

# Intégration du diagnostic de zone morte cochléaire dans le processus d'adaptation des aides auditives

**Kevin J. Munro, PhD**

*Maître assistant en audiologie  
School of Psychological Sciences,  
Université de Manchester, UK*

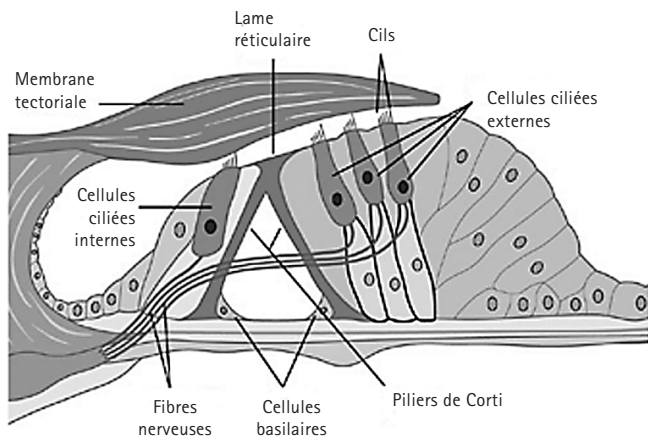
## Introduction

On sait que les pertes auditives neurosensorielles s'accompagnent de déficits supraliminaire tels que des dégradations des résolutions fréquentielles et temporelles. Jusqu'à présent, peu de méthodes d'appareillage ont pris en compte ces déficits supraliminaire pour déterminer les paramètres d'adaptation optimaux d'une aide auditive donnée. De récentes recherches semblent cependant indiquer que des méthodes qui évalueraient l'étendue des zones mortes cochléaires pourraient avoir un impact sur certains aspects de la prescription optimale du gain en fonction de la fréquence. Les besoins prothétiques peuvent être différents si les sujets présentent ou non des zones mortes cochléaires. Des méthodes d'appareillage, nouvelles ou actualisées, devraient disposer d'une formule optionnelle à utiliser quand des zones mortes cochléaires ont été mises en évidence (Dillon, 2006). Diagnostiquer la présence et l'étendue des zones mortes cochléaires peut avoir d'importantes implications cliniques en termes de conseil et d'appareillage.

L'objectif de ce Phonak Focus est de fournir aux audioprothésistes une vue d'ensemble des découvertes récentes sur les zones mortes cochléaires. Il se concentre principalement sur les zones mortes dans les aigus car les pertes auditives aiguës représentent de loin la configuration audiométrique la plus fréquente chez les malentendants appareillés. Ce document est divisé en chapitres qui traitent des questions suivantes:

1. Qu'est-ce qu'une zone morte cochléaire?
2. Certains malentendants ont-ils une zone morte cochléaire?
3. Y a-t-il une configuration audiométrique associée aux zones mortes cochléaires?
4. Existe-t-il un test clinique permettant d'identifier les zones mortes cochléaires?
5. Que savons-nous de la prévalence des zones mortes cochléaires?
6. Quelles sont les conséquences des zones mortes cochléaires pour l'appareillage?
7. Reste-t-il des questions en suspens?

**Figure 1**  
Cellules ciliées externes et internes de la cochlée. On les appelle des cellules ciliées car les stéréocils ressemblent à des touffes de poils. Les cellules ciliées internes et externes ont des fonctions très différentes. La rangée unique de cellules ciliées internes a pour rôle de transformer les vibrations mécaniques en un signal électrique. Les cellules ciliées externes jouent un rôle fondamental dans le mécanisme actif de la cochlée. Source: [www.fleshandbones.com](http://www.fleshandbones.com)



Les lecteurs qui souhaitent avoir des informations plus détaillées sur les concepts, les diagnostics et les implications cliniques des zones mortes cochléaires sont invités à consulter les articles exhaustifs de Moore (2001, 2004).

