou tardifs et les PEA cognitifs (*mismatch negativity* et onde P300) sont altérés de façon variable dans les lésions cortico-sous-corticales.

Imagerie

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est indispensable à l'exploration des atteintes centrales de l'audition, et permet de préciser la nature des lésions et de les localiser. Dans bon nombre de cas, elle peut être normale alors que les explorations purement fonctionnelles détectent des anomalies.

L'IRM fonctionnelle et la tomographie à émission de positrons (PET scan) sont des outils prometteurs dans l'exploration des surdités centrales, mais encore réservés au domaine de la recherche. Ces techniques d'imagerie fonctionnelle ont surtout été étudiées chez les patients sourds profonds avant ou après implantation cochléaire pour d'une part s'assurer de l'efficacité des implants à stimuler les aires auditives corticales, en particulier chez les jeunes enfants, et d'autre part étudier les phénomènes de plasticité cérébrale induits par l'utilisation de l'implant cochléaire.

À retenir

Alors que les surdités centrales sont rares, les atteintes centrales de l'audition le sont probablement moins. L'ORL doit penser à une atteinte centrale de l'audition lorsqu'un patient allègue des troubles de l'intelligibilité, difficilement explicables par les résultats des tests audiométriques standard, ou malgré une adaptation prothétique qui paraît optimale. Le test d'intégration de Lafon, un test dichotique et un test de configuration sont des tests auditifs centraux à utiliser en pratique.

Audiométrie et implants cochléaires

Avant implantation cochléaire

L'indication d'implantation cochléaire dépend en grande partie des résultats de *l'audiométrie tonale et surtout de l'audiométrie vocale*. Des tests électriques spécifiques complètent l'évaluation fonctionnelle.

Audiométrie tonale et vocale

Pour les adultes ou les enfants devenus sourds, le critère audiométrique d'implantation est la surdité profonde ou sévère bilatérale, dont l'aide auditive bilatérale ne permet pas un score de discrimination de plus de 50 % en audiométrie vocale à 60 dB avec listes de Fournier.

Pour les enfants devenus sourds avant l'acquisition du langage, l'implant est indiqué lorsque le gain prothétique ne permet pas le développement du langage oral. Dans le cas de surdité sévère, l'implantation est indiquée lorsque le score de discrimination est inférieur à 50 % à 60 dB, en utilisant des mots adaptés à l'âge de l'enfant.

Chez ces enfants, la principale difficulté est d'établir le plus rapidement possible le diagnostic de surdité sévère ou profonde. La précocité de l'implantation est un facteur déterminant. Ce diagnostic précoce dépend de la qualité du dépistage. Les tests audiométriques objectifs comme les otoémissions acoustiques provoquées et les PEA sont indispensables pour le dépistage et pour confirmer la surdité. Mais les tests audiométriques comportementaux doivent être aussi pris en compte pour l'indication d'implantation.

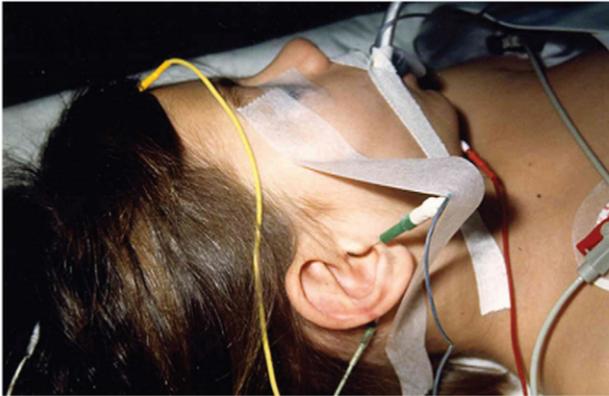
Tests électriques et évaluation fonctionnelle

Les tests électriques complètent l'évaluation fonctionnelle. Ils ont pour but de tester l'excitabilité des fibres auditives résiduelles et la fonctionnalité des voies auditives. Le principe est de réaliser une stimulation électrique de l'oreille interne et d'analyser les réponses auditives par l'enregistrement des PEA précoces. La stimulation est le plus souvent délivrée par une électrode transtympanique posée sur le promontoire : c'est le *test au promontoire*.

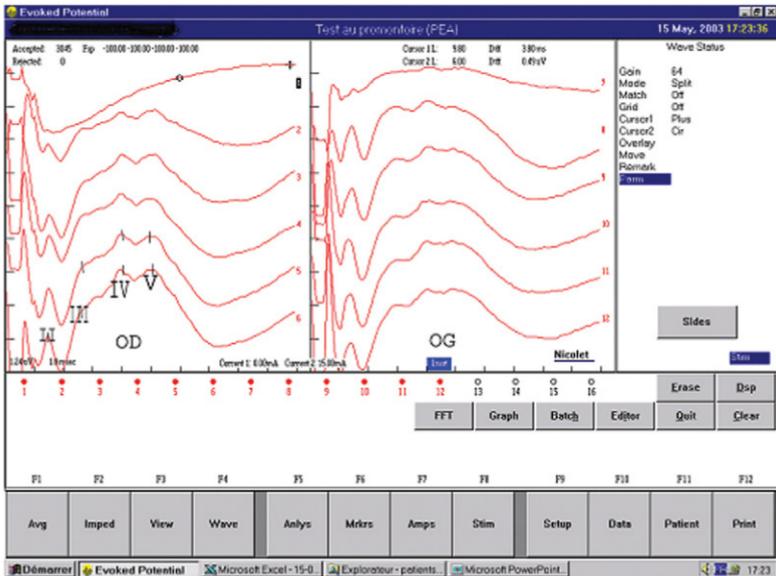
Le test est habituellement réalisé sous anesthésie générale. Les PEA obtenus ici par des stimulations électriques (et non pas acoustiques comme dans la technique usuelle des PEA) sont enregistrés. On détermine la présence ou non de réponse et l'intensité seuil en cas de réponses présentes (figure 6.2). Des seuils bas sont considérés comme des critères de bon pronostic. Le test au promontoire peut aider à choisir le côté à implanter et apporter des éléments prédictifs sur le succès de l'implantation. Mais il ne permet pas de contre-indiquer formellement une implantation s'il n'y a pas de réponse auditive. Il est particulièrement utile en cas de fracture tempore bilatérale lorsqu'on suspecte une lésion du nerf auditif, ou en cas de suspicion d'agénésie de ce nerf dans un contexte de malformation. Il s'agit d'un test de réalisation technique délicate, réservé à des centres spécialisés.

Après implantation cochléaire

L'évaluation audiométrique après implantation cochléaire fait appel à des tests audiométriques spécifiques.



a



b

Figure 6.2

Test au promontoire avec enregistrement des PEAPé.

a. Mise en place de l'électrode de stimulation sur le promontoire. b. Présence d'ondes II, III, IV et V à faible intensité de stimulation (< 1 mA) à droite et à gauche. L'onde I est noyée dans l'artéfact de stimulation électrique.

Audiométrie tonale et vocale

L'audiométrie tonale et l'audiométrie vocale réalisées en pratique courante ont un intérêt pour vérifier le fonctionnement des électrodes et de l'implant. L'audiométrie tonale est utile pour ajuster le gain de chaque électrode. Le nombre de fréquences testées est plus important qu'en audiométrie

conventionnelle et dépend du nombre d'électrodes de l'implant. L'audiométrie vocale conventionnelle est aussi indispensable pour évaluer l'efficacité de l'implant. Ainsi, il n'est pas rare d'obtenir, après la première séance de réglage de l'implant, des seuils à 20 dB en audiométrie tonale alors que l'intelligibilité reste nulle. L'audiométrie vocale courante devient opérationnelle dès que le patient est capable de comprendre des mots, sans aide de la lecture labiale.

Réglage des électrodes

Tests comportementaux

Les premiers réglages ont lieu à des délais variables selon les équipes : précocement pour certains, pour d'autres après 1 mois afin d'attendre la disparition de l'œdème et de l'inflammation postopératoire qui peuvent interférer avec les paramètres de stimulation.

Plusieurs paramètres devront être réglés pour chaque électrode de l'implant :

- détermination des seuils liminaires de perception (*T level*) ;
- détermination des seuils maximaux de confort (*C level*) ;
- contrôle de la sonie : les niveaux de sortie des électrodes doivent être équilibrés ;
- contrôle de la tonie : deux électrodes adjacentes doivent être perçues avec des tonalités différentes ;
- inactivation de certaines électrodes : les électrodes seront inactivées si elles n'apportent pas de différence de tonie, si elles ne peuvent pas être équilibrées en sonie.

D'autres réglages plus fins permettent d'optimiser le résultat.

Ces réglages sont particulièrement longs chez les jeunes enfants, car ils font appel à des techniques basées sur le conditionnement et l'analyse du comportement de l'enfant. Des techniques objectives d'aide au réglage complètent obligatoirement les tests comportementaux.

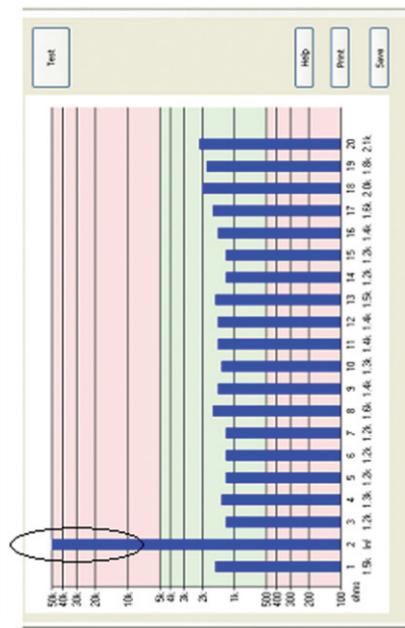
Tests électriques objectifs

Ils ont un intérêt considérable en implantation cochléaire pédiatrique car ils permettent de s'assurer du bon fonctionnement de l'implant, de déterminer les électrodes inactives, et de prévoir les premiers réglages. Ils sont réalisés pendant l'intervention chirurgicale d'implantation, et parfois aussi après lorsqu'il existe un doute sur le bon fonctionnement de l'implant ou de certaines électrodes.

Potentiels d'électrode (ou test d'intégrité)

Il ne s'agit pas d'une réponse auditive. C'est l'artéfact électrique de chaque électrode enregistré par des électrodes placées sur le scalp. La présence de ces potentiels confirme l'intégrité de l'implant et de ses électrodes (figure 6.3).

Impédance télémetrie



Test d'intégrité

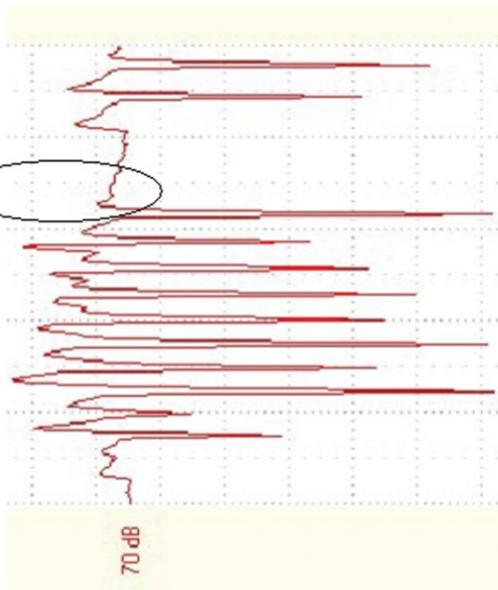


Figure 6.3

Impédance télémetrie et test d'intégrité.

Ces tests sont réalisés après la mise en place de l'implant cochléaire. Dans l'exemple ci-contre, on constate une impédance élevée sur l'électrode. Le test d'intégrité ne montre pas de réponse au niveau des électrodes 3, 4 et 5. Ces anomalies traduisent la section d'un fil ou une connexion défectueuse.

Mesure d'impédance d'électrode

La plupart des systèmes sont équipés d'un logiciel qui permet la mesure d'impédance de chaque électrode de l'implant. Des impédances élevées traduisent une détérioration des électrodes ou des difficultés d'insertion de l'implant (figure 6.3).

Seuil du réflexe stapédien

L'observation peropératoire, ou postopératoire, du réflexe stapédien renseigne sur le seuil de confort pour chaque électrode testée.

Réponse neurale

Sur quelques systèmes d'implant cochléaire, il est possible d'enregistrer le potentiel d'action composite du nerf auditif, en réponse à des stimulations électriques. Les électrodes de l'implant servent à la fois d'électrode de stimulation et d'enregistrement. Ces réponses sont utiles aux premiers réglages chez l'enfant en évaluant le niveau de confort. La NRT (*neural response telemetry*) permet aussi de tester objectivement le système, et est indiquée en cas de panne ou de dysfonctionnement.

Seuils des potentiels évoqués précoces par stimulation électrique

La technique d'enregistrement des potentiels évoqués précoces par stimulation électrique (PEAPé) est comparable à celle des PEA obtenus après stimulation acoustique. Les stimulations électriques sont délivrées par l'implant. Il existe une corrélation entre les seuils des PEAPé et les seuils de perception obtenus par les méthodes comportementales (figure 6.4).

Protocoles spécifiques d'évaluation

Il existe une grande variété de protocoles d'évaluation audiométrique. On peut classer les tests utilisés en trois types :

- tests suprasegmentaux qui étudient la perception de l'intonation, de la mélodie de la voix, de la fréquence fondamentale, du rythme ;
- tests de reconnaissance de mots. Ils étudient le pourcentage de reconnaissance de mots :
 - dans des listes fermées, correspondant à un choix limité dans un contexte défini ;
 - ou dans des listes ouvertes, qui se réfèrent à un choix plus large sans aide contextuelle, donc de réalisation plus difficile.
- tests de reconnaissance de phrases : ils sont basés sur la reconnaissance de phrases ou d'un pourcentage de mots dans des phrases en liste fermée et en liste ouverte.

Les listes de mots ou de phrases doivent être adaptées à l'âge et aux capacités cognitives du patient.

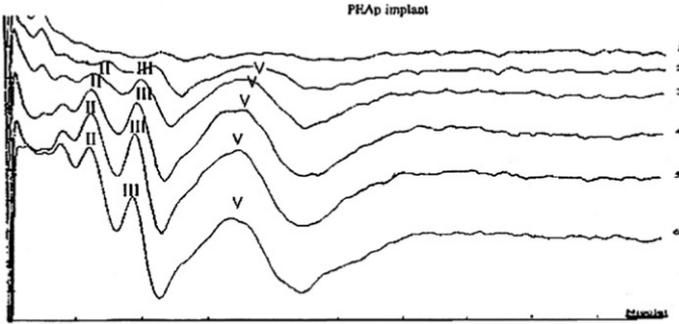


Figure 6.4

Seuils des potentiels évoqués précoces par stimulation électrique (PEAPé) après implantation cochléaire.

L'enregistrement des PEAPé atteste du fonctionnement de l'implant et permet de définir les niveaux de réglage lors des premières sessions chez l'enfant. On identifie les ondes II, III, et V. L'onde I est noyée dans l'artéfact de stimulation électrique. Plusieurs électrodes sont testées en pratique. Dans l'exemple ci-contre, il s'agit des potentiels évoqués par stimulation de l'électrode 15 d'un implant cochléaire Digisonic SP™ (Neurelec). L'intensité de stimulation est fixée à 50 unités, avec des largeurs de choc variant de 10 à 50 μ s.

En début de rééducation, les tests prennent en compte la lecture labiale, facilitant ainsi la reconnaissance. Puis les tests sont réalisés sans lecture labiale.

Les tests se font le plus souvent directement à la voix ou, mieux, à partir de CD. Les mots ou les phrases sont présentés en champ diffus à une intensité supraliminaire.

Conclusion

Les tests d'audiométrie spécifiques utilisent des moyens techniques et des compétences qui relèvent d'un laboratoire d'explorations fonctionnelles. Ils sont rarement utilisés, mais requièrent des compétences particulières.

Audiométrie de l'enfant : les moyens de diagnostic

Le diagnostic de la surdité de l'enfant doit être précoce afin d'en éviter les répercussions sur le développement de l'enfant et de permettre le plus tôt possible soit un traitement, soit surtout un appareillage auditif et un suivi pluridisciplinaire de l'enfant et de sa famille.

Il faut préciser le niveau d'audition d'un enfant devant tout trouble de la communication.

Maturation du système auditif

L'appareil auditif est mature à la naissance. Le système nerveux auditif périphérique est fonctionnel, mais avec une myélinisation imparfaite à la naissance et ceci jusqu'à 4 ans. La maturation des voies centrales nécessite une myélinisation et une organisation synaptique plus lente, s'étendant sur plusieurs années. De plus, la maturation centrale dépend du fonctionnement normal de l'organe périphérique.

Le diagnostic de la surdité doit donc être posé le plus précocement possible afin d'appareiller l'enfant et de réaliser une éducation auditive par une rééducation orthophonique. Si le diagnostic est retardé, la maturation et le développement des voies centrales de l'audition sont entravés.

L'oreille du prématuré et du nouveau-né est particulièrement fragile vis-à-vis du traumatisme sonore et des substances ototoxiques. L'anatomie de l'oreille externe du nouveau-né et du jeune enfant est différente de celle de l'adulte. Chez le nouveau-né, l'os tympanal est réduit à un arc osseux. Le conduit auditif externe, essentiellement membraneux, est fortement oblique en bas et en dedans. Le conduit osseux apparaît vers 1 an. La forme définitive du tympanal, qui contribue à constituer le conduit osseux, n'est acquise qu'après la première année. Ces notions expliquent les difficultés de l'examen du conduit chez le très jeune enfant, justifiant l'usage d'un spéculum pneumatique.

Le développement de la caisse est pratiquement terminé lors de la naissance. Quant au labyrinthe, il a achevé son développement au 6^e mois de la vie fœtale.

Moyens de diagnostic

Toute suspicion de surdité de l'enfant par son entourage doit être prise en considération et imposer un examen spécialisé de l'audition. L'ORL a un

rôle important vis-à-vis des parents pour les informer des modalités des examens, de leur innocuité et leur simplicité.

Il est inconcevable de rassurer des parents sans avoir réalisé un examen spécialisé. Cette cause de retard au diagnostic est encore trop souvent rencontrée et généralement mal vécue par les parents. Ce retard est toujours difficile à rattraper chez l'enfant et constitue une source supplémentaire de souffrance psychologique pour les parents.

Dès que la surdité est suspectée, un bilan diagnostique complet doit être réalisé.

L'interrogatoire précis des parents en constitue la première partie. Il porte sur les antécédents familiaux et personnels de l'enfant, sur son comportement général, sur ses réactions aux différentes intensités de bruit, sur sa compréhension de la parole, ainsi que sur son niveau de parole et de langage. Il est important de préciser l'âge de la marche et de rechercher la notion de chutes fréquentes pouvant orienter vers une atteinte vestibulaire.

On leur demande d'expliquer sur quels éléments ils suspectent une surdité, quelles sont les circonstances précises où le doute s'est installé.

L'examen ORL est ensuite réalisé, en commençant par l'examen otoscopique qui apporte déjà des informations sur le conduit et la membrane tympanique.

L'audiométrie a une valeur fondamentale, mais elle ne se résume pas à un seul examen. Elle comporte différentes approches qu'on peut classer en audiométrie comportementale et audiométrie objective.

L'audiométrie comportementale est toujours indispensable, quel que soit l'âge de l'enfant. Elle vise à étudier l'ensemble du champ auditif, notamment les fréquences 250, 500 et 1000 Hz qui ne seront pas toujours explorées par les techniques d'audiométrie objective classiques. Elle guide l'indication des tests objectifs. L'audiométrie comportementale donne également des informations sur le comportement psychologique et le niveau de communication de l'enfant.

Les tests d'audiométrie comportementale chez des enfants difficiles peuvent être réduits à une étude fréquentielle limitée. Il est plus important de chercher à obtenir des seuils fiables sur un nombre plus limité de fréquences.

Les résultats obtenus en audiométrie comportementale et en audiométrie objective doivent être concordants.

Toute discordance doit remettre en cause les résultats, au profit de l'audiométrie objective ; mais celle-ci est limitée à l'étude des fréquences 2000 et 4000 Hz, pour les potentiels évoqués auditifs (PEA).

Cette complémentarité entre audiométrie comportementale et audiométrie objective est indispensable.

Audiométrie comportementale

Sous ce terme, on comprend les tests entraînant des réactions de l'enfant, quel que soit le stimulus. L'observation des réactions de l'enfant est donc très importante. La difficulté réside dans l'interprétation de la réaction de l'enfant, surtout chez le tout-petit ; elle peut correspondre à un mouvement naturel, sans rapport avec le stimulus qui peut être un son pur (continu ou modulé), un bruit réalisé par l'audiomètre, ou à la voix, éventuellement enregistrée.

Difficultés d'interprétation

L'interprétation est particulièrement difficile chez certains enfants en retard psychomoteur ou intellectuel, ou en difficultés psychologiques. Pour certains, le bruit n'a aucune signification. Ils ne marquent aucun intérêt ni pour le train du Peep-Show, ni pour les images.

Certes, l'audiométrie vocale permet de donner quelques informations chez le très jeune enfant, mais elle doit venir en complément de l'audiométrie tonale.

Il faut alors insister et observer tous les indices qu'un enfant peut émettre à l'envoi d'un stimulus :

- arrêts de la respiration, arrêt ou reprise de la succion ;
- petits mouvements de la tête ;
- arrêts très brefs de l'activité ;
- esquisse d'un sourire.

Ces réactions ressemblent à celles des nourrissons, mais elles sont beaucoup moins naturelles et rapides, et surtout elles sont inhibées par des difficultés motrices ou psychiques.

Il faut parfois ruser en commençant directement par de très faibles intensités. L'enfant qui ne connaît pas le test est alors surpris et réagit sans réfléchir. Bien souvent, les réponses ne se renouvellent pas, mais elles sont à prendre en compte.

Il faut cependant se méfier des réponses non reproductibles et ne pas hésiter à renouveler le test un autre jour, et à réaliser des méthodes d'audiométrie objectives comme les PEA.

Conditions de l'examen

Il faut veiller à avoir de bonnes conditions d'accueil, avec le minimum d'attente.

Cet examen nécessite une coopération de l'enfant, variable en fonction de son âge.

- *Chez le nouveau-né*, le test demande à être réalisé au moment opportun, lorsque *l'enfant est éveillé mais calme*.
- *Chez l'enfant de moins de 2 ans*, il est important d'instaurer un *climat de confiance* et de ne pas l'apeurer.

La présence d'un de ses parents est donc le plus souvent indispensable. Il prend le jeune enfant sur les genoux, et l'occupe avec des petits jouets silencieux. Cette collaboration doit rester passive pour ne pas influencer les réactions de l'enfant, ce qui n'est pas toujours facile à obtenir. Cette aide, souvent involontaire, est liée au désir d'obtenir des réponses normales de la part de leur enfant. Une simple pression ou le mouvement d'un membre, lorsque l'enfant est assis sur les genoux, peuvent fausser les résultats.

Une approche psychologique de l'enfant est donc indispensable. Il ne faut pas hésiter à prendre suffisamment de temps pour réaliser ce test afin d'établir une bonne relation avec l'enfant.

Le test doit être présenté sous la forme d'un jeu. La stimulation sera adaptée au rythme de chaque enfant de façon à obtenir des réponses les plus fiables et complètes. Il est important de chercher à intéresser l'enfant afin de ne pas le fatiguer par des tests répétitifs. L'expérience de l'observation de l'enfant est donc essentielle.

L'enfant est beaucoup plus attiré par ce qu'il voit que par ce qu'il entend. Plusieurs tests ont recours à l'attrait de l'enfant pour les images, surtout lorsqu'elles sont animées, alors qu'il ne rencontre guère d'intérêt pour les sons et les bruits. De là découlent les tests basés sur le conditionnement visuel (réflexe d'orientation conditionné [ROC], Peep-Show), qui récompense l'enfant par une image en cas de bonne réponse.

Il faut prendre conscience qu'à tout moment du test, l'enfant peut réagir indépendamment de la stimulation sonore et fausser le résultat. Ceci se voit particulièrement chez des enfants instables. Un testeur, même avec une grande expérience, peut être confronté à cette difficulté, ce qui demande une vigilance accrue. Il doit faire la différence entre des résultats obtenus de façon nette et systématique, des résultats inconstants et discordants ; ils doivent alors être contrôlés par un second test d'audiométrie comportementale complété, si besoin, par des tests d'audiométrie objective.

À partir de 2 ans, il est possible d'obtenir un *conditionnement volontaire* : jeu de construction ou d'encastrement, appui sur un interrupteur par l'enfant avec déclenchement par le testeur d'une scène captivante, ou de la mise en marche d'un train, etc.

L'expérience de l'opérateur permet d'apprécier la fiabilité des réponses obtenues. Elle permet aussi de développer une communication comportementale privilégiée avec l'enfant.

L'examen de l'audition d'un enfant peut donc demander *la répétition de certains tests*, réalisés à quelques jours d'intervalle, ce qui surprend les parents dans certains cas. Il est important que les professionnels qui sollicitent un avis médical sur l'audition de l'enfant puissent prévenir les parents.

Le casque est souvent mal accepté par les petits enfants. On peut alors recourir à l'étude du seuil au vibreur ou par conduction aérienne en champ libre. Il correspond au seuil de conduction aérienne de la meilleure oreille.

Le vibreur est mieux accepté que le casque, dont il facilite l'usage ultérieur.

Chez les très jeunes enfants, on a donc intérêt à commencer par une étude de la conduction osseuse. Il faut savoir qu'aux fortes stimulations, le vibreur provoque des stimulations tactiles. Même ces réponses sont intéressantes, car elles déclenchent des réactions et servent de stimulations de référence. Enfin, le vibreur a le grand intérêt de court-circuiter l'appareil de transmission, si souvent atteint chez le jeune enfant par l'inflammation de l'oreille moyenne.

Le son utilisé doit être réactogène. Le son pulsé et surtout le son modulé sont beaucoup plus réactogènes que le son continu. Les sons purs scandés sur deux fréquences (1000/1500 Hz, 3000/4000 Hz) sont très réactogènes et ont l'avantage de pouvoir être adaptés à chaque enfant.

Au total, il faut savoir s'adapter à l'enfant, changer éventuellement le type de son, varier les tests, relancer son attention pour obtenir le maximum de renseignements sur la qualité de son audition.

Mais dans tous les cas, étant donné les conditions anatomiques, les niveaux envoyés chez le nourrisson sont probablement sous-estimés, pouvant atteindre 10 dB.

Méthodes en fonction de l'âge

Il est essentiel de réaliser plusieurs tests d'audiométrie comportementale afin d'obtenir une concordance des résultats. En effet, la moindre discordance doit alerter et permet de remettre en cause ces résultats. Ils demandent alors à être contrôlés par de nouveaux tests. Les surdités de niveau moyen sont les plus difficiles à diagnostiquer. Chez certains enfants, c'est parfois la discordance entre audiométrie tonale et audiométrie vocale qui alerte et permet de diagnostiquer une surdité moyenne. En cas de discordance, ce sont les résultats de l'audiométrie vocale qui sont les plus importants par rapport à ceux de l'audiométrie tonale.

Les tests réalisés sont différents selon l'âge de l'enfant. Ils demandent à être adaptés en fonction du comportement de chaque enfant. En effet, certains enfants plus matures ou plus attentifs pourront être testés par des méthodes audiométriques proposées à des enfants plus âgés. À l'inverse,

d'autres enfants plus agités ou polyhandicapés sont testés par des méthodes utilisées chez des enfants plus jeunes.

Réflexe d'orientation-investigation : de 3 à 12 mois

Ce test, basé sur le réflexe d'orientation-investigation vers la source sonore ou réflexe acoutrope, étudie les réponses de l'enfant à des stimulations sonores variées en intensité et en fréquence.

L'audition d'un enfant de cet âge est particulièrement difficile à tester, car il est beaucoup plus intéressé par des informations visuelles que sonores.

L'enfant est assis sur les genoux d'un de ses parents, à une place précise et fixe dans la cabine audiométrique.

Le testeur va envoyer une stimulation sonore dans un haut-parleur placé à 1 m de l'enfant.

L'étalonnage du matériel a été réalisé en fonction de cette distance de façon à connaître l'intensité de la stimulation à l'oreille de l'enfant.

Le testeur envoie dans un premier temps un son d'intensité moyenne.

Il va observer les réponses immédiates de l'enfant d'orientation-investigation vers la source sonore.

Ce peut être un très léger coup d'œil vers le haut-parleur pour aller jusqu'à un mouvement de la tête, voire du corps.

Puis il va chercher à obtenir le seuil sur les différentes fréquences 500, 1000, 2000 et 4000 Hz, c'est-à-dire la plus faible intensité déclenchant la réponse de l'enfant.

Il ne faut pas se contenter d'une seule réponse, mais renouveler plusieurs fois cette stimulation, en ayant détourné au préalable l'attention de l'enfant du haut-parleur.

On peut également utiliser des jouets sonores étalonnés en fréquence et en intensité, comme les jeux sonores de Moatti.

Ces jeux sonores sont quatre cylindres qui émettent, lorsqu'on les retourne, des bruits imitant des cris d'animaux et répondant à des plages fréquentielles précises.

- Le jeu imitant la vache teste la fréquence 150 Hz.
- Le jeu imitant le mouton teste la fréquence 500 Hz.
- Le jeu imitant le chat teste la fréquence 1000 Hz.
- Le jeu imitant l'oiseau teste la fréquence 2500 Hz.

L'intérêt de ces jeux est que l'intensité émise reste stable quelle que soit la manipulation.

Lors de la réalisation de ce test, il est essentiel de préciser la distance entre l'oreille de l'enfant et le jeu manipulé.

Une distance de 1 m correspond à une intensité de 60 dB à l'oreille de l'enfant.

Une distance plus éloignée, de 4 m, correspond encore à une intensité de 48 dB à l'oreille de l'enfant.

Ce test ne permet pas de dépister les surdités légères bilatérales.

Si l'enfant ne réagit pas à ce test, il est suspect de surdité bilatérale moyenne à profonde.

Des *instruments musicaux* ou des *jouets sonores* peuvent être utilisés : jouets en caoutchouc, clochettes, maracas, tambourin, etc. Mais l'intensité peut varier en fonction de la manipulation du jouet.

La distance par rapport à l'enfant intervient dans tous les cas.

Les stimulations sonores par sons purs sont moins réactogènes à cet âge.

Réalisation

L'enfant est assis sur les genoux d'un de ses parents, un testeur est placé derrière lui, de façon à ne pas être vu, l'autre testeur observant l'enfant en face de lui.

Le testeur manipulant le jeu peut être un des deux parents.

S'il n'y a qu'un seul testeur, un système de miroir peut être utilisé de façon à voir le visage de l'enfant, sans que l'enfant voie le testeur dans ce miroir...

Les jouets sonores sont donc manipulés derrière l'enfant, soit à droite, soit à gauche.

La réponse à la stimulation sonore est de type orientation-investigation des yeux et de la tête vers la source sonore, éventuellement du corps, traduisant la curiosité de l'enfant et témoignant de son audition. Cet intérêt peut vite s'émousser en cas de répétition du test. *Ce sont donc les premières réactions qui sont les plus faibles.*

Ce test est réalisé en champ libre. Le seuil obtenu est donc celui de la meilleure oreille en cas d'audition asymétrique. Il est cependant notable qu'en cas de surdité unilatérale, l'enfant puisse présenter des troubles d'orientation vers la source sonore. Les réactions aux bruits sont alors présentes, mais mal orientées par rapport à la stimulation.

Résultat

On obtient ainsi une étude du comportement de l'enfant déterminant un niveau auditif par plage de fréquence.

La réponse normale est de 40 dB pour un enfant de 3 à 6 mois.

La réponse normale est de 20 à 25 dB pour un enfant de 6 à 12 mois.

Test de réaction vocale : de 3 à 6 mois

Les réactions de l'enfant sont étudiées en réponse à des bruits vocaux, par exemple :

- un « coucou » pour explorer les fréquences 250 Hz et 500 Hz ;

- des sifflements pour les fréquences 2000 et 3000 Hz ;
- des « tch » pour les fréquences 3000 Hz et 4000 Hz.

À 6 mois, la réponse normale se situe autour de 40 dB.

Bien que classé dans les tests comportementaux, ce test fait intervenir la voix qui, en dehors du message, est plus réactogène qu'un simple bruit.

Stimulation par vibreur : dès l'âge de 5 à 6 mois

En utilisant des sons réactogènes type alternance de deux fréquences (1000/1500 Hz, 3000/4000 Hz), il est souvent possible de faire accepter le vibreur et d'obtenir des réponses de bonne qualité. Ce résultat peut constituer la première partie d'un véritable examen tonal.

La détermination de ces seuils de conduction osseuse, confrontés aux seuils de conduction aérienne en champ libre, permet déjà d'avoir une précision sur le caractère transmissionnel ou perceptionnel de la surdité, même à cet âge précoce.

Ces seuils de conduction osseuse correspondent aux seuils de la meilleure oreille ou à l'association des meilleurs seuils de chaque oreille, car ils sont bien sûr réalisés sans masquage, impossible à cet âge.

Réflexe d'orientation conditionné (ROC) : de 1 à 2 ans

Ce test utilise également le réflexe d'orientation vers la source sonore, mais en conditionnant l'enfant par une récompense visuelle.

Réalisation

L'enfant est assis sur les genoux de l'un de ses parents placé devant deux haut-parleurs installés devant lui, à au moins 1 m (entre 1 et 1,50 m), séparés selon un angle de 120 à 180°. Les haut-parleurs sont reliés à un audiomètre permettant de délivrer une stimulation sonore calibrée en intensité et en fréquence (figure 7.1).

On place près des haut-parleurs soit un système de projection d'images ou de dessin animé, soit une niche dont l'intérieur s'éclaire et renferme un jouet mobile (un manège qui tourne, un objet en peluche qui s'agite, etc.). D'autres installations sont possibles, toujours basées sur ce principe de récompense visuelle. La projection d'images ou de vidéo permet de varier les sujets et de maintenir l'attention de l'enfant.

Dans un premier temps, on provoque simultanément :

- la stimulation sonore ;
- l'apparition de la scène visuelle.



Figure 7.1

Réflexe d'orientation conditionné (ROC).

L'enfant a été conditionné à réagir au son provenant d'un côté ou de l'autre. Il tourne la tête vers la source sonore avant d'être récompensé par une scène visuelle.

La stimulation sonore, en général un son de fréquence grave et d'intensité assez forte, est émise dans un haut-parleur en même temps qu'apparaît la scène visuelle correspondante, de façon à intéresser l'enfant. Il tourne la tête dans la direction de ces deux stimulations envoyées tantôt à droite, tantôt à gauche.

Dès que l'enfant réagit de façon cohérente, on considère que le conditionnement est compris.

Le deuxième temps consiste donc à envoyer d'abord le bruit isolément. Ce bruit, lorsqu'il est perçu, représente le signal précédant la scène visuelle captivante. L'enfant tourne la tête vers le bruit : c'est ce qui est observé. Puis on le « récompense » par l'envoi de la scène visuelle.

Ce test est réalisé à des intensités de plus en plus faibles et en variant les fréquences.

Résultats

Une réponse positive, répétée pour le même stimulus, affirme la perception.

Une réponse négative ne correspond à une absence de perception que si le conditionnement est bien établi, en obtenant des réponses pour des intensités plus fortes ou pour d'autres fréquences.

L'intensité au-dessous de laquelle l'enfant ne réagit pas détermine le seuil en champ libre, ce qui correspond à l'audition de la meilleure oreille sans localiser le côté.

Ce test permet une approche avec une erreur de 10 à 15 dB. Mais il explore seulement l'audition binaurale.

Test auditif comportemental : de 3 mois à 3 ans

Le test auditif comportemental (TAC) de F. Vaneecloo est basé sur l'observation des réactions de l'enfant à des stimuli sonores qui lui sont familiers dans sa vie courante, mais inhabituels dans les conditions d'examen. Ils varient selon l'âge.

Réalisation

Le matériel, facilement transportable, comprend deux petits haut-parleurs avec des pieds-supports, un lecteur de CD et une télécommande.

L'enfant est assis sur les genoux de l'un de ses parents, ou sur une chaise haute, face à l'examinateur. Son attention peut être attirée par des jouets placés devant lui.

Les bruits utilisés, enregistrés sur un CD, lui sont présentés en champ libre, à l'aide des haut-parleurs situés à proximité de chaque oreille (à 30 cm environ). Le manipulateur fait varier le côté de la présentation du signal et son intensité grâce à une télécommande à fil. L'intensité peut varier de 40 à 80 dB par pas de 5 dB. Plus de 50 bruits peuvent être présentés, allant du plus grave au plus aigu : pétards, sirène, eau qui bout, vache, pleurs de bébé, canari, etc.

Résultats

Les réactions de l'enfant sont très variables en fonction de l'enfant, du stimulus et de l'intensité de la présentation. Il est important de constater la concordance de temps entre le stimulus et la réaction.

On peut observer, selon l'âge de l'enfant, des réactions spécifiques à la stimulation sonore : réflexe cochléopalpébral, réflexe d'orientation-investigation, reproduction du bruit ou dénomination du bruit entendu et reconnu.

Le test doit être rapide, car il existe une certaine fatigabilité des réponses, et l'enfant ne réagit plus à la source sonore lorsque le bruit devient familier.

Conditionnement son-action (Peep-Show) : de 2 à 4 ans

Le conditionnement consiste à expliquer à l'enfant que, dès qu'il entendra un son, il devra appuyer sur un interrupteur pour déclencher l'apparition d'une scène visuelle captivante (figure 7.2) :

- passage d'un train électrique, en général très apprécié ;
- extrait d'un dessin animé ;
- projection d'images ;



Figure 7.2

Peep-Show.

L'enfant a été conditionné pour déclencher lui-même une scène visuelle, ici la marche d'un train, seulement lorsqu'il perçoit un son.

- écran d'ordinateur où un animal ou un objet se déplace au milieu d'un décor attractif.

L'intérêt de l'enfant est développé, car il participe activement au test et semble le diriger.

Le déclenchement de l'apparition de la scène visuelle est en réalité commandé par le testeur.

L'enfant doit comprendre que s'il appuie sur le bouton sans avoir entendu le son au préalable, il ne verra rien apparaître.

Cet apprentissage est plus ou moins long en fonction de chaque enfant. Plus il est obtenu rapidement, plus les réponses sont fiables et durables, permettant d'obtenir une courbe d'autant plus précise.

Contrairement au ROC, ce test peut être réalisé avec un casque, permettant l'étude de la conduction aérienne de chaque oreille.

De même, on peut utiliser un vibreur pour étudier la conduction osseuse qui sera celle de la meilleure oreille.

Pour chaque fréquence, le stimulus est présenté à des intensités de plus en plus faibles. Le seuil est déterminé par la plus petite intensité permettant d'obtenir une réponse de l'enfant.

Les techniques de masquage ne sont pas possibles à cet âge ou exceptionnellement. L'enfant n'est pas capable de différencier le son de stimulation du bruit de masquage.

Lorsque l'enfant n'accepte pas le casque, ce test est réalisé en champ libre.

Audiométrie tonale classique : à partir de 4 ans

Le test est réalisé dans les mêmes conditions techniques que pour les adultes. Cependant, pour rendre l'examen plus attractif, on peut proposer à l'enfant de réaliser un jeu lorsqu'il entend le son, par exemple :

- compléter un puzzle, en prenant un élément dès qu'il entend un son et en le plaçant sur l'image ;
- déplacer des billes ;
- ou encastrier des éléments de jeu de construction.

Le masquage est en général compris vers l'âge de 4 à 5 ans.

Audiométrie vocale de l'enfant

La voix constitue pour l'enfant un stimulus beaucoup plus naturel que les sons purs. Elle est reconnue comme un message significatif dépendant des acquisitions linguistiques. Cette audiométrie implique la compréhension du message qui induit une réponse, variable selon l'âge de l'enfant.

L'audiométrie vocale vient en complément de l'audiométrie comportementale permettant de vérifier la concordance des résultats, et ceci dès l'âge de 6 mois. Cet examen est donc indispensable à réaliser.