## 1. Qu'est-ce qu'une zone morte cochléaire?

Le terme de zone morte cochléaire est apparu pour la première fois dans la littérature il y a environ 10 ans (Moore et al., 1996), bien que les notions de «lacunes» ou de «trous» dans l'audition aient déjà été évoquées depuis très longtemps (par exemple Troland 1929; Graven-deel et Plomp, 1960). Certains malentendants présentent des zones où les cellules ciliées internes et/ou les neurones associés fonctionnent si mal, s'ils fonctionnent, que l'on peut les considérer comme morts. C'est-à-dire que les vibrations mécaniques dans une zone donnée de la membrane basilaire ne peuvent pas être transformées en un signal électrique dans le nerf auditif (figure 1). Toutefois, à des niveaux de présentation intenses, un signal produisant sa vibration maximale dans une zone morte peut être détecté par suite de sa propagation dans les zones adjacentes de la membrane basilaire, où les CCI et/ou les neurones fonctionnent. Ceci est connu sous le nom d'écoute hors-fréquence. Des méthodes cliniques de diagnostic des zones mortes cochléaires s'appliquent sur l'identification de l'écoute hors-fréquence. Par analogie, une zone morte cochléaire peut se comparer à un piano dont un groupe de cordes serait cassé. Une frappe puissante sur les touches peut provoquer la vibration des cordes adjacentes. Dans notre cas, un signal dont la vibration maximale est dans une zone morte cochléaire peut encore être détecté mais cela peut avoir des conséquences sur sa perception. Ceci peut influencer les conseils au patient, la sélection de la correction audioprothétique et le bénéfice prothétique.

Dans certains cas, l'excitation de la membrane basilaire adjacente à une zone morte cochléaire est insuffisante pour une détection hors-

fréquence. Prenons par exemple un sujet dont les CCI et / ou les neurones des aigus ne fonctionnent pas. Au début, un son présent dans la zone morte sera détecté en raison de la bonne sensibilité auditive des zones adjacentes de la membrane basilaire. Avec le temps cependant, la perte auditive du sujet peut s'aggraver dans les zones adjacentes de la membrane basilaire (en raison de la surdité de sénescence par exemple). Bien que la zone morte cochléaire soit toujours présente dans la aigus, elle risque de ne plus pouvoir être mise en évidence par l'écoute hors-fréquence. C'est un exemple où la sévérité d'une perte auditive laisse suspecter une zone morte cochléaire, bien qu'il soit impossible de la confirmer par l'écoute hors-fréquence.

Il se peut qu'un sujet ait une zone malade (si les CCI et / ou les neurones ont des fonctions altérées, mais peuvent répondre normalement à des signaux intenses). Ceci peut par exemple se produire dans la zone de transition entre une région normale dans les graves et une zone morte cochléaire dans les aigus. Une écoute hors-fréquence pour des signaux de faibles niveaux et en-fréquence pour des signaux plus intenses est une situation logique dans le cas d'une zone malade (voir chapitre 4).

Des sons purs excitant une zone morte sont souvent perçus comme déformés ou comparables à du bruit. Mais les sujets normo entendants comme les sujets malentendants peuvent aussi juger que certains sons ressemblent à du bruit, indépendamment de la présence de zones mortes (Huss et al., 2005). Les appréciations subjectives de bruit ou de distorsion peuvent donc être considérées comme des indications de la possibilité d'une zone morte mais ne sont pas des méthodes diagnostiques fiables.

## **2. Certains malentendants ont-ils une zone morte cochléaire?**

Oui, la littérature confirme la présence de zones mortes cochléaires chez certains sujets malentendants. Les atteintes des CCI ont été

confirmées pas des évaluations histologiques des os temporaux chez l'homme (Schuknecht et Gacek, 1993; AmatuZZi et al., 2001). Schuknecht et Gacek (1993) ont montré que les pertes auditives chez les adultes étaient fréquemment accompagnées d'atteintes des CCI ou des CCE. Plus récemment, AmatuZZi et al. (2001) ont montré, par un examen histologique<sup>1</sup> (toutes les notes sont en page 16) que trois nouveaux-nés, placés dans une unité de soins intensifs néonataux et qui ont échoué au test de dépistage auditif utilisant la réponse auditive du tronc cérébral, avaient une atteinte des CCI sans atteinte concomitante des CCE. Quatre autres bébés qui avaient échoué au test, avaient des anomalies à la fois des CCI et des CCE. Cette observation est cohérente avec celles des nombreuses études animales qui ont indiqué des atteintes sélectives des CCI. Dans des études sur le chinchilla, Harrison (2001) a signalé une dégénérescence importante des CCI avec des CCE normales par suite soit d'une légère hypoxie chronique ou d'un traitement à la cysplatin, un médicament anti-cancéreux ototoxique. Mazurek et al. (2003) ont aussi montré que, chez des rats nouveaux-nés, les CCI sont plus prédisposées à l'hypoxie/ischémie que les CCE. Le mécanisme sous-jacent à la plus grande prédisposition des CCI n'est pas bien compris mais la plus haute expression des récepteurs glutamates, l'expression moyenne des PCMA (plasma calcium membrane ATPases), la faible teneur en glycogène et la plus faible teneur en mitochondries peuvent être des facteurs contribuant. En résumé, il est évident que les zones mortes cochléaires peuvent se produire chez les adultes et les enfants atteints de pertes auditives acquises ou congénitales.