La discordance des résultats doit alerter et nécessite la reprise des tests comportementaux complétés par des tests objectifs.

Ce test se fera en double cabine avec l'observation de l'enfant à travers une vitre (figure 7.3). La voix est émise en champ libre par l'intermédiaire d'un haut-parleur ou dans le casque chez un enfant plus grand, à des intensités vocales déterminées en décibels.

En cas de cabine unique, il faut utiliser un stimulus vocal enregistré.

Réponse au prénom et à un ordre simple : de 6 mois à 2 ans

On a recours, notamment, à la désignation par l'enfant de certaines parties de son corps ou de son habillement.

La réponse normale se situe à environ 30 dB à partir de 1 an.

Test de désignation d'images et test de répétition de mots d'enfants : à partir de 2 ans

Test de désignation d'images

Possible dès l'âge de 2 ans, c'est un test vocal d'identification phonétique des éléments de la parole.



Figure 7.3

Étude des réactions d'un enfant qui est avec sa mère dans la cabine audiométrique, pour les tests de réaction comportementale à la voix, désignation d'images, répétition de mots, etc., adaptés au comportement de l'enfant.

L'enfant est assis devant une table où sont installées dix images d'objets ou d'animaux qu'il connaît. On lui demande de désigner telle ou telle image.

Le test débute à une intensité de voix confortable, puis se poursuit en diminuant peu à peu l'intensité de la voix. On note le nombre d'images correctement désignées en fonction de cette intensité. Le seuil et le maximum d'intelligibilité peuvent donc être déterminés.

Ce test est réalisé en champ libre ou au casque si l'enfant l'accepte, permettant l'étude de l'audition de chaque oreille.

Il peut également être réalisé avec l'aide de la lecture labiale, permettant de déterminer son importance dans la reconnaissance de la parole. Un enfant dont la surdité est diagnostiquée tardivement a le plus souvent développé spontanément cette lecture labiale. Les résultats de l'audiométrie vocale, sans et avec lecture labiale, sont alors très différents.

Test de répétition de mots d'enfants

Il nécessite une plus grande coopération de l'enfant. Les résultats doivent être interprétés en fonction des possibilités d'expression orale de l'enfant. Il peut être réalisé à un âge très variable d'un enfant à un autre. Le test est fiable si les mots sont connus de l'enfant. Il est donc nécessaire de s'en assurer.

Le matériel vocal utilisé peut comprendre :

- soit des mots attendus par l'enfant, donc précédemment repérés, constituant des *listes fermées* ;
- soit des mots imprévus réalisant des *listes ouvertes*.

On a recours à des listes de mots phonétiquement équilibrées, mono-, bi- et trisyllabiques, à partir de listes telles que celles de Borel-Maisonny.

On demande à l'enfant de répéter ce qu'il entend, même si le mot n'a pas de sens pour lui.

L'interprétation de ce test doit prendre en compte la présence d'un trouble d'articulation. Le mot peut être correctement entendu, mais mal répété. Le bilan orthophonique associé peut apporter des informations pour cette interprétation.

Ce test permet :

- de déterminer le seuil et le maximum d'intelligibilité ;
- de vérifier la concordance avec l'audiométrie tonale.

Tests phonétiques

Le test *cochléaire* est très intéressant chez l'enfant sourd appareillé (cf. p. 132). Le nombre ainsi que la forme des erreurs phonétiques sont étudiés. Ce test permet une appréciation précise des confusions phonétiques et guide la rééducation orthophonique d'un enfant sourd appareillé. Le test est réalisé avec l'appareillage. Pour l'audioprothésiste, il peut être intéressant à réaliser avec et sans prothèse. Il n'intervient pas pour la recherche du seuil.

Audiométrie objective chez l'enfant

Elle comprend un ensemble de méthodes qui ne nécessitent pas la participation de l'enfant. S'il subit passivement le test, il doit rester suffisamment calme pour en permettre la réalisation dans de bonnes conditions.

L'attitude des parents est importante afin de tranquilliser l'enfant.

Dans certains cas, ces tests ne peuvent pas être réalisés si l'agitation de l'enfant est trop grande. Le recours à une prémédication ou à une anesthésie générale peut s'avérer nécessaire, notamment pour la réalisation des potentiels évoqués.

Tympanométrie

L'impédancemétrie n'est pas véritablement un examen audiométrique, mais elle a pris une très grande importance dans le bilan auditif de l'enfant.

Elle concerne surtout la tympanométrie, mais il ne faut pas méconnaître l'intérêt de l'étude du réflexe stapédien, même chez l'enfant. Cet examen est fréquemment réalisé chez l'enfant afin d'étudier la pression d'air dans l'oreille moyenne.

La tympanométrie est toujours précédée de l'examen otoscopique ; celui-ci permet notamment de mettre en évidence une pathologie de l'oreille moyenne telle qu'une otite séreuse responsable d'une surdité. La tympanométrie confirme le diagnostic.

La tympanométrie automatique est particulièrement intéressante chez l'enfant, car elle s'effectue rapidement ; il faut cependant obtenir l'immobilité de l'enfant.

Le contrôle otoscopique de la position de l'embout de la sonde de tympanométrie est important afin d'éviter de fausses courbes plates. Ce contrôle est possible avec un type particulier de sonde permettant de visualiser le tympan à travers la sonde lors de la réalisation de l'examen.

Le risque est de placer l'extrémité de l'embout contre la paroi du conduit. Ce risque est plus important lorsque les conduits auditifs externes sont étroits, chez de jeunes enfants ou en cas de mouvement de la tête de l'enfant.

Les résultats de la tympanométrie sont à confronter avec ceux de l'audiométrie subjective afin de contrôler la concordance.

L'étude du réflexe stapédien, dans le cas d'un examen de tympanométrie normal, est intéressante chez l'enfant, car la présence de réflexes stapédiens permet d'éliminer une surdité profonde bilatérale, mais ne permet en aucun cas d'affirmer une audition normale.

Potentiels évoqués auditifs

L'étude des PEA précoces du tronc cérébral chez l'enfant revêt un intérêt considérable pour déterminer le seuil d'audition chez les très jeunes enfants (cf. p. 115).

Réalisation

Cet examen n'est possible que si l'enfant est calme, allongé sur le lit d'examen pendant 30 à 45 minutes, ce qui peut nécessiter une prémédication. Différents produits sont utilisés : *Valium*®, *Hypnovel*®, *Théralène*®, *hydrate de chloral*.

La présence des parents rassure et calme l'enfant. L'utilisation de petits jouets ou livres que l'enfant regarde permet le plus souvent de réaliser l'examen dans de bonnes conditions, sans recours à la prémédication dont l'effet, dans certains cas, peut être inverse à celui recherché.

Cet examen est possible dès la naissance. Les latences sont plus longues, mais il n'y a pas de raison de ne pas obtenir de réponses correctes. Jusqu'à l'âge de 6 mois, la détermination des ondes peut être difficile. Dans ce cas, il est impératif de renouveler l'examen à 6 mois, toujours complété par les tests d'audiométrie comportementale, avant de conclure à une surdité.

Chez les *grands prématurés*, seules les ondes I, III et V sont reconnaissables.

La morphologie de la courbe du nouveau-né est différente de celle de l'adulte ; si les ondes I, III et V sont présentes, leur amplitude et leur latence sont très différentes.

L'amplitude de l'onde I est à peu près le double de celle de l'adulte.

L'amplitude de l'onde V n'atteint l'amplitude trouvée chez l'adulte qu'à partir de 9 à 12 mois. Le rapport d'amplitude onde V/onde I est plus réduit que chez l'adulte.

Les valeurs de l'adulte sont obtenues vers l'âge de 2 ans, excepté pour celles de l'onde I, atteinte dès le 2^e ou 3^e mois.

Le seuil d'audition se détermine par l'intensité minimale de stimulation permettant d'obtenir une réponse identifiable et reproductible de l'onde V.

Lorsqu'on se rapproche du seuil, l'amplitude de l'onde V diminue et son temps de latence augmente.

Limites de l'examen

Elles ne sont pas spécifiques à l'enfant. Les seuils déterminés se situent uniquement au-delà de 2000 Hz. Cet examen est donc essentiel à réaliser en cas de suspicion de surdité par les tests d'audiométrie tonale et vocale.

Il permet en effet de confirmer ou non le seuil obtenu. Une concordance doit être obtenue entre les tests d'audiométrie comportementale et ceux de l'audiométrie objective.

Mais cet examen des PEA ne doit en aucun cas être réalisé isolément.

Ce seul examen est insuffisant pour adapter un appareillage.

Stratégie pour l'étude du seuil de l'audition

L'audiologiste a ainsi à sa disposition de nombreux tests d'audiométrie comportementale pour évaluer le seuil d'audition dès le plus jeune âge de l'enfant. Chaque test a des avantages qui dépendent, pour une bonne part, des habitudes et des limites liées à l'âge et au comportement de l'enfant. Il ne faut pas tirer de conclusions définitives sur un seul test, mais soit le répéter, soit en utiliser d'autres. L'important est d'arriver le plus tôt possible à déterminer non seulement le seuil binaural, mais le seuil de chaque oreille.

Avant l'âge de 3 ans, la difficulté majeure est l'impossibilité de pouvoir recourir au masquage. L'enfant n'est pas capable de faire la différence entre le bruit de masquage qu'il devrait oublier et le bruit de stimulation qu'il devrait repérer.

Il faut bien sûr en tenir compte dans l'interprétation des résultats.

À partir de 3 ans, le masquage devient possible à réaliser en audiométrie vocale, car il est mieux compris par l'enfant. On lui demande de reconnaître des mots envoyés dans une oreille, se détachant facilement du bruit de masquage envoyé dans l'autre oreille. La reconnaissance d'un bruit pulsé avec le masquage controlatéral est beaucoup plus difficile pour un enfant.

Contrôle d'un appareillage auditif chez l'enfant

Il est essentiel de contrôler régulièrement les seuils prothétiques. En effet, l'enfant déficient auditif appareillé n'est pas toujours capable de déceler un dysfonctionnement de l'appareillage.

En fonction de l'âge de l'enfant, la détermination du seuil prothétique utilise les mêmes principes d'audiométrie que pour le diagnostic.

On a recours, le plus souvent, à l'audiométrie tonale et vocale en champ libre. Si l'attention de l'enfant permet la poursuite du test, le seuil prothétique de chaque oreille peut être ainsi déterminé. Le test est réalisé successivement avec une oreille appareillée, puis après avec l'autre oreille.

On précise ainsi le gain auditif procuré par les prothèses ou *gain prothétique*, en audiométrie tonale sur les différentes fréquences, et en audiométrie vocale.

Ce gain prothétique varie selon les surdités et selon la qualité et la durée de l'éducation auditive.

Les réglages de l'appareillage sont fréquents au début de l'adaptation.

L'amplification du message sonore doit être d'emblée suffisante pour obtenir une amélioration rapide de l'audition de l'enfant. Sinon, il risque d'enlever les appareils si ceux-ci ne lui apportent que peu de changement.

Il faut cependant une progression dans les réglages d'intensité, afin que l'enfant s'habitue et ne soit pas agressé par ce nouveau monde sonore. L'éducation auditive de l'enfant appareillé nécessite le soutien orthophonique pour permettre la meilleure efficacité.

Un gain prothétique inférieur à 40 dB doit inciter à réétudier les modalités de l'appareillage.

Il peut exister des différences importantes de gain prothétique entre les résultats d'audiométrie tonale et d'audiométrie vocale, liées à la présence de distorsions.

0-15 dB	Audition normale ou subnormale.
16-40 dB	Surdité <i>légère</i> . La parole normale est comprise. La voix faible n'est pas perçue correctement.
41-70 dB	Surdité <i>moyenne</i> . La parole n'est perçue que si elle est forte. La compréhension nécessite parfois la lecture labiale.
71-90 dB	Surdité <i>sévère</i> . La parole n'est perçue qu'à voix très forte. La lecture labiale est un complément important.
Surdité supérieure à 90 dB	Surdité <i>profonde</i> . Le handicap est considérable. Un jeune enfant, sans éducation spéciale, resterait muet (sourd-muet). Bien souvent persistent des reliquats auditifs sur les basses fréquences permettant un appareillage. Mais la surdité peut être totale (cophose).

Figure 7.4

 chelle des handicaps liés à une atteinte auditive bilatérale.

Les résultats d'audiométrie vocale sont les plus importants, car ils sont le reflet de l'intelligibilité de la parole chez un enfant sourd appareillé.

Pour le r educateur, les tests phonétiques cochléaires de Lafon avec appareillage, avec et sans lecture labiale, sont particulièrement intéressants ; ils permettent d'adapter la r education orthophonique de l'enfant sourd appareillé.

Des tests d'audiométrie vocale avec appareillage dans le bruit demandent à être développés et standardisés. Ils apportent en effet des informations très intéressantes concernant les capacités de l'appareillage, de type numérique, et le vécu des enfants sourds appareillés, notamment en milieu scolaire.

Quantification de l'audition pour l'enfant

On classe habituellement le niveau de surdité binaurale (figure 7.4) en ayant recours à la moyenne de la somme des pertes sur les fréquences 500, 1000, 2000 et 4000 Hz en audiométrie tonale en champ libre.

On peut ainsi donner un niveau de surdité utilisable pour la prise en charge de l'enfant.

À l'intérieur de la surdité profonde, on établit des sous-classes permettant une meilleure précision :

- degré 1 : de 91 à 100 ;
- degré 2 : de 101 à 110 ;
- degré 3 : plus de 111 dB.

Une fréquence non perçue est notée à 120 dB.

Il ne faut pas confondre dépistage et diagnostic de la surdité.

Le dépistage de la surdité, proposé aux parents, est réalisé :

- au 3^e jour de vie, à la maternité, par un personnel non qualifié en diagnostic de la surdité, le plus souvent par une puéricultrice ;
- à 4 mois, à 9 mois et à 2 ans selon le carnet de santé de l'enfant, et à tout âge de l'enfant en cas de signes d'appel de surdité, par le médecin généraliste, le pédiatre, le médecin ou l'infirmière scolaire.

Le but de ce dépistage de la surdité est de permettre un diagnostic précoce.

En cas de dépistage positif, c'est-à-dire de suspicion, l'enfant est adressé le plus rapidement possible en milieu ORL spécialisé pour un diagnostic soit d'audition normale, soit de surdité.

Définition d'une population à risque

Une circulaire du ministère de la Santé du 24 février 1977 précisait les modalités du dépistage et de l'éducation précoces de l'enfant déficient auditif de la naissance à 6 ans. Elle instituait notamment l'examen systématique des nouveau-nés ayant un risque élevé de surdité. Il est donc essentiel de préciser la population d'enfants « à risque de surdité », qui comprend différents groupes.

Présence d'antécédents familiaux de surdité

Même chez les parents éloignés par rapport à l'enfant, la notion d'antécédents familiaux doit alerter. Il existe en effet différents modes de transmission génétique, notamment autosomique récessive, de pénétrance et d'expressivité variables.

La surdité peut être évolutive dans les premières années, en cas de transmission autosomique dominante.

La surdité est le plus souvent importante et fixée dès la naissance en cas de transmission autosomique récessive.

Syndromes polymalformatifs et anomalies chromosomiques

Toutes les malformations de la face et du cou imposent une extrême vigilance pour le dépistage de la surdité. Mais certaines malformations attirent particulièrement l'attention.

Les malformations de l'oreille externe, parfois associées à des malformations de la face, représentent un signe d'alerte. L'inspection de l'oreille externe doit en effet être systématique chez un nouveau-né. Une malformation, même minime, à type d'anomalie de plicature ou d'implantation du pavillon, de présences d'enchondromes ou de fistules prétragiques, doit attirer l'attention. Cette malformation externe peut être révélatrice d'une malformation associée, le plus souvent de l'oreille moyenne, mais parfois aussi de l'oreille interne, responsable de surdité.

Le problème auditif est évident lorsqu'existe une *aplasie majeure* bilatérale, avec absence de conduit auditif externe.

En cas d'aplasie majeure unilatérale, la question est de savoir si l'oreille controlatérale, de morphologie externe normale, a une audition normale. Il peut en effet exister, de façon associée, une malformation ossiculaire responsable d'une surdité de transmission dont le niveau atteint celui de l'aplasie majeure.

Les malformations vélopalatines imposent d'inviter la famille à une grande vigilance au cours des prochaines années pour ne pas méconnaître une atteinte transmissionnelle par otite sérumuqueuse.

Les anomalies chromosomiques peuvent être associées à une surdité, ce qui aggrave nettement le pronostic si celle-ci n'est pas diagnostiquée. L'otite séreuse est fréquente chez l'enfant atteint de trisomie 21.

Pathologies susceptibles de provoquer une surdité

Elles sont nombreuses. Certaines méritent une attention particulière.

Pathologies infectieuses de la grossesse

- *La rubéole*, grave si elle survient avant 20 semaines de grossesse, concernerait actuellement moins d'une centaine d'enfants par an en France. Les manifestations cliniques sont surtout cardiaques, ophtalmologiques et neurologiques. La surdité, bilatérale et souvent asymétrique, est sévère ou profonde. La vaccination contre la rubéole, largement réalisée chez les enfants, fait disparaître cette étiologie.
- *L'infection à cytomegalovirus* représenterait actuellement la plus fréquente des infections virales congénitales. Les manifestations cliniques sont neurologiques, ophtalmologiques et générales, avec une surdité bilatérale sévère ou profonde dans 60 % des cas.

- *La syphilis congénitale*, actuellement exceptionnelle en France, est réapparue dans certains pays occidentaux avec l'infection au virus de l'immunodéficience humaine (VIH). La surdité, généralement bilatérale et symétrique, s'accompagne de signes neurologiques.
- *La toxoplasmose* est également en régression. L'infection maternofoetale concernerait environ 1000 naissances par an. L'atteinte foetale se traduit par des signes ophtalmologiques, neurologiques, et une surdité le plus souvent bilatérale. La prévention des risques de contamination chez la femme séronégative repose sur des mesures d'hygiène. La sérologie négative est vérifiée tous les mois.

Toute souffrance foetale

Quelle que soit l'étiologie, elle représente un facteur de risque.

Pathologies néonatales

- *La souffrance néonatale* lors de l'accouchement avec hypoxie, anoxie (score Apgar anormal) nécessitant une réanimation.
- *L'ictère nucléaire* par incompatibilité sanguine.
- L'association d'une prématurité et d'une hypotrophie (poids de naissance inférieur à 1500 g).
- *L'ototoxicité néonatale* en cas d'insuffisance rénale associée.

Pathologies postnatales

- *Les méningites et les encéphalites*. L'incidence de la surdité postménigitique est en baisse. Elle est uni- ou bilatérale, parfois transitoire, parfois sévère, évolutive.
- Les oreillons.
- Les traumatismes crâniens.
- *L'ototoxicité*, notamment au cours de chimiothérapie incluant le *cisplatine*.
- *L'otite séromuqueuse*, fréquente chez l'enfant de moins de 6 ans présentant un tableau de rhinopharyngites et otites moyennes aiguës récidivantes, où le facteur auditif peut être sous-estimé.
- Quant à *l'hypothyroïdie congénitale*, elle est associée à une surdité légère ou moyenne dans 50 % des cas.

Retentissement de la surdité sur le développement de l'enfant

L'altération de l'audition a des conséquences multiples, ce qui explique l'importance des répercussions de la surdité sur le développement de l'enfant.

La précocité du diagnostic est impérative pour permettre le plus tôt possible soit un traitement, soit surtout un appareillage et un suivi pluridisciplinaire de l'enfant, dès le plus jeune âge.

L'audition a une action de vigilance et d'alerte. Les variations de l'environnement acoustique sont perçues à tout moment.

L'audition participe à la découverte du monde extérieur. Les informations auditives, complétées par les informations visuelles et tactiles, permettent d'être attentif au monde environnant.

L'audition a également un rôle essentiel dans le développement de la relation interhumaine de parole et de langage. La surdité entraîne la perturbation ou la perte du contrôle audiophonatoire.

L'audition intervient dans la structuration du temps. L'oreille perçoit le rythme correspondant à une périodicité de signal. Cette qualité temporelle est utilisée dans la reconnaissance des distances et de l'espace. Certains lieux ont une acoustique spécifique qui permet de les reconnaître.

Enfin, l'audition a une place importante dans le développement mental des capacités d'abstraction et d'imagination, avec un retentissement essentiel sur le comportement et la personnalité.

Toute atteinte de l'audition perturbe ces acquisitions fondamentales. Il faut donc préciser le niveau d'audition devant tout trouble de la communication.

Dépistage à la naissance

Outre le dépistage des enfants à risque de surdité, qui ne soulève aucune discussion, le dépistage généralisé institué dans certains pays a pu être source de polémiques. Sa mise en place nécessite non seulement des moyens, mais aussi la conviction de sa nécessité. De plus, elle dépasse le cadre strict du dépistage qui doit s'intégrer dans une prise en charge diagnostique précoce avec le respect du choix des parents dans l'éducation de leur enfant.

Pourquoi faire un dépistage généralisé à la naissance ?

La période où l'enfant se trouve encore à la maternité est celle qui réunit les meilleures conditions d'efficacité de dépistage. À défaut, en cas d'hospitalisation trop courte pour permettre ce dépistage, il est recommandé de le réaliser lors d'une consultation dans la période néonatale précoce. Mais dans tous les cas, un tel dépistage nécessite que soient remplies les trois conditions suivantes :

- une information systématique donnée aux parents pendant la période de la grossesse sur le rôle de l'audition dans l'apprentissage du langage de

l'enfant et la nécessité d'une vigilance soutenue sur l'état de l'audition pendant toute l'enfance ;

- une formation des acteurs du dépistage non seulement d'ordre technique mais aussi d'ordre psychologique concernant l'information à donner aux parents ;
- une parfaite articulation entre les responsables du dépistage fait à la maternité et les responsables de la prise en charge des enfants pouvant présenter un déficit auditif.

Comment faire ce dépistage ?

Un test de dépistage doit être simple à réaliser et fiable.

Ces tests de dépistage comprennent :

- soit l'étude des otoémissions acoustiques provoquées, le plus souvent ;
- soit l'étude des potentiels évoqués auditifs automatisés.

Ces deux tests peuvent être faits seuls ou combinés. Ils sont réalisés à la maternité au 3^e jour de vie par une puéricultrice.

Naguère, en l'absence de ces tests objectifs, le dépistage s'effectuait avec un *babymètre* qui permettait l'émission de trois gammes de bruits dans un écouteur : inférieure à 500 Hz pour les graves, entre 1000 et 2000 Hz pour les fréquences moyennes, et supérieures à 2500 Hz pour les aigus. Le bruit était émis à une intensité variable, de 60 à 100 dB, selon la distance entre l'écouteur et l'oreille de l'enfant.

Le testeur étudiait les différents types de réponses provoquées par le bruit :

- des réponses élémentaires d'alerte, de type nociceptif et ne survenant qu'à de fortes intensités comme le réflexe cochléopalpébral : mouvement des paupières déclenché par l'envoi du bruit ;
- des réactions posturales ;
- des modifications de comportement : arrêt ou début des pleurs.

Le danger était d'interpréter une réaction de l'enfant sans rapport avec la stimulation sonore. Cette difficulté se rencontrait plus particulièrement chez les enfants agités (figure 8.1).

Otoémissions acoustiques provoquées

Résultats

- Lorsque les otoémissions acoustiques sont présentes à droite ou à gauche, le test de dépistage est considéré comme négatif.

Ce résultat permet d'éliminer une surdité de transmission et la plupart des surdités endocochléaires de plus de 30 dB.



Figure 8.1

Appareils utilisés pour le dépistage des surdités. a. Otoémissions acoustiques. b. Potentiels évoqués auditifs automatisés. c. Otoémissions acoustiques et potentiels évoqués auditifs automatisés.

Mais il existe de rares cas de surdité à otoémissions acoustiques conservées :

- une atteinte endocochléaire, avec au moins une fréquence pour laquelle le seuil est compris entre 0 et 30 dB ;
 - une atteinte endocochléaire touchant les cellules ciliées internes (mutation du gène de l'otoferline) ;
 - une atteinte rétrocochléaire par une neuropathie auditive.
- Lorsque les otoémissions acoustiques ne sont présentes que sur une seule oreille, il est important de surveiller plus étroitement l'audition de l'enfant et de l'adresser en milieu spécialisé ORL à l'âge de 6 mois.

Une surdité unilatérale néonatale peut être le premier signe d'une surdité génétique évolutive pouvant toucher la seconde oreille dans les premiers mois ou années de vie.

De plus, une surdité unilatérale peut, chez certains enfants, entraîner une gêne en milieu bruyant, avec des modifications dans leur comportement, notamment à l'école.

Il est également important de diagnostiquer ces surdités unilatérales précocement.

- Lorsque les otoémissions acoustiques sont absentes à droite et à gauche, le test de dépistage est considéré comme positif.

Ce résultat est en faveur d'une surdité endocochléaire de plus de 30 dB.

Mais il existe des faux positifs, notamment liés à un problème technique, à un bruit de fond trop important (respiration de l'enfant trop bruyante, bruit de succion...), à un conduit auditif externe obstrué, à une collection liquidienne rétrotympanique (la puéricultrice réalisant le test ne vérifie pas l'aspect otoscopique)...

Il est alors essentiel de réaliser une deuxième recherche des otoémissions acoustiques provoquées avant la sortie de la maternité, ou à moins de 20 jours à la maternité. C'est un protocole test-retest.

Si ce deuxième test est positif à droite et à gauche, l'enfant est adressé en milieu ORL spécialisé pour un diagnostic, en informant les parents que cette consultation est importante mais en veillant à ne pas induire une trop grande inquiétude.

Il est donc essentiel que les milieux spécialisés ORL puissent répondre à la demande sans avoir un délai d'attente trop important, source d'angoisse et de possibles modifications du comportement relationnel avec l'enfant.

Certaines équipes complètent alors le dépistage avec otoémissions acoustiques par l'étude des potentiels évoqués automatisés, qui peut s'avérer rassurante.

Potentiels évoqués auditifs automatisés

Les potentiels évoqués auditifs automatisés permettent un dépistage rapide de la surdité par un opérateur non spécialisé en explorations fonctionnelles, contrairement aux potentiels évoqués auditifs précoces utilisés dans le diagnostic de la surdité.

Ils peuvent être réalisés dès le 3^e jour de vie, à la maternité.

La stimulation auditive correspond à des clics, de spectre fréquentiel large (700 à 5000 Hz), à une fréquence de 35 clics/s et à une intensité de 35 dB.

L'enregistrement est réalisé par des électrodes de surface.

Le moyennage est obtenu après 500 stimulations, puis poursuivi si la réponse est négative.

L'appareil analyse lui-même la reproductibilité des ondes et donne une réponse binaire « *pass* » ou « *refer* » pour un seuil donné.

Résultats

Les potentiels évoqués auditifs sont présents à 35 dB : ce résultat élimine une surdité endo- et rétrocochléaire de plus de 35 dB sur les fréquences explorées 2000 et 4000 Hz.

Les potentiels évoqués auditifs sont absents à 35 dB : ce résultat est en faveur d'une surdité endo- ou rétrocochléaire de plus de 35dB.

Mais il existe des faux positifs dans 0,2 à 0,8 % des cas, en cas de retard de maturation sur les voies centrales de l'audition, notamment chez les grands prématurés.

L'enfant doit être adressé en milieu ORL spécialisé pour un diagnostic, avec notamment des potentiels évoqués auditifs non automatisés, permettant une étude plus fine des seuils, à 3 mois puis à 6 mois.

Il y a donc un choix à faire entre les deux modalités de dépistage, *otoémissions acoustiques et potentiels évoqués auditifs automatisés*.

L'étude des otoémissions acoustiques provoquées nécessite un matériel moins coûteux, des consommables également moins coûteux, avec un recueil plus rapide de quelques minutes.

L'étude des potentiels évoqués auditifs a un moindre taux de faux positifs, une sensibilité légèrement supérieure par rapport aux otoémissions acoustiques et permet le dépistage des neuropathies auditives.

Plusieurs stratégies sont possibles, en fonction notamment des moyens humains et des conditions d'examen, en particulier :

- recours aux otoémissions acoustiques chez les nouveau-nés à terme, sans pathologie, en associant éventuellement les deux méthodes en fonction des premiers résultats ;
- recours d'emblée aux potentiels évoqués auditifs automatisés chez les nouveau-nés hospitalisés en unité de soins intensifs néonataux, notamment chez les enfants prématurés, car ils présentent une plus grande fréquence de neuropathie auditive.

Conditions pour un dépistage généralisé à la naissance

Un dépistage généralisé de la surdité à la naissance de peut se concevoir si au moins trois conditions ne sont pas réunies. Elles concernent :

- *des moyens matériels et des moyens humains*, avec la formation des puéricultrices non seulement à la réalisation des tests, mais aussi à l'information délivrée aux parents sur les résultats de ces tests, et avec leur disponibilité pour la réalisation des tests et des deuxièmes tests si besoin ;
- *un suivi minutieux des enfants ayant des tests positifs à la maternité*, afin de limiter les enfants « perdus de vue » ;
- *une coordination étroite avec les milieux ORL spécialisés pour le diagnostic et la prise en charge de la surdité les plus précoces possibles.*

Il est essentiel de ne pas oublier qu'un test de dépistage normal à la naissance d'un enfant ne signifie pas que l'audition de l'enfant sera normale pendant toute son enfance, dans les cas de surdité génétique, de surdité acquise et de surdité évolutive.

Les parents doivent être informés que, même si un test de dépistage a été réalisé et s'est révélé négatif, il importe de garder pendant toute l'enfance une vigilance pour s'inquiéter de signes d'alerte pouvant apparaître dans les mois ou années à venir. Ils doivent au moindre doute consulter en milieu ORL spécialisé, quel que soit l'âge de l'enfant.

Comment arriver au diagnostic ?

Lorsque l'enfant est adressé en milieu spécialisé ORL, le premier temps sera l'interrogatoire des parents sur les événements survenus pendant la grossesse et à l'accouchement, sur les réactions de l'enfant par rapport aux bruits environnants depuis leur retour de la maternité et sur l'existence ou non d'antécédents familiaux de surdité.

Leur état psychologique par rapport à un test de dépistage positif doit être pris en considération.

Il faudra réaliser (cf. Audiométrie de l'enfant, p. 143) :

- une nouvelle recherche des otoémissions acoustiques provoquées, avec une étude spectrale ;
- une audiométrie comportementale de type babymètre (cf. Audiométrie de l'enfant, p. 167) ;
- des potentiels évoqués auditifs non automatisés, avec une étude des seuils des deux oreilles.

Si l'enfant n'est pas prématuré et n'a pas de problème neurologique, la surdité sera confirmée à l'âge de 3 mois.

Si l'enfant est né prématuré ou présente des signes d'atteinte neurologique, la surdité sera confirmée à l'âge de 6 mois, après une deuxième étude des potentiels évoqués auditifs afin de ne pas méconnaître un problème de maturation des voies centrales de l'audition. Ce deuxième examen des potentiels évoqués auditifs peut se normaliser dans certains cas.

Dépistage après la naissance

Signes d'alerte

La surdité peut être suspectée d'autant plus tôt qu'elle est prononcée et que ses répercussions sont importantes. On l'évoque devant la présence de signes *indirects* qu'il faut savoir repérer. Ces signes d'alerte sont variables en fonction de l'âge de l'enfant.

- Dans les premiers mois :
 - absence de réaction aux bruits, à la voix ;
 - sommeil trop calme malgré des bruits extérieurs intenses, contrastant avec des réactions très positives aux vibrations et au toucher.
- De 3 à 12 mois :
 - absence d'orientation vers le bruit ;
 - sons émis non mélodiques ;
 - appauvrissement du babil.
- Vers l'âge de 6 mois :
 - absence de début d'articulation ;
 - installation d'une communication gestuelle de désignation.
- De 12 à 24 mois :
 - absence de compréhension d'un ordre simple sans l'aide d'un geste ou de la lecture labiale qu'il commence à utiliser ;
 - enfant inattentif à tout ce qui n'est pas dans son champ visuel ;
 - émissions vocales incontrôlées, absence de parole articulée, absence d'apparition des premiers mots.
- Au-delà de 24 mois :
 - troubles du comportement relationnel ;
 - difficultés scolaires avec un enfant souvent difficile et instable, ou au contraire trop calme, apathique, à l'écart des autres enfants, ne participant pas ;
 - retard de parole et de langage, développement d'un véritable jargon inintelligible, arrêt du développement de la parole articulée.

Le diagnostic peut être retardé lorsque la surdité apparaît secondairement, après une période d'audition normale ; l'enfant a commencé à parler avec une voix mélodieuse qu'il conserve pendant un temps limité, puis son niveau de parole se dégrade progressivement.

Une surdité avec conservation importante des fréquences graves est plus difficile à découvrir. En revanche, une surdité préexistante aggravée par une otite séreuse se manifesterait plus rapidement.

Dépistage de la surdité chez les enfants en milieu non spécialisé

Par le médecin généraliste ou le pédiatre

Ce dépistage peut avoir lieu dans plusieurs circonstances :

- dépistage systématique lors de la visite du 4^e mois, du 9^e mois et du 24^e mois, à noter dans le carnet de santé ;
- dépistage dans les suites d'une pathologie à risque (oreillons, méningite...);
- inquiétude familiale ;
- remarques de l'institutrice ;
- troubles du comportement.

Il doit comprendre à la fois :

- l'interrogatoire familial sur les réactions de l'enfant dans sa vie quotidienne aux bruits qui l'entourent et sur la façon de communiquer avec ses parents et de répondre à leurs questions ou à leurs ordres ;
- l'étude du comportement de l'enfant dans la salle d'examen. Que fait-il avec les jouets ? Répond-il à l'appel de son prénom ?
- l'étude de l'installation de la parole et du langage ;
- les tests proprement dits.

Les tests de dépistage réalisables par le médecin généraliste ou le pédiatre varient en fonction de l'âge de l'enfant.

Ils ne disposent pas de cabine insonorisée et doivent réaliser les tests dans un milieu calme.

Si le dépistage en période néonatale n'a pas été réalisé

Il serait intéressant que les médecins généralistes disposent de matériel type babymètre pour tester les enfants jusqu'à l'âge de 3 mois (cf. Dépistage à la naissance, p. 167).

Après 3 mois

La plupart de ces médecins utilisent uniquement les jouets sonores et leur propre voix.

Jouets sonores

Tout instrument sonore peut être utilisé à condition d'en avoir étudié au préalable l'intensité émise à une distance déterminée, à l'aide d'un sonomètre.

D'où l'utilité des jouets sonores calibrés dont le spectre sonore est connu et dont l'intensité émise est fixe : 60 dB à 1 m de l'enfant pour les jouets sonores de Moatti.

Ils ne permettent donc pas d'éliminer une surdité légère à moyenne bilatérale.

L'absence de réponse fait suspecter une surdité bilatérale de plus de 60 dB.

La réalisation du test est expliquée en page 148.

Tests acoumétriques à la voix

Ces tests sont réalisés lors de l'examen des 9 mois.

Ce sont les test de réaction vocale au « coucou », aux sifflements, aux « tch, tch », testant plus particulièrement certaines zones fréquentielles (cf. Test de réaction vocale : de 3 à 6 mois, p. 149).

Il peut s'agir d'appel du prénom.

Précautions

Il faut veiller de ne délivrer à l'enfant aucune information visuelle associée à l'appel.

L'enfant ne doit pas voir le visage du testeur, ce qui élimine toute lecture labiale.

Le repérage par l'enfant d'un léger mouvement peut induire une erreur d'interprétation. Il est alors préférable de se positionner en arrière de l'enfant et de l'observer avec un miroir.

Il faut également veiller à ce que les parents n'interviennent pas dans le test, notamment par de légers mouvements si l'enfant est assis sur leurs genoux.

Le testeur se positionne à une distance de 1 m et parle en voix chuchotée.

Si l'enfant réagit, ce résultat n'est pas en faveur d'une surdité bilatérale de plus de 35 dB.

Chez l'enfant plus âgé, il est réalisé le test de désignation des parties du corps ou de désignation d'une dizaine d'images que l'enfant connaît.

Ce test de désignations d'images est en général possible à partir de l'âge de 2 ans.

L'enfant est assis devant une petite table où sont installées dix images.

Dans les conditions habituelles d'examen d'un cabinet, lorsque l'enfant répond correctement à une voix chuchotée à 1 m, sans lecture labiale, c'est-à-dire lorsqu'il désigne dix images sur dix, on peut considérer qu'il ne présente pas une surdité bilatérale de plus de 35 dB, mais il n'est pas possible d'affirmer qu'il a une audition normale. De même, ce constat n'élimine pas une surdité unilatérale.

Il est donc préférable d'adresser l'enfant en milieu spécialisé ORL s'il présente des signes d'appel de surdité.

En revanche, s'il n'y a aucun signe d'appel de surdité, ce test paraît suffisant.

Le recours à une audiométrie, même de dépistage, nécessite une formation adaptée, sous peine de grossières erreurs.

La plupart des médecins généralistes et pédiatres ne disposent pas d'audiomètres.

Certains médecins généralistes et pédiatres utilisent une tympanométrie.

Elle a pour intérêt de mettre en évidence un épanchement de l'oreille moyenne pouvant être responsable d'une surdité légère à moyenne, mais ne permet en aucun cas d'affirmer que l'audition est normale. Il paraît difficile d'en tirer des conclusions sur l'état auditif sans l'intégrer dans un examen otologique.

Dans tous les cas, il faut :

- ne pas rassurer trop vite des parents qui ont des doutes ;
- donner des conseils pour étudier les réactions auditives de leur enfant (regarder comment il se comporte quand quelqu'un lui parle au téléphone, étudier ses réactions quand on l'interroge en étant placé derrière lui, etc.) ;
- se méfier de fausses réactions positives induites par la stimulation d'autres sens que l'audition (par exemple, la modification de lumière engendrée par une porte qui s'ouvre, l'effet de souffle de la porte ou lorsqu'on frappe dans ses mains à proximité de l'enfant, etc.) ;
- savoir orienter au moindre doute vers un médecin audiologiste.

Par le médecin scolaire ou l'infirmière scolaire

Ces tests sont réalisés le plus souvent chez des enfants de plus de 3 ans.

Il est souvent difficile au sein de l' cole d'obtenir une pièce calme où l'enfant est testé seul.

- La plupart des médecins scolaires disposent d'un audiomètre avec casque permettant de réaliser des tests beaucoup plus précis.

En général, un enfant d'âge scolaire accepte le casque, ce qui permet de tester chaque oreille.

Les tests réalisés sont des tests d'audiométrie tonale sur les fréquences 250, 500, 1000, 2000, 4000 et 8000 Hz. Si le test est trop long pour l'enfant, il faut privilégier la recherche des seuils sur les fréquences conversationnelles 500, 1000, 2000 et 4000 Hz.

La réponse normale est obtenue entre 10 et 15 dB, en milieu insonorisé.

En milieu non insonorisé, comme une pièce calme de l' cole, si l'enfant répond à 20 dB, le test est considéré subnormal.

Les tests d'audiométrie vocale, d'intelligibilité de la parole, avec le casque, ne sont pas réalisés car les médecins et les infirmières scolaires ne disposent pas du matériel pour ces tests.

- Si le médecin scolaire ou l'infirmière scolaire ne disposent pas d'audiomètre, le test de voix chuchotée est réalisé.

La notion de distance par rapport à l'enfant est essentielle.

- *Le test de voix chuchotée à 6 m de l'enfant*, dans une pièce isolée très calme, sans lecture labiale, est réalisé.

En fonction de l'âge de l'enfant, de sa coopération et de son niveau de parole et de langage, il lui est demandé soit de désigner des images positionnées devant lui, soit de répéter des mots d'enfant, connus de lui. Il faut s'en assurer avant.

Il existe des listes de mots d'enfants – listes de Boorsma, listes de Borel-Maisonny – qui peuvent être utilisées.

Si les réponses sont obtenues sans ces conditions, le test est en faveur d'une audition subnormale en champ libre, c'est-à-dire sur au moins une oreille. Il ne permet pas d'éliminer une surdité unilatérale, sauf si une deuxième personne réalise un masquage de l'oreille controlatérale de l'enfant, en appuyant de façon répétée sur le tragus.

- *Le test de voix chuchotée à 1 m* permet d'éliminer une surdité bilatérale de plus de 35 dB.
- Le test de voix chuchotée à quelques centimètres de l'oreille, qui a été souvent pratiqué, avec certes le masquage de l'oreille controlatérale possible par le même opérateur, permet uniquement d'éliminer une surdité sévère profonde, mais ne permet pas d'affirmer une audition normale.

Il est essentiel de veiller à ce que ces professionnels puissent disposer systématiquement d'un audiomètre afin de réaliser des tests beaucoup plus fiables que ces tests de voix chuchotée.

Conclusion

Pendant tout le cours de l'enfance, une vigilance s'impose pour dépister la surdité, car l'enfant ne se plaint jamais d'une mauvaise audition, ou très rarement, avant l'âge de 10 ans. Le dépistage commence dès la naissance. L'information des parents et du personnel scolaire, la formation des médecins doivent permettre une alerte qui déclenche le dépistage puis le diagnostic suivi d'une prise en charge précoce pour prévenir les conséquences de la surdité sur le développement de l'enfant.

9 Audiométrie et appareillage

Plusieurs intervenants sont amenés à unir leurs efforts lors de la prise en charge de la déficience auditive, constituant une véritable équipe pluridisciplinaire. Pour la meilleure efficacité possible, chaque maillon doit avoir une vision globale sur l'activité de l'ensemble de la chaîne et transmettre un minimum d'informations aux autres intervenants, à commencer par des renseignements indispensables à l'audioprothésiste donnés par l'ORL. Ces notions sont fondamentales pour la prise en charge des enfants malentendants qui doit se faire au cœur d'une équipe pluridisciplinaire : plus les différents intervenants peuvent fournir d'informations aux autres, meilleure est la prise en charge globale.

Renseignements donnés à l'audioprothésiste par l'ORL

Ils concernent avant tout les informations sur l'étiologie et les éventuelles contre-indications de l'appareillage.

Étiologie

Lorsque l'origine de la surdité est connue, la connaissance du diagnostic donne des informations essentielles sur l'évolution possible de la perte auditive et permet de la prendre en compte pour le choix prothétique : la surdité est-elle évolutive ? fluctuante ? stabilisée ?

Répondre à ces questions permet de prévoir, par exemple, la réserve de gain nécessaire, l'utilité de laisser une commande de volume au malentendant (télécommande, potentiomètre) et de privilégier une forme et une voie d'appareillage.

Contre-indications éventuelles à l'appareillage et précautions

L'ORL doit être particulièrement attentif à signaler toute anomalie au niveau du méat acoustique externe ainsi qu'au niveau du tympan.

Les contre-indications sont, la plupart du temps, des contre-indications à la fermeture du conduit auditif par l'embout. Il est donc essentiel pour l'audioprothésiste de les connaître, afin de faire le choix de la voie osseuse ou aérienne et de la forme du futur appareillage.

Documents audiométriques

Pour l'adulte

- *Un examen audiométrique complet* : il comprend une audiométrie tonale au casque, une audiométrie tonale osseuse et une audiométrie vocale au casque.
- *Une tympanométrie avec étude du réflexe stapédien* : les mesures de compliance du tympan et des réflexes stapédiens peuvent en effet apporter des informations pertinentes pour le réglage des aides auditives.

Pour l'enfant

Potentiels évoqués auditifs et otoémissions

Chez l'enfant et surtout le nourrisson, ce sont les données de base qui permettent d'avoir une idée du niveau de perte entre 1500 et 4000 Hz. Ces données sont indispensables lors du premier réglage de l'appareil. Les seuils sont, de toute façon, toujours très sous-corrigés et réévalués en fonction des réactions de l'enfant et de l'évolution des audiométries comportementales.

Audiométrie comportementale

Il est très intéressant de comparer les résultats obtenus par les divers intervenants et surtout de communiquer le mode de conditionnement choisi pour chaque enfant et à chaque âge. Les échanges entre ORL, orthophonistes et audioprothésistes sont indispensables, à ce stade, au succès de la prise en charge de la surdité.

Résultats annexes

L'étude comportementale de l'enfant, de sa fratrie et de sa famille permet d'obtenir des informations importantes pour la prise en charge globale.

Le travail de l'audioprothésiste

La loi du 3 janvier 1967 décrit l'appareillage auditif de la façon suivante :

« L'appareillage auditif comprend le choix, l'adaptation, la délivrance, le contrôle d'efficacité immédiate et permanente de la prothèse auditive et l'éducation prothétique du déficient de l'ouïe appareillé. »

« La délivrance de chaque prothèse auditive est soumise à la prescription médicale préalable et obligatoire du port d'un appareil après examen otologique et audiométrique tonal et vocal. »

On peut citer, parmi les autres attributions de l'audioprothésiste, la réalisation de protections acoustiques, la prévention, la délivrance de matériel d'aide à la vie des malentendants (système flash, téléphone amplifié...).

Choix, confection, mise en place et surveillance de l'appareillage

L'audioprothésiste oriente le patient vers le choix de l'appareillage qui lui conviendra le mieux en fonction de plusieurs critères :

- le bilan audiométrique global ;
- les besoins du patient selon son mode de vie ;
- la praxie et la capacité à comprendre le fonctionnement ;
- les possibilités financières.

Une fois le choix fait, l'audioprothésiste réalise une empreinte du conduit si l'appareillage nécessite un embout sur mesure ou la fabrication d'une coque.

Lors de la délivrance, il programme les aides auditives à l'aide des résultats obtenus précédemment et du ressenti immédiat du patient.

Celui-ci réalise ensuite un essai au minimum de quinze jours au cours de sa vie quotidienne. Il ne conserve l'appareillage au terme de cette période que s'il lui apporte satisfaction.

L'audioprothésiste réalise alors les tests de gain prothétique.

Il se doit ensuite d'assurer la permanence du bon fonctionnement des aides auditives : le patient est invité à venir tous les 6 mois et au besoin entre-temps. Ces visites permettent de contrôler l'audition, le fonctionnement de l'appareillage et de faire évoluer le réglage pour obtenir le meilleur bénéfice. On comprend donc que le travail de l'audioprothésiste est double ; la vente et l'adaptation initiale de l'audioprothèse n'en sont qu'une part, car elles sont suivies d'un « service » attentif et permanent.

Examen audiométrique et réglage

Il est essentiel de savoir que l'audioprothésiste, en tant que professionnel de la correction auditive, se doit d'effectuer les mesures audiométriques nécessaires au choix de l'appareillage et à la mise en place d'un gain adapté.

Tonale aérienne

Ce test de base donne rapidement une idée du handicap auditif du patient. Réalisée en général par octave par le médecin spécialiste, ce qui est suffisant pour poser un diagnostic, elle devra être affinée par demi-octave par l'audioprothésiste, ce qui est nécessaire du fait de la finesse de traitement et des capacités des aides auditives.

Test d'inconfort

Son résultat permet de régler le niveau de sortie et la compression des aides auditives pour assurer au malentendant un niveau d'écoute non gênant quel que soit le niveau d'entrée.

Tonale osseuse

Permettant de mettre en évidence une surdité de transmission, elle est essentielle pour l'audioprothésiste qui effectuera à nouveau cette mesure par demi-octave si un Rinne est constaté par le médecin ORL.

La surdité de transmission pouvant être corrigée par voie osseuse, l'audioprothésiste devra la prendre en compte dans le choix de la prothèse. Si la voie aérienne est retenue, le gain nécessaire pour corriger la surdité sera beaucoup plus important que pour une surdité de perception pure. Dans le cas d'une surdité mixte, l'audioprothésiste devra tenir compte de chaque composante de la perte afin de mettre en place un réglage adapté.

Audiométrie vocale

Réalisée de façon systématique, elle permettra à l'audioprothésiste de juger de la compréhension globale du patient et d'estimer les limites de l'appareillage. Elle peut également mettre en évidence une cophose vocale ou une forte disparité de compréhension entre les deux oreilles. Elle donnera la possibilité de juger de la cohérence d'un appareillage stéréophonique, ce dernier étant l'appareillage normal. Elle permettra également d'éviter une stimulation trop importante en cas de recrutement, ce qui se traduit par une courbe en forme de « cloche ».

Il est essentiel que le médecin ORL précise le matériel vocal utilisé. En effet, de fortes disparités peuvent être constatées, par exemple entre les listes cochléaires de Lafon et celles dissyllabiques de Fournier. Il est essentiel que l'audioprothésiste réalise à nouveau cette mesure avec son propre matériel en les complétant avec des tests en milieu bruyant afin de pouvoir effectuer un suivi de qualité, l'audiométrie vocale devant être effectuée régulièrement.

Les résultats des tests d'audiométrie vocale, dans le silence et dans le bruit, constituent un assez bon pronostic du résultat prothétique. En effet, ils sont réalisés dans des conditions acoustiques qui sont proches de celles de la vie courante.

Tests d'audiométrie comportementale

Chez l'enfant, ils permettent d'affiner la courbe auditive au fur et à mesure de son évolution afin d'adapter au mieux le réglage. Ils sont souvent réalisés au départ en champ libre avec les aides auditives pour se rendre compte le plus vite possible du gain de l'appareillage.

Technologies

Aides auditives

Une aide auditive est toujours composée des mêmes éléments de base : un ou plusieurs microphones (jusqu'à trois), un amplificateur, un bloc contact relié à une pile, un écouteur et une puce de traitement du signal dans le cas d'un numérique.

Analogique

Cette technologie subsiste encore pour certains appareillages d'entrée de gamme. Elle s'oppose au numérique par l'absence de traitement du signal. Le son est capté, amplifié et restitué. Les réglages accessibles sont des réglages de tonalité et d'écristage par trimmers. Le résultat dans le calme est plutôt bon, mais les bruits deviennent agressifs puisque tous les niveaux d'entrée sont amplifiés de la même façon. Le bénéfice en milieux bruyants est nul.

Programmable

Il s'agit d'un appareil analogique dont l'interface de programmation est digitale. Cela permet de réaliser le réglage par ordinateur et d'obtenir un réglage plus précis qu'à l'aide d'un trimmer.

Numérique

L'apparition du numérique a été une véritable révolution pour les aides auditives : les sons sont captés, amplifiés, convertis en signal numérique, puis traités avant d'être convertis en signal analogique et restitués. C'est ce traitement du signal rendu possible par la miniaturisation des puces numériques qui permet d'obtenir un bénéfice prothétique bien meilleur que celui obtenu par un traitement analogique. Selon la gamme, ces appareils peuvent être de qualités très différentes. Les principaux éléments différenciant les aides auditives sont les suivants.

La puce

C'est le « cerveau » de l'appareil : plus sa vitesse de calcul est élevée, plus elle permet de flexibilité, de rapidité et de précision dans la réponse.

Selon sa configuration, l'analyse de l'environnement peut se faire de plus en plus finement, découpée en 2, 4, 8, 16, 32, 64 ou 128 canaux. Plus les canaux sont nombreux et plus l'analyse du signal est pertinente.

La compression

La présence de recrutement chez les patients souffrant d'une surdité neurosensorielle implique une incapacité à percevoir les sons faibles, mais un codage normal des sons forts. De ce fait, le gain nécessaire à la correction des sons faibles devient vite inconfortable lorsque le son augmente en intensité.

Les systèmes de compression permettent la prise en compte de ce phénomène par une réduction progressive du gain en fonction de l'intensité du signal d'entrée. Il s'agit d'une amplification dite « non linéaire ».

Les évolutions technologiques successives ont vu s'accroître le nombre de canaux fréquentiels de compression et diminuer l'intensité à laquelle se déclenche la non-linéarité (seuil d'enclenchement). Ceci permet aujourd'hui un traitement très fin de la dynamique auditive résiduelle du malentendant, y compris en présence d'un recrutement important ou d'une hyperacousie.

Les différents fabricants d'aides auditives peuvent avoir des stratégies technologiques différentes pour la compression ; certains favorisent la précision fréquentielle, d'autres permettent un traitement individualisé de la dynamique. L'audioprothésiste est là pour choisir la stratégie la plus efficace en fonction des caractéristiques audiologiques du malentendant.

Système anti-larsen

Il permet d'éviter le sifflement dû aux fuites acoustiques de l'écouteur vers les microphones. Les premiers appareils étaient en réalité des limiteurs de gain. Après calibration, l'appareil fixait des limites au-delà desquelles le larsen pouvait apparaître.

Les systèmes les plus récents permettent de faire disparaître le larsen par opposition de phase : ils agissent donc réellement sur l'apparition d'un sifflement en temps réel et sont de ce fait beaucoup plus efficaces. Leurs perfectionnements ont permis l'apparition d'appareillages « *open* » qui laissent le conduit complètement ouvert.

Les automatismes

Les appareillages numériques actuels sont capables de détecter l'environnement sonore dans lequel ils évoluent et de s'y adapter selon différents paramètres. La qualité de ces automatismes diffère énormément selon la gamme de l'appareillage choisi. Nous allons les expliciter ici de manière générale.

Captation microphonique et réduction du bruit

Selon la répartition des différentes sources sonores, bruit et parole, l'appareillage peut changer la polarité de captation des microphones (le plus souvent, les aides auditives en ont deux). Ainsi, il peut privilégier la zone d'où il détecte l'émission principale de parole afin d'améliorer au maximum le rapport signal/bruit.

À cette captation évolutive viennent se coupler des systèmes de réduction du bruit : l'appareil analyse sur chaque canal fréquentiel l'enveloppe temporelle et spectrale afin de différencier le bruit de la parole. Il réduit ensuite le gain des canaux où le bruit prédomine et favorise ceux où la parole émerge. Ce système est d'autant plus efficace que le nombre de canaux est élevé

puisque, dans ce cas, le bruit est vraiment ciblé dans une zone fréquentielle réduite et son atténuation ne pénalise pas l'intelligibilité.

Les « filtres »

Certains bruits peuvent être agressifs, surtout pour des personnes en déprivation sensorielle depuis plusieurs années, comme les bruits d'assiettes, de couverts ou de papier. Certains algorithmes permettent d'atténuer fortement la sonie de ces bruits, et ainsi de rendre le port de l'appareillage plus confortable.

Dernières évolutions (cf. Annexe Ia, p. 255)

Aide auditive open

Il s'agit d'une aide auditive adaptée à l'aide d'une canule et d'une ailette, préfabriquées à différentes tailles, ce qui permet de l'adapter chez les patients sans prise d'empreinte et surtout de laisser le conduit ouvert.

Cette technologie récente, apparue en 2005, a révolutionné l'appareillage de la presbycusie : le conduit étant complètement ouvert, les sons graves préservés sont captés naturellement. L'appareil n'amplifie que les fréquences aiguës déficientes, ce qui permet d'obtenir une bonne efficacité ainsi qu'un confort important grâce à l'absence de résonance provoquée par l'occlusion.

Aide auditive à écouteur déporté

C'est un appareil normal dont l'écouteur est déporté dans le conduit auditif et relié au corps par un fil, disponible en différentes formes et tailles afin de s'adapter à tous.

Comparée à celle de l'open, cette forme a deux avantages principaux : le son amplifié ne passe pas par un tube vide, ce qui permet d'éviter l'apparition d'une résonance des aigus et d'améliorer la perception du son en le rendant plus naturel. Le deuxième avantage est un gain de place : déporté, l'écouteur dans le conduit permet de réduire le volume du mini-contour placé derrière le pavillon.

L'adaptation peut être réalisée en open ou à l'aide d'un embout sur mesure. La plage d'application peut aller jusqu'aux surdités sévères, à la condition que le conduit du patient laisse une place suffisante pour recevoir l'écouteur parfois volumineux.

Compression fréquentielle ou transposition fréquentielle

Ce sont deux traitements du signal développés par deux fabricants différents afin de répondre à une même problématique : comment redonner la perception des sons aigus lorsque leur captation n'est plus fonctionnelle (zone morte cochléaire, recrutement trop important...).

La transposition fréquentielle proposée par Widex a pour but de transposer une plage de fréquence aiguë vers une zone cochléaire médium mieux

perçue. L'énergie de la stimulation aiguë vient ainsi se surajouter à la perception des médiums. Ce système permet donc de percevoir les sons aigus avec une tonalité différente.

La compression fréquentielle de Phonak a pour but de comprimer les fréquences aiguës vers les médiums mieux perçus. Le signal ne vient donc pas en surajout d'énergie, mais à la suite fréquentielle des dernières fréquences perçues.

Des études sont en cours pour ces deux traitements du signal afin d'objectiver leur impact sur la compréhension à long terme.

Prothèses implantables

Bone anchored hearing aid (BAHA)

Cet implant est préconisé dans le cadre de surdités de transmission, de surdités mixtes ou encore de cophose unilatérale. Un pilier est implanté chirurgicalement dans la voûte osseuse sus- et rétroauriculaire. Sur ce pilier vient se clipper la BAHA (*bone anchored hearing aid*), qui permet de transmettre le son par vibration osseuse directement à la cochlée. C'est un appareil numérique programmable par trimmers assez simple. Les réglages accessibles sont la tonalité et le niveau de sortie. Ils sont assurés par l'audioprothésiste.

Prothèse d'oreille moyenne (cf. Annexe Ic, p. 257)

L'implant d'oreille moyenne est une alternative à l'appareillage conventionnel pour les patients souffrant d'une surdité de perception pure de gravité moyenne à sévère.

Il existe deux principaux avantages : tout d'abord, le conduit auditif externe reste parfaitement libre, ce qui permet d'en conserver l'acoustique naturelle, et, d'autre part, la localisation est esthétique, ce qui amène certains patients à faire ce choix.

Les aides auditives implantables fonctionnent par couplage mécanique direct avec soit la chaîne ossiculaire, soit la membrane tympanique ou encore directement la capsule otique.

Nous traiterons en particulier des appareils couplés à la chaîne ossiculaire, car ils sont nettement les plus répandus aujourd'hui.

Implant partiellement implantable

Il existe deux principaux modèles en France, distribués par la société MED-EL et la société Otologics.

Il s'agit de systèmes électromagnétiques où une bobine vibrante accrochée aux osselets ou directement reliée à eux vient augmenter l'amplitude de leur vibration.

Ils se composent de deux éléments :

- une partie externe, maintenue sur la tête à l'aide d'un aimant et cachée sous les cheveux. Elle contient le microphone, la pile et un circuit électronique numérique qui transforme les sons captés en un signal transmis au travers de la peau, à l'aide d'une antenne, au récepteur interne ;
- le récepteur interne, implanté superficiellement dans la corticale rétro-mastoïdienne. Il est relié par un fil conducteur jusqu'au système électromagnétique vibrant, lui-même fixé sur les osselets, le plus souvent la branche descendante de l'enclume, ou alors directement en contact avec la branche horizontale de l'enclume. Ces systèmes vibrants mettent en mouvement les osselets avec plus d'énergie que ne le font les sons qui pénètrent naturellement par le méat acoustique externe.

L'intervention chirurgicale dure environ 1,5 heure. Elle nécessite une anesthésie générale et comporte certains risques : interruption ou blessure de la chaîne ossiculaire et genèse d'une surdité de transmission, si ce n'est mixte. Des lésions du nerf facial, rares, ont été décrites.

Comme pour une aide auditive classique, le réglage de ces implants s'effectue par ordinateur via une interface de connexion. Les paramètres de réglage sont eux aussi très proches de ceux des aides conventionnelles ; seuls quelques tests acoustiques ne sont pas réalisables (in situ ou mesure au coupleur).

Implant totalement implanté

Les implants Esteem™ (distribués par Envoy Medical) et Carina™ (distribués par Otologics) sont complètement implantables. Tout, du microphone au transducteur de sortie en passant par la batterie, est implanté.

Les sons sont captés par un microphone très sensible placé sous la peau. Ils sont traités selon les besoins du patient. L'extrémité du transducteur Carina™ vient stimuler directement la branche horizontale de l'enclume. L'implant se programme de la même manière qu'un appareil auditif classique. La différence tient au fait qu'il n'y a pas de liaison filaire ; un système spécial utilisant des radiofréquences est donc nécessaire.

Implant cochléaire (cf. Annexe Ib, p. 256)

L'implant cochléaire est une prothèse auditive implantée qui permet de réhabiliter les surdités pour lesquelles les aides auditives conventionnelles montrent leurs limites : surdité profonde ou surdité sévère avec vocale très dégradée, entre autres. L'implant cochléaire transforme l'information sonore acoustique en un signal électrique.

Il comporte deux parties : l'une, externe, composée d'un microphone, d'une antenne et d'un processeur vocal ; l'autre, interne, implantée chirurgicalement, composée d'un récepteur et d'électrodes intracochléaires dont le nombre varie suivant le fabricant. Chaque électrode représente une bande de fréquences du spectre sonore.

Le signal sonore numérisé par le processeur vocal est transmis par induction électromagnétique à travers la peau par l'intermédiaire d'une antenne aimantée jusqu'aux électrodes intracochléaires sous forme d'impulsions électriques.

L'indication de l'implant cochléaire doit se faire au sein d'une équipe pluridisciplinaire. Une fois l'implant posé par le chirurgien ORL, une première séance dite d'activation intervient 10 à 20 jours, après avec un protocole différent suivant l'âge du patient : électrode par électrode chez l'adulte, toutes les électrodes activées en même temps chez l'enfant en augmentant petit à petit le niveau de stimulation et en observant son comportement. La présence de l'orthophoniste est alors très appréciée. Les premières séances de réglage se font de façon rapprochée et s'espacent jusqu'à en moyenne un réglage biannuel chez l'adulte et trimestriel chez l'enfant. Lors de ces séances, l'efficacité de la programmation du processeur vocal doit être vérifiée par les audiométries tonales vocales et les observations des différents intervenants de l'équipe pluridisciplinaire.

Évaluation des résultats

Le résultat optimal d'un appareillage ne peut être obtenu qu'au terme de la période d'essai. La programmation est généralement sous-corrigée pour permettre au malentendant de porter l'appareillage sans inconfort. Le gain est ensuite augmenté pas à pas au fur et à mesure des besoins et des visites de contrôle.

Évaluation comportementale

Ressenti patient

C'est le point le plus important : chaque patient est singulier, et il est impossible d'envisager la satisfaction du malentendant au regard des seuls examens objectifs. D'aucuns sont satisfaits avec un gain prothétique faible alors que d'autres sont mécontents malgré un bon gain prothétique.

Il est essentiel de savoir si le patient obtient un plus dans les situations qu'il souhaitait améliorer avant l'appareillage, si l'appareil est porté sans difficultés et s'il est confortable. Le patient arrive-t-il à changer la pile, à l'arrêter, à le nettoyer ?

Il est souvent nécessaire de revoir le patient une ou deux fois au cours des essais afin de peaufiner le réglage en fonction de ses remarques. Il est donc totalement moteur dans le processus d'appareillage.

L'audioprothésiste peut aussi s'aider de la fonction « Data Logging » des aides auditives modernes, qui enregistre le temps de port quotidien et les

environnements sonores fréquentés par le malentendant pour optimiser l'adaptation prothétique.

Il est à noter que sans évolution de la perte auditive, le ressenti du patient évolue au cours de la vie de l'appareillage : il est donc nécessaire de faire des contrôles réguliers.

Ressenti de l'entourage

Il est très important dans le cas où le patient ne pourrait pas donner un avis fiable : enfants, grabataires, Alzheimer...

L'entourage est donc le seul juge possible de l'efficacité de l'appareillage. Là aussi, les indications sur le temps de port, le confort et l'efficacité sont importantes.

Audiométrie de contrôle

Gain prothétique tonal

Le stimulus employé est un son vobulé, pulsé, émis en champ libre sur une gamme de fréquence de 250 à 8000 Hz par octave : il consiste à tester le malentendant oreilles nues puis oreilles appareillées, et ainsi de pouvoir avoir une vue objective du gain procuré.

En fonction du type de surdité, des attentes du malentendant et de la technologie utilisée, l'audioprothésiste définit un objectif en termes de courbe tonale, oreilles appareillées.

Certains traitements de signal modernes considèrent le stimulus comme du bruit et enclenchent donc les réducteurs de bruit ; il est souvent légèrement sous-évalué si ces systèmes automatiques ne sont pas coupés avant le test. Lorsque l'opérateur qui pratique l'audiométrie tonale de champ libre oreilles appareillées est dans l'impossibilité de couper les traitements automatiques des aides auditives (ORL, audiométriste), il peut le préciser sur le compte rendu de test.

Gain prothétique vocal dans le silence et dans le bruit

La voix est émise en champ libre face au sujet qui doit répéter les mots ou les phrases selon le matériel vocal choisi. L'expression du gain prothétique vocal se fait en comparant les courbes réalisées en champ libre, successivement oreilles nues puis oreilles appareillées et non en comparant la courbe oreilles appareillées avec la vocale au casque.

Le résultat vocal est de loin le plus informatif, car il permet de se rendre compte de l'amélioration de l'intelligibilité en conservant les automatismes des aides auditives.

La plupart des malentendants ayant de grandes difficultés dans le bruit, il est également très intéressant de réaliser ce test en présence d'un bruit

de fond. Ceci permet de comparer le résultat obtenu par le malentendant appareillé avec ceux des normo-entendants, par exemple en utilisant deux ou trois rapports signal/bruit significants.

Information du patient par l'ORL

Le patient doit quitter le cabinet de l'ORL avec des notions claires concernant le déroulement de l'appareillage et ce qu'il peut attendre de l'audioprothèse. Le rôle de l'ORL est donc important dans l'information qu'il donne avant de conseiller à son patient de se rendre chez l'audioprothésiste. La prescription doit être faite par l'ORL avec conviction ; l'aide auditive est présentée comme une bonne solution et non comme une fatalité ou un pis-aller. Il ne doit pas préciser le type d'appareil qui lui conviendra, laissant toute latitude à l'audioprothésiste dont le métier est justement de proposer la technologie la plus adaptée à un patient donné. Cependant, il est souhaitable que l'ORL montre au patient une gamme d'appareils (intraconques, contours, etc.). Il l'informe sur la nécessité d'une période d'essai préalable, indispensable avant de décider l'achat de la ou des prothèses. Il doit faire percevoir au patient une efficace et solide complémentarité entre le praticien ORL et l'audioprothésiste, tous deux au service de la surdité dont se plaint le malentendant.

10 Notions d'acoustique physique

L'acoustique est la science du son. Elle en étudie la production, la transmission, la détection, et les effets. Le son ne concerne pas seulement les phénomènes physiques responsables de la sensation auditive en milieu aérien. Il s'étend aux effets de toutes les vibrations mécaniques, et dans tous les milieux, notamment aux sons trop graves (infrasons) ou trop aigus (ultrasons) pour être perçus par l'oreille humaine. La connaissance de certaines notions de physique concernant le stimulus acoustique est indispensable pour aborder l'étude de l'audiologie.

Naissance et propagation du son dans l'air

Une onde acoustique naît d'une perturbation produite dans l'air par le mouvement d'un corps solide, comme la membrane d'un tambour ou les parois d'un moteur, les oscillations d'un flux d'air comme dans les instruments à vent ou le jet d'un réacteur d'avion, ou d'une combustion, comme dans la flamme d'une chaudière.

Cette onde se propage dans l'air et parvient à l'oreille, qui la perçoit sous forme d'un bruit ou d'un son.

La lutte contre le bruit consiste à faire en sorte que les ondes indésirables soient les plus faibles possibles à l'émission, et qu'elles soient le plus possible atténuées avant d'atteindre l'oreille.

L'acoustique musicale et l'acoustique des salles consistent au contraire à faire en sorte que l'onde émise soit la plus harmonieuse possible, et que sa propagation jusqu'à l'oreille renforce son esthétique.

Comment une onde se propage-t-elle ? Ce sont les molécules d'air qui sont animées d'un mouvement alternatif qui viennent se « cogner » les unes aux autres et transmettent la perturbation. Ce mouvement, appelé « vitesse particulière », est très faible en amplitude (par exemple 0,05 mm/s dans une onde plane de 60 dB, qui correspond approximativement à une voix humaine à un 1 m de distance), et provoque localement une variation de la pression atmosphérique très faible également (2/10 000 000 de la pression atmosphérique, dans l'exemple précédent).

Cette variation de pression autour de la pression atmosphérique est ce que l'on appelle la *pression acoustique* p (figure 10.1).

En revanche, la perturbation se propage, de molécule d'air en molécule d'air, beaucoup plus vite. Dans l'air homogène, la perturbation se

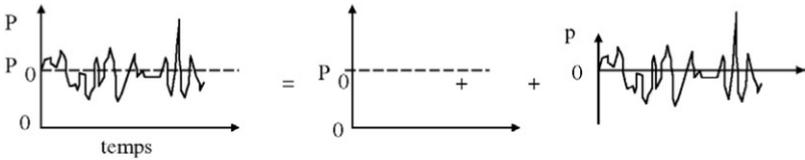


Figure 10.1

Évolution temporelle de la pression atmosphérique en un point de l'espace parcouru par une onde acoustique.

P : pression atmosphérique totale ; P_0 : pression atmosphérique statique (au repos) ; $p = P - P_0$: pression acoustique.

propage en ligne droite, dans toutes les directions de l'espace à la vitesse $c = 340$ m/s (vitesse du son) dans des conditions normales de température et de pression.

La croyance populaire qui voudrait que « le son monte » est en général fausse, sauf à grande distance et dans des conditions météorologiques bien particulières, où les trajectoires des ondes peuvent être courbées vers le haut.

Au cours de leur propagation, les ondes vont rencontrer des objets de différentes tailles et de différentes constitutions, et être modifiées dans leur forme, leur direction et leur amplitude.

Le pascal et les opérations sur le décibel

Unité de mesure de la pression acoustique

C'est le pascal (Pa), qui vaut 1 newton (N) par mètre carré.

Un son juste audible à 1000 Hz vaut 2/100 000 Pa, et il provoque la douleur à 20 Pa : il y a un rapport de 1 à 1 million sur l'étendue des sons utiles à l'oreille. Il en résulte qu'il serait peu pratique de caractériser les sons en utilisant autant de décimales. Par ailleurs, on sait que la sensation croît à peu près comme le logarithme du stimulus (cf. Notions de psycho-acoustique, p. 219), d'où l'habitude de représenter les sons sur une échelle logarithmique.

La convention est de prendre comme référence la pression acoustique correspondant au seuil d'audition normal à 1000 Hz, soit $p_0 = 10^{-5}$ Pa, et de calculer sur l'échelle logarithmique le rapport à cette référence, appelé niveau de pression acoustique L_p , par la formule :

$$L_p = 10 \log (p^2/p_0^2)$$

Où log désigne le logarithme à base 10.

L'unité est alors le décibel (dB).

Le décibel et son histoire

Le décibel est « l'unité fétiche » de l'audiologiste, qui a souvent une vision très restreinte du monde acoustique. Il risque de vivre dans un univers acoustique limité aux « pertes en décibels » et de méconnaître les liens des décibels audiométriques avec l'acoustique physique. S'il ne s'agit pas d'essayer de transformer les ORL en acousticiens, il ne leur est pas inutile de connaître le langage élémentaire en acoustique pour ne pas y recourir à mauvais escient, et les libertés prises avec le langage audiologique courant. Son histoire peut aider à en mieux comprendre les subtilités.

Lorsque, au début du xx^e siècle, les appareils sonores sortirent du domaine des musiciens pour s'étendre à celui des ingénieurs, il fallut chercher à évaluer l'intensité des sons émis pour déterminer leur qualité et permettre de définir des caractéristiques standard. On devait notamment évaluer les pertes ou gains de puissance dans les lignes téléphoniques et appareils utilisés à la transmission ou à l'amplification électriques des sons. Des ingénieurs américains des laboratoires Bell, où est né le téléphone moderne, furent les premiers à établir une unité qu'ils appelèrent en 1924 « unité de transmission » (unité TU) ; elle permettait de relier l'intensité physique du phénomène qui avait donné naissance au son à l'intensité auditive de la sensation sonore, en sachant que ces intensités avaient un rapport logarithmique.

En 1927, lors du Congrès électrotechnique de Côme, le nom de Graham Bell, l'inventeur du téléphone, fut attribué à cette « unité de transmission » en prenant la base logarithmique 10.

La traduction en anglais de « niveau de pression acoustique » est *sound pressure level* (SPL).

L'usage en audiologie est d'appeler le niveau de pression acoustique « intensité du son », de le noter I et de l'exprimer en décibels SPL. Il est différent de ce qui est appelé habituellement « intensité acoustique », qui est une quantité non logarithmique traduisant la puissance à travers une surface donnée.

L'anglicisme « dB SPL » est correct, mais sa désignation en français l'est beaucoup moins.

De cette définition résulte qu'un son juste audible à 1000 Hz vaudra :

$$10 \log (p_0^2/p_0^2) = 10 \log (1) = 0 \text{ dB}$$

De même, un son à la limite de la douleur vaudra :

$$10 \log ((20)^2/(2 \cdot 10^{-5})^2) = 10 \log (10^{12}) = 120 \text{ dB}$$

L'échelle pour décrire les phénomènes liés à l'audition est donc de 0 à 120, et l'incrément de 1 dB correspond assez bien à la différence de niveau minimale que l'oreille peut détecter, tandis que le niveau 60 dB correspond bien au milieu de l'échelle. Un son de 0 dB ne représente pas un son « nul », mais un son égal au niveau de référence. Il est donc possible d'avoir des niveaux négatifs qui représentent des sons de niveau inférieur à cette référence.

Si la pression acoustique double, le niveau s'accroît de :

$$10 \log ((2p)^2/p^2) = 10 \log 4 = 6 \text{ dB}$$

Addition des niveaux produits par des sources acoustiques différentes

Elle est plus délicate. Deux cas sont à considérer.

- Si les sources sont indépendantes et produisent en un point des sons n'ayant pas de cohérence entre eux, le niveau résultant L_p s'obtient alors en calculant le niveau de la somme des carrés de chacune des pressions. Par exemple, pour deux sources produisant des pressions p_1^2 et p_2^2 :

$$L_p = 10 \log ((p_1^2 + p_2^2)/p_0^2)$$

Ainsi, le niveau produit par deux sources qui produisent chacune un niveau augmenté identique en un point est égal au niveau de pression d'une seule source de :

$$10 \log (2p^2/p^2) = 10 \log 2 = 3 \text{ dB}$$

Différence entre deux niveaux sonores composants en dB	Valeur en dB à ajouter au niveau le plus élevé pour calculer le niveau résultant
0	3
1	2,5
2	2,1
3	1,8
4	1,4
5	1,2
6	1
7	0,8
8	0,6
9	0,5
10	0,4

Figure 10.2

Tableau permettant de calculer le nombre de décibels à ajouter au niveau le plus élevé lorsque deux niveaux s'additionnent.

De même, pour 10 sources :

$$10 \log(10p^2/p^2) = 10 \log 10 = 10 \text{ dB}$$

De façon générale, pour additionner deux niveaux incohérents L_{p1} et L_{p2} en un point, on pourra utiliser le tableau présenté en figure 10.2.

À retenir

Si deux moteurs de même puissance sonore se trouvent réunis, l'accroissement du niveau de pression acoustique par rapport à un moteur sera de 3 dB. Pour 10 moteurs de même puissance se trouvant réunis, l'accroissement par rapport à un moteur est de 10 dB, et pour 100 moteurs, de 20 dB.

Si les sources présentent une certaine cohérence, par exemple s'il s'agit de sources de sons purs, ou d'addition d'une onde incidente et d'une onde réfléchie, les pressions peuvent s'additionner, ou au contraire se soustraire, et alors on peut observer des interférences. De façon générale, le niveau résultant n'est pas calculable facilement.

À retenir

Si le son pur émis par une source se réfléchit sur une paroi, des interférences se produisent et provoquent des ondes stationnaires avec, là aussi, des différences de pression de grande amplitude. Cette notion est importante à considérer lors de l'audiométrie tonale en champ diffus.

Le décibel doit être considéré comme un niveau ou une unité relative par rapport à une référence.

L'unité « décibel » n'est pas réservée au niveau de pression acoustique. Elle est également utilisée pour caractériser la puissance acoustique d'une source (et dans ce cas on parle de *niveau de puissance acoustique*), ou l'intensité acoustique en un point et dans une direction donnée (et dans ce cas on parle de *niveau d'intensité acoustique*), mais les références sont différentes de celles du niveau de pression. Ces deux notions n'étant pas particulièrement utiles en audiologie, elles ne seront pas développées davantage.

Le décibel peut être utilisé également pour exprimer une différence de niveau par rapport à une référence donnée. C'est le cas du décibel HL ou *hearing level* utilisé en audiométrie, qui prend pour référence l'audition de sujets considérés comme normo-entendants.

Attention, toutefois : une source ayant un niveau de puissance acoustique L_w produit dans l'espace un niveau de pression acoustique L_p qui dépend de beaucoup de paramètres, mais qui n'est presque jamais égal à L_w ; cependant, tous deux s'expriment en décibels, ce qui peut conduire à des confusions et à de graves erreurs.

Les représentations de la pression acoustique : espace temps et espace des fréquences

La pression acoustique varie autour de la pression atmosphérique, et sa moyenne dans le temps est nulle. Si l'on souhaite caractériser un bruit ou un son sur une certaine durée T , il est nécessaire d'utiliser la valeur moyenne des carrés qui, elle, n'est pas nulle, et qui peut s'écrire :

$$p_{eq}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt$$

Le niveau de cette moyenne, appelé « niveau équivalent », s'écrit :

$$L_{eq} = 10 \log p_{eq}^2$$

Cette quantité est très utilisée pour caractériser les bruits fluctuants comme le bruit de trafic routier ou ferroviaire, ou le bruit au travail.

Une autre façon de représenter un bruit est de donner son contenu en fréquences, dont l'unité est le Hertz (Hz).

Le plus simple est le son pur, qui ne contient qu'une seule fréquence. On le représente alors par un trait vertical sur un graphique où figurent en ordonnée l'amplitude de la pression et en abscisse la fréquence (figure 10.3).

Les sons purs ne se rencontrent pratiquement pas dans la réalité. Le son d'un instrument de musique, par exemple, comporte une fréquence fondamentale et de nombreuses autres fréquences plus élevées qui en composent le timbre.

On montre en mathématiques qu'un son périodique quelconque peut se décomposer en une série infinie de sons purs, ou *série de Fourier*.