## **3. Y a-t-il une configuration audiométrique associée aux zones mortes cochléaires?**

Non, il n'y a certainement aucune configuration audiométrique associée aux zones mortes cochléaires mais certaines configurations audiométriques se présenteront plus probablement. Si les CCE sont atteintes au point d'éliminer

complètement le processus actif, la perte auditive sera au maximum d'environ 60 dB HL. On sait également que la perte auditive maximale due aux atteintes des CCI avant qu'elles cessent totalement de fonctionner est de l'ordre de 20 à 30 dB. Donc:

1. une perte auditive neurosensorielle légère ou moyenne peut être due à des atteintes combinées des cellules ciliées externes et internes,
2. une perte auditive neurosensorielle sévère est probablement due à une atteinte combinée des cellules ciliées externes et internes, et
3. une perte auditive profonde est probablement due à une atteinte totale des cellules ciliées internes et externes.

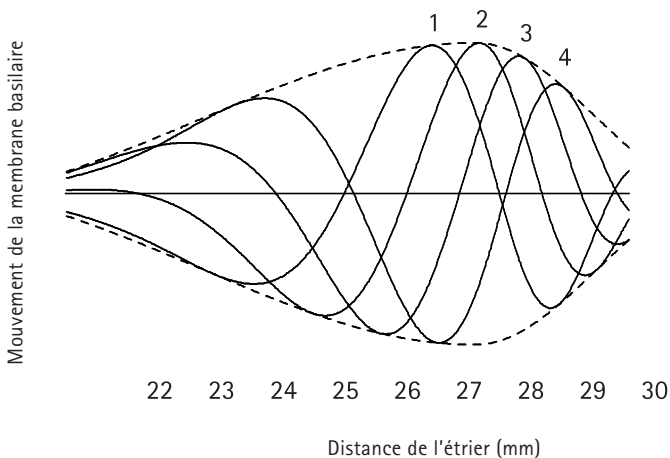
La propagation de l'onde le long de la membrane basilaire s'atténue généralement rapidement (aux fréquences apicales plus basses) après avoir atteint un maximum de vibration, comme l'illustre la figure 2. Si un son de fréquence aiguë situé dans une zone de non fonctionnement des CCI doit être détecté à une

fréquence plus basse sur la membrane basilaire, il faut que la sensibilité auditive aux fréquences graves soit suffisante en raison de l'atténuation assez rapide de l'excitation. En d'autres termes, des pentes audiométriques relativement abruptes sont probablement à associer à des zones mortes. Cependant, certaines oreilles malentendantes ne révèlent pas de réduction rapide de la vibration vers les fréquences graves quand l'onde d'excitation se propage le long de la membrane basilaire.

Certaines études citent des configurations audiométriques à pentes plus douces auxquelles sont associées des zones mortes (p.ex. Glasberg et Moore, 1986). Ceci peut expliquer pourquoi Vinay et Moore (2007b) ont trouvé que la raideur de la pente audiométrique ne donnait pas de prédiction fiable des zones mortes cochléaires (voir chapitre 5). On ne sait pas encore si ceci s'applique aussi aux cas de pertes auditives congénitales où, par exemple, des configurations vibratoires anormales de la membrane basilaire peuvent se présenter en raison d'une malformation de la cochlée. Des précautions s'imposent quand on s'appuie sur la configuration audiométrique pour soupçonner des zones mortes cochléaires chez un sujet, en particulier s'il souffre d'une perte auditive congénitale.

**Figure 2**

La configuration de l'activité croît progressivement avec la distance lorsqu'elle se propage de la gauche vers la droite (des hautes fréquences basales vers les basses fréquences apicales) et décroît rapidement au-delà du point de vibration maximale. Source: Moore (1998).



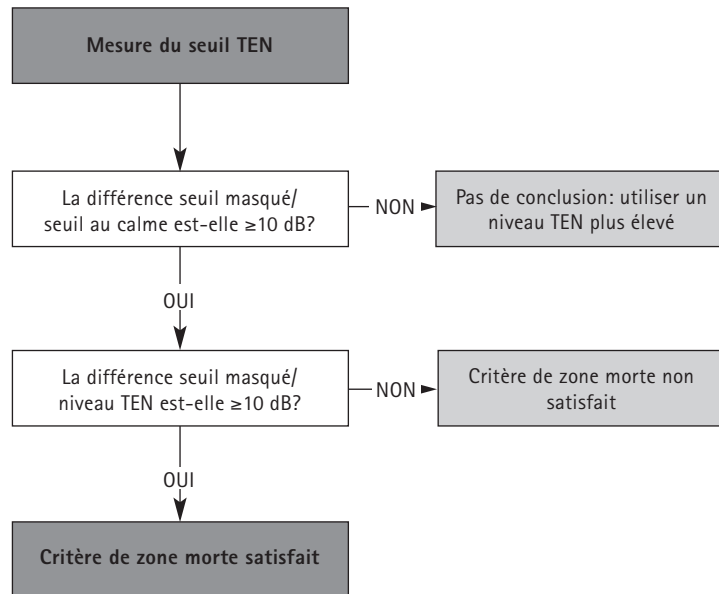
#### 4. Existe-t-il un test clinique permettant d'identifier les zones mortes cochléaires?

Un son incident dans une zone morte cochléaire pouvant être détecté à un endroit différent de la membrane basilaire, on peut suspecter la présence de zones mortes en mettant en évidence une écoute hors-fréquence chez un malentendant. Deux techniques de masquage ont été utilisées pour identifier l'écoute hors-fréquence: les courbes d'accord psychoacoustiques et le test TEN (threshold equalizing noise). Toutes deux s'appuient sur l'hypothèse qu'un signal arrivant dans une zone morte peut être détecté en un lieu de la membrane basilaire où la fonction est

meilleure, bien que l'intensité de la vibration soit plus faible qu'à la fréquence de crête. Chez des sujets sans zone morte cochléaire, un bruit éloigné sur la membrane basilaire aura peu d'effet masquant sur le seuil d'audition. Si une zone morte est présente et que le son est détecté à distance, le seuil sera augmenté du niveau du masque.

Le TEN est un bruit large bande spécialement développé pour évaluer les zones mortes cochléaires en milieu clinique. Le test s'appuie sur la mesure des seuils tonals en présence d'un TEN ipsilatéral. La version originale du TEN produit le même masquage liminaire, en décibels, entre 0,25 et 10 kHz (Moore et al., 2000). Une version révisée du test fournit des masquages liminaires identiques en décibels entre 0,5 et 4 kHz, ce qui facilite beaucoup leur utilisation dans la pratique clinique (Moore et al., 2004). Seule la plus récente version du test TEN sera discutée ici. Comme le signal de masquage TEN n'est pas encore une option standard sur les audiomètres cliniques actuels, il a été enregistré sur CD<sup>2</sup>. Le test nécessite un audiomètre à deux canaux: un canal contrôle le signal (qui peut être généré par l'audiomètre ou pris sur le CD) et le second canal contrôle le TEN (qui est appliqué à la même oreille). La pratique normale est de mesurer les seuils masqués en présence du TEN aux fréquences qui représentent probablement la transition entre une région saine et une zone morte cochléaire (généralement là où le seuil varie rapidement entre deux fréquences adjacentes). Les seuils masqués sont mesurés à l'aide des méthodes audiométriques standard, bien que Moore et al. (2004) recommandent d'utiliser des pas croissants de 2 dB. Cairns et al. (2007) ont montré que des pas plus petits (4 dB décroissants et 2 dB croissants) peuvent améliorer la fiabilité du test. Les seuils masqués ne requièrent généralement qu'un seul niveau de TEN qui doit être typiquement aux environs de 80 dB / ERB<sup>3</sup> (et au moins 10 dB au-dessus du seuil absolu à la fréquence d'essai). Un niveau élevé de présen-

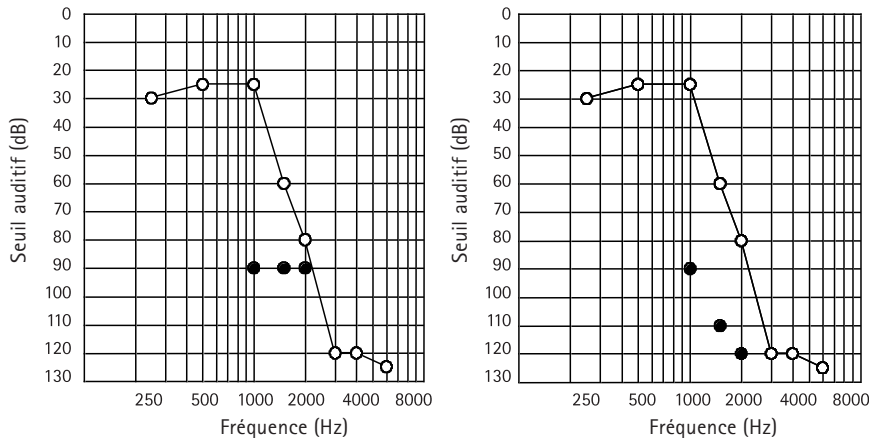
**Figure 3**  
Interprétation du test TEN