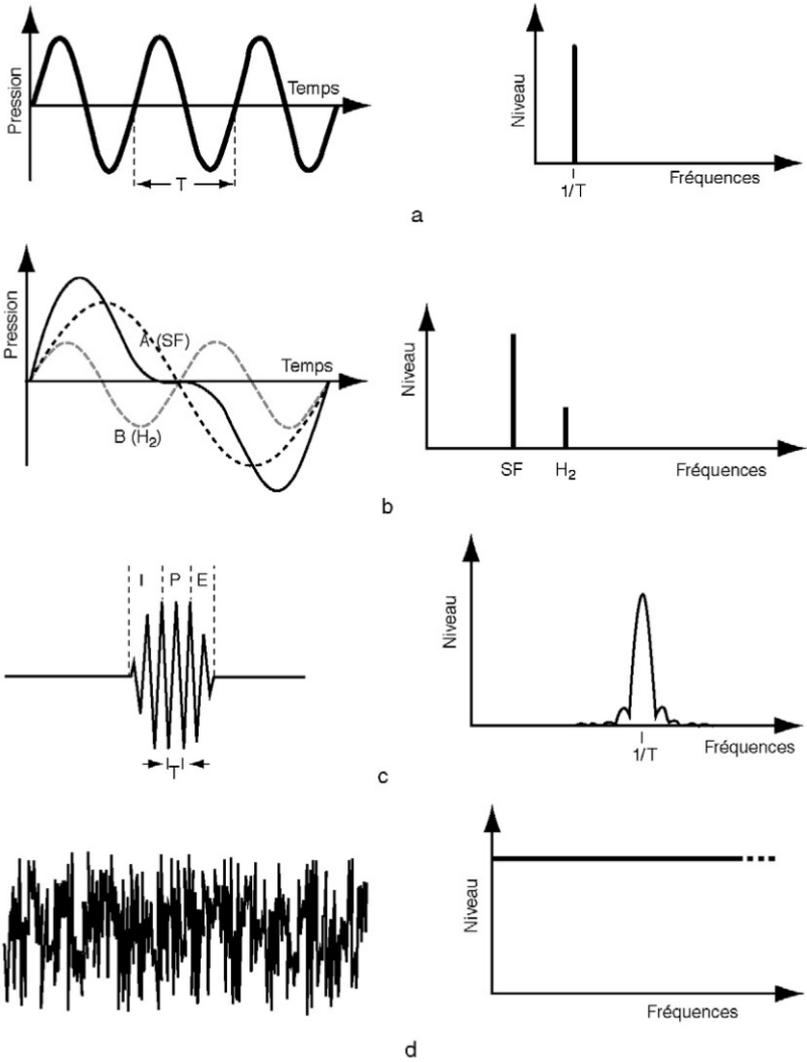
Un son transitoire, un claquement de mains par exemple, ou une tranche de bruit prélevée sur une durée T peuvent également se représenter dans l'espace des fréquences, mais cette fois par une courbe continue dans l'espace des fréquences par une opération mathématique appelée *transformée de Fourier*.

La représentation d'un son dans l'espace des fréquences s'appelle le spectre.

L'axe des fréquences peut être linéaire, mais l'échelle logarithmique est souvent utilisée car elle correspond mieux à la perception par l'oreille : par exemple, les notes de la gamme suivent une progression logarithmique.

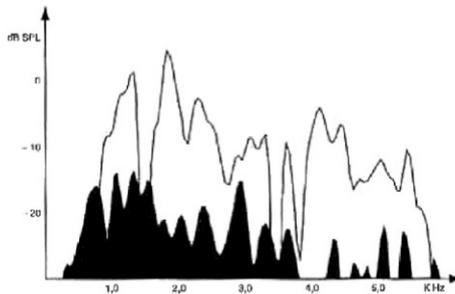
On utilise également une représentation par bandes de fréquences, la plus répandue étant la bande d'octave. Une bande d'octave est telle que la fréquence supérieure de la bande est le double de la fréquence inférieure. Le 1/3 d'octave est aussi très utilisé, le 1/12 d'octave beaucoup moins.

Les fréquences centrales des octaves normalisées utilisées en acoustique du bâtiment sont : 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz.


Figure 10.3

Comparaisons de représentations temporelles et spectrales.

a. Représentation théorique du spectre d'un son pur (T étant la période). b. Spectre théorique d'un son périodique non sinusoïdal avec un son fondamental A (SF) et un harmonique (multiple entier de la fréquence fondamentale) B (H_2). c. Son très bref avec ses transitoires d'installation (I), d'extinction (E), et le plateau (P). d. Spectre d'un bruit blanc dont la densité spectrale est constante.



e

Figure 10.3 (Suite)

e. Spectrogramme d'otoémissions provoquées. La zone claire correspond à la réponse ; en sombre, le spectrogramme du bruit de fond.

Un bruit qui possède un spectre constant sur une échelle linéaire est appelé un « bruit blanc ».

Un bruit qui possède un spectre constant sur une échelle logarithmique est appelé un « bruit rose ». Le bruit rose est souvent utilisé comme représentatif du bruit à l'intérieur des logements.

L'appareil qui sert à mesurer le niveau de pression, et à le restituer sous forme digitale ou analogique, s'appelle un sonomètre. Il peut fournir le niveau équivalent sur différentes durées, de 0,125 seconde qui est la constante de temps rapide, 1s qui est la constante de temps lente, et jusqu'à 24 heures ou même plusieurs jours.

L'analyse en fréquences peut être obtenue à l'aide de sonomètres effectuant les opérations sur un signal digitalisé, appelés « analyseurs en temps réel », qui sont aujourd'hui très répandus, et qui sont portables et autonomes afin d'effectuer des mesures sur site (figures 10.4 et 10.5).

Les sonomètres digitaux modernes permettent d'analyser l'évolution instantanée du spectre de la voix en fonction du temps grâce à l'analyse de Fourier. Cette représentation est appelée sonagramme.

Le bruit

Il existe au moins deux définitions du bruit.

La première est du domaine de l'étude des effets extra-auditifs des émissions sonores, c'est-à-dire des effets sur la santé autres que l'atteinte de l'audition : effets physiologiques et psychologiques. Dans ce cas, le bruit est défini comme un son non désirable. Cette notion, qui est subjective,

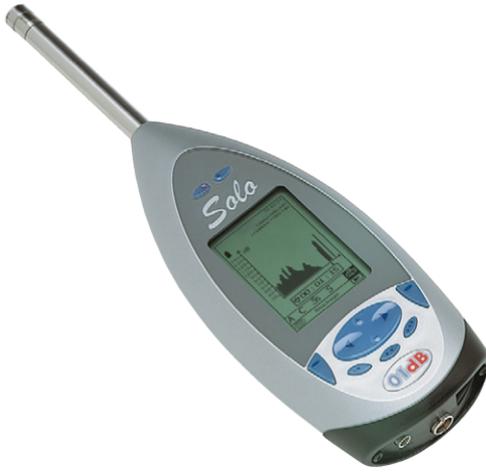


Figure 10.4

Exemple de sonomètre portable permettant l'analyse en fréquences.
(Avec l'autorisation de OldB).

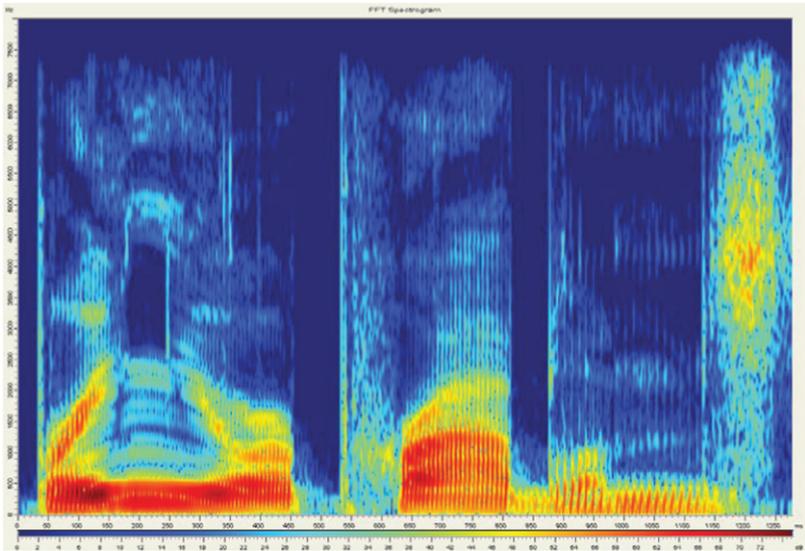


Figure 10.5

Exemple de sonogramme.

Ici est analysée la phrase *Bring your problems* : le temps en abscisse, la fréquence en ordonnée, et l'amplitude par une couleur plus ou moins intense.
(Avec l'autorisation de OldB).

ne concerne ni la nature, ni l'amplitude de l'émission acoustique : une musique pourra être jugée gênante par certains, et provoquer des réactions enthousiastes pour d'autres ; le niveau intense d'un concert pourra être apprécié par certains et détesté par d'autres. Cependant, certains consensus existent pour considérer le bruit des transports – voitures, trains, avions – comme indésirable.

La seconde est du domaine de la physique : un bruit est une émission sonore aléatoire, dont le spectre sonore est continu. Un son pur n'est donc pas un bruit.

Le bruit est dit « stationnaire » si son spectre prélevé sur n'importe quelle période de temps reste le même. Le bruit produit par une ventilation représente assez bien cette notion.

Le bruit est « transitoire » s'il n'est pas nul sur une période de temps donnée : exemple, le « bruit » d'une cloche, que l'on considère plutôt dans le langage courant comme un son, sauf si l'on habite à côté de l'église et que l'on est réveillé tous les quart d'heures la nuit.

Quatre types de bruit sont reconnus, notamment pour le mesurage en médecine du travail :

- *bruit continu* : fluctuations inférieures à 1 dB ;
- *bruit stable* : fluctuations n'excédant pas 5 dB pendant une période déterminée ;
- *bruit fluctuant* : lorsque les fluctuations sont supérieures à 5 dB. Il peut être intermittent, répétitif, aléatoire ;
- *bruit impulsionnel* : il s'agit d'un bruit dont le niveau croît fortement de façon quasiment instantanée. Il consiste en une ou plusieurs impulsions d'énergie acoustique ayant chacune une durée inférieure à 1 seconde, et séparées de plus de 200 ms.

Pondérations

Il ne serait pas très pratique, pour caractériser le bruit d'un appareil, ou pour fixer les limites admissibles dans une réglementation, de donner les valeurs de ce bruit pour chaque bande de fréquences concernée. C'est pour cette raison que l'on utilise les pondérations et les indices uniques.

La pondération consiste à analyser un bruit, puis à affecter à chaque bande de fréquences un terme correctif positif ou négatif, puis à faire la somme de toutes les composantes corrigées. On obtient ainsi un nombre unique plus facile à utiliser.

La pondération la plus courante et la plus utilisée est la pondération A, qui corrige chaque fréquence en fonction de la sensibilité relative de l'oreille pour des bruits de niveau moyen.

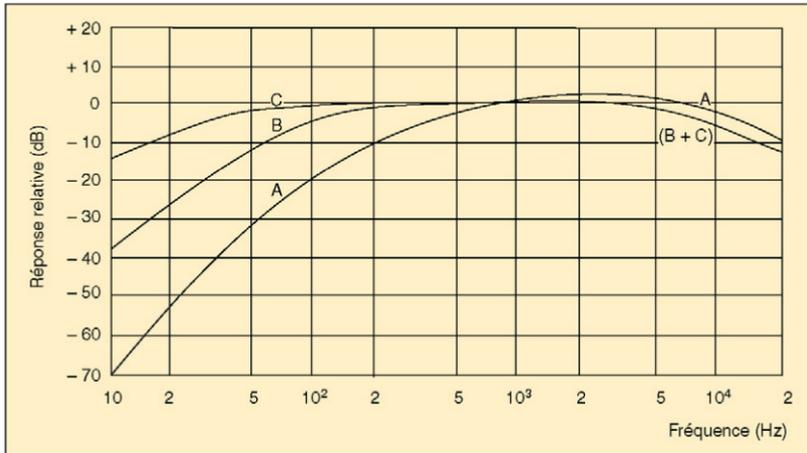


Figure 10.6

Les courbes de pondération utilisées dans les sonomètres.

Un niveau de bruit de x dB pondéré A se note x dB(A).

Exemple d'application :

« L'OMS recommande que le niveau de bruit moyen la nuit dans une chambre ne dépasse pas 30 dB(A). »

Il existe d'autres pondérations, C et D, mais elles sont peu utilisées.

Les valeurs de ces pondérations sont présentées en figure 10.6.

La plupart des sonomètres modernes permettent la mesure directe en dB(A).

Réflexion, transmission, absorption, diffusion, diffraction

Une notion fondamentale pour le comportement de l'onde est sa longueur d'onde λ , sa fréquence f , et la vitesse du son c qui sont liées par la relation :

$$\lambda = c/f$$

Plus la fréquence de l'onde est importante, plus la longueur d'onde est faible.

- *Réflexion* : lorsqu'une onde rencontre un objet plan et lourd de grande dimension devant la longueur d'onde, elle se réfléchit comme un rayon lumineux. Le mur de scène des théâtres antiques et le plafond des salles de concert sont des réflecteurs étudiés pour renforcer le son direct sur les spectateurs (figure 10.7).

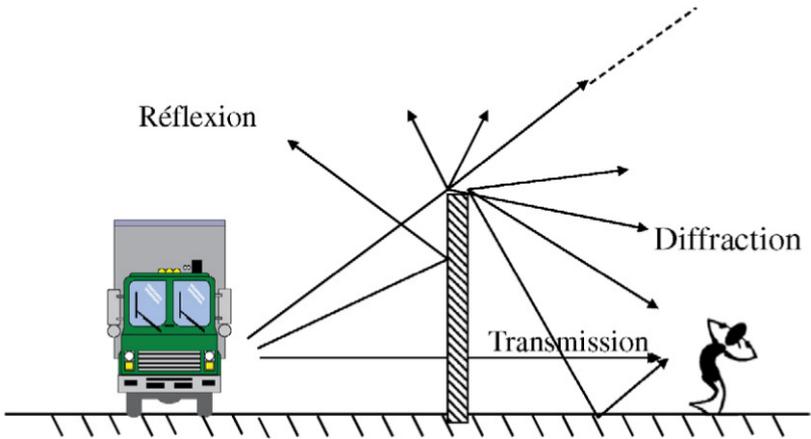


Figure 10.7

Exemple de réflexion, diffraction et transmission du bruit d'un camion par un écran acoustique.

- *Transmission* : si seule une très petite partie de l'onde parvient à traverser l'objet, le matériau est qualifié d'isolant : exemple, le béton est isolant (acoustique mais pas thermique !). Un indice d'affaiblissement acoustique, noté R, de 40 dB signifie que seul 1/100 de l'amplitude de l'onde incidente se retrouve transmis. La science de la transmission du son par les parois est la base de l'acoustique du bâtiment, qui s'efforce de trouver des solutions efficaces et peu coûteuses pour isoler les voisins d'un même immeuble entre eux afin d'assurer l'intimité et d'éviter la gêne.
- *Absorption* : lorsqu'elle rencontre un matériau fibreux, ou poreux à cellules ouvertes, elle est en partie absorbée, en partie réfléchi. Le matériau est dit « absorbant » : par exemple, la laine de verre ou de chanvre, la mousse de mélamine. En revanche, un mur de béton n'est pas du tout absorbant. Ces matériaux sont utilisés pour revêtir les plafonds des bureaux, des piscines ou des cantines afin de diminuer la réverbération (figure 10.8), réduire le niveau sonore et favoriser l'intelligibilité de la parole.
- *Diffusion* : lorsqu'elle rencontre des obstacles présentant une rugosité de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde, l'onde est diffusée comme un jet d'eau qui éclabousse dans toutes les directions en rencontrant un obstacle. On utilise cette propriété en acoustique des salles pour bien répartir la voix des cantatrices parmi les spectateurs.
- *Diffraction* : lorsqu'elle rencontre un écran, un mur, plus grand que la longueur d'onde, elle passe au-dessus, mais elle passe également un peu derrière, en s'atténuant. La diffraction limite l'efficacité des écrans acoustiques construits au bord des routes ou des voies ferrées afin de protéger du bruit les habitations riveraines.

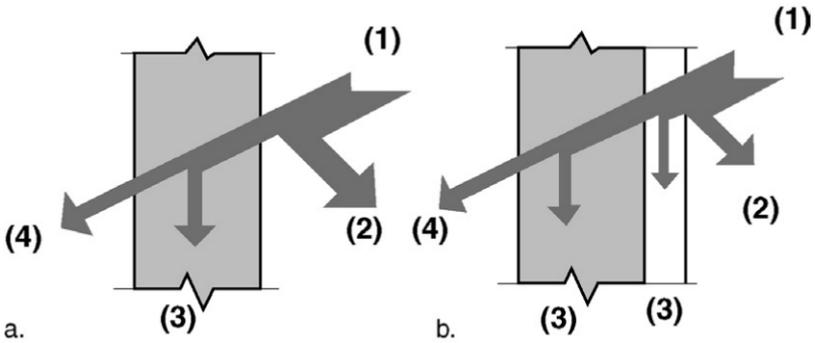


Figure 10.8

Comportement d'une onde sur une paroi de béton seule, puis revêtue d'un absorbant. a. Une onde sonore (1) rencontrant une paroi est en partie réfléchie (2), absorbée (3), transmise (4). b. Un matériau absorbant, posé sans parement, augmente la partie absorbée et réduit la partie réfléchie. Il ne réduit presque pas la partie transmise. On parle alors de « correction acoustique ».

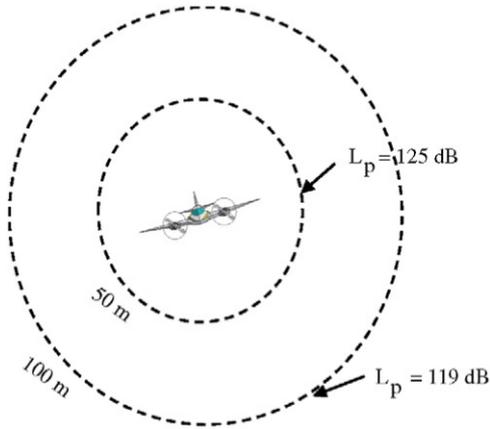
Les champs acoustiques : champ libre, champ réverbéré, propagation dans les tuyaux

Une source sonore placée dans un espace extérieur dégagé produit des ondes acoustiques qui se propagent en ligne droite (ceci est vrai pour une atmosphère sans variations de température et de vitesse de vent), et dont l'amplitude décroît avec la distance. La décroissance théorique, qui ne prend pas en compte l'absorption du son par l'air, est de 6 dB chaque fois que la distance à la source double (figure 10.9). L'absorption par l'air est très faible aux fréquences basses (les ondes très basses fréquences peuvent faire le tour de la terre sans être absorbées !), et devient importante aux fréquences élevées. Si l'on est loin de la ville, on ne perçoit plus que sa « rumeur », qui correspond aux bruits basses fréquences.

Si cette source sonore, au lieu d'être concentrée dans un volume réduit, est disposée le long d'une longue ligne droite, une autoroute par exemple, la décroissance n'est plus que de 3 dB par doublement de distance.

Si elle est uniformément répartie sur une surface importante, la décroissance, en s'éloignant de cette, surface est nulle : les bruits de Paris mesurés au premier et au dernier étage de la tour Eiffel sont presque les mêmes aux fréquences basses.

Si l'on place une source sonore dans un local fermé, les ondes issues de la source vont se réfléchir un grand nombre de fois sur les parois, et produire un *champ réverbéré*. En tous les points du local, le niveau de pression acoustique est identique, et les ondes acoustiques viennent de toutes les directions. Il est presque impossible de déterminer d'où vient le bruit. Au-delà



En champ libre, le niveau de pression décroît de 6 dB par doublement de distance

Figure 10.9

Source ponctuelle en champ libre.

de quelques dizaines de centimètres, l'onde directe qui vient de la source est noyée dans le champ réverbéré, et l'intelligibilité de la parole est difficile. La durée de réverbération exprimée en secondes est le paramètre important qui traduit la réverbération d'un local (figure 10.10).

Dans les locaux tels que les bureaux, les cantines ou les piscines, il est indispensable de diminuer la réverbération en tapissant le plafond ou les murs de matériaux absorbants. En revanche, dans une salle de concert, il convient de la maintenir à un niveau suffisant pour magnifier le son des instruments.

Si l'on place une source sonore dans un tuyau, en dessous d'une certaine fréquence qui dépend de son diamètre, l'onde se propage selon l'axe du tuyau, et se réfléchit à l'extrémité. Les ondes incidentes et réfléchies se combinent en plus ou en moins selon la distance à l'extrémité pour donner naissance à des ondes stationnaires et des résonances fortes à certaines fréquences. Ce principe est utilisé dans les instruments à vent.

Le son dans les milieux solides

Le son dans les milieux solides ou vibrations est provoqué soit par une onde acoustique qui vient frapper un objet, par exemple le son de la voix qui vient frapper la paroi d'un local, soit par un choc sur cet objet, par exemple le pas d'un marcheur sur un plancher.

Le solide mis en vibration peut à son tour faire rayonner dans l'air qui l'entoure une onde acoustique.

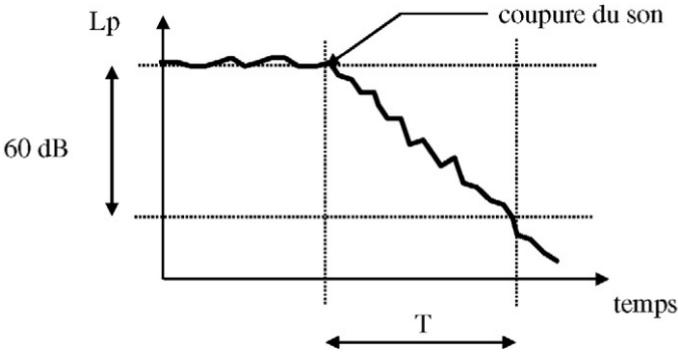
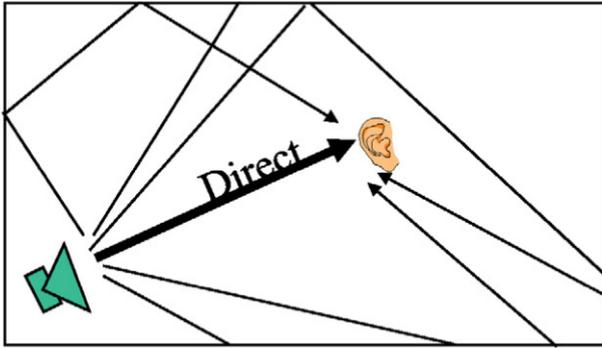


Figure 10.10

Dans un champ réverbéré, les ondes arrivent de toutes les directions, et le niveau de pression est constant dans le volume.

La durée de réverbération T est le temps mis par le bruit pour décroître de 60 dB après coupure de la source de bruit.

La propagation des ondes dans les solides est beaucoup plus complexe que dans les fluides (air ou eau), car on ne peut plus définir une pression en un point, mais une contrainte qui dépend de l'orientation de la mesure. De plus, différents types d'ondes ayant des vitesses de propagation différentes interviennent. La propagation des vibrations dans des structures simples comme les poutres ou les plaques peut encore se représenter à l'aide d'équations, mais dès que l'on considère des solides complexes, il faut avoir recours à une modélisation par « éléments finis », et faire appel à l'informatique pour les résoudre.

Pour illustrer cette complexité, on peut citer la propagation des ondes dans les parois : la vitesse de propagation des ondes de flexion dépend de

la fréquence, ce qui donne lieu à de curieux phénomènes de coïncidence avec les ondes dans l'air qui, elles, ont une vitesse constante avec la fréquence.

Le couplage entre les ondes dans un fluide léger tel que l'air et les ondes dans les solides est très faible, ce qui fait que l'on arrive à isoler du bruit avec des parois de masse raisonnable. Il n'en est pas de même entre un solide et un fluide lourd comme l'eau, où le couplage est important.

11 Physioacoustique

La physioacoustique s'intéresse à la partie acoustique de la physiologie de l'oreille. Pour explorer l'audition, on a recours à des sons particuliers et à des échelles de décibels spécifiques dont il est important de bien connaître les caractéristiques pour les utiliser au mieux. L'oreille externe et l'oreille moyenne assurent la transmission des ondes de pression en les modifiant par un processus purement mécanique. Ce rôle mécanique ne doit jamais être perdu de vue pour aborder l'exploration de l'oreille interne. Enfin, les sons peuvent emprunter deux voies de pénétration pour parvenir à l'oreille interne : l'air pour la voie aérienne, les os du crâne pour la voie osseuse.

Le son pur est à la base de l'audiométrie tonale au casque.

Le son pur pulsé est un son pur interrompu périodiquement et automatiquement avec des durées d'émission et de silence équivalentes. Il facilite la discrimination lors de la recherche du seuil tonal, notamment avec un masquage associé.

Les bouffées tonales ou *tone bursts* sont des sons purs émis pendant des durées de quelques millisecondes. On les utilise pour l'audiométrie objective.

Les clics sont des impulsions rectangulaires émises pendant des durées de l'ordre de 100 ms. On les utilise aussi pour l'audiométrie objective. Qu'il s'agisse de *clics* ou de *bursts*, il importe de savoir que la pression efficace varie non seulement avec l'amplitude, mais aussi avec la durée de l'impulsion.

Les sons purs modulés : il s'agit de sons dont soit l'amplitude, soit la fréquence varie de façon périodique, sinusale ou rectangulaire. On appelle *onde porteuse* la fréquence du son pur qui est ainsi modifiée (figure 11.1).

Les sons purs modulés en fréquence : on utilise volontiers pour l'audiométrie tonale en champ diffus un son modulé en fréquence appelé *son vobulé* pour éviter les ondes stationnaires. Il s'agit d'un son pur dont l'amplitude reste constante, mais dont la fréquence varie périodiquement autour de la *fréquence porteuse*. Cette modulation de fréquence transforme ainsi l'onde porteuse en son complexe.

Sons purs modulés en amplitude : on appelle *taux de modulation* l'amplitude de la variation. À la limite, un son pulsé est un son modulé en amplitude.

Le speech noise : ce bruit est utilisé en audiométrie vocale pour le masquage. Il correspond approximativement au spectre de la voix parlée. C'est un bruit blanc, de pression constante de 100 à 1000 Hz, et atténué de 12 dB par octave entre 1000 et 6000 Hz.

Le bruit blanc : il est utilisé en audiométrie pour le masquage, le plus souvent en bande étroite centrée sur la fréquence d'essai.

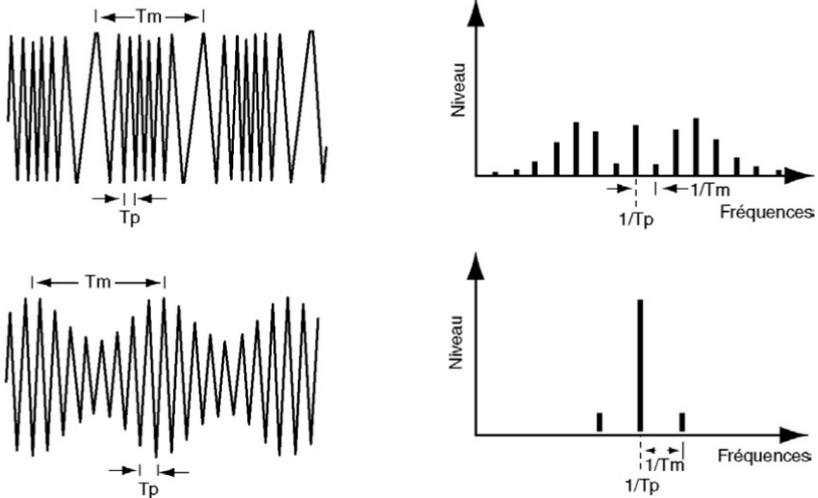


Figure 11.1
Sons modulés.
Modulation de fréquence (a) et modulation d'amplitude (b) avec l'onde porteuse (T_p) et l'onde modulante (T_m).

Les décibels en audiologie

Le décibel SPL (*sound pressure level*)

Les premiers audiogrammes ont été basés sur les décibels SPL. Le diagramme exprimant le seuil d'audition en fonction du niveau de pression sonore en décibels SPL a été le premier utilisé par les cliniciens, au début de l'audiométrie, sous le nom d'*audiogramme de Wegel* (figure 11.2).

Sur les anciens audiomètres, le même cadran était utilisé pour la conduction osseuse (CO) et la conduction aérienne (CA) ; chaque courbe E et G était la référence « normale ».

On voit que le seuil d'audition nécessite des niveaux de pression sonore très variables selon les fréquences. Les niveaux sonores doivent être plus importants pour percevoir les aigus ou les graves que pour percevoir les médiums (1000 à 3000 Hz). Ainsi, pour avoir la même impression sonore, ou sonie, sur le 1000 Hz et le 50 Hz, il faut une pression sonore 100 fois plus forte pour le 50 Hz. Aussi a-t-on été amené à établir une référence d'échelle de niveau sonore basée sur une oreille « normale ».

Dans le domaine audiologique, le décibel SPL est surtout utilisé par les audioprothésistes. Pour les aides auditives, le gain en décibels traduit la différence entre la pression sonore qui entre dans l'écouteur et la pression sonore qui ressort de l'écouteur. Le niveau de sortie est donné en décibels SPL.

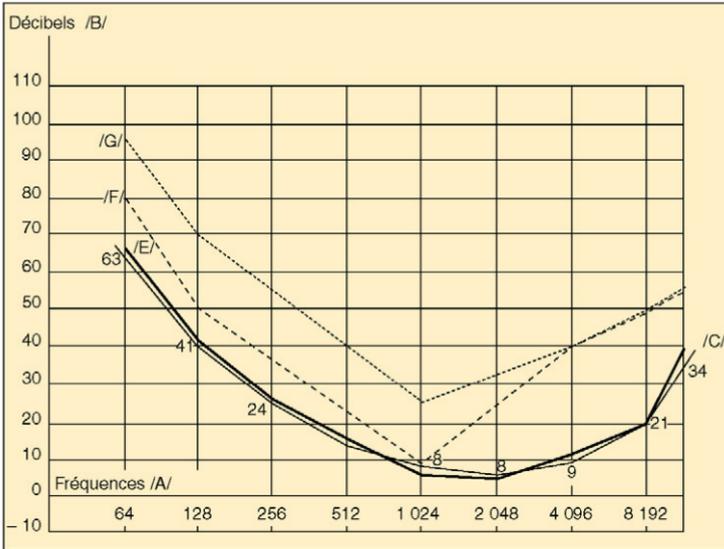


Figure 11.2

L'audiogramme de Wegel en décibels SPL.

/E/ : conduction aérienne normale ; /F/ : conduction osseuse absolue, conduit obturé : COA ; /G/ : conduction osseuse, conduit non obturé : COR.

D'après Aubry M, Lemariéy A. Précis d'ORL. Paris : Masson ; 1947

L'utilisation de stimulus très brefs, tels que les clics d'une durée de 100 μ s, ne permet plus le recours au décibel SPL mesuré par sonomètre habituel. On a recours à des mesures électroacoustiques qui donnent des équivalents SPL appelés décibels *peSPL* (pe : *peak-equivalent*).

Le décibel HL (*hearing level*)

Il prend pour référence l'audition de sujets considérés comme normo-entendants. Le décibels HL est spécifique à l'audiométrie ; les résultats sont donnés en perte de décibels.

Pour faciliter la comparaison des résultats d'audiométrie tonale et d'audiométrie vocale, les audiomètres sont maintenant étalonnés pour donner à un sujet normo-entendant un 0 dB HL tant en audiométrie tonale qu'en audiométrie vocale.

En audiométrie vocale, l'étalonnage s'effectue avec un son de 1000 Hz qui est envoyé dans le microphone. Le 0 dB HL, vérifié sur le vumètre, doit alors correspondre à un son de l'ordre de 20 dB SPL pour l'audiométrie au casque (cf. figure 3.1, p. 67).

Le 0 dB HL, étalonné en audiométrie tonale, correspond à un son de 7 dB SPL sur le 1000 Hz (pour un écouteur TDH39™). Ainsi, il existe une

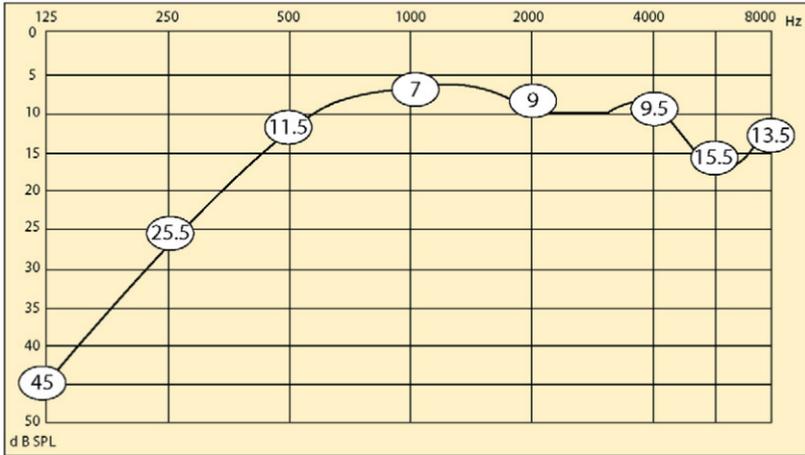


Figure 11.3

Valeurs en décibels SPL pour un seuil d'audition normal à 0 dB HL selon les fréquences en audiométrie tonale avec un écouteur TDH39™.

	125	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	6000	8000
TDH39™	45	25,5	11,5	8,0	7,0	6,5	9,0	10,0	9,5	15,5	13,5
TDH49™	47,5	26,5	13,5	8,5	7,5	7,5	11,0	9,5	10,5	13,5	13,0

Figure 11.4

Correspondance des valeurs de pression sonore en décibels SPL du seuil d'audition normale (0 dB HL) pour une mesure au casque en audition binaurale avec deux types d'écouteur.

D'après American National Standard Specifications for Audiometers, ANSI S3.6-1989

différence de 12,5 dB SPL entre le 0 dB HL de l'audiométrie vocale et le 0 dB HL de la tonale sur le 1000 Hz. Pour qu'un normo-entendant puisse comprendre 50 % de spondées, ce qui correspond au seuil d'intelligibilité (cf. Audiométrie vocale classique, p. 68), le niveau sonore en décibels SPL doit être supérieur au seuil des sons purs puisqu'intervient un facteur de discrimination et d'intégration (cf. p. 26).

L'étalonnage n'est pas le même si l'audiométrie vocale est effectuée en champ diffus, où le niveau sonore est moins élevé en décibels SPL pour le même seuil d'audition qu'avec les écouteurs. Elle est de l'ordre de 13 dB SPL. Dans ce cas de l'audiométrie en champ diffus, l'étalonnage doit être effectué sur place, avec un *speech noise* (cf. p. 205).

En pratique, la vérification de l'étalonnage s'effectue dans tous les cas à fort niveau sonore, de l'ordre de 70 dB HL, et non pas au seuil.

Ainsi, le décibel HL est spécifique à chaque type d'examen. Il correspond à des normes d'étalonnage prenant pour référence un « sujet normal ».

Le décibel HTL (*hearing threshold level*) est parfois trouvé dans la littérature. Il a la même signification que le décibel HL.

Par ailleurs, on trouve dans certains ouvrages, en traduction de HL, *hearing loss*. Sous cette acception, le sigle HL signifie « perte d'audition » et non « niveau d'audition », comme le signale la littérature de langue anglaise.

Pour éviter toute confusion dans un domaine déjà suffisamment complexe, il semble préférable de s'en tenir à la signification internationale et de ne recourir qu'au décibel HL « seuil d'audition » par rapport à un sujet normal, ainsi que d'utiliser la terminologie clinique de perte en décibels.

Enfin, la littérature fait état de décibels SL pour certains tests comme le SISI-test (*short increment sensitivity index*), signifiant *sensory level*. Il s'agit alors d'un niveau en décibels au-dessus du seuil.

Champ libre et champ diffus en audiologie

L'émission d'un son dans un local s'accompagne de multiples réflexions des ondes sur les parois, qui vont ainsi constituer des sources surajoutées. Un traitement particulier des parois permet de réduire l'importance de cette réflexion par absorption de l'énergie. Au maximum, on peut obtenir l'absence de réflexion dans un local spécifique appelé *chambre anéchoïque*.

Cette réverbération joue un rôle considérable en médecine du travail dans l'étude des conditions de travail. En audiométrie, elle doit être bien connue pour l'audiométrie dite « en champ libre ». Dans le langage audiolinguistique courant, la notion de champ libre diffère quelque peu des normes acoustiques ISO que voici :

- *champ acoustique libre* : champ sonore dans lequel l'effet du local sur les ondes sonores est négligeable. De telles conditions ne peuvent être satisfaites qu'en chambre anéchoïque ;
- *champ acoustique diffus* : champ sonore dans lequel les ondes parviennent également de toutes les directions de l'espace.

Les cabines audiométriques permettent tout au mieux d'approcher un champ diffus.

Rôle de l'oreille dans la transmission sonore

Les ondes produites par la source sonore sont transformées par le conduit auditif externe en ondes planes. Dans le conduit, on considère que les ondes acoustiques sont parallèles à un même rayon sonore. Le plan perpendiculaire au rayon sonore est appelé « surface d'onde » ou « onde plane ». Dans

ce plan, toutes les particules mises en mouvement subissent les mêmes variations de pression et toutes ces variations sont en phase.

L'ensemble oreille externe-oreille moyenne se comporte comme un filtre vis-à-vis des basses fréquences et renforcent les fréquences élevées. Ce « filtrage » explique que l'oreille interne soit surtout exposée aux fréquences aiguës.

Rôle de l'oreille externe

Elle assure la transmission des sons vers l'oreille moyenne. Son rôle n'est pas négligeable :

- d'une part, le pavillon facilite la localisation des sons ;
- d'autre part, la conque et le conduit auditif externe amplifient sélectivement certaines fréquences par un phénomène de résonance. Ils jouent un rôle complémentaire, produisant un gain de l'ordre de 10 dB entre les fréquences 1500 et 7000 Hz, avec un maximum vers 2800 Hz chez l'adulte. Chez le nourrisson, dont le conduit auditif externe a des dimensions plus petites, la résonance est plus importante et changée en fréquences élevées ce qui modifie l'étalonnage par rapport à l'adulte.

La conque constitue un résonateur qui amplifie d'environ 10 dB les fréquences autour de 5000 Hz. La profondeur de la conque joue un rôle important dans ce phénomène.

Selon l'angle d'incidence du rayon sonore au niveau du méat, le niveau de pression à l'entrée du conduit varie de -6 à +12 dB à partir de 2000 Hz.

Le conduit auditif externe amplifie d'environ 10 dB les fréquences autour de 3000 Hz (figure 11.5).

Conséquences audiométriques : en cas de surdité de transmission liée à l'obstruction du conduit auditif externe, le Rinne audiométrique sera plus important sur les fréquences aigu es, alors qu'en cas d'atteinte du système tympano-ossiculaire, il prédomine sur les fréquences basses (cf. Annexe III, p. 261-262).

De même, une mauvaise orientation d'un écouteur peut retentir sur les fréquences aigu es.

Rôle de L'oreille moyenne

L'oreille moyenne transforme les vibrations aériennes qui frappent la membrane du tympan en variations de pression dans les liquides de l'oreille interne. La plus grande cohésion des molécules du liquide les rend plus difficiles à déplacer de leur position d'équilibre que les molécules d'air. L'amplitude du déplacement des particules se trouve divisée par 2000. En pratique, 1/1000 seulement de l'énergie incidente passe de l'air dans l'eau, ce qui occasionne une perte d'au moins 30 dB.

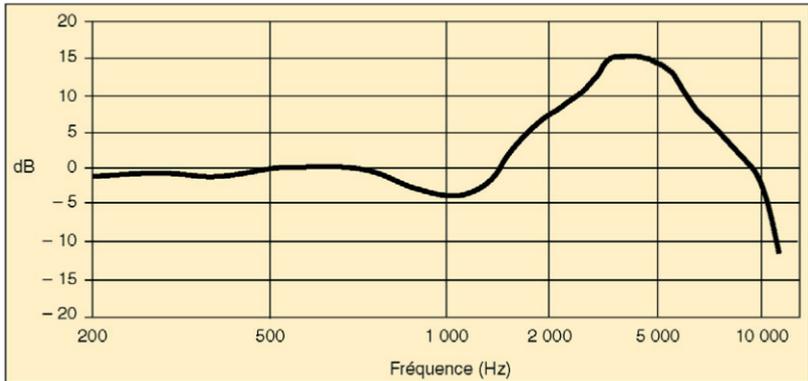


Figure 11.5

Modification de la pression sonore par le conduit en comparant les sons à l'entrée du méat auditif et au niveau de la membrane tympanique.

Chaîne des osselets

Elle permet de transmettre les ondes sonores à la cochlée. Normalement, il existe une perte d'énergie importante au niveau de l'interface « air-liquide » puisque l'impédance de l'air est basse, alors que celle des liquides est élevée.

La chaîne ossiculaire assure le rôle d'adaptateur d'impédance entre l'air et les liquides, avec le minimum de déperdition d'énergie.