tation est nécessaire pour que le masquage TEN soit efficace mais aussi pour limiter le risque de qualifier une zone malade de zone morte. La figure 3 résume l'interprétation du test TEN. On considère qu'un seuil mesuré avec le test TEN qui serait d'au moins 10 dB supérieur au seuil dans le calme et d'au moins 10 dB supérieur au niveau du TEN, est l'indication d'une zone morte à la fréquence de mesure (Moore et al., 2000). Répondre au premier critère prouve que le masquage TEN est efficace; répondre au second critère prouve que le TEN a un plus grand effet de masquage que celui auquel on s'attend quand l'écoute est en-fréquence. Si les critères de zone morte cochléaire sont remplis à toutes les fréquences d'essai (ou presque), le résultat doit être pris avec précaution car une plus grande prédisposition au masquage pourrait alors résulter d'une mauvaise efficacité du traitement dans des cas tels que les neuropathies auditives (Vinay et Moore, 2007a).

**Figure 4**

Seuils auditifs théoriques de deux sujets examinés en vue d'un appareillage. Les cercles ouverts représentent les seuils auditifs dans le calme et les cercles pleins les seuils auditifs mesurés avec un TEN à 90 dB/ERB. Pour le sujet de gauche les critères de zones mortes ne sont pas remplis. Pour le sujet de droite, ces critères sont remplis à 1,5 et 2 kHz.



La figure 4 représente les seuils auditifs théoriques de deux candidats à l'appareillage. L'audioprothésiste a décidé d'utiliser le test TEN pour vérifier la présence de zones mortes cochléaires dans les aigus, car les sons purs de 1,5 kHz et plus ont pu avoir été détectés aux environs de 1 kHz sur la membrane basilaire. Le TEN a été présenté à un niveau de 90 dB/ERB et l'audioprothésiste a mesuré les seuils auditifs masqués à 1, 1,5 et 2 kHz. Les seuils en sons purs devraient s'élever d'environ 90 dB HL en l'absence de zone morte cochléaire. Afin de répondre aux critères de zone morte, les seuils masqués devraient atteindre 100 dB HL ou plus. Les seuls masqués du sujet de gauche sont de 90 dB HL à 1, 1,5 et 2 kHz respectivement. Les critères de zone morte ne sont donc remplis à aucune de ces fréquences. Pour le sujet de droite, les seuils masqués sont de 90, 110 et 120 dB HL à 1, 1,5 et 2 kHz respectivement. Le critère d'une zone morte est donc rempli à 1,5 et à 2 kHz. Les sons purs de fréquences supérieures ou égales à 1 kHz ont donc été détectés par une écoute hors-fréquence. La zone morte semble commencer entre 1 et 1,5 kHz. Une estimation plus précise

de la fréquence limite nécessiterait la mesure des seuils masqués à des fréquences intermédiaires, entre 1 kHz et 1,5 kHz, mais la pratique clinique ne l'impose probablement pas (et ce ne serait possible que si l'on disposait d'intervalles de fréquences inférieurs à une demi octave). Pour le sujet de droite, l'audiogramme en sons purs laisse à penser que la mesure de l'audition des aigus est inexacte car il n'entend effectivement pas au-delà de 1,5 kHz environ. L'audioprothésiste n'a certainement besoin que de quelques minutes pour établir la présence d'une importante zone morte aiguë chez un tel sujet. Pour des raisons qui seront discutées dans le chapitre 6, les zones mortes aiguës ne sont probablement pas importantes pour guider l'adaptation audioprothétique si elles commencent au-delà de 2 kHz.

Un petit nombre d'études a analysé la fiabilité test-retest du test TEN. Cairns et al. (2007) ont refait des tests après sept jours dans un groupe d'adultes malentendants et un groupe d'adolescents malentendants. Respectivement 3 (7,5%) et 2 (8%) oreilles au total ont changé de catégorie. Munro et al. (2005) ont publié que 2 (7,1%) oreilles (qui répondaient juste aux critères de zone morte) ont changé de catégorie en refaisant un test 12 mois plus tard. La majorité des oreilles de ces deux études qui ont changé de catégorie après le test de contrôle étaient à la limite du critère de zone morte à une fréquence donnée. Un test de contrôle immédiat est à conseiller dans de tels cas. Des applications pratiques et des directives utiles pour savoir quand et comment utiliser le test TEN sont fournies par Moore (2001, 2002a, 2004).

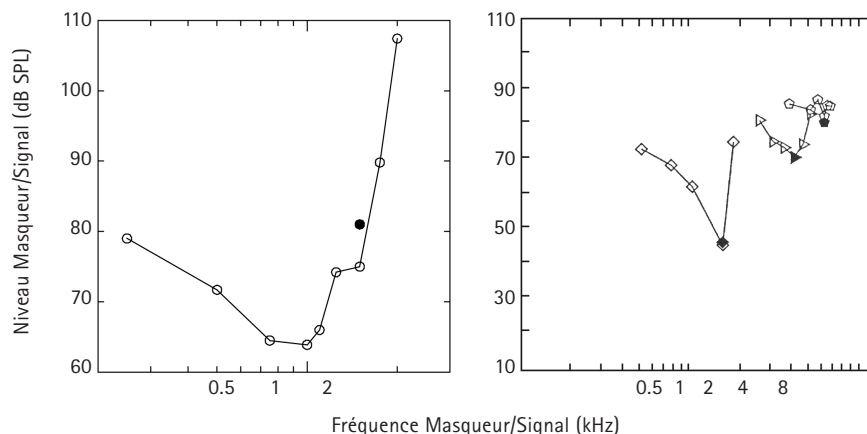
Pour un niveau d'énergie donné, un bruit large bande tel que le TEN est perçu plus fort qu'un bruit à bande étroite car il se propage sur plusieurs bandes critiques. De nombreuses études ont signalé que certains auditeurs trouvent le TEN inconfortablement fort. La sonie peut être réduite en limitant la bande passante du TEN. La version originale avait une bande comprise entre 125 et 10 000 Hz. Markessis et al. (2006)

ont appliqué avec un certain succès un filtre passe-haut au signal TEN original avec des fréquences de coupure de 0,5 et 1 kHz. La version actuelle du TEN a une bande limitée entre 354 et 6 500 Hz. En théorie, rien n'interdit d'utiliser une bande de bruit plus étroite. Par exemple, si la fréquence limite d'une zone morte est supposée être d'environ 2 kHz, des sons qui se trouveraient dans cette zone seront masqués par le bruit centré autour de 2 kHz. Ceci exigeait cependant un grand nombre de bandes de bruit distinctes, ce qui complique potentiellement la procédure clinique (et il serait difficile de prédire où centrer la bande étroite de bruit). Quoiqu'il en soit, cette option n'est actuellement pas disponible pour les applications cliniques.

Le test TEN est un outil utile pour détecter les zones mortes cochléaires, mais il ne définit pas avec précision leur fréquence limite; il pourrait toutefois être un peu plus précis avec une meilleure résolution de fréquences. Un moyen d'identifier la fréquence limite est d'utiliser les courbes d'accord psychophysiques. Elles représentent le niveau d'un masqueur à bande étroite nécessaire pour masquer un signal cible de faible niveau, en fonction de la fréquence centrale du masqueur. Le plus faible niveau de masquage requis pour masquer le signal définit la pointe de la courbe d'accord: c'est la fréquence à laquelle le masqueur est le plus efficace. Chez des auditeurs normo entendants, la pointe de la courbe d'accord se situe en principe à la fréquence du signal (Moore, 1998; Moore et Alcantara, 2001). Pour des sujets malentendants sans zone morte cochléaire, la pointe de la courbe d'accord est généralement plus large mais reste proche de la fréquence du signal (Moore, 1998). Lorsque la fréquence du signal se situe dans une zone morte, la pointe de la courbe d'accord s'écarte de la fréquence du signal (Moore, 1998). Elle se décale vers la fréquence correspondant à l'endroit de la membrane basilaire où le signal est détecté. Ceci permet de localiser la limite de la zone morte. Un décalage de la pointe de la courbe d'accord vers une fréquence plus grave indique

**Figure 5**

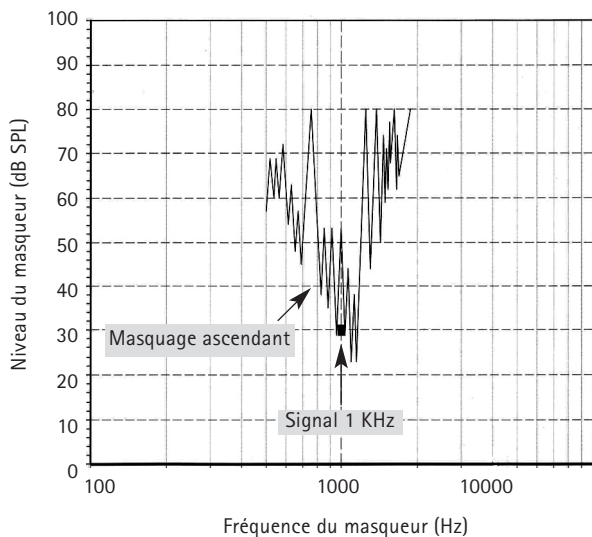
Exemples de courbes d'accord psychophysiques. La courbe de droite est celle d'un auditeur atteint d'une perte auditive neurosensorielle aiguë. Les symboles pleins représentent le signal cible et les symboles ouverts le masqueur. Dans ces exemples, la pointe de la courbe d'accord a la même fréquence que le signal cible. La courbe de gauche représente une seule courbe d'accord d'un auditeur atteint d'une zone morte aiguë. Le signal de 1,5 kHz est mieux masqué avec un masqueur d'environ 1 kHz. Source: Moore (2001).