Muscle de l'étrier et réflexe stapédien

La contraction du muscle est en général obtenue par une stimulation sonore. *Le réflexe stapédien (RS) est bilatéral.* Ce réflexe protège essentiellement contre les bruits intenses de fréquences basses. Son effet maximal procure une atténuation d'environ 20 dB.

Le RS apparaît pour un son pur à un seuil de 70 à 100 dB HL selon les sujets, avec une médiane de l'ordre de 80 à 85 dB au-dessus du seuil tonal de la fréquence considérée. Chez l'enfant très jeune, ces chiffres sont plus élevés : 90 à 110 dB.

Pour un bruit en bande étroite, le seuil se situe aux environs de 65 dB HL.

L'amplitude du RS augmente avec le niveau de pression sonore pour les 10 à 15 dB HL au-dessus du seuil (cf. Principe du STAR, p. 93).

Un son de 500 ou 1000 Hz provoque une contraction réflexe dont l'amplitude reste quasi constante aussi longtemps que dure le stimulus. On obtient un plateau. En revanche, un son de 4000 Hz produit une réponse qui se dégrade en 15 à 20 secondes.

L'amplitude du RS est faible dans les premières années de la vie ; elle passe par un maximum à 25–30 ans (3 à 4 fois celle de la naissance). Puis cette

amplitude va en diminuant pour devenir, vers 65 ans, moins importante qu'à la naissance.

Lors de stimulations répétées, l'amplitude de la réponse stapédienne reste constante. C'est un réflexe indéfiniment reproductible.

La contraction du muscle de l'étrier provoque une légère mise en tension de la membrane tympanique, mais surtout elle augmente l'impédance et diminue la quantité d'énergie sonore qui parvient à l'oreille interne. Elle la protège.

Muscle du marteau

On peut obtenir sa contraction par une excitation cutanée de la face ou un jet d'air sur l'œil. En pratique, seul le RS est étudié en clinique.

Caractères mécaniques de la chaîne ossiculaire

Ils interviennent en permanence lors de l'étude de l'impédancemétrie, en particulier la *masse* et la *rigidité* de la chaîne :

- aux basses fréquences, c'est le facteur rigidité qui empêche le système d'acquiescer de la vitesse et de grandes amplitudes. La rigidité gêne et freine les vibrations ;
- aux fréquences élevées, c'est la masse qui gêne les vibrations.

Ainsi, lorsque la fréquence augmente :

- les effets de masse s'accroissent,
- les effets de rigidité diminuent.

Pour une fréquence privilégiée, les effets masse et rigidité s'annulent, donnant au système les meilleures conditions de vibration : c'est la *fréquence de résonance*. Cette fréquence se situe entre 800 et 1200 Hz dans une oreille normale.

La trompe

La membrane tympanique vibre d'une façon absolument parfaite lorsqu'il existe une égalité de pression statique entre le conduit auditif externe et la caisse du tympan.

Si l'équilibre pressionnel de l'oreille moyenne est assuré en grande partie par les échanges gazeux au niveau de la muqueuse, la fonction de la trompe est primordiale pour ajuster rapidement l'équipression et assurer un appoint régulier et périodique, de l'ordre de 1000 fois par jour.

À l'état de repos, la trompe est fermée, isolant ainsi la caisse des bruits laryngés. Elle s'ouvre activement lors de la déglutition et du bâillement pendant un temps très bref, de l'ordre de 0,02 seconde, permettant la circulation de l'air entre la caisse et le cavum. La durée totale de l'ouverture dans une journée est de l'ordre de 4 minutes.

Les différentes voies de la conduction osseuse

La CO fait intervenir à la fois l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne, chacune facilitant ou atténuant certaines parties du spectre sonore. Mais pour comprendre cette CO, il faut savoir que le crâne ne réagit pas de la même façon aux vibrations mécaniques selon leurs fréquences. Or, ce sont ces vibrations crâniennes qui vont retentir sur les liquides de l'oreille interne pour mobiliser la membrane basilaire et les cellules ciliées. Les vibrations mécaniques, qu'elles soient propagées par voie aérienne ou par voie osseuse, stimulent l'organe de Corti par le même mécanisme et engendrent des mouvements liquidiens retentissant sur la lame basilaire, près de l'étrier.

On utilise beaucoup la transmission crânienne en audiométrie. On a vu que la propagation des ondes dépend de la qualité du milieu où elles se propagent. Alors que, dans les milieux aériens, la propagation se fait par une onde de pression longitudinale, avec une variation sinusoïdale de pression, elle est beaucoup plus complexe dans les milieux solides (cf. Notion d'acoustique physique, p. 204) comme le crâne, avec des ondes transversales et des ondes superficielles.

Un son pur se propage par voie osseuse grâce à une *énergie vibratoire*.

Son amplitude se mesure en *force vibratoire*, évaluée en newtons.

La valeur de référence est le *micronewton* (μN), et non plus le pascal.

En revanche, cette valeur de référence permet d'exprimer l'intensité en décibels. Les normes d'étalonnage des vibrateurs sont données en newtons.

À retenir

On ne peut établir de comparaison entre la pression acoustique et la force vibratoire, donc entre la force physique de la CO et celle de la CA.
En revanche, on peut comparer les valeurs de seuil de la CA et de la CO.

Les vibrations crâniennes

Lorsqu'on applique une source de vibrations mécaniques sur le crâne, on constate qu'il peut osciller de deux façons (figure 11.6) :

- *par translation pour les basses fréquences* : le crâne se déplace sans se déformer. La stimulation de l'oreille interne se fait alors par l'inertie des osselets et du contenu labyrinthique ;
- *par compression pour les fréquences élevées*, avec des alternances de dilatation et de compression. L'alternance de dilatation et de compression du labyrinthe provoque des mouvements liquidiens favorisés par :

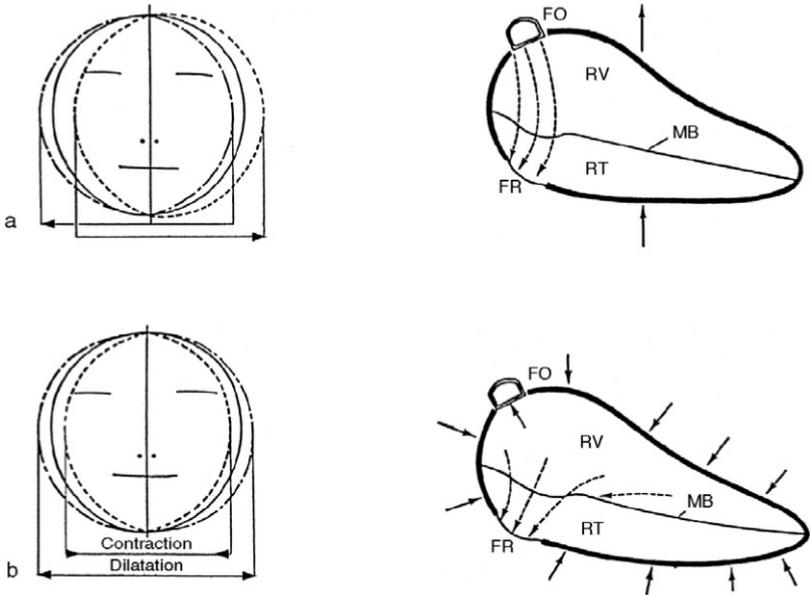


Figure 11.6

Les mécanismes de la transmission osseuse.

a. Par translation. b. Par compression.

FO : fenêtre ovale ; FR : fenêtre ronde ; MB : membrane basilaire ; RV : rampe vestibulaire ; RT : rampe tympanique.

D'après Burgeat M, Grall Y, Loth D. Physique et biophysique. Tome 3. Paris : Masson ; 1973. p. 61-2

- la différence de compliance entre les deux fenêtres ovale et ronde ;
- la différence de volume entre les deux rampes, la rampe vestibulaire étant en communication avec le vestibule.

Ces mouvements liquidiens provoquent des déformations de la membrane basilaire.

La conduction osseuse en audiométrie

Pour les basses fréquences (125, 250 et 500 Hz)

La CO s'effectue par deux voies :

- directement par l'os vers l'oreille interne ;
- par voie aérienne avec le conduit auditif externe qui atténue ces basses fréquences.

En effet, une partie des basses fréquences est transmise par l'os au conduit auditif externe et se disperse, d'une part vers l'extérieur, d'autre part vers la membrane tympanique pour gagner l'oreille interne (figure 11.7).

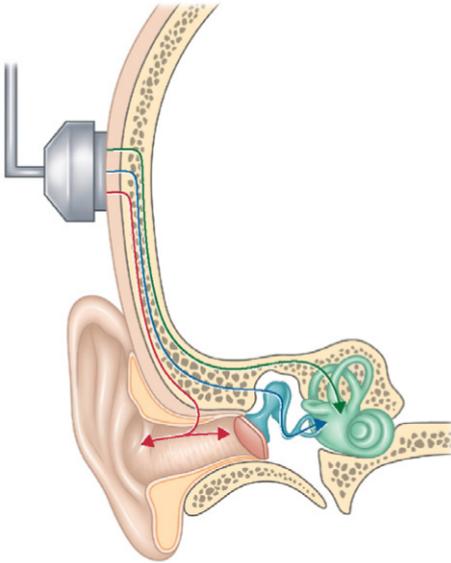


Figure 11.7

Les trois voies de la conduction osseuse.

L'obturation du conduit auditif externe canalise l'ensemble des basses fréquences du conduit vers le système tympano-ossiculaire et renforce ainsi la sonie de la CO.

Pour les fréquences moyennes (500, 1000 et 2000 Hz)

La CO s'effectue :

- directement par l'os vers l'oreille interne ;
- mais l'inertie de la chaîne ossiculaire intervient. Cet apport de la chaîne ossiculaire dépend du siège d'application du vibreur. Il est maximal sur la mastoïde, diffusant l'énergie vibratoire dans le plan de fonctionnement de la chaîne ; il est moindre au niveau du front où l'énergie vibratoire est perpendiculaire au plan de fonctionnement de la chaîne. La transmission à partir d'une mastoïde vers l'oreille de l'autre côté se fait avec un meilleur transfert qu'à partir du front.

Pour les fréquences supérieures à 2000 Hz

La CO se fait uniquement par l'os vers l'oreille interne, en réponse aux mouvements de compression de la coque labyrinthique sur les compartiments liquidiens.

Conséquences

Cette physiologie de la CO permet de comprendre notamment :

- l'importance du siège du vibreur dans l'étude de la CO (cf. Audiométrie tonale, p. 16) ;
- les répercussions de certaines maladies de l'oreille moyenne sur la CO (cf. Audiométrie tonale, p. 21) ;
- les répercussions de l'obturation du conduit sur la valeur du seuil en CO.

Bing, conduction osseuse absolue et relative

Lors de la recherche du seuil de la CO sur une oreille sans atteinte transmissiionnelle, l'obturation du conduit, par exemple avec un écouteur, provoque un abaissement du seuil de l'audition d'environ 15 dB sur le 250 et le 500 Hz, de 10 dB sur le 1000 Hz ; le 2000 Hz ne se trouve pas modifié.

Cette CO est alors dite *conduction osseuse absolue* (COA), par rapport à la CO sans obturation, dite *conduction osseuse relative* (COR).

Ce constat est à l'origine du test de Bing en acoumétrie (cf. Acoumétrie, p. 7). En audiométrie, on doit en tenir compte, notamment lors de l'étude du seuil de la CO avec recours au masquage par voie osseuse (cf. Masquage par voie osseuse, p. 45).

Transfert crânien

L'énergie sonore est normalement transmise par le conduit auditif externe vers le système tympano-ossiculaire et l'oreille interne. Aux faibles pressions sonores, le crâne empêche l'oreille non interrogée d'entendre les sons émis dans l'oreille explorée. C'est l'*atténuation interaurale*.

Aux fortes pressions sonores, l'énergie se transmet par l'os avec une perte d'environ 50 à 60 dB : c'est le *transfert crânien des sons* (figure 11.8). Ce transfert se situe en fait dans une importante fourchette de l'ordre de 40 à 80 dB pour un écouteur.

Cette atténuation interaurale (et son corollaire, le transfert crânien) dépend aussi de la fréquence. En audiométrie, on admet que cette atténuation protège l'oreille controlatérale, lors d'un examen avec écouteur, pour au moins : 35 dB (125 Hz), 40 dB (250, 500, 1000 Hz), 45 dB (2000 Hz) et 50 dB au-delà.

Avec un écouteur à insertion, l'atténuation interaurale est plus importante. En effet, l'espace entre l'écouteur et la membrane tympanique se trouve nettement réduit par rapport à celui qu'on obtient avec un écouteur classique. Pour une sonie donnée, l'énergie nécessaire est donc moindre et diffuse donc moins dans le crâne. Cette atténuation varie aussi selon la

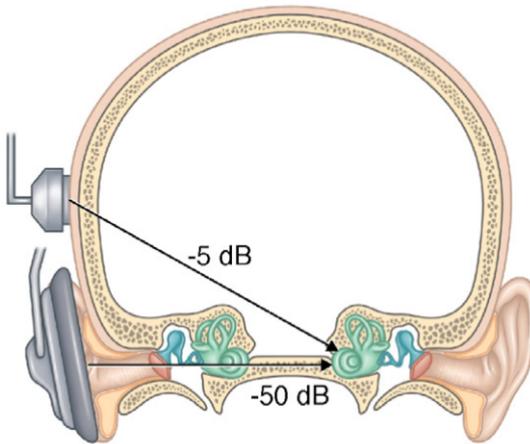


Figure 11.8

Le transfert crânien en conduction osseuse et en conduction aérienne.

fréquence. Elle est beaucoup plus marquée pour les fréquences 250 et 500 Hz, dépassant 80 dB. Elle est de l'ordre de 75 à 85 dB pour le 1000 Hz, et de 50 à 65 dB au-dessus. En pratique, avec ce type d'écouteur, le risque de transfert est négligeable jusqu'à 60 dB.

Conséquences de ce transfert crânien

Une surdité de transmission (atteinte de l'oreille externe ou de l'oreille moyenne mais avec respect de l'oreille interne) ne peut pas provoquer de surdité supérieure à 60 dB, alors qu'une surdité de perception peut être totale (*cophose*).

Si on place un casque sur une oreille sourde, le son se trouve transmis par le crâne à l'autre oreille, avec une atténuation qu'on admet en général autour de 50–55 dB, mais qui varie dans les cas extrêmes de 40 à 80 dB. Ce transfert crânien des sons impose, lors de l'examen audiométrique, de « masquer » l'oreille controlatérale chaque fois que le seuil par voie aérienne de l'oreille testée est supérieur à 45 dB, ou même à 40 dB.

Si l'on place un vibreur sur la mastoïde d'une oreille, le son est transmis à l'autre oreille avec une atténuation de 0 à 20 dB. Ce transfert est facilité par l'existence d'une atteinte transmissionnelle controlatérale. Mieux vaut compter, en pratique, une atténuation de l'ordre de 0 à 5 dB, sous peine d'obtenir des seuils erronés. *Ce transfert transcrânien des sons par voie osseuse rend indispensable, de façon presque systématique, le masquage de l'oreille opposée lors de l'examen audiométrique par voie osseuse.*

Un vibreur placé sur le front n'entraîne pas les mêmes déformations vibratoires crâniennes que lorsqu'il est appliqué sur la mastoïde, et retentit donc différemment sur le labyrinthe. Il s'ensuit une perte d'environ 15 dB pour les fréquences 250 et 500 Hz, et de 10 dB pour les fréquences supérieures. Cependant, malgré ce handicap, certains audiologistes préfèrent mettre le vibreur sur le front qui permet une meilleure application sur le crâne.

12 Notions de psychoacoustique

La psychoacoustique s'intéresse aux relations qui existent entre les sons en tant que phénomène physique et les sensations auditives qu'ils provoquent. Il est évident que son territoire chevauche une partie de la physioacoustique de l'oreille interne. Mais elle fait intervenir des notions plus générales reliant le stimulus et la sensation, comme la loi de Weber-Fechner.

Loi de Weber-Fechner

Weber et Fechner ont cherché à formuler en termes quantitatifs la relation existant entre l'intensité du stimulus et la grandeur de la sensation.

- *La loi de Weber* : dès 1834, Heinrich Weber (1795–1878) énonça une loi générale en physiologie qui peut s'exprimer ainsi : « Il y a un rapport constant entre l'excitation et l'accroissement minimal perceptible de la sensation. » $\Delta i/i = \text{constante}$, Δi étant l'accroissement minimal créant une variation de perception.
- La loi de *Fechner* (1860) : Gustav Fechner (1801–1887) postula que la sensation variait par échelons égaux et proposa d'écrire qu'elle croissait comme le logarithme de l'excitation.
- D'où la loi *de Weber-Fechner* : « La sensation croît à peu près comme le logarithme de l'excitation. »

Par exemple, pour schématiser, elle signifie que le gain en sensation d'intensité est identique lorsqu'on passe de 1 à 10 violons et de 10 à 100 violons. Cette loi de Weber-Fechner n'est en fait que très approchée¹, mais pour l'audiométrie, elle est à peu près exacte dans la zone des intensités acoustiques et des fréquences moyennes. Elle explique l'intérêt du choix d'une échelle logarithmique pour exprimer les rapports entre les phénomènes physiques et les sensations subjectives en acoustique.

Une grande partie de l'audiométrie consiste à étudier des seuils d'audition dans diverses circonstances. Encore faut-il commencer par lever toute ambiguïté sur la notion de seuil.

1 C'est pour cette raison qu'à côté des échelles physiques d'intensité (dB) et de hauteur (Hz) ont été définies des échelles de sensations, en *some* pour la sonie (pour préciser qu'un son paraît plus ou moins fort) et en *mel* (de *melody*) pour la tonie (impression de hauteur). La référence de ces échelles de sensations a été prise sur le 1000 Hz à 40 dB, correspondant à 1 sone et à 1000 mels

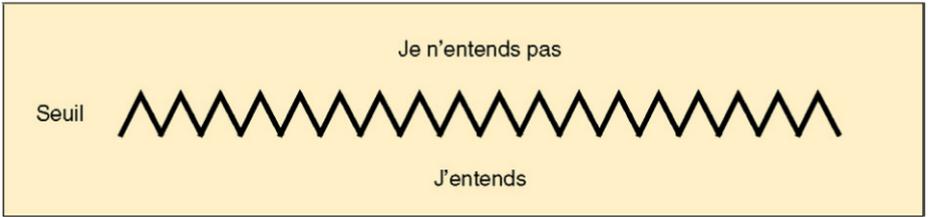


Figure 12.1

La notion de seuil.

Notion de seuil d'intensité auditive

La notion de seuil auditif utilisée en audiométrie tonale et vocale est une notion arbitraire (figure 12.1).

On peut définir le seuil de perception d'un son, émis à la même intensité à plusieurs reprises :

- soit par l'intensité minimale à laquelle le sujet entend ce son (on monte progressivement l'intensité jusqu'à ce que le sujet perçoive le son : méthode du seuil ascendant) ;
- soit par l'intensité la plus élevée à partir de laquelle il ne perçoit plus le son (on diminue progressivement l'intensité jusqu'à ce que le patient ne perçoive plus le son : méthode du seuil descendant) ;
- soit par l'intensité qui permet d'entendre un son dans un certain pourcentage de cas.

Pour des raisons théoriques et pratiques, des psychoacousticiens qui ont étudié ces notions vers les années 1920, à l'occasion d'études pour les télécommunications, ont adopté comme seuil auditif l'intensité qui permet une réponse dans 50 % des cas. Les normes ISO reposent sur cette notion.

De même, pour l'audiométrie vocale qui se réalise avec des listes de mots le plus souvent dissyllabiques, *le seuil de 50 % des mots compris est appelé seuil d'intelligibilité*. En pratique, un sujet normal comprend correctement un texte continu à ce niveau sonore grâce aux suppléances intellectuelles et au contexte.

Pour l'audiométrie tonale liminaire clinique, on utilise soit la méthode du seuil ascendant, soit celle du seuil descendant. Il n'est pas envisageable de rechercher l'intensité précise correspondant à 50 % des sons entendus, ce qui serait fastidieux pour l'étude des différentes fréquences.

Quelle que soit la technique utilisée, la mesure d'un seuil chez un même patient apparaît en fait une mesure statistique, une moyenne, qui dépend

de plusieurs facteurs. La valeur d'un seuil peut varier notamment de ± 5 dB en fonction de la technique utilisée, de sa compréhension et de l'attention du sujet testé.

Seuil d'audition et perte d'audition

Une confusion règne dans le domaine de l'audiométrie clinique concernant l'expression des niveaux d'audition.

Pour le physiologiste, l'élévation du seuil correspond à une baisse de l'audition. Cette notion est évidente sur un graphique en décibels SPL (*sound pressure level*). Mais en audiométrie clinique, sur l'audiogramme de type « américain », en pratique le seul utilisé, l'abaissement de la courbe tonale témoigne d'une baisse d'audition.

En résumé

- L'augmentation d'un seuil correspond à une perte d'audition.
- L'abaissement d'un seuil signifie une amélioration de l'audition.

Aire d'audition (audibilité)

L'examen d'un grand nombre de sujets considérés comme ayant une audition normale, d'âge compris entre 18 et 25 ans (cf. Annexe II, p. 258), a permis de déterminer les courbes du seuil normal d'audition. De la même façon a pu être établi un seuil d'audition intolérable. Ce *seuil d'intolérance*, parfois appelé *seuil douloureux* ou *seuil d'inconfort*, est la valeur moyenne d'une pression acoustique qui produit une sensation douloureuse chez des sujets normo-entendants. Il est moins net que celui du seuil d'audition et présente une grande variabilité individuelle. Ce seuil d'intolérance ou d'inconfort est important à connaître pour l'audioprothésiste.

L'aire comprise entre ces deux courbes représente l'*aire d'audition* ou *d'audibilité* ou *champ auditif* (figure 12.2). Le champ auditif de l'oreille humaine « normale » se situe à peu près entre 20 et 20 000 Hz. Il correspond à environ 10 octaves selon le champ des fréquences utilisées en musique.

On appelle *champ dynamique* la partie du champ d'audibilité représentant la zone définie en fréquences et en intensités correspondant à la parole, la musique, etc., dans les conditions normales.

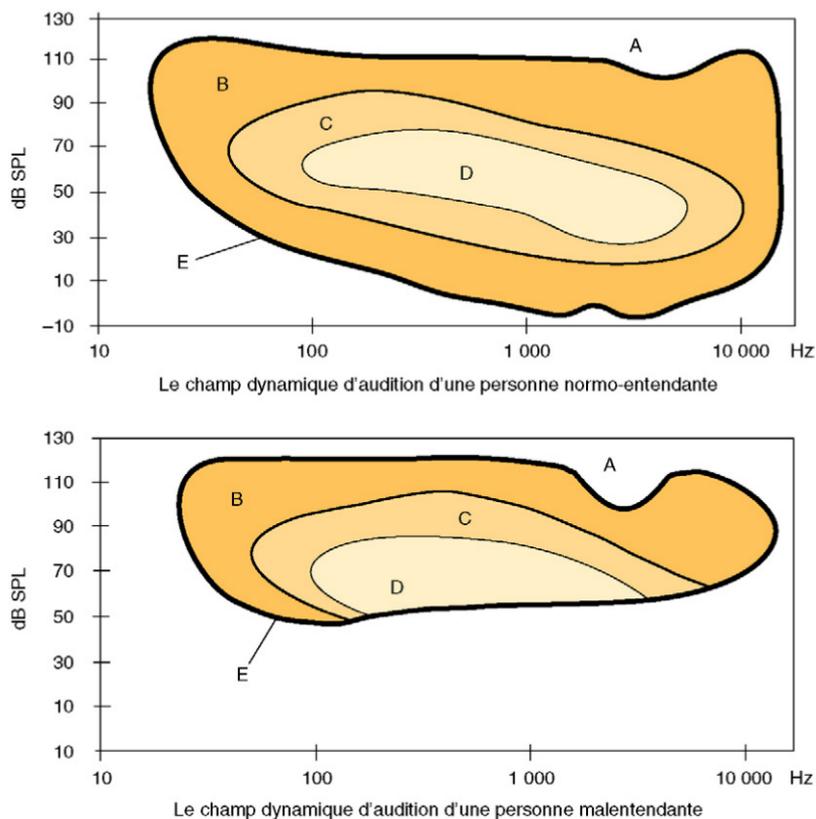


Figure 12.2

Champ auditif.

A. Seuil d'inconfort. B. Champ d'audibilité. C. Musique. D. Parole. E. Seuil d'audition.

Division du champ auditif en hauteur

La comparaison de la hauteur de deux sons ne se fait pas par soustraction ou addition, mais par le rapport des fréquences étant donné la progression logarithmique. En musique, on appelle *intervalle* le rapport de hauteur entre deux notes.

Le rapport le plus simple est l'*octave*, qui correspond à un intervalle entre deux sons dans un rapport des fréquences de 2/1. Elle correspond à une échelle logarithmique de base 2, donc $ut_2 = 128$ Hz, $ut_4 = 512$ Hz, $ut_6 = 2\,048$ Hz, etc.

Le champ auditif de l'oreille humaine « normale » correspond à environ 10 octaves selon le champ des fréquences utilisées en musique.

La *gamme* est l'ensemble des intervalles, égaux ou non, qui divise l'octave. Les intervalles sont donnés par rapport à la tonique (première note de la gamme) ou par rapport à la note qui la précède.

De nombreuses gammes ont été proposées, selon les pays et les époques.

L'audiométrie tonale explore l'audition avec des sons purs, délivrés par *octaves normalisées* : 125, 250, 500, 1000 Hz, etc.

Dans les examens habituels, les demi-octaves ne sont habituellement pas explorées, excepté avec les audiomètres automatiques. Cependant, le 3000 Hz est intéressant à connaître car cette bande de fréquences joue un rôle important dans l'intelligibilité de la voix.

Seuils différentiels d'intensité et de hauteur

Seuil différentiel d'intensité

C'est la plus petite variation d'intensité perçue par l'oreille : elle correspond au rapport $\Delta i/i$. Pour les sons purs, elle est de 2 dB près du seuil, et atteint 0,4 dB à 90 dB pour une oreille normale. Ce seuil varie aussi avec la fréquence, avec des performances meilleures pour les fréquences moyennes avec un son pur, et le spectre du signal acoustique. Mais pour une oreille normale, on constate que pour toutes les fréquences, à 40 dB au-dessus du seuil, on perçoit nettement des différences de 1 dB.

Pour une oreille qui recrute, la sensation d'intensité augmente plus rapidement qu'avec le niveau acoustique. La recherche du recrutement par le test de Lüscher est basée sur cette étude du seuil différentiel d'intensité.

Seuil différentiel de hauteur

La plus petite variation de fréquence perceptible dépend à la fois de la fréquence, de l'intensité et de la durée.

À 1000 Hz, le seuil passe de 2 à 3 ‰ pour 60 dB, à 1 ‰ pour quelques décibels au-dessus du seuil.

Le $\Delta f/f$ est le plus faible entre 600 et 2000 Hz.

Le nombre de sons de hauteurs différentes qu'une oreille normale peut percevoir n'est pas illimité, et se situe :

- autour de 2000 à 60 à 70 dB ;
- autour de 600 près du seuil.

Quant à la durée minimale, elle diminue lorsque l'intensité augmente ; pour une intensité moyenne, le temps est de l'ordre de 1/50 à 1/100 de seconde au-dessus de 1000 Hz. Au-dessous, il s'agit d'un

minimum de cycles qu'il faut pour que la tonalité soit perçue. Si la durée d'émission est très courte, l'oreille ne perçoit qu'un « clic », quelle que soit la fréquence.

Sonie, phone, sone

La sensation d'intensité auditive est appelée sonie (*loudness* en anglais) en dehors de toute notion d'unités. Cette impression dépend essentiellement du niveau de la pression sonore. Aux grandeurs de stimulation exprimées en décibels, on a voulu faire correspondre des grandeurs de sensation. On a pu d'abord établir des niveaux de même impression sonore, constituant les « lignes isosoniques » dénommées *phones*. Le phone est l'unité qui sert à exprimer le niveau d'isotonie.

Puis ont été établies des échelles de quantification de la sensation sonore avec une unité appelée *sone* qui a pu être utilisée pour faire un lien avec la gêne. En fait, la notion de gêne est très différente de l'étude de la perception. Elle fait intervenir la sémantique du bruit et les aspects psychosociologiques. À titre d'exemple, dans la plupart des enquêtes de gêne effectuées au voisinage d'aéroports, la corrélation entre la gêne ressentie et la sonie dépasse rarement 30 %.

Phones

En 1933, Fletcher et Munson ont établi des courbes d'égalité sensation de « force sonore » ou *sonie* ; ce sont les courbes isosoniques appelées *phones* (figure 12.3).

Si on note, pour chaque fréquence, le niveau sonore qui induit la même sensation d'intensité, on obtient une *courbe d'isotonie* qui est grossièrement parallèle à la courbe de seuil normal en décibels SPL. Pour désigner ces courbes, on utilise une unité sans dimension qui est le *phone* (*P*). Un son est dit de *n phones* lorsque sa sonie (ou sensation d'intensité) est la même qu'un son de *n dB SPL* à 1000 Hz.

Le *phone* est donc une unité sans dimension exprimant le niveau d'isotonie d'un son ou d'un bruit. Des sons de même intensité physique peuvent avoir des niveaux sonores subjectifs très différents selon la fréquence.

Les premières courbes établies par Fletcher et Munson situaient exactement à 0 phone le seuil d'audition normale. Les normes internationales situent maintenant ce seuil à + 4 phones (4 dB SPL à 1000 Hz). Ces normes précisent que ces courbes isosoniques sont établies pour les sons purs, en champ libre, en écoute binaurale. Des lignes isosoniques ont aussi été établies pour l'audition monaurale par écouteur.

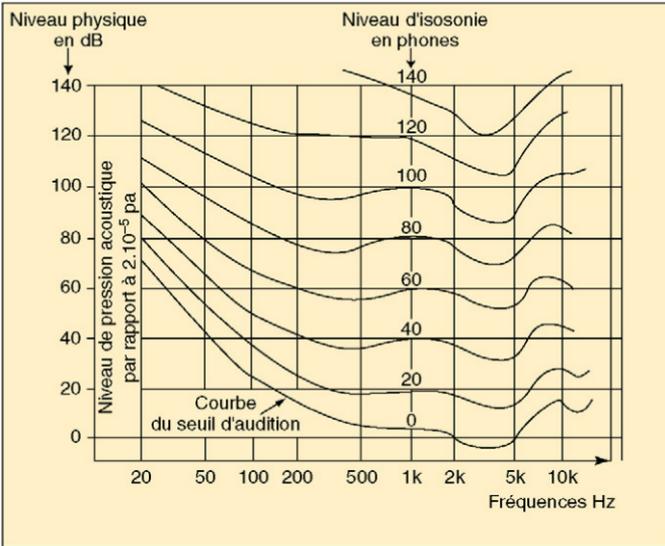


Figure 12.3

Les courbes isophoniques normalisées.

On voit sur ces courbes que la zone la plus sensible de l'oreille humaine se situe vers le 3000 Hz. Ces courbes d'isophonie sont exprimées en phones.

Par les lignes d'isophonie exprimées en phones, on peut connaître, pour des sons purs de différentes fréquences, les niveaux de stimulus qui procurent le même niveau de sensation d'intensité sonore. Il ne s'agit pas d'une échelle de sensations mais d'un réseau de lignes de même niveau de sensation d'intensité sonore.

Ces lignes servent de référence pour les courbes d'atténuation des filtres de pondération utilisés dans les sonomètres.

Sonie et durée du son

La sonie et le seuil d'audition sont influencés par la durée de stimulation.

Pour les durées inférieures à 0,2 seconde, la sonie est fonction de la durée du son. Cette notion est fondamentale à respecter en audiométrie, expliquant notamment les modalités de recherche du seuil d'intensité subjective en audiométrie tonale (cf. Audiométrie tonale, p. 23). De même, pour un son pulsé, la pulsation ne doit pas être inférieure à 200 ms pour 50 % du cycle. Approximativement, il faut augmenter de 10 dB lorsque la durée est réduite d'un facteur 10. C'est ainsi qu'un *clic* (durée = 100 μ s) ou un *tone burst* (durée = 10 ms) doivent avoir une intensité plus forte qu'un son

continu, ce qui impose un étalonnage particulier pour les audiomètres pour potentiels évoqués auditifs.

Aux durées longues, supérieures à quelques secondes, la sonie décroît durant la stimulation pour les sons purs à faible intensité. Cette diminution, appelée *adaptation simple*, est beaucoup plus marquée en cas de lésion rétrolabyrinthique (*adaptation pathologique*).

Sones

Le phone se rapproche de la physiologie mais ne quantifie pas le niveau de la sensation auditive liée essentiellement à la pression acoustique. Pour essayer de la quantifier, des psychoacousticiens ont établi une échelle des sonies par des méthodes directes de quantification subjective. L'unité est le *sonie*. Elle résulte de l'estimation de l'auditeur médian d'un groupe d'observateurs normaux. *Par convention, la valeur 1 sonie a été attribuée au niveau sonore d'un son binaural de 1000 Hz à 40 dB SPL, donc à 40 phones.* Au-delà de 30 dB, il a été montré que l'intensité subjective double tous les 10 dB (2 sonies pour 50 dB, 4 sonies pour 60 dB... 64 sonies pour 100 dB, 128 sonies pour 110 dB). Pour les phones inférieurs à 30 dB, l'intensité subjective croît plus rapidement en fonction de la pression acoustique qu'elle ne le fait aux niveaux supérieurs à 30 dB.

Pour l'établissement de cette échelle, il a été admis que l'audition d'un même son par deux oreilles produisait une sensation deux fois plus forte que l'audition par une seule oreille.

À retenir

La sonie est la sensation d'intensité auditive.
 Les phones sont des indices d'égal niveau de sensation auditive.
 Les sonies sont des unités proposées pour quantifier l'impression d'intensité sonore.

En pratique audiolgogique, phone et sonie ne sont pas utilisés. Pour évaluer la sonie, on a habituellement recours à des échelles de décibels pondérés (cf. Notions d'acoustique physique, p. 199).

Audition binaurale

Audition binaurale au casque

Au niveau du seuil, par rapport à l'audition monaurale, l'audition binaurale améliore la sensation d'intensité sonore de 3 dB.

Au-dessus de 35 dB HL (*hearing level*), pour un son pur, en écoute monaurale, il faut produire une intensité plus forte, se rapprochant de 6 dB pour avoir la même impression qu'avec une écoute binaurale. Pour une bande de bruit, l'impression d'augmentation du son double lors du passage de l'écoute monaurale à l'écoute binaurale. Ce doublement de la sonie correspond à une augmentation de 10 dB dans l'échelle des décibels.

À retenir

Au-dessus de 30 dB, dans les fréquences du médium, le passage de l'écoute monaurale à l'écoute binaurale double la sonie et correspond à une augmentation physique de 10 dB.

Audition binaurale en champ libre

Les seuils en champ libre sont généralement inférieurs (audition améliorée) aux seuils avec écouteurs. Cette amélioration de l'audition serait liée aux effets de diffraction sur le corps et les pavillons des oreilles qui renforcent les fréquences situées autour de 4000 Hz.

Notion de bande critique

On appelle « bande critique » une bande de fréquences qui a des particularités vis-à-vis de la fréquence centrale de cette bande critique. Elles concernent notamment l'effet de masque et l'impression d'intensité sonore (sonie) en cas de sommation.

Concernant *l'effet de masque*, la fréquence centrale est masquée par toute autre fréquence si elle est prise à l'intérieur de la bande critique centrée sur sa propre fréquence, pour les faibles intensités (figure 12.4) ; si le niveau s'élève, la zone masquée s'agrandit et se situe dans les fréquences élevées (figure 12.5).

Concernant *la sonie*, en cas de sommation de deux sons purs, d'intensité moyenne ou forte, de fréquence voisine, la sonie reste la même tant que l'écart entre ces deux fréquences est inférieur à la largeur de la bande critique ; dès que cet écart dépasse la largeur de la bande critique, la sonie augmente. On peut ainsi déterminer la largeur de la bande critique. Le même phénomène survient si on utilise une bande de son qu'on élargit ; la sonie augmente lorsque la largeur de la bande dépasse celle de la bande critique.

La bande critique peut être comparée à un filtre passe-bande psychoacoustique centré sur une fréquence. On considère qu'il y a 24 bandes critiques juxtaposées, mais non figées car chaque bande se définit par rapport à sa fréquence centrale.

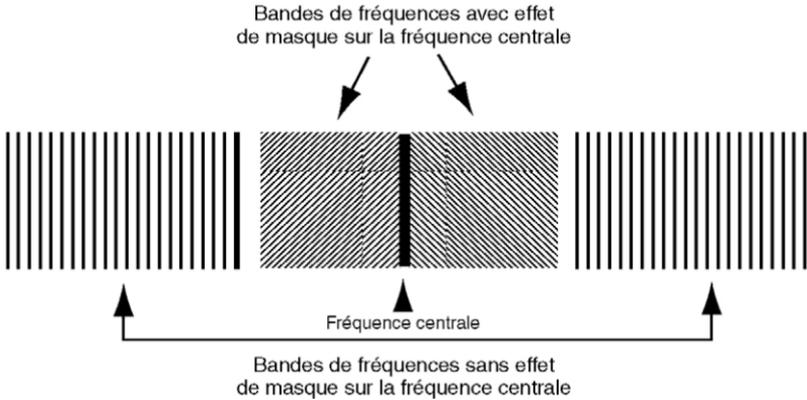


Figure 12.4

Bande critique et effet de masquage pour de faibles intensités.

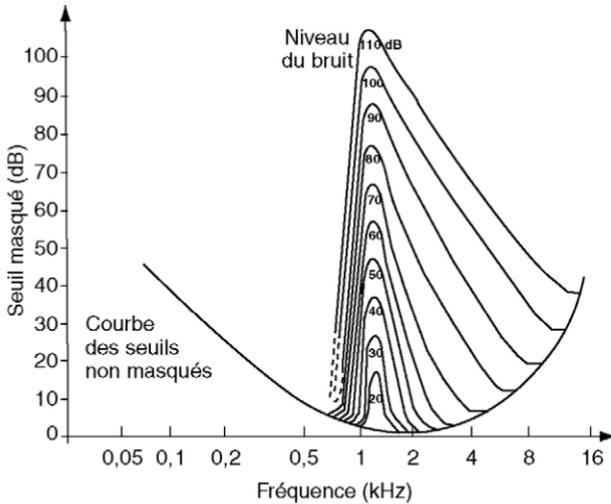


Figure 12.5

Représentation schématique des seuils normaux (courbe inférieure) et des seuils obtenus en présence d'une bande passante de bruit filtré entre 1100 et 1300 Hz à différents niveaux de pression acoustique.

D'après Zwicker et Scharf, 1965

Cette bande critique est plus large pour les sons aigus que pour les graves :

- d'environ 100 Hz et relativement constante au-dessous de 500 Hz ;
- de 160 Hz à 1000 Hz ;
- de 700 Hz à 4000 Hz.

Elle peut aller jusqu'à 3500 Hz pour les fréquences très aiguës.

La connaissance de la notion de bande critique est indispensable pour comprendre le masquage en audiométrie. Elle intervient dans d'autres domaines psychoacoustiques, notamment dans l'étude de l'échelle de hauteur. Son exploration donne des indications sur la qualité de la discrimination fréquentielle.

Masquage

Avant d'aborder le masquage, il importe de le définir et de préciser ce qu'on entend par « rapport signal/bruit ».

Le rapport signal/bruit est la différence en décibels entre un signal, tel que la voix, et un bruit. Quand la voix a une intensité plus grande que celle du bruit, le rapport est positif. À l'inverse, quand la voix a une intensité plus petite que celle du bruit, le rapport est négatif.

La notion de rapport signal/bruit est très importante, notamment :

- pour l'audition dans le bruit ;
- et, en audiométrie, pour le masquage.