une zone morte aiguë. A l'inverse, un décalage vers les aigus indique une zone morte grave. Des exemples de courbes d'accord sont représentés figure 5. Comme la pointe des courbes d'accord correspond à la limite de la zone morte, elles fournissent potentiellement une méthode plus précise pour en déterminer la fréquence limite. Les méthodes de mesures traditionnelles des courbes d'accord sont longues à réaliser, car chaque courbe nécessite la mesure de nombreux seuils masqués afin de définir la fréquence de la pointe. Les méthodes traditionnelles ne conviennent donc pas aux situations cliniques, ni aux auditeurs qui ont du mal à soutenir leur attention, tels que les jeunes enfants. De plus, les courbes d'accord traditionnelles peuvent être affectées par la détection de battements et d'interférences (Kluk et Moore, 2004, 2005). De récents travaux sur une méthode rapide de mesure des courbes d'accord laissent à penser qu'il sera bientôt possible de les utiliser dans la pratique clinique. Plusieurs auteurs ont utilisé une méthode rapide de relevé des courbes d'accord, basée sur l'emploi d'un masqueur dont la fréquence centrale balaie la bande de fré-

**Figure 6**

Courbe d'accord rapide mesurée chez un garçon normo entendant de 6 ans. Le balayage du masqueur allait des fréquences graves aux aiguës. La pointe de la courbe d'accord est proche du signal cible de 1 kHz. Données non publiées d'Alicja Malicka.



quence selon une procédure de type Békésy. Zwicker (1974) a utilisé cette technique avec des sujets normo entendants et Summers et al. (2003) l'ont appliquée à des malentendants dont certains avaient des zones mortes. Sek et al. (2005) ont cependant été les premiers à évaluer systématiquement des paramètres tels que le taux de variation du niveau de masquage afin d'optimiser la méthode d'évaluation clinique des zones mortes. Sek et ses collègues ont démontré que la méthode rapide de relevé de la courbe d'accord donne des résultats comparables aux méthodes de mesures traditionnelles. Malheureusement, l'approche de Sek et al. n'est pas facile à mettre en œuvre au plan clinique car les audiomètres ne permettent pas de laisser à l'auditeur le contrôle adaptatif du générateur externe de masque. Afin de mettre la technique adaptative au service des mesures cliniques, nous avons mis en œuvre la méthode rapide de mesure des courbes d'accord sur un ordinateur équipé d'une carte son de bonne qualité. Le logiciel, destiné à un audiomètre clinique Kamplex KC 35 équipé d'un écouteur

TDH 39, a été développé dans notre laboratoire par Richard Baker<sup>4</sup>. L'ordinateur était en plus équipé d'une carte son externe de 24 bits (Edirol UA-5). L'atténuation et le mixage des signaux ont été réalisés en utilisant l'audiomètre contrôlé par l'ordinateur via une interface RS 232, maximisant ainsi la gamme dynamique. L'interface principale du logiciel permet des ajustements du niveau et de la fréquence du signal, des pas de fréquence du masqueur, de la bande passante du masqueur, du niveau maximal de sortie du masqueur (dans les limites du matériel) et du sens de balayage du masqueur. Dans notre laboratoire, Alicja Malicka et ses collaborateurs ont étudié la faisabilité d'une mesure rapide de courbes d'accord chez des enfants normo entendants ainsi que chez des enfants malentendants avec et sans zones mortes. Nous avons pu jusqu'à présent utiliser cette technique avec succès chez des enfants jusqu'à 6 ans (figure 6). Les données préliminaires de notre laboratoire montrent une bonne cohérence entre les résultats obtenus par les courbes d'accord rapides et par le test TEN chez les enfants qui ont subi des tests complets. Ceci est en accord avec les résultats de Kluk et Moore (2006) qui ont testé 14 adultes atteints de zones mortes cochléaires aiguës à l'aide du test TEN, des courbes d'accord rapides et des techniques de masquage. Ils ont trouvé que les fréquences limites obtenues avec les courbes d'accord étaient comparables et généralement très proches des valeurs estimées par le test TEN. C'est plutôt rassurant car Summers et al. (2003) n'ont pas trouvé de concordances étroites entre les courbes d'accord et les résultats du test TEN. Ils n'ont trouvé de concordance que dans 10 (56%) oreilles atteintes de pertes auditives marquées dans les aigus sur 18. Summers et ses collègues ont soutenu que les courbes d'accord étaient plus fiables que le test TEN. Cependant, Moore (2004) et Kluk et Moore (2005) soutiennent que certaines des courbes d'accord peuvent avoir été influencées par des facteurs tels que les battements et les interférences.