Le masquage est le processus par lequel le seuil d'audition d'un son est relevé (audition diminuée) par la présence d'un autre son (masque). Il peut s'agir d'un effet de masque partiel (si la sonie du son A est diminuée ou son seuil de perception augmenté) ou d'un effet de masque total si le son A n'est plus du tout perçu.

Le terme « assourdissement », jadis utilisé, ne paraît plus d'actualité, ceci d'autant plus qu'il signifie avant tout « rendre sourd ».

Paramètres influençant le masquage

Il s'agit essentiellement de la composition fréquentielle du son masquant et de son intensité.

Composition fréquentielle du son masquant

Un son est essentiellement masqué par les fréquences contenues dans la *bande critique* ; les fréquences situées à l'extérieur de cette bande critique ont peu d'influence sur le masquage, sauf si le niveau est élevé.

L'effet masquant d'un son pur est :

- d'autant plus efficace que sa fréquence est proche de celle du son pur testé ;
- plus important pour les sons de fréquences inférieures à celles du son-test.

Autre formulation :

- les sons graves masquent plus facilement que les sons aigus ;
- les fréquences basses sont les plus masquantes, les fréquences élevées sont les plus masquées.

Les bruits à composantes graves (vibrations, moteurs.) sont beaucoup plus perturbants pour l'audition que les bruits à composantes aiguës.

Cette notion explique en partie pourquoi les personnes atteintes de surdité de perception prédominant sur les aiguës sont très handicapées car les fréquences basses masquent les aiguës.

Intensité du son masquant

Un son pur est perçu dans un bruit blanc lorsque son énergie est pratiquement égale à l'énergie globale relative aux fréquences contenues à l'intérieur de la bande critique correspondant à sa propre fréquence.

L'effet de masque croît beaucoup plus vite que le niveau du son masquant.

  retenir

Les sons graves masquent plus facilement que les sons aigus.
Le masquage le plus efficace pour une intensité donnée est donc produit par un bruit à bande étroite centré sur le son exploré.

Sélectivité fréquentielle

La détection de deux fréquences émises ensemble est une propriété majeure dans la compréhension de la parole. Elle n'est possible que si l'un des sons n'est pas masqué par l'autre. Cette capacité peut être évaluée par l'établissement d'une *courbe psychosomatique d'accord*.

Principe : il consiste à masquer un son pulsé (pour bien l'identifier)  mis à 10 ou 15 dB au-dessus du seuil par des sons de fréquences proches et à établir la courbe d'intensité minimale pour masquer le son pulsé. Pour éviter des phénomènes de battements, on utilise des fractions d'octave. Le tracé dessine un V qui donne des informations sur la sélectivité fréquentielle. Un V fermé indique que l'intensité nécessaire pour masquer le son testé doit être élevée et que l'oreille peut distinguer les fréquences proches.   l'inverse, un V ouvert peut être une première manifestation d'une atteinte neurosensorielle (type presbyacousie ou surdité toxique) [figure 12.6].

Ces courbes d'accord ne sont pas normalisées. Elles donnent un reflet de la qualité du filtre psychoacoustique pour chaque fréquence explorée. Il est possible d'explorer ce filtre par une autre méthode (Patterson) utilisant un bruit blanc dans lequel on retranche une échancrure rectangulaire. On envoie un son pur pulsé au milieu de l'échancrure. L'intensité de masquage peut être évaluée en modifiant le rapport des deux intensités.

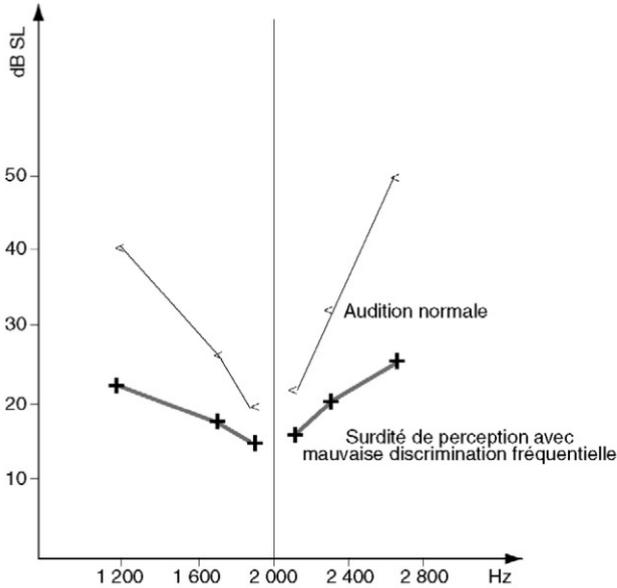


Figure 12.6

Courbe psychoacoustique de sélectivité (ou d'accord) étudiée sur la fréquence 2000 Hz.

Certains audiomètres actuellement commercialisés comportant deux oscillateurs permettent la réalisation des courbes d'accord.

Audition binaurale et masque

L'audition binaurale entraîne une amélioration du rapport signal/bruit en diminuant l'efficacité relative du masque par rapport au son-test. Chez un sujet qui porte deux écouteurs, on émet à droite deux sons, un son-test A et un son masque N, à des niveaux tels que le son A soit juste inaudible. Le sujet n'entend donc que le masque. Si on émet dans l'écouteur de gauche le même son N, le son A devient audible dans l'oreille droite.

Autre formulation : si on présente dans les deux oreilles simultanément un signal et un bruit juste suffisant pour le rendre inaudible, et si on supprime le signal dans une oreille en laissant seulement le bruit, dans l'autre oreille le signal sera à nouveau entendu alors que, physiquement, le rapport signal/bruit a été dégradé. Dans les mêmes conditions, si on inverse la phase soit du bruit soit du signal dans une des deux oreilles, le signal redevient perceptible.

Ce phénomène, appelé *démasquage binaural*, reste faible, de l'ordre de 10 dB, mais ils montrent le rôle important du système nerveux central dans l'audition binaurale.

De même, *l'audition binaurale permet à un auditeur de localiser la direction d'une source sonore dans l'espace*, en l'isolant de l'ensemble sonore environnant. Cette « faculté d'écoute dirigée » ou « écoute attentive » dans un « cône de présence » permet ainsi de faire abstraction du milieu sonore ambiant au cours d'une conversation, du moins dans un certain degré d'intensité. Au-delà, il faut élever la voix pour vaincre l'effet de masque.

Masquage central

Ce phénomène survient lorsqu'on présente un signal dans une oreille, et un bruit de masque dans l'autre oreille. L'influence de ce bruit de masque sur les centres atténue la perception centrale du son testé, sans faire intervenir une action directe sur l'oreille testée par transfert crânien. Ce masquage central serait en moyenne de l'ordre de 0,1 dB par décibel de bruit masquant (Stil Arlinger). En pratique, on peut considérer qu'un masquage controlatéral non retentissant élève le seuil d'environ 5 dB (audition diminuée).

13 Sonotraumatismes¹ et acoustique

La multiplicité des circonstances où les oreilles subissent des agressions sonores impose la connaissance de quelques notions concernant les rapports entre l'énergie sonore et l'oreille interne. Les nombreuses dispositions prises au fil des ans dans le cadre de la prévention des surdités professionnelles constituent d'utiles repères.

La prévention des surdités professionnelles commence à la source du bruit par des dispositions permettant d'en diminuer l'intensité et par l'aménagement des lieux de travail. Lorsque persistent des niveaux sonores élevés malgré le conditionnement des machines et des locaux, il importe de recourir à des protections individuelles. Mais pour connaître l'ampleur du risque sonore, il faut évaluer l'importance de l'énergie acoustique à laquelle se trouvent exposées les oreilles, et en mesurer la quantité tout au long de la durée du travail. Enfin, dernier témoin de l'agression sonore et non le moindre, l'audiométrie permet à la fois de tester la sensibilité individuelle et d'évaluer les répercussions éventuelles du bruit tout au long de la vie professionnelle.

Ainsi, sonométrie, dosimétrie, audiométrie se complètent pour prendre en temps voulu les bonnes décisions de protection. L'otologiste doit avoir des notions sur les différents types de bruits, le mesurage de l'exposition sonore, les modalités d'audiométrie en médecine du travail et les protections individuelles.

Mesurage du bruit

Notion d'équale énergie acoustique

L'oreille interne est très sensible aux bruits. Les cellules cochléaires consomment d'autant plus d'énergie que les niveaux sonores qui les atteignent sont élevés et que le temps d'exposition est prolongé. Après l'exposition sonore, les cellules mettent un certain temps avant de reconstituer leur potentiel énergétique, de quelques minutes à quelques heures. En pratique, après une journée de travail, les heures de repos qui précèdent l'exposition suivante permettent une récupération satisfaisante.

1 Ce chapitre a été rédigé avec la collaboration du Professeur Christian Géraut, chef de service pathologie professionnelle au CHU de Nantes. Les auteurs de l'ouvrage le remercient.

Durée maximale d'exposition quotidienne	Niveau de bruit équivalent à (dB(A))
8 h	85
4 h	88
2 h	91
1 h	94
30 min	97
15 min	100
7 min 30 s	103
3 min 45 s	106
1 min 52 s	109
56 s	112
28 s	115
14 s	118
7 s	121

Figure 13.1

Tableau donnant l'isoénergie acoustique pour une durée de 8 heures avec un niveau sonore continu équivalent pondéré A de 85 dB, selon différentes pressions sonores.

Pour calculer la dose de bruit en fonction de la pression sonore et de la durée, il est admis, du moins dans certaines limites, qu'il y a un rapport linéaire entre la durée et la pression sonore exprimée en décibels. Ainsi, une exposition pendant 8 heures à 85 dB(A) est égale à une exposition de 4 heures à une pression sonore double (3 dB de plus), soit 88 dB(A) [figure 13.1].

Cette isoénergie acoustique est à la base du calcul de la « dose de bruit » que peut subir un travailleur sans risque cochléaire patent, et de la notion de L_{eq} .

Notion de L_{eq}

Pour évaluer un phénomène acoustique fluctuant tel que le bruit dans un atelier, on utilise le niveau équivalent ou L_{eq} (*level equivalent*) qui est le niveau acoustique d'un bruit stable dont l'énergie serait équivalente au bruit fluctuant. Le L_{eq} permet de mesurer l'énergie reçue par l'oreille dans un champ sonore fluctuant pendant un temps T , ou $L_{eq, T}$.

Le $L_{Aeq, T}$

Le mesurage du bruit se fait habituellement en pondération A. Le $L_{Aeq, T}$ traduit le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A pendant un

temps T. Il représente le niveau sonore stable et continu pendant un temps T tel que le recevrait le sujet exposé à un bruit qu'il reçoit effectivement en étant exposé à des bruits fluctuants ou intermittents pendant ce même temps.

Le $L_{ex, d}$

Il représente le niveau de bruit auquel serait exposé un sujet pendant 8 heures correspondant à l'exposition reçue pendant un temps quotidien qui peut être différent de 8 heures. Ce $L_{ex, d}$ permet de quantifier le risque auditif par tranches de 8 heures.

Il existe des tables de correspondance entre le $L_{Aeq, T}$ et le $L_{ex, d}$.

Ainsi, un sujet exposé à 94 dB(A) pendant 4 heures a un $L_{ex, d}$ de 91 dB(A).

Le L_{pc}

Pour signifier la valeur maximale de la pression acoustique instantanée observée pendant une période de temps représentative de la journée, on utilise la notation L_{pc} .

Ce niveau s'exprime en décibels non pondérés, mais on admet habituellement que la mesure est effectuée en pondération C.

La première étape d'élaboration d'un plan de mesurage de l'exposition sonore consiste à localiser, dans le temps de travail, une ou plusieurs périodes caractéristiques. Les mesurages sont effectués lors de ces périodes caractéristiques en précisant la durée de chacune d'elles. L'appareil qui sert à mesurer le niveau de pression et à le restituer sous forme digitale ou analogique s'appelle un sonomètre (cf. Notions d'acoustique physique, p. 197).

Les différents types de bruit

L'analyse de chaque poste de travail et les mesurages de bruit permettent de bien identifier les dangers sonores en milieu professionnel, qu'il s'agisse de bruits stables, de bruits fluctuant de façon répétitive, de bruits fluctuants avec événements acoustiques prévisibles ou imprévisibles. Ces actions préventives ont des limites.

Limites de l'isoénergie acoustique

La notion d'isoénergie acoustique doit être tempérée par deux autres notions :

- la sensibilité individuelle aux bruits est variable, du fait de facteurs individuels et/ou d'une fragilisation par une agression antérieure (toxique, sonore ou autre) ;

- une énergie sonore très élevée, même pendant un temps très bref, peut provoquer des lésions irréversibles. Cette notion est évidente en cas de détonation. L'effet peut être beaucoup plus insidieux avec les bruits impulsionnels, comme on peut en observer en milieu industriel ou musical.

Ainsi, à côté de la fragilité individuelle pour les bruits stables existe une susceptibilité particulière aux bruits impulsionnels de forte intensité. Cette fragilité n'étant pas actuellement décelable, c'est la surveillance audiométrique qui seule peut donner l'alerte.

Bruit impulsif

Ce bruit est défini comme un bruit consistant en une ou plusieurs impulsions d'énergie acoustique ayant chacune une durée inférieure à 1 seconde et séparées par des intervalles de durée supérieure à 0,2 seconde.

Ces bruits impulsifs sont provoqués par des claquements ou des chocs comportant des décharges sonores instantanées telles que peuvent en produire les travaux sur métaux par percussion, les marteaux pneumatiques, les pistolets à scellement. Au moment de l'impact d'une presse sur une tôle, la pression acoustique de crête est très élevée pendant les toutes premières millisecondes, exposant ainsi la cochlée à une puissance acoustique excessive. Cet à-coup d'énergie, imprévisible pour l'oreille, déjoue les mécanismes de protection physiologiques de l'oreille et risque, en cas de répétition, de léser la cochlée et de provoquer des dégâts irréversibles. Pour chaque individu, il existe un niveau d'énergie acoustique « limite » au-delà duquel on ne peut appliquer le concept de « l'équivalent énergie acoustique ».

Bruits oubliés

L'audiométriste peut jouer un rôle important dans la prévention de la surdité sonotraumatique, et surtout dans celle de son aggravation. Il ne faut pas s'arrêter aux circonstances les plus évidentes devant une atteinte cochléaire dont l'allure évoque une origine acoustique, telles qu'un poste de travail précis, le nombre d'heures d'écoute d'un baladeur par semaine.

En milieu professionnel, il faut savoir repérer les événements acoustiques rares tels que les interventions à proximité de machines très bruyantes, l'utilisation intermittente d'outils très bruyants comme la « soufflette à air comprimé ». De telles expositions acoustiques peuvent avoir une contribution prépondérante dans l'exposition sonore. Il ne faut donc pas omettre d'en tenir compte.

D'autres facteurs peuvent intervenir : utilisation non professionnelle d'une tronçonneuse, pratique de la chasse ou du tir, fréquentation des discothèques ou de concerts de rock, etc. Il importe donc de toujours

rechercher l'accumulation de l'énergie acoustique sur de courtes périodes ou à des intensités très fortes.

Bruit et musique

Il faut savoir que, dans une fosse d'orchestre, le niveau sonore se situe entre 80 et 120 dB(A), sur une piste de danse de discothèque entre 90 et 105 dB(A), à 105 dB(A) pour une tronçonneuse, et que le niveau sonore d'un concert de rock peut atteindre celui d'un marteau-piqueur à 105 dB(A). Quant aux baladeurs, la réglementation actuelle en limite la pression sonore de sortie à 100 dB(A), mais certains utilisateurs dépassent très largement ce niveau, d'autant plus que les modalités d'écoute empêchent toute référence aux bruits extérieurs.

Législation concernant le bruit au travail

Le décret n° 2006-892 du 19 juillet 2006 modifie les valeurs d'exposition au bruit et définit les sujets pour lesquels les salariés doivent être consultés. Les responsabilités de l'employeur sont élargies, de même que les champs d'application qui incluent les secteurs maritimes et aériens.

Elle place l'évaluation des risques comme la première obligation des employeurs. En fonction de cette évaluation, l'employeur doit prendre des dispositions pour éviter ou réduire le bruit.

Une surveillance appropriée de la santé des salariés est prévue afin de diagnostiquer au plus tôt toute perte auditive et de préserver la fonction auditive.

Modalités de l'audiométrie en médecine du travail

L'audiométrie joue un rôle considérable en médecine du travail, tant pour dépister les sujets à risque auditif que pour surveiller l'audition. La protection des travailleurs contre le bruit a été précisée dans le décret n° 2003-924 du 25 septembre 2003. Cette législation est basée sur deux grands principes :

- l'employeur doit réduire le bruit au niveau le plus bas raisonnablement possible, compte tenu de l'état des techniques ;
- l'exposition des personnes au bruit doit demeurer à un niveau compatible avec leur santé.

Le niveau considéré comme compatible avec la protection de l'ouïe est un niveau d'exposition sonore quotidienne de 80 dB(A) et un niveau de pression acoustique de crête de 135 dB.

Le tableau 42 de la surdité professionnelle a été modifié par ce décret de 2003 et porte désormais le titre *Atteinte auditive provoquée par les bruits*

lésionnels. Ce titre est plus large que celui de *Surdité* et tient compte des acouphènes. La désignation de la maladie comporte un libellé plus médical, plus précis : « hypoacousie de perception par lésion cochléaire irréversible accompagnée ou non d'acouphènes ». Une circulaire de janvier 2004 fait le point sur les modalités d'application.

L'audiométrie diagnostique doit être réalisée après une cessation d'exposition au bruit lésionnel d'au moins 3 jours (alors qu'elle devait être avant de « 3 semaines à 1 an »). L'audiométrie doit être tonale liminaire et vocale, pour mieux tenir compte de la gêne conversationnelle, et les résultats doivent être concordants.

Pour l'indemnisation, le déficit audiométrique minimal est calculé sur la meilleure oreille, et doit être de 35 dB. Le déficit était naguère évalué avec la moyenne pondérée suivante :

$$\frac{(500 \times 2) + (1000 \times 4) + (2000 \times 3) + 4000 \text{ Hz}}{10} = X \text{ dB} 10$$

Depuis 2003, la formule de calcul a été simplifiée, permettant de mieux prendre en compte la gêne sociale, et repose sur la simple moyenne arithmétique des seuils tonaux à 0,5, 1, 2 et 4 kHz. Ce mode de calcul rend l'indicateur beaucoup plus sensible aux effets du vieillissement, même en dehors de toute exposition au bruit. Ajouté à l'allongement de la durée d'activité, ce mode de calcul risque d'entraîner une augmentation considérable du nombre des surdités professionnelles indemnisées.

La surdité ne doit pas s'aggraver après cessation de l'exposition au risque, sauf en cas de nouvelle exposition au bruit lésionnel.

Antérieurement, la marge d'erreur d'un audiogramme pouvant atteindre 5 dB, le seuil à partir duquel la réparation pouvait intervenir était de 30 dB. La jurisprudence actuelle ne permet plus d'invoquer cette marge d'erreur.

En ce qui concerne la presbyacousie qui a parfois pu être invoquée à l'origine d'une part de la surdité, la prise en compte d'un état antérieur et/ou indépendant de la maladie professionnelle ne peut se faire que par une appréciation concrète et motivée de chaque cas individuel lors de l'évaluation de l'incapacité permanente.

Dossier otologique

Pour toute demande de bénéficier du tableau 42, il est important d'établir un dossier médical très complet avec :

- un examen détaillé des oreilles, en particulier si une atteinte transmissi-
sionnelle est associée à la surdité professionnelle ;
- les examens audiométriques faits antérieurement, car de simples affir-
mations du patient ne suffisent pas pour la prise en charge d'une maladie

professionnelle. S'il prétend ne pas entendre depuis des années et qu'il n'a jamais consulté un médecin pour cette raison, sa demande peut être qualifiée d'irrecevable. Il faut donc chercher un document attestant cette première consultation auprès du médecin du travail ou du médecin traitant à défaut d'un ORL, quelle que soit la qualité de l'examen de l'époque. Cette première consultation correspond à la date précise de la première constatation médicale à partir de laquelle on calcule le délai de prise en charge, la deuxième date prise en considération étant celle de la cessation réelle d'exposition au risque.

La déclaration peut être faite dans le délai de prise en charge (1 an pour la surdité, sauf cas particuliers du tableau 12) pour les différents régimes d'assurance maladie (privés, spéciaux, fonctionnaires, etc.) sur ordonnance ou simple papier à en-tête du praticien ou sur un certificat de déclaration de maladie professionnelle Cerfa n° 11138*02 pour le régime général de Sécurité sociale, accompagné d'une déclaration personnelle du patient sur déclaration Cerfa n° 50562*02. Si cette déclaration est hors délai par négligence ou oubli du patient, responsable de cet envoi, il a un délai de 2 ans pour l'envoyer. Toute contestation d'un refus de la caisse sera soumise au Comité régional de reconnaissance de maladies professionnelles (CRRMP) sur demande du patient à sa caisse. Le port de protection individuelle a parfois été considéré comme une cessation d'exposition au risque. Ce critère n'est habituellement pas retenu par les CRRMP du fait que l'on a très rarement la preuve du port permanent de protections considérées comme suffisamment efficaces pour supprimer tout risque.

La liste des travaux susceptibles de provoquer ces maladies est limitative et de nombreux cas sont ainsi hors tableau : toute contestation d'un refus de la caisse sera soumise au CRRMP sur demande du patient à sa caisse. Il en est de même des cas litigieux.

Audiométrie de dépistage

Critères

- Elle doit être très sensible, car faite au stade infrapathologique, avant que le sujet ne se soit aperçu d'un déficit, pour prendre les mesures prophylactiques nécessaires.
- Elle doit être rapide et peu coûteuse, car il s'agit d'un examen de masse.
- Elle doit être particulièrement reproductible pour suivre l'évolution, et donc supprimer les variations introduites par le manipulateur, ce qui s'obtient par l'automatisation, un contrôle rigoureux du matériel et de bonnes conditions acoustiques de la salle d'examen.
- Des conditions d'examen permettant l'absence de fatigue et un état d'éveil correct sont nécessaires.

Examen

Cet examen a été précisé par la norme ISO 6189. Il s'agit d'une audiométrie liminaire tonale en conduction aérienne au casque.

Les conditions acoustiques de la salle d'examen sont beaucoup moins strictes que pour l'audiométrie habituelle comprenant une évaluation de la conduction osseuse, et dépendent de la qualité des écouteurs. Si l'examen est fait avec un audiomètre automatique enregistreur, il importe de familiariser le sujet examiné à ce type d'examen et de vérifier qu'il a bien compris les instructions. Il est conseillé, à la fin de l'examen des deux oreilles, de ne pas toucher aux écouteurs et de recommencer l'examen sur une ou deux fréquences pour vérifier que les résultats concordent bien avec le premier examen.

Interprétation des résultats

Cet examen audiométrique en conduction aérienne ne peut suffire dès qu'il y a suspicion d'atteinte transmissionnelle, ou une asymétrie, ou une évolutivité anormale pour l'âge ou les conditions de travail. Il faut alors demander un examen audiométrique complet, avec au minimum une conduction osseuse et une audiométrie vocale.

L'audiométrie de dépistage impose de rechercher une susceptibilité individuelle anormale, ou d'autres facteurs de risque. Elle permet aussi de suivre un groupe de travailleurs exposés, permettant ainsi d'alerter sur des conditions mal évaluées.

Pour suivre l'évolution, il faut surveiller particulièrement les fréquences atteintes en premier, au-delà du 2000 Hz. On a recours à l'indice précoce d'alerte (IPA) qui a fait l'objet d'une norme (NFS 31-013) ; c'est la moyenne de la perte sur les fréquences 3000, 4000, et 6000 Hz des deux oreilles.

Lors du premier examen, le médecin du travail doit rechercher des antécédents otologiques. Une surdité de transmission n'est pas a priori un obstacle à l'affectation à des postes exposant au risque sonore, puisqu'elle constitue une relative protection de l'oreille interne. Cependant, si l'importance de l'ambiance sonore impose une protection individuelle, elle risque de gêner la perception de signaux d'alerte, et de constituer ainsi une contre-indication. Le médecin du travail doit être particulièrement attentif à toute dégradation de l'audition.

Protections individuelles

Il existe de nombreux types de protecteurs individuels de l'ouïe prévus pour toutes les situations, qu'elles soient en milieu professionnel ou en activité de loisirs. La limite entre les deux types d'activité est loin d'être tranchée,

comme par exemple pour les musiciens dont les oreilles peuvent subir d'importantes agressions acoustiques, même si elles sont considérées comme « agréables à l'oreille ».

Si la qualité intrinsèque de la protection contre le bruit est importante, il ne faut jamais oublier que l'efficacité de la protection dépend aussi des conditions d'utilisation.

Les bouchons d'oreille prémoulés, en résine ou en silicone, permettent de répondre à de nombreuses situations grâce à l'incorporation de filtres. Ils nécessitent une empreinte individuelle des conduits auditifs externes. C'est ainsi qu'il existe des protections pour les musiciens avec filtres linéaires ne déformant pas la sonorité, avec des atténuations de l'ordre de 10 à 20 dB selon les besoins.

Les chasseurs peuvent bénéficier de filtres non linéaires atténuant les bruits impulsifs, tout en laissant passer les faibles sons.

Pour le travail en milieu bruyant, il existe divers filtres selon les types de bruit, filtrant plus ou moins les graves.

Il existe aussi des bouchons standard, en mousse, en silicone, ou en cire minérale et coton pour usage unique.

Les bouchons sont faciles d'emploi, peu encombrants et confortables. Ils doivent bénéficier d'une hygiène rigoureuse. Certains peuvent être fournis avec un serre-tête. Ils sont compatibles avec le port d'un casque.

Leur utilisation convient généralement pour une protection permanente lorsque le bruit incident n'est pas excessivement riche en fréquences graves. En fait, l'efficacité réelle des bouchons dépend de leur placement dans le conduit.

Les coquilles, utilisées essentiellement en milieu professionnel, sont réunies par un serre-tête ou par un serre-nuque ; elles comportent un pont hermétique autour du pavillon. Elles sont moins bien tolérées que les bouchons et utilisées lorsqu'un port intermittent s'impose. En cas de conditions extrêmes d'exposition, les coquilles peuvent être combinées avec des bouchons.

Les casques enveloppants recouvrent une grande partie de la tête. Ils comportent deux coquilles munies d'oreillettes qui s'appliquent autour de l'oreille. Ils permettent de réduire la transmission des ondes acoustiques aériennes aux oreilles et au crâne. Ils conviennent contre les bruits intenses, riches en graves, en atténuant spécifiquement la conduction osseuse du son.

Mais dans tous les cas d'exposition à de fortes intensités sonores, il est important de rappeler aux utilisateurs – c'est d'ailleurs une obligation légale – que le port intermittent risque de faire perdre le bénéfice de la protection. Un protecteur d'efficacité intrinsèque de 30 dB ne procure cette efficacité

que s'il est porté les 8 heures d'exposition. S'il est porté 7 h 59, l'efficacité tombe à 25 dB. Elle est réduite à 10 dB si l'absence de protection a été de 45 minutes sur les 8 heures. Une protection qui ne serait utilisée que durant la moitié du temps de travail n'assurerait qu'une réduction de 3 dB de l'exposition sonore quotidienne, et c'est ce qui explique que les CRRMP ne considèrent habituellement pas que le port de protections individuelles correspond à une cessation de l'exposition au risque.

14 Pièges de l'audiométrie

L'audiométriste se trouve exposé à de nombreux pièges au cours de tout examen audiométrique. Il importe de toujours lire un audiogramme avec un regard critique pour éviter de grossières erreurs exposant parfois à des interventions chirurgicales inutiles. Les erreurs peuvent provenir de l'appareillage, de l'opérateur ou de la mauvaise collaboration du patient.

Ces pièges doivent être déjoués par une bonne prévention (cf. Audiométrie tonale, p. 18). Il paraît cependant utile de rappeler certains d'entre deux.

Les appareils

Certaines erreurs audiométriques peuvent être dues au *non-respect des normes*, et en particulier à une *mauvaise isolation phonique* ou à un *appareillage défectueux*. Deux types de contrôle s'imposent : un contrôle objectif par un technicien qui vérifie au moins une fois par an l'ensemble des éléments de la chaîne, la qualité des transducteurs et des connexions, et un contrôle subjectif en réalisant un audiogramme avec un sujet normo-entendant au moindre doute. Les mauvaises connexions, la mauvaise qualité des écouteurs peuvent être sources d'erreurs.

La mauvaise mise en place des écouteurs peut aussi être source d'erreurs. L'écouteur peut entraîner un collapsus du méat auditif externe et provoquer ainsi une pseudo-surdité de transmission. Un tel incident doit être suspecté lorsqu'il existe une surdité de transmission prédominant sur les fréquences aiguës, caractéristique d'un obstacle sur le conduit auditif externe (cf. Audiométrie tonale, p. 16 et Annexe III, p. 262).

Le contact de l'ossivibrateur sur la conque peut induire une « courbe osseuse » optimiste par conduction cartilagineuse et donner ainsi une fausse surdité de transmission.

Un serrage insuffisant de l'ossivibrateur entraîne une perte de transfert d'énergie au niveau du contact peau-transducteur et une élévation des seuils en conduction osseuse. On peut ainsi obtenir une courbe osseuse moins bonne qu'en réalité.

Aux fréquences 3000 et 4000 Hz, lors de l'examen à forte intensité d'une oreille atteinte de surdité de perception, *le rayonnement du son par le vibreur* peut être perçu par voie aérienne. On trouve alors une CO meilleure qu'elle n'est en réalité ; une surdité de perception se transforme ainsi en *fausse transmission*. S'il existe un doute, il faut obturer le conduit par un bouchon mousse, car il ne modifie pas la CO à ces fréquences élevées. Il faut se méfier aussi des sensations tactiles provoquant des réponses erronées.

Enfin, il ne faut pas oublier que les étalonnages des transducteurs et serre-tête sont effectués pour l'adulte, et que leur utilisation chez l'enfant impose une correction.

Les opérateurs

Les erreurs de masquage représentent les principaux pièges à éviter.

Masquage par excès, fausse surdité de perception

L'excès de masquage retentit sur la courbe osseuse qui se trouve ainsi abaissée à un niveau proche de la courbe aérienne. Exemple : un patient atteint d'une surdité de transmission de 35 dB à droite avec audition normale à gauche. L'intensité du masque à gauche a été de 90 dB. Le transfert de gauche à droite s'évalue à environ de 35 à 40 dB. Le masquage est efficace à gauche mais retentissant à droite. Le seuil osseux droit obtenu sera de l'ordre de 25 à 30 dB (alors qu'il est normal en réalité), entraînant une fausse surdité de perception ou mixte (cf. Annexe III, p. 266).

Le masquage retentissant, un piège !

Autant il peut être difficile de maîtriser le masquage en cas de surdité à forte composante transmissionnelle bilatérale, autant il est facile d'éviter le retentissement controlatéral d'un masquage en cas de surdité unilatérale (et audition controlatérale normale).

Pour une surdité unilatérale :

- lors de l'établissement du seuil de la CA du côté sourd, il est inutile de masquer tant que le niveau ne dépasse pas 45 dB. Au-delà, il suffit de mettre du côté sain la valeur de masque de la fréquence explorée à laquelle on ajoute le même nombre de décibels qu'on en met du côté testé au-dessus de 45 dB ;
- lors de l'établissement de la CO du côté sourd, l'intensité du masquage nécessaire mais suffisante est égale à la valeur de masque augmentée de l'intensité de la CO testée.

En procédant ainsi, on évite d'observer de miraculeuses améliorations post-opératoires de la CO qui, bien souvent, correspondent à une CO préopératoire sous-évaluée, du moins en partie.

Masquage insuffisant, fausse transmission et courbe fantôme

Un exemple permet de comprendre le danger de cette « courbe fantôme », en supposant un patient atteint d'une cophose, par exemple à droite, avec une audition normale à gauche. Lors d'un examen tonal liminaire sans

masquage, l'opérateur obtient des seuils au niveau des valeurs du transfert crânien, soit environ 55 dB pour la CA, et 5 à 10 dB pour la CO.

Ainsi, les courbes obtenues plaident pour une surdité de transmission droite qui n'existe pas puisque l'oreille est cophotique. Un simple examen acoumétrique permet de déjouer ce piège de la « courbe fantôme » (cf. Annexe III, p. 265).

Recherche difficile des seuils dans les surdités mixtes bilatérales

En cas de surdité mixte bilatérale, le masquage controlatéral habituel est parfois impossible, car il est à la fois nécessaire mais retentissant sur l'oreille controlatérale. On est amené dans ces cas à pratiquer un masquage par voie osseuse (cf. Masquage par voie osseuse, p. 45).

À retenir : Notions élémentaires concernant le masquage

Il faut toujours s'interroger sur la nécessité de masquer ou non l'oreille controlatérale chaque fois que le seuil par voie aérienne d'une oreille dépasse 40 dB.

Le masquage de l'oreille controlatérale devient indispensable chaque fois qu'il existe une différence de 45 dB ou plus entre le seuil en conduction aérienne de l'oreille testée et le seuil le meilleur obtenu en conduction osseuse de l'oreille controlatérale.

Le masquage varie selon le type d'écouteur (écouteur à insertion), la fréquence testée et l'intensité du son-test. Il se fait au mieux par un bruit en bande étroite qui varie selon le son-test.

Il est difficile d'effectuer un masquage efficace et non retentissant en cas de surdité mixte par la méthode classique. Il importe alors de recourir au masquage par voie osseuse.

Dans les résultats interviennent aussi le masquage central, d'environ 0,1 dB par décibel de bruit masquant. En pratique, on peut considérer qu'un masquage controlatéral non retentissant élève le seuil d'environ 5 dB (cf. Masquage central, p. 232).

Intérêt de l'acoumétrie

L'acoumétrie permet souvent de déjouer ces pièges liés à la mise en défaut de l'audiométriste.

- *Diagnostic d'une cophose* : une surdité de transmission de 60 dB doit toujours inciter à vérifier qu'il ne s'agit pas d'une courbe « fantôme ». Un examen acoumétrique vocal avec masquage au doigt de l'oreille controlatérale

permet de faire le diagnostic de cophose ; le sujet ne perçoit pas un seul mot à voix haute.

- *Diagnostic d'une surdité de transmission* : un test de Weber latéralisé nettement à l'oreille sourde, un test de conduction cartilagineuse avec une conduction osseuse meilleure ou identique à la conduction cartilagineuse, signent la surdité de transmission.

Le patient

Une mauvaise compréhension des consignes peut altérer la valeur de l'examen. Malgré beaucoup de patience de la part de l'opérateur, certains patients ont du mal à comprendre ce qui leur est demandé. On a parfois intérêt, dans ces cas, à réaliser un deuxième examen qui donne alors des réponses plus précises du fait de l'apprentissage.

La fatigue peut intervenir dans la qualité de l'examen. L'examen ne doit pas durer plus de 20 minutes. Il vaut mieux l'interrompre et le poursuivre plus tard si le patient présente des signes de fatigue.

La mauvaise volonté du patient peut mettre en défaut la valeur de l'examen. Elle entre dans le classique cadre de la simulation, qui mérite un chapitre particulier.

Des acouphènes peuvent gêner la recherche du seuil. Il faut en signaler la présence sur l'audiogramme s'ils sont importants.

La simulation

La simulation, ou pseudohypoacousie, ne s'observe pas seulement chez les adultes, car un opérateur non attentif peut aussi se laisser abuser par un enfant d'une dizaine d'années. Aussi importe-t-il de toujours compléter par un examen vocal tout examen tonal mettant en évidence une altération de l'audition.

Quand y penser ?

Devant :

- un patient censé avoir une surdité profonde bilatérale, qui répond à une question posée à voix basse ;
- une cophose ou subcophose bilatérale ancienne avec un langage très peu perturbé ;
- une surdité unilatérale chez un patient qui force manifestement son comportement avec des mimiques d'effort et qui tourne sa tête du côté de l'oreille saine pour mieux entendre ;

- la discordance entre les épreuves audiométriques. Une audiométrie vocale meilleure que l'audiométrie tonale est très suggestive. À l'inverse, on peut aussi observer un sujet avec une intelligibilité nulle et qui répète une seule syllabe par mot, alors que le vrai sourd répète peu de mots mais dans leur intégralité ;
- l'inconstance des résultats audiométriques au cours d'examens successifs.

Tests de déstabilisation

Certains tests permettent de confondre assez facilement le simulateur qui n'est souvent qu'un exagérateur.

En audiométrie tonale

Il est possible de sensibiliser l'audiométrie tonale par des manœuvres de diversion.

- Faire compter les impulsions (Stil Arlinger) :
 - choisir une des fréquences habituelles, au-dessous du seuil reconnu mais suspect ;
 - envoyer une ou plusieurs impulsions (entre 1 et 5) ;
 - après chaque exploration à cette intensité, le patient doit dire combien il a entendu de coups ;
 - s'il n'a rien entendu, augmenter de 10 dB. S'il a entendu, baisser de 10 dB.
- Comparer les seuils ascendants en partant alternativement d'une forte intensité et faible intensité.

Normalement, la marge entre les deux seuils, ascendant et descendant, ne dépasse pas 5 dB. Le simulateur essaie de se fixer un niveau de référence par rapport à son seuil réel d'audition. L'alternance de recherche de seuils ascendants et descendants peut le déstabiliser.

En audiométrie vocale

Les repères d'intensité sont beaucoup plus difficiles à conserver en audiométrie vocale qu'en audiométrie tonale.

Épreuve de diversion

On peut dérouter le simulateur en alternant des listes de mots à forte puis à faible intensité, en les décalant progressivement vers le bas (80/60, 75/55, 70/50). Ainsi, le simulateur, croyant qu'on oscille entre les mêmes niveaux, répond à tous les mots quand le son est fort, et à aucun mot quand le son est faible. On peut mettre en évidence des résultats contradictoires, avec par

exemple le seuil de 60 dB non perçu au début puis parfaitement compris secondairement. Mais les réponses ne sont pas toujours claires, le sujet ne répétant qu'une partie du mot ou répondant avec lenteur. Ce test, connu sous le nom de *test de Carhart*, peut permettre d'amener le patient près de son seuil réel.

Anomalie de latéralisation

C'est un test simple pour un patient simulant une cophose ou une surdité profonde d'un côté, alors que l'audition de l'autre oreille se montre normale. Par exemple, chez un patient qui simule une cophose à droite, avec une audition normale à gauche, on envoie 100 dB à droite. Il dit ne rien entendre. Mais du fait de la latéralisation, il doit recevoir à peu près 30 dB à gauche et donc percevoir le son même avec une cophose droite. Le simulateur est ainsi confondu.

Comment le confirmer ?

Il est difficile d'affirmer qu'un patient est un simulateur, c'est-à-dire qu'il est de mauvaise foi. Il vaut mieux faire des erreurs par défaut que par excès. Il est toujours possible de recourir à un ou plusieurs des nombreux tests décrits. Beaucoup ont perdu de leur intérêt depuis que l'audiométrie objective, avec notamment les potentiels évoqués auditifs, est devenue de pratique courante. Seul le test de Stenger garde une bonne valeur car non seulement il peut confondre le simulateur, mais il permet aussi de donner une certaine précision sur le seuil réel. Toutefois, il ne peut s'utiliser que pour les simulations ou exagérations d'une surdité unilatérale.

Test de Stenger

Il permet d'affirmer la simulation et de donner le seuil réel d'audition en cas de surdité unilatérale ou fortement dissymétrique.

Principe

Le test est basé sur un principe mis en évidence par Stenger en 1900 avec des diapasons. Si deux sons de même fréquence et d'intensité légèrement différente (10 à 20 dB) sont reçus ensemble des deux côtés, le sujet croit n'entendre que du côté où le son est le plus fort. C'est ce principe qui explique, notamment, la latéralisation du Weber dans les surdités de perception unilatérales ou asymétriques.

Ce test ne s'adresse qu'aux surdités unilatérales, ou avec une asymétrie alléguée d'au moins 40 dB.

Réalisation

De nombreuses méthodes ont été proposées depuis la découverte de Stenger.

Ce test nécessite un audiomètre à deux canaux pour permettre d'avoir un son provenant du même générateur (sous peine d'avoir des battements), et de pouvoir contrôler l'intensité de chaque côté. Certains audiomètres disposent d'un système de synchronisation des deux canaux permettant d'envoyer les sons dans les deux oreilles en appuyant seulement sur un seul poussoir (*lock tone*). On utilise un son pur, continu.

Habituellement, on commence par mettre l'intensité sur la « bonne oreille » à 10 dB au-dessus du seuil, et sur la « mauvaise oreille » à 10 dB au-dessous du seuil allégué.

Deux hypothèses :

- la surdité est réelle : le sujet n'entend que le son de la « bonne oreille » ;
- le seuil réel est bien meilleur : le sujet prétend ne pas entendre car il ne sait pas qu'un son lui est envoyé dans la « bonne oreille » puisqu'il n'entend en fait que dans la « mauvaise oreille ».

Sa mauvaise foi est donc démontrée.

Pour essayer de préciser le seuil réel, plusieurs stratégies sont possibles. On peut très simplement laisser le même son dans la bonne oreille, à 10 dB au-dessus du seuil et, dans la « mauvaise oreille » :

- soit diminuer progressivement de 5 en 5 dB. Lorsque le sujet commencera à signaler qu'il entend dans la « bonne oreille », c'est que la différence entre les deux oreilles est devenue peu importante, de l'ordre de 15 à 20 dB. On en déduit le seuil approximatif de la « mauvaise oreille » ;
- soit mettre l'intensité dans la « mauvaise oreille » à 0 dB, et augmenter progressivement de 5 en 5 dB. On arrive aux mêmes conclusions, mais après que le sujet n'a entendu que dans la « bonne oreille ».

Conclusion

Ce test de Stenger est excellent pour dépister la simulation d'une surdité unilatérale. Il nécessite toutefois une bonne expérience pour ne pas alerter le sujet. Un test de Stenger modifié peut être réalisé en audiométrie vocale. Il est basé sur le même principe, avec des spondées envoyés par deux canaux différents, en commençant là aussi par une intensité de 10 dB au-dessus du seuil de la « bonne oreille », et 10 dB au-dessous du seuil allégué de la « mauvaise oreille ».

Tests objectifs

En fait, on a rarement besoin de ces tests, sauf parfois dans le cadre d'une expertise.

Tympanométrie

L'étude du réflexe stapédien est un moyen simple, rapide et objectif de dépister certains simulateurs. La présence d'un réflexe stapédien controlatéral lors de la stimulation d'une oreille soi-disant cophosée ou subcophosée confirme la simulation.

Étude des potentiels évoqués auditifs

Si l'électrocochléographie et les otoémissions acoustiques permettent également d'obtenir des éléments objectifs sur les seuils d'audition et de confondre les simulateurs, c'est avant tout aux potentiels évoqués auditifs qu'on a recours.

Conclusion

Toute anomalie découverte au cours d'un examen audiométrique impose, en premier, de rechercher si elle n'est pas liée à un déroulement défectueux de l'examen, à une anomalie anatomique, par exemple du conduit auditif externe (cf. Annexe III, p. 262-263), ou plus simplement à une pathologie rétrolabyrinthique. Avant de mettre en cause la bonne foi du sujet, il faut savoir répéter les examens, éventuellement après une période de repos. Certains patients ne comprennent pas toujours très bien la notion de seuil. Un élément de fatigue peut intervenir. L'audiologiste ne doit jamais se situer en juge ni en limier. À l'inverse, si certains hypoacousiques pouvaient simuler une bonne audition, notamment avant un embauchage, il est probable que la tâche de l'audiologiste serait parfois difficile.

La simulation chez l'enfant

La simulation d'une surdité est rare chez l'enfant, mais possible. Elle s'observe avant tout chez des préadolescents.

Cette simulation est suspectée devant :

- une discordance des réponses entre audiométrie tonale et vocale ;
- une instabilité des seuils obtenus.

Si un comportement psychologique particulier alerte parfois l'audiométriste, l'enfant peut avoir l'air très naturel. C'est souvent la comparaison de la tonale à la vocale qui attire l'attention.

Il est habituellement facile de confirmer cette pseudo-surdité par des tests de déstabilisation (cf. La simulation, p. 246). Il importe d'en faire la preuve dès ce premier examen. Il est essentiel de ne pas culpabiliser l'enfant et sa famille, et d'évoquer une mystérieuse surdité guérie très récemment (cf. Annexe III, p. 270).

Une telle « surdité non organique » ne paraît habituellement pas correspondre à une pathologie psychiatrique inquiétante. L'enfant peut être en

état de conflit avec la famille ou le milieu scolaire. Parfois, c'est un enfant qui veut attirer l'attention de ses parents sur lui pour obtenir certains bénéfices. La surdité peut également être pour lui une attitude de refuge, de fuite devant ses problèmes. Elle peut excuser des difficultés scolaires. Dans certains cas, il ne semble y avoir aucune explication.

Risques des examens audiologiques : *primum non nocere*

Les divers examens effectués dans le cadre de l'exploration de l'audition ne sont pas toujours sans danger.

Deux types de risque sont à redouter.

- *Le traumatisme sonore*, lorsque de fortes intensités sont émises dans une oreille. Des cas de surdité, d'acouphènes intolérables et d'intolérance aux bruits ont été rapportés après des potentiels évoqués auditifs ou après une recherche de réflexe stapédien.

Il ne faut pas oublier les risques de surtension des appareils électriques lors de la mise sous tension, en particulier des impédancemètres. Cette surtension peut engendrer un bruit très intense si le réglage d'intensité n'a pas été vérifié et que l'écouteur a été mis en place avant. Lors de la réalisation de tout examen avec écouteur, il est capital de mettre d'abord l'appareil en tension et de régler les potentiomètres au plus bas avant d'installer le casque.

Il est très important d'arrêter tout examen dès lors que le patient se plaint d'une intolérance. Par ailleurs, il ne faut jamais utiliser des sons supérieurs à 100 dB sans s'assurer au préalable que les conditions sont requises pour ne pas traumatiser la cochlée.

- *Le barotraumatisme* lors d'une impédancemétrie. Des cas de fistule périlymphatique ont même été décrits.

Annexes

I. Les appareils auditifs.

Ia - Les aides auditives.

Ib - Le principe de l'implant cochléaire.

Ic - La prothèse implantable d'oreille moyenne à transducteur électromagnétique.

II. Valeurs de référence audiométriques en fonction de l'âge et du sexe.

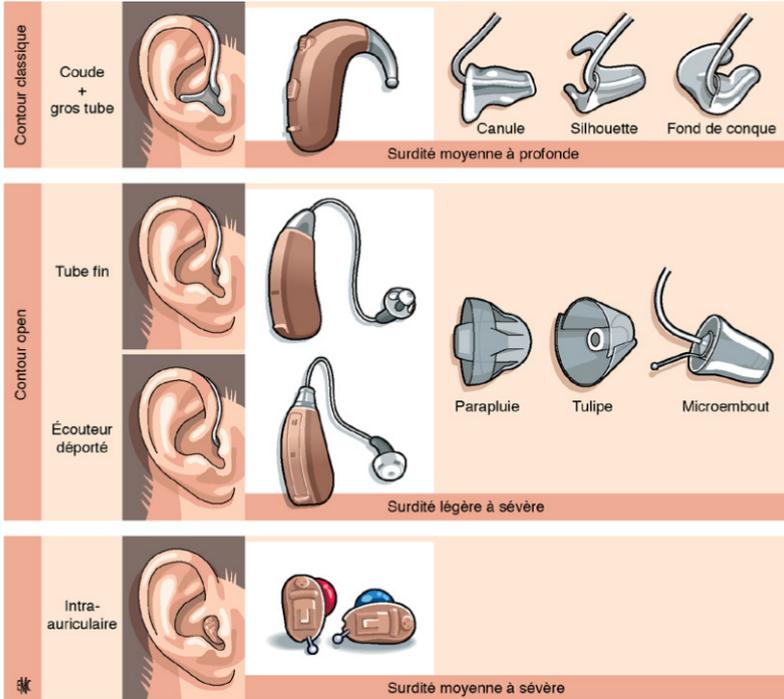
III. Exemples d'examens audiométriques.

IV. Quelques listes de mots sont présentées pour l'audiométrie vocale, permettant de réaliser un examen au microphone qui garde un grand intérêt. Elle donne beaucoup plus de souplesse à l'examen et s'impose chez l'enfant. Un exemple de notation de test cochléaire de Lafon est proposé. Cependant, les listes de mots enregistrés sur CD ont constitué un grand progrès par rapport aux anciens enregistrements. L'intérêt de ces listes de mots sur CD est de permettre un accès très rapide à la liste choisie et d'offrir une grande qualité acoustique. Ces disques commercialisés comportent de nombreux types de listes de mots : mono- et dissyllabiques pour adultes de Fournier, mots pour enfants, mots phonétiquement proches, mots monosyllabiques à composante grave ou aiguë, listes de logatomes voyelle-consonne-voyelle pour personnes étrangères, bruits de jouets sonores, bruits quotidiens, etc.

V. Barème fonctionnel indicatif des incapacités en droit commun concernant l'audition.

VI. Échelle de bruit provoqué par différentes activités provenant du Centre de documentation et d'information sur le bruit.

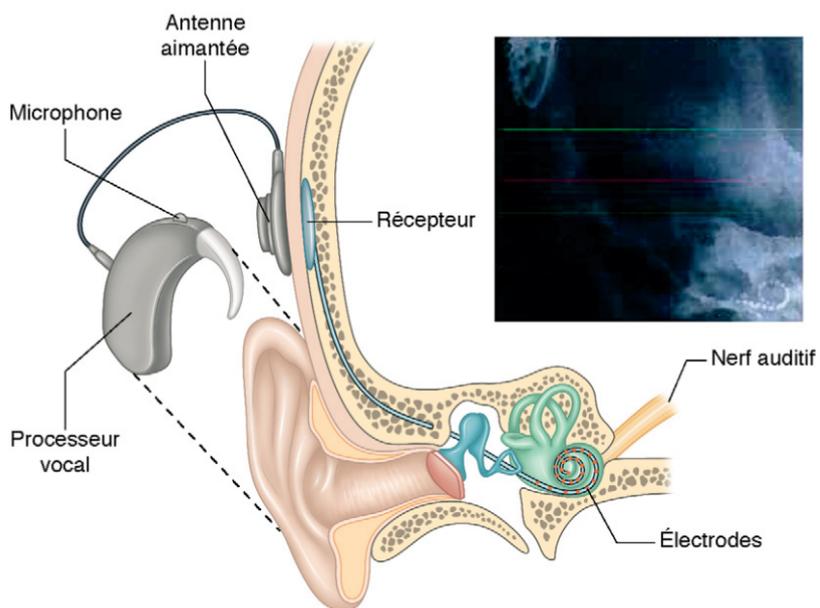
Annexe I



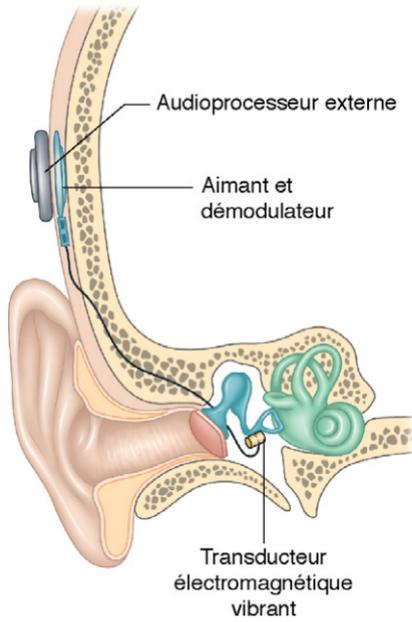
Annexe Ia. Les aides auditives.

Différents types de prothèses auditives, d'embouts, et leurs indications.

D'après Appareillage auditif conventionnel par voie aérienne. G. Lina-Granada et al. EMC, Oto-rhino-laryngologie, 20-185-C-15



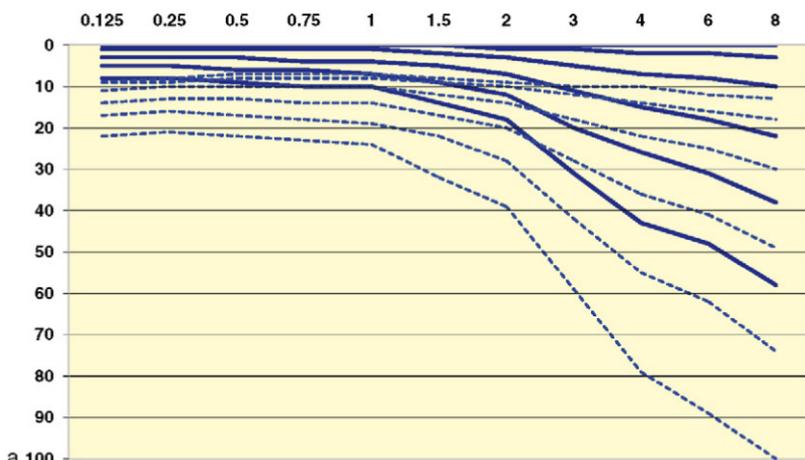
Annexe Ib. Le principe de l'implant cochléaire.



Annexe Ic. La prothèse implantable d'oreille moyenne à transducteur électromagnétique.

Annexe II

Valeurs de référence audiométriques en fonction de l'âge et du sexe

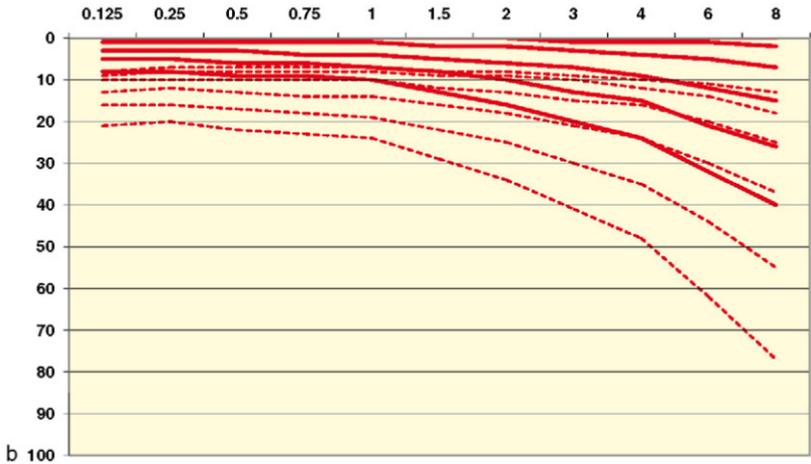


a. Audiogrammes de référence chez les hommes de 20 à 70 ans.

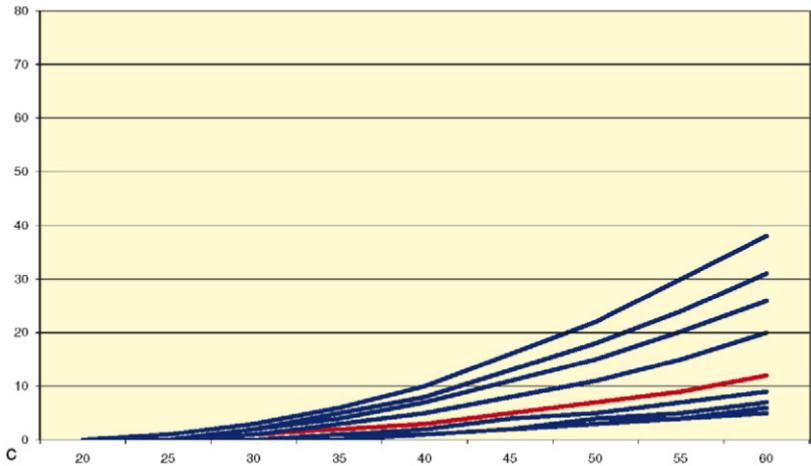
Les courbes en traits pleins sont les audiogrammes médians d'une population « otologiquement normale ». Ils représentent l'effet de la presbycusie physiologique moyenne. Les courbes en pointillés correspondent aux audiogrammes des 10% des sujets de la même population qui ont les seuils les plus bas. Ceci signifie que si l'audiogramme d'un patient montre des seuils audiométriques plus bas que la courbe en pointillés correspondant à sa tranche d'âge, il n'a que 10% de chance d'être normal.

Noter que la courbe audiométrique normale de la tranche 20 ans se confond avec l'axe des zéros, qui est précisément défini comme l'audiogramme médian d'une population otologiquement normale, des deux sexes, de 18 à 25 ans.

Les valeurs correspondant aux sujets âgés de plus de 60 ans sont données à titre indicatif. Il est probable, au vu des données épidémiologiques descriptives les plus récentes, qu'elles sont surestimées. La prochaine révision de la norme devrait les modifier.



b. Audiogrammes de référence chez les femmes de 20 à 70 ans.



c. Évolution des seuils tonals en fonction de l'âge.

Les seuils tonals évoluent en fonction de l'âge en suivant une fonction quadratique. Plus la fréquence est élevée, et plus l'effet de l'âge est important. Ici, la courbe orangée correspond à 2 kHz pour les seuils médians chez les hommes. Les courbes situées au-dessus correspondent aux médianes 3, 4, 6 et 8 kHz.

Annexe III

Annexe III. – Exemples d’examens audiométriques

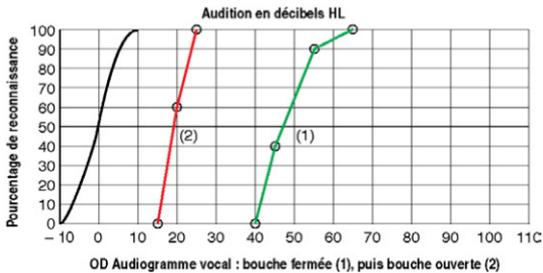
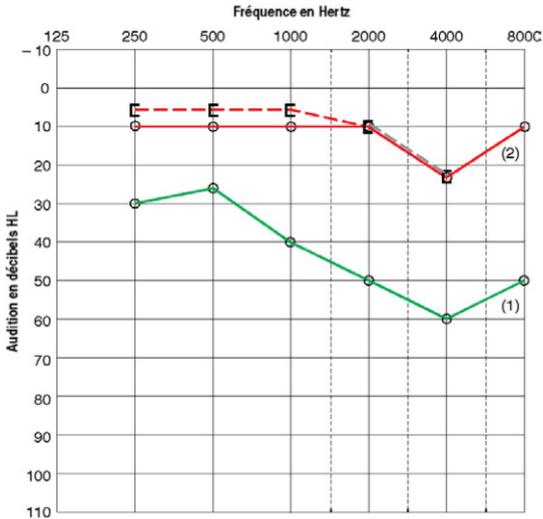
Ces exemples sont donnés pour :

- montrer que non seulement l’audiométrie permet de localiser le siège des lésions provoquant la surdité, mais que, par l’analyse de ses caractères, l’audiogramme peut orienter vers une plus grande précision ;
- souligner la vigilance que nécessite l’audiométrie pour en éviter les pièges.

Exemple 1

Une surdité intermittente trompeuse

Un homme d'une quarantaine d'années, aux antécédents familiaux d'otospongiose, se plaignait d'une surdité de l'oreille droite, survenant sur un mode intermittent. L'examen otoscopique n'avait décelé aucune anomalie. L'audiogramme tonal a mis en évidence une surdité de transmission droite avec un Rinne plus marqué sur les fréquences aiguës. L'audiométrie vocale correspondait parfaitement à la tonale. L'allure de la courbe tonale a amené à reprendre l'examen otoscopique et à découvrir que la perméabilité du conduit n'était parfaite que lors de l'ouverture buccale. Bouche fermée, le méat était totalement fermé par une tumeur du condyle. Un nouvel examen effectué bouche ouverte a montré une audition pratiquement normale.



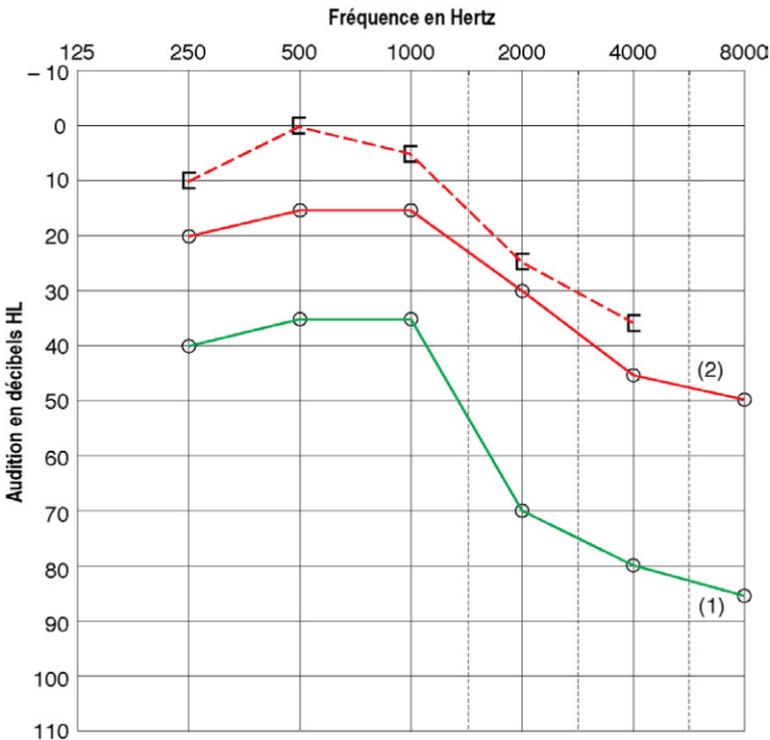
À retenir

Un Rinne plus marqué sur les fréquences aiguës doit attirer l'attention sur le conduit auditif externe.

Exemple 2

Surdité de transmission et collapsus postopératoire du méat auditif

Un homme d'une quarantaine d'années se plaignait de surdité de l'oreille droite depuis une intervention de masoïdectomie à l'âge de 10 ans. Il avait remarqué qu'une traction du pavillon améliorait son audition. La participation du collapsus semblait évidente, mais il importait de préciser l'état réel de l'audition avant une intervention de méatoplastie. Un premier examen audiométrique tonal a révélé une importante atteinte transmissionnelle prédominant sur les fréquences aiguës. Un audiogramme réalisé après mise en place dans le conduit d'un tube en plastique pour maintenir le méat perméable a montré que la part transmissionnelle était essentiellement due au collapsus.



Audiogramme tonal de OD sans (1), puis avec (2) un tube dans le conduit

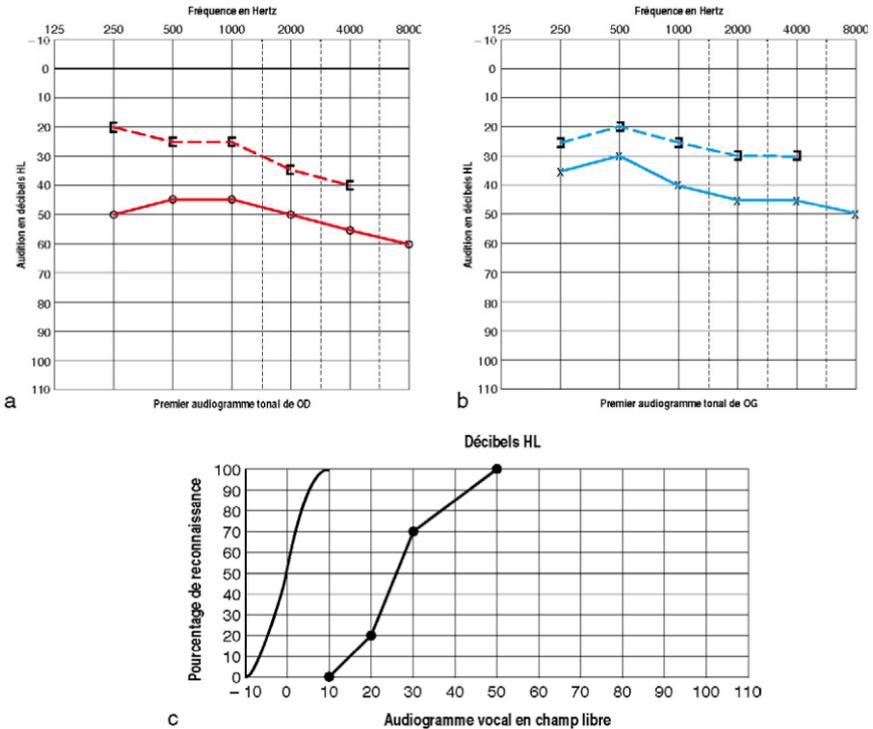
À retenir

Un collapsus du méat impose de recourir à un artifice pour rendre perméable le conduit auditif lors de l'examen audiométrique.

Exemple 3

Fausse atteinte de la transmission par collapsus du méat lié à la pression de l'écouteur

Une femme d'une soixantaine d'années a été adressée pour traitement d'une surdité mixte. L'otoscopie était normale. L'examen audiométrique a révélé une surdité mixte avec un Rinne d'environ 35 dB à droite et 25 dB à gauche. Mais la tympanométrie a mis en évidence un réflexe stapédien d'amplitude normale. L'audiométrie vocale en champ libre donnait un seuil d'intelligibilité nettement meilleur à celui que laissait présager l'audiométrie tonale. L'examen audiométrique a été repris en mettant un tube dans les méats auditifs, ce qui a fait disparaître le Rinne des deux côtés.



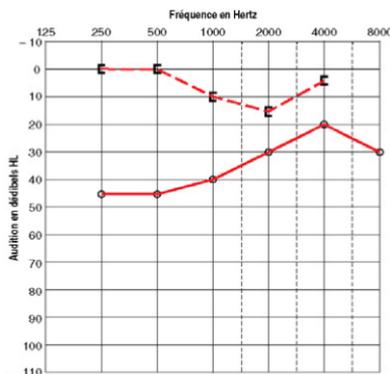
À retenir

La présence d'un réflexe stapédien avec une atteinte transmissionnelle doit faire évoquer, entre autres, la possibilité d'un collapsus du méat par pression de l'écouteur.

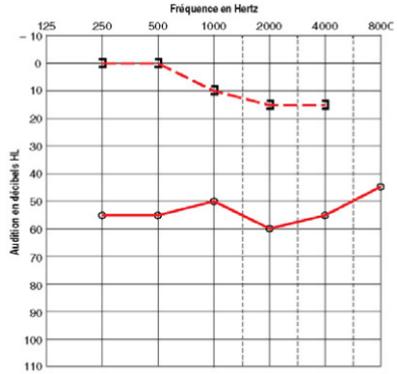
Exemple 4

Signification de l'encoche de Carhart

Les premières manifestations de surdité de l'otospongiose sont en rapport avec une augmentation de la rigidité de l'articulation stapédovestibulaire qui affecte surtout les basses fréquences. L'ankylose de la platine de l'étrier diminue l'intensité des vibrations transmises par le crâne lors de l'étude de la conduction osseuse (CO), principalement sur les basses et moyennes fréquences (voir pages 16 et 152). Le seuil de la CO se trouve abaissé de ce seul fait, en dehors de toute atteinte neurosensorielle, avec un Rinne moins important sur les fréquences aiguës (a). Cette « encoche de Carhart » disparaît d'ailleurs après une stapédecotomie. Elle n'existe pas en cas de surdité de transmission par interruption de chaîne. Voici deux exemples d'oreille droite avec surdité de transmission. Dans l'exemple présenté (b) d'une interruption traumatique de chaîne avec étrier normal, la légère baisse de la CO porte sur toutes les fréquences aiguës : elle n'a pas l'aspect d'une encoche.



a Audiogramme tonal OD typique d'otospongiose avec encoche de Carhart



b Audiogramme tonal OD typique de surdité de transmission par interruption de chaîne avec un tympan normal

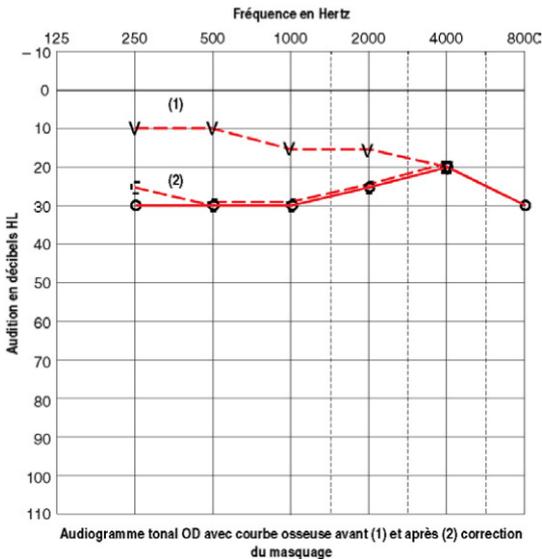
À retenir

L'allure du Rinne audiométrique varie selon la cause et doit donc concorder avec le diagnostic otologique.

Exemple 5

Fausse surdité de transmission faisant porter à tort une indication chirurgicale

Une femme d'une trentaine d'années a été adressée pour le traitement chirurgical d'une probable otospongiose de l'oreille droite. Sa surdité était apparue assez rapidement après une grossesse. La CO (1) du premier audiogramme montrait une surdité mixte de l'oreille droite et une audition normale à gauche. L'examen au diapason ne notait pas de latéralisation nette au test de Weber ; au test de conduction chondrale, la CO était à peu près identique à la conduction cartilagineuse des deux côtés. La tympanométrie était normale, avec un réflexe stapédien enregistré à droite par stimulation controlatérale. Un nouvel examen audiométrique montra (2) que la surdité droite était de type perception. Les potentiels évoqués auditifs (PEA) ont décelé à droite un allongement important de latences de l'onde V. Une imagerie par résonance magnétique (IRM) a fait découvrir un volumineux neurinome du VIII. Un défaut de masquage avait orienté à tort vers le diagnostic d'otospongiose avec une indication chirurgicale erronée. Toutefois, les résultats de l'acoumétrie et la présence du réflexe stapédien ne concordaient pas avec l'audiométrie.



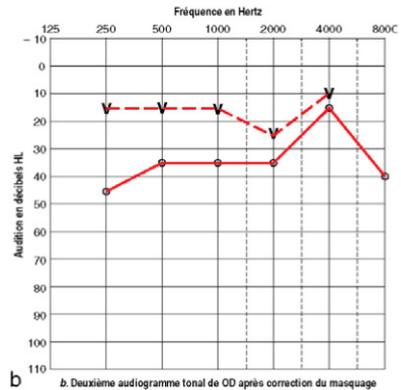
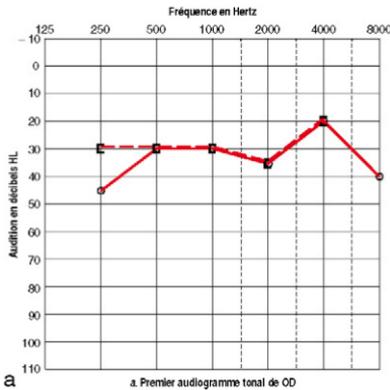
À retenir

Une discordance entre les résultats des tests acoumétriques et ceux des examens audiométriques doit inciter à reprendre ces examens.

Exemple 6

Fausse surdité de perception faisant recuser à tort une chirurgie fonctionnelle

Une femme de 45 ans, sans antécédent particulier, se plaignait d'une plénitude de l'oreille droite depuis 1 an. Un premier bilan audiométrique (a) avait montré une surdité de perception droite prédominant sur les fréquences graves. Des PEA révélèrent un allongement de latence de l'onde V à droite. L'IRM était normale. Lors du nouvel examen, quelques mois plus tard, le diapason montrait une nette latéralisation du Weber vers la droite et une CO meilleure que la conduction chondrale du côté sourd. Les réflexes stapédiens étaient absents des deux côtés. Le Weber audiométrique était latéralisé à droite sur les fréquences 250, 500, 1000 et 2000 Hz. L'audiométrie a mis en évidence une surdité mixte (b) avec une importante atteinte transmissionnelle sur les graves et une ébauche de surdité de transmission à gauche. Le scanner a confirmé le diagnostic d'otospongiose. Un excès de masquage avait créé une fausse surdité de perception, faisant réaliser des explorations inutiles, et privant au moins temporairement un patient d'une option chirurgicale pour le traitement de sa surdité. Le masquage initial avait été trop fort (65 dB pour le 250 Hz, 60 dB pour le 500 Hz, et 55 dB pour le 1000 Hz), alors qu'une intensité de 40 dB aurait été largement suffisante pour être efficace. Dans cet exemple, c'est l'acoumétrie qui a rapidement fait corriger l'erreur.



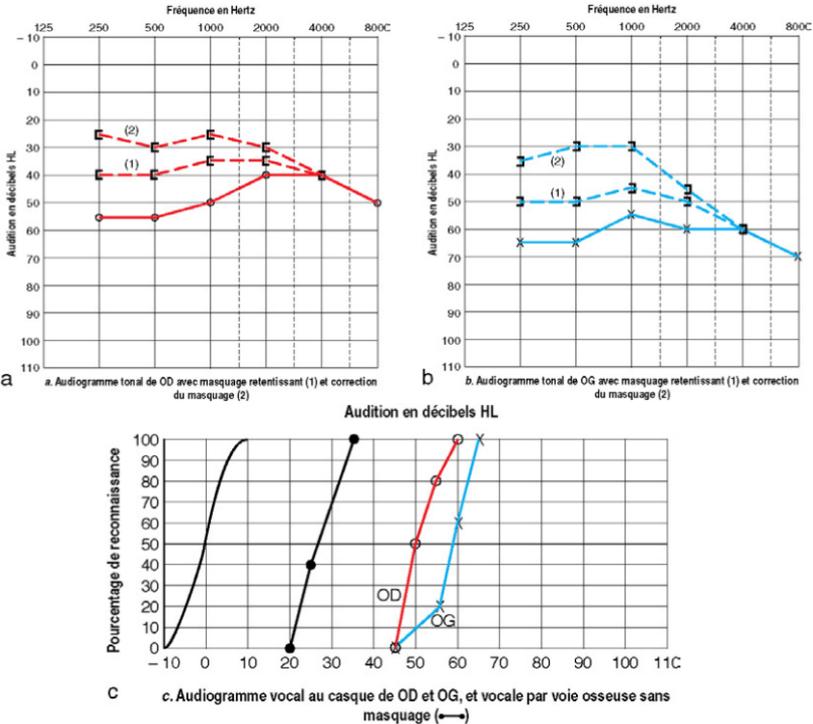
À retenir

Le masquage doit être utilisé avec modération et il vaut mieux se situer près de la valeur minimale efficace que de la valeur maximale théorique.

Exemple 7

Intérêt de l'audiométrie vocale en conduction osseuse

Une femme d'une quarantaine d'années avait une surdité bilatérale prédominant à gauche. L'otoscopie était normale. L'acoumétrie révélait l'existence d'une participation transmissionnelle. Un premier examen tonal mettait en évidence une conduction aérienne (CA) à environ 50 dB à droite (a), et à 60 dB du côté gauche (b). La CO correspondait à un Rinne de l'ordre de 15 dB. Une vocale (c) « redressée » plaidait pour une ankylose stapédo-vestibulaire avec un seuil d'intelligibilité correspondant bien à la tonale aérienne. Une vocale par CO a mis en évidence un seuil d'intelligibilité à 25 dB, ce qui correspondait à un Rinne nettement plus important que celui qu'indiquait l'examen tonal. Cet examen tonal a été repris en modifiant la technique de masquage, ce qui a permis de confirmer l'importance du Rinne et de proposer une intervention chirurgicale.



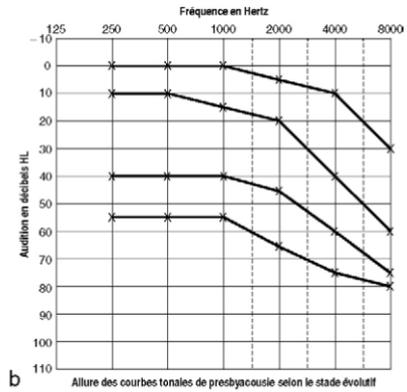
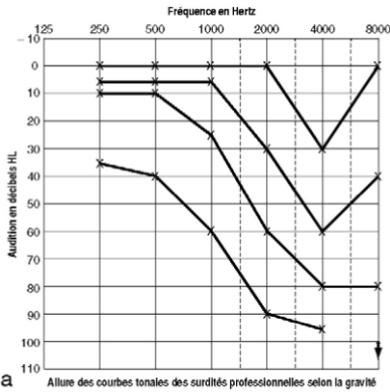
À retenir

Le recours à l'audiométrie vocale par voie osseuse permet, en cas de difficultés de masquage, de confirmer ou d'infirmer la valeur de la CO, du moins pour un côté.

Exemple 8

Presbycousie et surdité professionnelle

Un travailleur qui a dépassé la cinquantaine, lorsqu'il a travaillé en milieu bruyant, a au moins deux raisons d'avoir une surdité de perception bilatérale : presbycousie et traumatisme sonore. L'allure de la courbe tonale permet dans les cas typiques de donner une certaine orientation, soit vers une surdité professionnelle, soit vers une presbycousie. Mais les études statistiques indiquent de grandes variations d'évolution selon les groupes d'individus. Aussi, dans l'évaluation d'une surdité de perception bilatérale chez une personne qui a travaillé dans le bruit, est-il souvent difficile, voire impossible, de faire la part respective de ce qui revient à chacune des deux causes. D'autre part, il n'est pas inutile de rappeler que la marge d'erreur d'un audiogramme peut atteindre 5 dB. Il est important de garder cette notion présente à l'esprit lors des expertises de surdités professionnelles.



À retenir

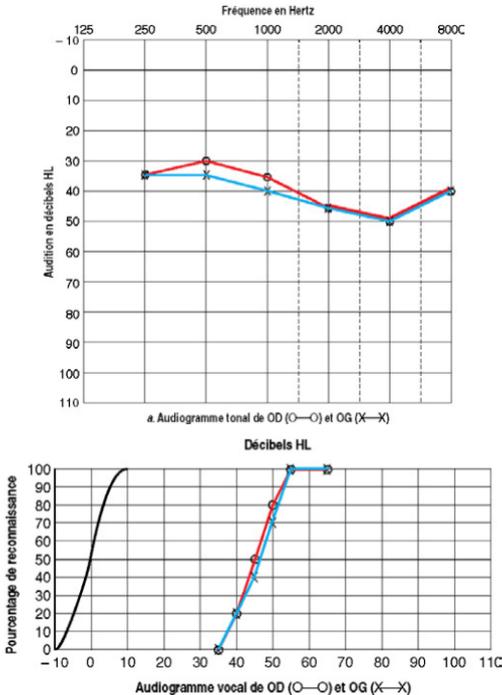
Tenter de déterminer avec précision la part relevant de la presbycousie pour une surdité de perception bilatérale chez une personne qui a travaillé dans le bruit risque de relever de l'arbitraire.

La marge d'erreur d'un audiogramme peut atteindre 5 dB.

Exemple 9

Atteinte centrale de l'audition révélée par un échec d'appareillage auditif

Un homme d'une cinquantaine d'années avait une surdité de perception bilatérale (a) pour laquelle il a eu deux essais d'adaptation prothétique. Malgré de nombreuses séances de réglages de ses aides auditives, une importante difficulté de compréhension persistait dans les ambiances bruyantes. La tympanométrie était normale, ainsi que les seuils du réflexe stapédien. L'audiométrie vocale classique (b) était en rapport avec la tonale. Il n'y avait pas d'altération des réponses des PEA. Le test d'intégration de Lafon révéla 20 % d'erreur à 90 dB avec un bruit de 60 dB et 35 % avec un bruit fort de 90 dB. On notait 30/40 erreurs à gauche au test dichotique et 25/40 à droite. L'IRM n'a montré qu'une atrophie corticale modérée (l'atrophie corticale n'a pas de valeur pathologique évidente ; en d'autres termes, elle ne confirme pas l'atteinte centrale).



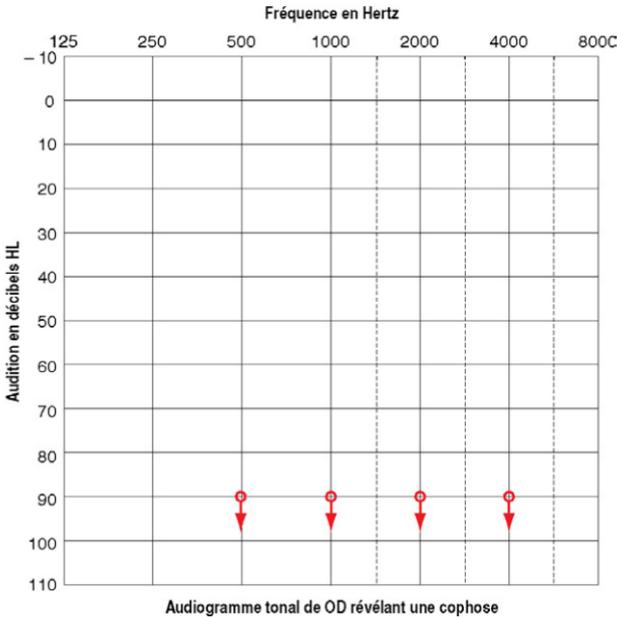
À retenir

Un échec d'essai prothétique qui n'est pas expliqué par les données des tests audiométriques standard doit faire évoquer une atteinte centrale de l'audition et réaliser des tests audiolinguistiques spécifiques.

Exemple 10

Simulation d'une cophose unilatérale chez une enfant

Une adolescente de 11 ans avait signalé à ses parents qu'elle n'entendait plus de l'oreille droite depuis quelques jours. L'apparition de la surdité aurait été brutale, sans circonstance particulière, sans acouphènes ni vertige. L'examen audiométrique tonal a été conduit avec une bonne collaboration de l'enfant. Lors du test tonal du côté droit, elle prétendait ne rien entendre même aux fortes intensités, alors que le masquage de l'oreille gauche n'avait pas été entrepris. Une telle réponse était incompatible avec le transfert dans l'oreille non testée qu'elle devait avoir au-delà de 50–55 dB. Les réponses à l'examen vocal ont été identiques. Les PEA ont permis d'objectiver la simulation. Pour ne pas déstabiliser l'enfant vis-à-vis de ses parents, on a informé qu'elle était guérie. De fait, la reprise de l'audiométrie a montré des courbes normales.



À retenir

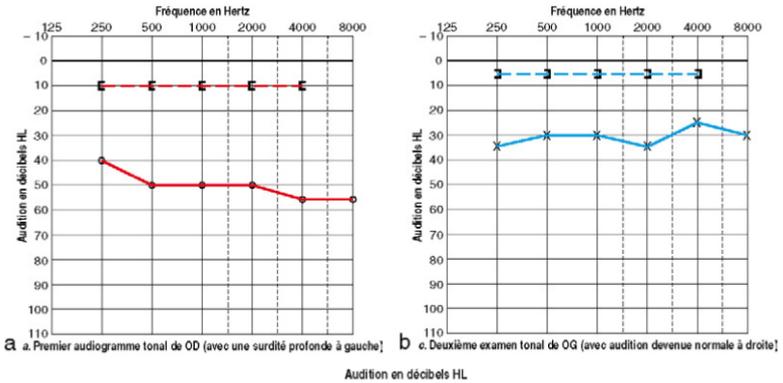
Chez un sujet se plaignant d'une surdité unilatérale très importante, l'absence de courbe fantôme sans masquage attire d'emblée l'attention vers une simulation.

Exemple 11

Exagération d'une surdité chez un enfant

Les parents d'un garçon de 9 ans suspectaient une surdité depuis plusieurs mois. L'enfant avait des difficultés scolaires et présentait des troubles de la parole et du langage. Des aérateurs transtympaniques bilatéraux avaient été enlevés 1 an plus tôt. Un premier examen audiométrique était en faveur d'une surdité moyenne à droite (a) et d'une surdité profonde à gauche. Une discordance entre les résultats de l'audiométrie tonale et ceux de la vocale (b) a éveillé l'attention. Il en a été de même du comportement théâtral de l'enfant qui ne cessait de faire répéter, en grimaçant. Les mots entendus qu'il répétait en audiométrie vocale n'avaient aucune ressemblance phonétique mais, en revanche, avaient une signification voisine (par exemple : coq pour poule, bonbon pour gâteau...), montrant bien qu'il les avait compris.

Après avoir expliqué à l'enfant qu'on avait pu améliorer son audition, les examens ont été repris. Ils ont mis en évidence une audition normale à droite et une surdité de transmission gauche d'environ 30 dB (c) expliquée par une otite séreuse.



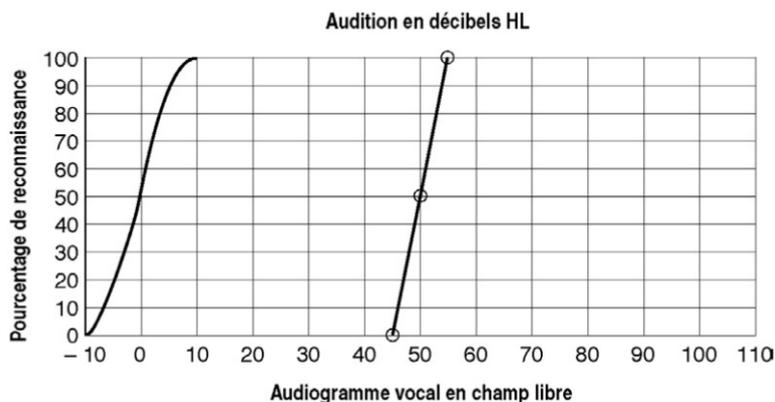
À retenir

Toute discordance entre les résultats de l'audiométrie tonale et ceux de la vocale impose de reprendre le test. Mais il faut permettre à l'enfant de ne pas « perdre la face » et qu'il n'ait pas l'impression d'avoir été « piégé » pour pouvoir obtenir sa collaboration lors du nouvel examen.

Exemple 12

Valeur de l'examen tonal chez un enfant de 3 ans

Les parents ainsi que l'institutrice suspectaient une surdité chez un enfant de 3 ans. Les examens ont été rendus difficiles par le manque de coopération de l'enfant. Son refus du casque a obligé à ne recourir qu'à des examens en champ libre. Un premier examen tonal a donné l'impression d'une audition subnormale. L'examen vocal avec les tests de désignation d'images a permis une bonne collaboration et a montré une surdité moyenne. Les PEA ont confirmé la surdité moyenne sur les fréquences explorées 2000 et 4000 Hz.



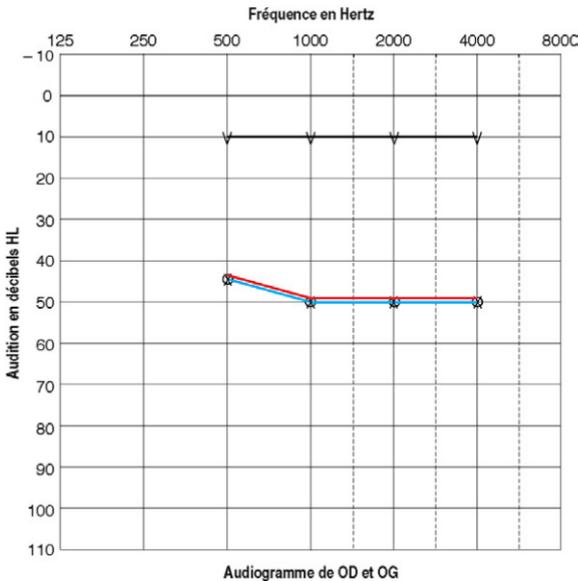
À retenir

Les résultats d'audiométrie vocale sont souvent plus fiables que les résultats d'audiométrie tonale chez un jeune enfant difficile à tester.

Exemple 13

Les difficultés du masquage chez l'enfant

Un enfant de 4 ans, de comportement difficile à l'école, présentait des troubles de la parole et du langage. L'examen otoscopique révélait une otite sérumqueuse bilatérale. Les résultats des tests d'audiométrie subjective montraient une courbe aérienne à 50 dB des deux côtés. Le masquage n'a pu être réalisé pour la CO car non compris par l'enfant ; la CO a paru normale des deux côtés. L'indication d'aérateurs a été posée mais les parents ont été informés de l'imprécision des données audiométriques, et d'une possible association d'une atteinte transmissionnelle d'un côté à une atteinte neurosensorielle de l'autre côté. Après la mise en place des aérateurs, l'audiométrie tonale a révélé la persistance d'une courbe à 30 dB à gauche, alors que l'audition s'était normalisée à droite. Plusieurs mois après, lorsque la technique du masquage a été comprise par l'enfant, l'examen a confirmé l'existence d'une surdité de perception à gauche de 30 dB.



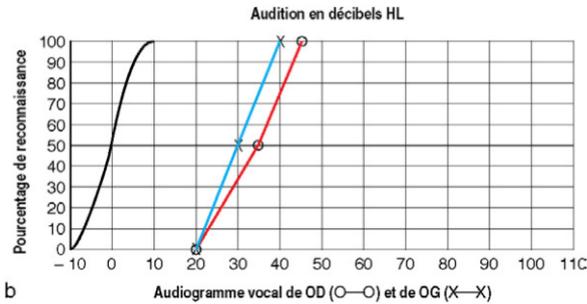
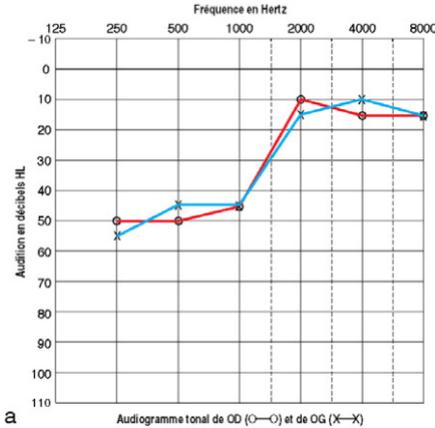
À retenir

Avant toute intervention sur les oreilles chez un enfant, il est essentiel d'expliquer aux parents les imprécisions de l'examen audiométrique préopératoire lorsque le masquage n'a pu être réalisé dans de bonnes conditions.

Exemple 14

Seuils normaux des potentiels évoqués auditifs et hypoacousie sur les basses fréquences

Un enfant de 5 ans a été adressé par son orthophoniste pour un examen systématique de l'audition, avant d'entreprendre une rééducation orthophonique pour des troubles de la parole et du langage. Malgré la normalité de récents PEA, une audiométrie subjective a été réalisée. L'audiométrie tonale a mis en évidence une surdité de perception bilatérale légère sur les fréquences 250 à 1000 Hz. L'audiométrie vocale a confirmé une surdité autour de 30 dB. Ces résultats pouvaient expliquer certaines difficultés dans le développement de la parole et du langage, nécessitant une rééducation orthophonique.



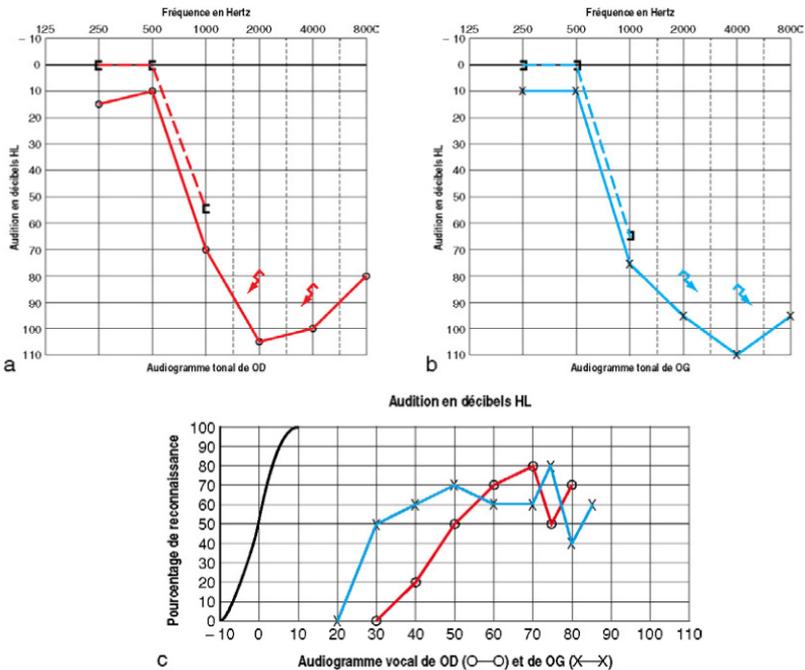
À retenir

Des seuils normaux obtenus aux PEA, qui n'explorent que les fréquences 2000 et 4000 Hz, ne permettent pas de conclure à une audition normale.

Exemple 15

Limites des potentiels évoqués auditifs chez l'enfant

Les parents d'un enfant de 3 ans suspectaient une surdité depuis plusieurs mois, d'autant plus que l'enfant présentait des troubles de la parole et du langage. L'absence de collaboration de l'enfant n'a permis aucune conclusion après le premier test d'audiométrie subjective. Aux PEA, aucune onde n'a été obtenue à 90 dB, tant à droite qu'à gauche. Les otoémissions acoustiques étaient absentes des deux côtés. La reprise des tests d'audiométrie subjective a mis en évidence une audition subnormale sur les fréquences 250 et 500 Hz, un seuil à 70 dB sur la fréquence 1000 Hz, et des seuils entre 95 et 110 dB sur les fréquences 2000 et 4000 Hz, tant à droite qu'à gauche. Il s'agissait donc d'une surdité bilatérale à la limite moyenne-sévère de 70 dB très plongeante sur les fréquences aiguës avec une mauvaise intelligibilité en audiométrie vocale et non d'une surdité profonde bilatérale, alors que l'examen par PEA pouvait laisser présager une surdité profonde.



À retenir

Les PEA précoces testent les fréquences comprises entre 2000 et 4000 Hz. Les seuils obtenus ne sont donc significatifs que pour ces fréquences. Les PEA doivent toujours être associés à des tests d'audiométrie comportementale étudiant les seuils sur toutes les fréquences.

Annexe IV

Annexe IV. – Listes de mots pour l'audiométrie vocale

1. Listes de mots dissyllabiques de Fournier

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
a)									
le bouchon	le râteau	le souci	le congé	le grillon	le logis	le trionyon	le fortin	le mandat	le baron
souper	domjon	tripot	mouton	terrain	destin	calot	troupeau	feuille	chagrin
rondin	sergent	balai	rouseau	soulier	perdreau	banquet	sermon	gâteau	tableau
grumeau	crémier	vallon	frelon	gazon	chalet	mépris	navet	vollier	flocon
rebut	niveau	saindoux	lapin	faisceau	lagot	jasmin	cadeau	fuscau	débat
glacéon	refrain	brigand	traité	billet	toupet	décrot	frépon	volcan	buffet
réchaud	veston	rouleau	caillot	rabais	compas	taureau	fémin	chanoit	dépôt
coffret	forban	défi	radis	plateau	béton	patron	cornet	jalon	bourdon
gamin	bûcher	bambin	bléon	cordon	tricot	chemin	tapis	chret	vaissseau
clavier	cachot	secret	ruban	tricket	froment	fracas	convoi	goudin	dossier
b)									
le pigeon	le repas	le dentier	le nougat	le poussin	le corbeau	le rubis	le talon	le réseau	le gigot
carnet	complot	boulon	devis	cheveau	fossé	voilet	joyau	buisson	contrat
novau	savon	hameau	baquet	forfait	clairon	frisson	filet	pavé	fandeu
jardin	curé	comfit	débris	mari	sentier	museau	diamant	genou	bruiquet
portrait	singlot	bonnet	guichet	bosquet	jarret	casier	cousin	bougeon	meïlon
biason	poulet	fusil	bijou	gaçon	ruisseau	wagon	danger	gradin	reduit
satut	châlon	rayon	cahier	striflet	ciné	grebot	manchot	filon	brochet
délat	sachet	bandeau	goujon	boffier	pièche	jargon	degré	diner	champion
sabot	remous	relais	dessin	cahot	débat	gousset	couteau	traineau	palais
jumeau	coquin	canon	coteau	taudis	maillot	monceau	neveu	capot	pinçon
c)									
le parfum	le rideau	le turbot	le cheveu	le carton	le progrès	le caisson	le moulin	le parent	le bossu
cachet	tampou	hoquet	citron	pruneau	marquis	lacet	pinneau	chapeau	gilet
ravin	boudin	plastron	rocher	regret	canot	colis	salon	talus	salon
dragon	vacher	raisin	caveau	dément	poignon	chiffon	cocher	forçat	jockey
lilas	débit	croquant	colin	soldat	lambeau	ferment	maçon	camion	prénom
recit	marteau	fourné	muguet	repect	colon	rognon	défaut	satin	béret
couvent	cadran	taquin	bouton	balcon	caillou	cyprès	paquet	moment	panneau
galon	requin	normand	verrier	bilan	gibier	barreau	matin	poison	repli
courrier	goudron	poisson	fourné	dépôt	soupeon	duvet	brouillon	chevet	sommier
crapaud	clocher		bassin	rachat	poateau	milieu	tourment		
d)									
le coupon	le reflet	le sapin	le cadet	le crayon	le galop	le bureau	le bateau	le blaireau	le verglas
marché	croquis	corset	bidon	château	livret	chantier	croton	levain	côté
doyen	charbon	renom	jury	fusain	défunt	tournoi	serpent	saumon	marion
torrent	moineau	serment	sursaut	déloit	laquais	chignon	crédit	roman	ciseau
festin	degot	radeau	rentier	glouton	plafond	format	lamplion	déclin	berger
projet	valet	flacon	baudet	tréteau	tréteau	crochet	roulis	parquet	rôti
châsson	châsson	coussin	bourreau	devoit	poulain	bandit	brevet	trousseau	trouper
drapeau	juron	foyer	recu	talent	devoit	refus	tracas	surmon	surmon
pari	dicet	pardon	combat	boyaou	ballon	ballon	voisin	rivet	boulet
sujet	fragment	hibou	lingot	cerveau	menton	patin	rameau	musée	cerveau

2. Listes de mots monosyllabiques de Fournier

(1)	lac danse poule cire fève malle rince tank rampe panne	laide bile mare taupe sens chute jade crime prose vente	soif dalle rire songe laisse boîte lourd rame tôle cœur	rite nuque tome guêpe coule dites muse sonde troupe canne	ligue ronde vigne sort dur code lave riche traîne nasse
(2)	lande corps fil messe nappe rogue saute cave toile dire	scène gare tripe vache tic beurre lippe monde sève cape	tel rhume pic geôle tonde ville datte baume loupe ruse	sac conque moule pire soigne crèche rance soute lune dose	narre truffe lange prince transe chatte rime tante part doute
(3)	moine pente trousse nef chasse bande serre lame roide paume	cil mur sente val dîme cause tonte genre preuve type	rude cime genre ronce douce laine pile bac côte môle	signe dague roule suc lance compte niche vol rade duc	tige caisse feinte rave soupe col gaz terre trappe lire
(4)	ligne bouc dune rompe cale mer site natte raide gamme	trêve soir lente chose soude dette mille ponte rive cage	rente saule tir dupe lasse rôle sauce biche sourd crête	lard nippe toise femme prune chance lime tape pince dol	tour vague lampe trac veuf col ride jonque mule pense

3. Listes de mots pour le test cochléaire de Lafon

Ces mots sont répartis dans 16 listes. Les deux premières ont été utilisées pour montrer un exemple concret.							
Nom :		Prénom :				Âge :	
Liste 1		Liste 2		Liste 3		Liste 4	
I :	dB	I :	dB	I :	dB	I :	dB
bu/é/e	u l	bile	+	bouée		abbé	
rid/e	p	dors	+	rôde		sud	
fo/c/	â t	f/il	s	fente		fausse	
agis	+	s/age	F	tige		joute	
va/g/ue	E t	gaine	+	grain		dogue	
crac	+	cru	+	cave		acquis	
lo/be	E	boule	+	bulle		ville	
mieux	+	mu/le	i	somme		mare	
n/atte	m	bonne	+	Maine		noce	
col	+	cale	+	preux		appas	
fort	+	rive	+	bord		route	
soupe	+	sol	+	rouille		cil	
tonte	+	tempe	+	site		fête	
vèle	+	fauve	+	saue		veule	
n/age	m	phas/e	v	oser		chaise	
souche	+	cha/t/te	o p	chance		hache	
rogn/e	n	règne	+	gagne		souille	
erreurs : 11/50		erreurs : 6/50		erreurs : .../50		erreurs : .../50	

Scores :

Liste 1 : sans lecture labiale à 40 dB : 78 % de réussite

Liste 2 : avec lecture labiale à 40 dB : 88 % de réussite

4. Listes cochléaire de Lafon (suite)

(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
balle	bille	brin	bol	bois	tube
soude	doute	drap	rade	dard	dalle
nef	faine	faïlle	touffe	faute	four
change	longe	sauge	gêne	gîte	jante
gagne	gave	langue	raïde	ganse	gaz
trou	tasse	molle	étang	cahot	caisse
malle	seul	sotte	roule	élan	folle
tonne	ami	mille	mise	amas	mainte
mur	chêne	naine	année	mine	saine
peur	pré	pire	pile	père	nappe
râpe	front	pur	sort	tronc	pris
puce	sur	suer	masse	passe	soute
cor	crin	tank	bac	tord	rite
vite	vol	rêve	fève	voix	bave
rance	ruse	vase	pince	pèse	bouse
mouche	louche	mèche	manche	bûche	riche
filie	bagne	teigne	saïgne	paille	peigne
(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
brun	bec	biche	beurre	béat	bien
lande	dru	rôle	rude	date	ronde
face	franc	feinte	fané	frein	fade
neige	bouge	jute	lange	range	beige
dague	gomme	ligne	figue	gale	grue
sec	rut	cure	pic	souk	couche
tôle	pâle	moule	latte	lègue	lasse
meule	thème	sème	mousse	mate	pâme
fine	orne	anis	laine	naisse	anneau
prend	épais	pour	patte	port	épée
serre	tard	gris	ronge	meurt	race
peint	soie	somme	selle	sauf	soute
voûte	teinte	sente	menthe	taille	motte
tri	vif	sève	vieux	avis	vide
thèse	sauve	rase	bis	muse	case
arche	fiche	poche	chape	biche	niche
pigne	pagne	agneau	caille	digne	ligne

5. Listes d'intégration

<i>Liste I</i>									
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)					
A	mare	K	conte	B	bile	CH	chaise	V	Var
K	quinte	V	rave	E	mère	F	fil	S	seize
AN	tante	O	mort	L	lime	B	bar	Y	rail
N	narre	IN	pinte	CH	char	I	mire	P	ponte
CE	meurt	D	dard	IN	teinte	P	pile	T	tard
J	rage	S	cil	N	nil	R	rare	U	mur
N	Nîmes	L	lard	P	par	E	tête	M	mille
G	gare	OU	toute	A	tâte	M	mime	F	far
CH	chyle	Z	rase	J	jarre	K	car	V	ville
F	fez	L	Lille	S	race	J	Gilles	ON	tonte
<i>Liste II</i>									
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)					
M	malle	K	quoi	P	passé	R	reine	V	voix
N	naine	J	gêne	E	mêle	S	soit	I	mille
OU	moule	O	môle	AN	rance	K	casse	T	Taine
F	fâine	P	pois	G	gaine	P	pelle	ON	ronce
M	masse	OU	rousse	N	noix	L	laine	T	tasse
T	tel	Z	chose	CE	meule	IN	rince	P	peine
L	lasse	U	mule	K	quel	B	bois	O	rosse
D	doit	N	nasse	S	chausse	S	saine	J	joie
V	veine	L	loi	M	Maine	F	chauffe	R	race
T	toi	CH	chêne	F	foi	U	russe	M	moi

Un seul phonème est testé par mot. Si les autres phonèmes sont déformés, on n'en tient pas compte. On note le nombre de phonèmes déformés par liste de 10 mots (cf. Audiométrie vocale, p. 75-76).

Annexe V

Annexe V. – Barème fonctionnel indicatif des incapacités en droit commun (proposé par la Société de médecine légale et de criminologie de France)

Perte auditive en décibels	0-25	25-35	35-45	45-55	55-65	65-80	80-90
0-25	0	2	4	6	8	10	12
25-35	2	4	6	8	10	12	15
35-45	4	6	10	12	15	20	25
45-55	6	8	12	15	20	25	30
55-65	8	10	15	20	30	35	40
65-80	10	12	20	25	35	45	50
80-90	12	15	25	30	40	50	60

Document Concours médical

Taux indicatif de déficit physiologique en fonction de la perte auditive globale (selon les résultats de l'audiométrie tonale en CA). Il s'agit de taux indicatifs qui doivent être corrélés à un éventuel état antérieur, au vieillissement physiologique de l'audition, parfois aux possibilités d'appareillage.

L'évaluation de la perte auditive dépend des circonstances de cette évaluation.

En droit commun, elle se base encore sur la formule :

$$\frac{(500 + 1000 + 2000)}{3} \frac{(3000 + 4000 + 6000)}{3} \frac{(2 \times 500 + 4 \times 1000 + 3 \times 2000 + 4000)}{10}$$

Pour les surdités professionnelles, depuis 2003, la formule retenue pour donner plus de poids au 4000, est :

$$\frac{(500 + 1000 + 2000 + 4000)}{4}$$

- le déficit audiométrique bilatéral par lésion cochléaire irréversible est évalué par une audiométrie réalisée après cessation de l'exposition, irréversible d'au moins 3 jours ;

- l'audiométrie doit être tonale et vocale, effectuée en cabine insonorisée avec un audiomètre calibré ;
- aucune évolution du déficit ne peut être prise en compte après l'expiration du délai de prise en charge (sauf cas de nouvelle exposition au risque) (cf. p. 237).

Annexe VI

Annexe VI. – Audition et niveaux sonores ambiants

Possibilité de conversation	Sensation auditive	Nbre dB	Bruits intérieurs	Bruits extérieurs	Bruits des véhicules
À voix chuchotée	Seuil d'audibilité	5	Laboratoire d'acoustique		
	Silence inhabituel	5	Laboratoire d'acoustique		
	Très calme	10	Studio d'enregistrement Cabine de prise de son		
			15		Feuilles légères agitées par vent doux dans jardin silencieux
	Calme	20	Studio de radio	Jardin tranquille	
			25	Conversation à voix basse à 1,50 m	
			30	Appartement dans quartier tranquille	
			35		
À voix normale	Assez calme	40	Bureau tranquille dans quartier calme		
		45	Appartement normal	Bruits minimaux le jour dans la rue	Transatlantique de première classe
Assez forte	Bruits courants	50	Restaurant tranquille	Rue très tranquille	Auto silencieuse

Annexe VI (Suite)

Possibilité de conversation	Sensation auditive	Nbre dB	Bruits intérieurs	Bruits extérieurs	Bruits des véhicules
	Bryant mais supportable	60	Grands magasins Conversation normale Musique de chambre	Rue résidentielle	Bateau à moteur
		65	Appartement bruyant		Automobile de tourisme sur route
		70	Restaurant bruyant Musique	Circulation importante	Wagons-lits modernes
		75	Atelier dactylo Usine moyenne		Métro sur pneus
Difficile	Pénible à entendre	85	Radio très puissante Atelier de tournage et d'ajustage	Circulation intense à 1 m	Bruits de métro en marche Klaxon d'auto
		95	Atelier de forgeage	Rue à trafic intense	Avion de transport à hélices à faible distance
Obligation de crier pour se faire entendre	Très difficilement supportable	100	Scie à ruban Presse à découper de moyenne puissance	Marteau-piqueur dans rue à moins de 5 m	Moto sans silencieux à 2 m Wagon de train
		105	Raboteuse		Métro (intérieur de wagon de quelques lignes)
		110	Atelier de chaudronnerie	Rivetage à 10 m	Train passant dans une gare
Impossible	Seuil de douleur Exige une protection spéciale	120	Banc d'essais de moteurs		Moteur d'avion à quelques mètres
		130	Marteau-pilon		
		140	Turboréacteur au banc d'essais		

Lectures conseillées

- Arlinger S. Manual of practical audiometry. Vol. 2. Londres, New Jersey : Whurr Publishers ; 1991.
- Arriaga MA, Luxford WM. Impedance audiometry and iatrogenic hearing loss. *Otolaryngology. Head Neck Surg* 1993 ; 108 : 70-2.
- Aubin A. Cours international d'audiologie clinique. Paris : Maloine ; 1952.
- Aubry M, Lemarié A. Précis d'oto-rhino-laryngologie. Paris : Masson ; 1949 p. 50-85.
- Botte MC, Canévet G, Demany L, Sorin C. Psychoacoustique et perception acoustique. Série audition. Paris: Inserm/SFA/CENT ; 1988.
- Browning GG, Swan IR. Sensitivity and specificity of Rinne tuning fork test. *BMJ* 1988 ; 297 : 1381-2.
- Browning GG. Clinical otology and audiology. 2^e éd., Londres : Butterworth International ; 1998.
- Buser P, Imbert M. Audition. Neurophysiologie fonctionnelle III. Paris : Hermann ; 1987.
- Collège national d'audioprothèse. Édition des précis d'audioprothèse.
- Condamines R. Acoustique psychophysique. Paris : Masson ; 1986.
- Decroix G, Lafon JC, Morgon A, Portmann C. L'audiométrie du praticien. Rapport de la Société française d'oto-rhino-laryngologie et de pathologie cervicofaciale. Paris : Arnette ; 1972.
- Fournier JE. Abrégé d'audiométrie. Bruxelles : Previnaire ; 1948.
- Fournier JE. Audiométrie vocale. Les épreuves d'intelligibilité et leurs applications au diagnostic, à l'expertise et à la correction prothétique. Paris : Maloine ; 1951.
- Fournier JE. Les problèmes audiométriques de la cophochirurgie. In : Aubry M. La chirurgie de la surdité. Paris : Masson ; 1959. p. 118-55.
- Gelfand SA. Essential of audiology. New York : Thieme Medical ; 2009.
- Gelis C. Bases techniques et principes d'application de la prothèse auditive. Montpellier : Sauramps ; 1999.
- Hirsh I. La mesure de l'audition. Traduction J. Bouche. Paris : PUF ; 1956.
- ISO 8253-1. Acoustique. Méthodes d'essais audiométriques. Partie 1 : Audiométrie à sons purs en conduction aérienne et en conduction osseuse. 2010.
- ISO 8253-2. Acoustique. Méthodes d'essais audiométriques. Partie 2 : Audiométrie en champ acoustique avec des sons purs et des bruits à bande étroite comme signaux d'essai. 2009.
- ISO 8253-3. Acoustique. Méthodes d'essais audiométriques. Partie 3 : Audiométrie vocale. 1996.
- ISO 6189. Audiométrie liminaire en conduction aérienne pour les besoins de la préservation de l'ouïe. 1983.
- Jacobson JT, Northern JL. Diagnostic audiology. Austin : Pro-ed ; 1991.
- Jacobson JT. The auditory brain response. Londres : Taylor & Francis ; 1985.
- Katz J, Medwetsky L, Hood LJ, Burkard RJ. Handbook of clinical audiology. 6^e éd. Philadelphie : Lippincott Williams & Wilkins ; 2009.
- Lehmann R. Éléments de physiologie et de psychoacoustique. Paris : Dunod ; 1969.
- Leipp É. Acoustique et musique. 4^e éd. Paris : Masson ; 1997.

- Martin FN, Clark JG. Introduction to audiology. 10^e éd. Boston : Allyn and Bacon ; 2009.
- Ogusthorpe JD, Melnick W. éd. Clinical audiology. Otolaryngol Clin North Am 1991 ; 24 (2) : 233-477.
- Parisse J. La valeur audiométrique des diapasons. Annales d'Otolaryngologie 1954 ; 71 : 67-87.
- Portmann M. La mesure impédancemétrique n'est pas toujours sans risques. Rev Laryngol 1980 ; 101 : 181-2.
- Portmann M, Portmann C. Précis d'audiométrie clinique. 6^e éd. Paris ; Masson ; 1988.
- Roeser R, Valente M, Horsford-Dunn H. Audiology : diagnosis, 2^e éd. New York : Thieme Medical ; 2007.
- Société française d'audiologie. Guide des bonnes pratiques en audiométrie de l'adulte.
- Société française d'audiologie. Guide des bonnes pratiques en audiométrie de l'enfant.
- Vincent M. Éléments d'acoustique générale. De quelques lieux communs de l'acoustique à la maîtrise des champs sonores. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2007.

Index

A

absorption du son, 201
acoumètrie, 245
– à la montre, 2
– au diapason, 2
– vocale, 1
acoustique
– du bâtiment, 200
– physique, 189
adaptation pathologique, 51, 99, 226
admittance, 83
aides auditives, 181, 268
aire d'audition, 221
appareillage auditif chez l'enfant, 159
audibilité, 221
audiogramme
– américain, 27
– clinique, 27
– de Wegel, 206
audiomètre, 14
audiométrie
– automatique, 55
– – à fréquences fixes, 58, 59
– – à fréquences glissantes, 56
– – par balayage fréquentiel, 59
– comportementale, 145, 178
– hautes fréquences, 59
– objective, 103
– supraliminaire, 49
– tonale
– – en champ diffus, 26
– – liminaire, 23
– vocale, 63
– – classique (intérêt), 72
– – de l'enfant, 154
– – en champ diffus, 65
audioprothèse, 75
– chez l'enfant, 75
– et audiométrie, 75, 80
audioprothésiste, 177
audition binaurale, 226, 231

B

babymètre, 167
bande critique, 227
Bekesy, 56
Bing acoumètrie, 7, 216
bouchons d'oreille, 241
bruit, 196
– blanc, 29, 196, 205
– impulsionnel, 236
– mesurage, 233
– rose, 196

C

cabine audiométrique, 13
Carhart, 22, 55
champ auditif, 221
champs acoustiques, 201, 209
clics, 205
compliance statique, 89
compression, 181
conduction
– aérienne, 25
– chondrale, 9
– osseuse, 25, 214
contrôles du matériel, 18
conventions graphiques, 68, *Voir transcription des résultats*
cophose, 217
courbe
– d'accord, 231
– d'intelligibilité, 66
– fantôme, 29
– isosonique, 225

D

dB HL, 65, 193, 207
dB HTL, 209
dB nHL, 109
dB SPL, 206
dB(A), 199

décibel, 190
 – addition, 192
 – définition, 191
 démasquage binaural, 231
 dépistage
 – à la naissance, 166, 170
 – de la surdité, 239
 – en médecine du travail, 233
 diapason, 2
 DP-gram, 129

E

écouteurs, 15
 effet *on-off*, 87
 égale énergie acoustique, 233
 électrocochléographie (ÉchoG), 117
 encoche de Carhart, 22

F

fatigue, 54
 force vibratoire, 213
 formules de masquage, 35
 fréquence de résonance, 212

G

gain prothétique, 187
 gamme, 223
 gradient, 90

H

hearing level, 65

I

immitance, 83
 impédance, 83
 – d'électrode, 140
 impédancemétrie, 85
 – multifréquentielle, 100
 implants cochléaires, 135
 implants d'oreille moyenne, 184
 indice global d'audition, 80
 infirmière scolaire, 175

J

Jerger, 56
 jouets sonores, 173

L

larsen, 182
 législation, 237
 Leq, 234

listes de Fournier, 66
 logatomes, 64

M

masquage, 67, 229
 – central, 232
 – de l'oreille controlatérale, 28
 – formules de, 35
 – ipsilatéral par voie osseuse, 45
 – par la recherche d'un plateau, 40
 – retentissant, 244
 masse ossiculaire, 212
 matériel phonétique, 63
 maturation du système
 auditif, 143
 maximum d'intelligibilité, 69
 médecin
 – généraliste, 173
 – pédiatre, 173
 – scolaire, 175
 mesurage du bruit, 233
 moyennage, 107

N

Newton, 190, 213
 niveau liminaire
 – d'intelligibilité vocale, 68
 – de perception vocale, 69

O

octave, 222
 onde acoustique, 190
 ossivibrateur, 15
 otoémissions acoustiques, 120, 134, 167,
 178
 – enregistrement, 121
 – intérêt clinique, 123
 – résultats, 123

P

Pascal, 190
 PEAPé, 137, 141
Peep-Show, 152
 perte auditive, 60, 237
 phone, 224
 phonème, 74
 physioacoustique, 205
 pièges de l'audiométrie, 243
 pondérations, 198
 population à risque, 163

potentiel

- d'action composite, 119
- d'électrode, 138
- de sommation, 119
- microphonique, 118
- potentiels évoqués auditifs (PEA), 103, 135, 178
- automatisés, 115, 169
- de l'enfant, 157
- interprétation, 114
- précoces, 104
- problèmes techniques, 109
- résultats « normaux », 111
- précautions, 18
- pression acoustique, 190
- produits de distorsion, 127
- propagation du son, 189
- protections individuelles, 240
- psychoacoustique, 219

Q

- quantification de l'audition
 - en audiométrie tonale, 60
 - en audiométrie vocale, 80
 - pour l'enfant, 160

R

- rapport signal/bruit, 229
- réflexe
 - d'orientation conditionné (ROC), 150
 - d'orientation-investigation, 148
 - stapédien, 84, 91, 134, 211
 - dans les cophoses, 100
 - dans les surdités de transmission, 96
 - dans les surdités endocochléaires, 98
 - dans l'otospongiose, 97
 - modes de transcription, 93
 - technique de recherche, 92
 - retentissement de la surdité, 165
 - rigidité, 83
 - ossiculaire, 212
 - Rinne
 - acoumétrique, 6
 - audiométrique, 21
 - risques des examens audiologiques, 251

S

- SAL test, 47
- score
 - de discrimination, 66, 71
 - maximal de reconnaissance vocale, 69
- sélectivité fréquentielle, 230
- sensibilité de l'oreille, 69
- seuil
 - aérien, 41
 - auditif, 220
 - d'inconfort, 221
 - d'intelligibilité, 66, 70
 - vocale, 68
 - d'intolérance ou d'inconfort, 221
 - de sensibilité vocale, 69
 - différentiel, 223
 - osseux, 42
 - en audiométrie vocale, 66
 - subjectif d'inconfort, 51
- simulation, 246
- SISI-test, 54
- sommation
 - des signaux, 107
 - des sons, 227
- son
 - continu, 54
 - modulé, 24, 205
 - pulsé, 24, 205
 - vobulé, 24
- sonagramme, 196
- sone, 226
- sonie, 224
- sonotraumatismes, 233
- speech noise*, 64, 68, 205
- spondées, 64
- STAR, 93, 211
- surdité
 - centrale, 131
 - de perception, 70
 - de transmission, 70
 - différents types, 50
 - professionnelle, 237, 238

T

- test
 - comportemental, 138, 152
 - de balance de Fowler, 52

- de Carhart, 248
- de configuration, 134
- de Hirsch, 79
- d'inconfort, 180
- d'intégration, 75
- d'intégrité, 138
- d'intelligibilité dans le bruit, 77
- de Lafon, 74, 132
- de Lüscher, 223
- de Rainville, 45
- de Stenger, 248
- dichotique, 132
- G2Larg, 101
- phonétique, 73, 156
- tone bursts*, 205
- tone decay test*, 54
- transcription des résultats
 - du réflexe stapédien, 91
 - test d'intégration, 75
- transducteurs, 16
- transfert crânien, 216
- traumatisme sonore, 251

- tympanogramme
 - amplitude, 90
 - compensé, 89
 - de compliance, 89
 - de volume, 88
 - en unités relatives, 91
- tympanomètre, 85
 - appareil de dépistage, 94
- tympanométrie, 83, 156
 - courbes pathologiques, 94

V

- valeur de masque, 30
- volume
 - équivalent, 83
 - sonore, 83

W

- Weber
 - acoumétrique, 4
 - audiométrique, 19
 - vocal, 21
- Weber-Fechner, 219
- Wegel (audiogramme de), 207