## 5. Que savons-nous de la prévalence des zones mortes cochléaires?

La plupart des études de ce chapitre ont utilisé le test TEN pour identifier l'écoute hors-fréquence. Vinay et Moore (2007b) ont fourni des données sur la prévalence des zones mortes cochléaires chez les adultes atteints de pertes auditives neurosensorielles. L'étude de ces auteurs a porté sur 317 adultes (592 oreilles) venus en consultation dans un service d'audiologie, généralement en vue d'un appareillage. 177 (54%) des adultes ou 233 (42%) des oreilles répondaient aux critères de zone morte à une ou plusieurs fréquences. Des zones mortes ont rarement été mises en évidence quand le seuil auditif était de 60 dB HL ou inférieur, bien que des zones mortes aient été observées chez des sujets dont les seuils auditifs étaient plus faibles, en utilisant les courbes d'accord comme outil de diagnostic (p. ex. Moore et al., 2000). A l'inverse, le seuil auditif atteignait dans certains cas 85 dB HL sans déclencher de zone morte cochléaire. Bien que la présence ou l'absence d'une zone morte aux fréquences audiométriques ne puissent pas être déterminée avec certitude d'après le seul seuil auditif, chez la plupart des adultes présentant les symptômes de zone morte ce seuil dépassait 65 dB HL. Il y a un compromis sensibilité/spécificité pour distinguer entre des adultes avec et sans zones mortes. Vinay et Moore recommandent de tester la présence de zones mortes quand le seuil auditif dépasse 60 dB HL. La possibilité d'identifier les zones mortes aiguës d'après les données liminaires sont indiquées dans la table 1 pour des seuils de 60 dB HL et de 70 dB HL. Ces calculs sont basés sur les données présentées par Vinay et Moore (voir la table 1) et supposent que le test TEN est parfait pour identifier chaque adulte souffrant d'une zone morte. En prenant par exemple la limite de 60 dB HL à 2 000 Hz, 100 patients appareillés qui répondent au critère de sélection pour subir une étude plus approfondie comprendront tous les sujets présentant une zone morte et 29 n'en ayant pas. Si le critère passe à

**Table 1**

Possibilités d'identifier les zones mortes cochléaires aiguës chez les adultes à partir des seuils tonals. Les critères de seuil sont de 60 dB et 70 dB HL dans les tables supérieures et inférieures respectivement. Par exemple, dans la table du haut, une région morte est supposée être présente si le seuil auditif est de 60 dB HL ou plus mais absente si le seuil auditif est de 55 dB HL ou moins. Les caractéristiques de performances ont été calculées d'après Vinay et Moore (2007).

60 dB HL			
	Sensibilité	Spécificité	Précision
500 Hz	24/25 = 96%	431/518 = 83%	(24+431) / (25+518) = 0.84
1000 Hz	36/36 = 100%	362/502 = 72%	(36+362) / (36+502) = 0.74
2000 Hz	100/100 = 100%	249/392 = 64%	(100+249) / (100+392) = 0.71
4000 Hz	132/132 = 100%	119/283 = 42%	(132+119) / (132+283) = 0.60

70 dB HL			
	Sensibilité	Spécificité	Précision
500 Hz	23/25 = 92%	477/518 = 92%	(23+477) / (25+518) = 0.92
1000 Hz	35/36 = 97%	415/502 = 83%	(35+415) / (36+502) = 0.84
2000 Hz	99/100 = 99%	319/392 = 81%	(99+319) / (100+392) = 0.85
4000 Hz	129/132 = 98%	169/283 = 60%	(129+169) / (132+283) = 0.72

70 dB HL, un patient avec zone morte manquera, mais le nombre de patients sans zone morte sera réduit à 15. Dans un environnement clinique où la charge de travail est importante, l'emploi de ce dernier critère peut se justifier.

Vinay et Moore ont aussi étudié la relation entre la pente de la configuration audiométrique et la présence de zones mortes. La pente audiométrique a été calculée entre la fréquence limite estimée de la zone morte et l'octave supérieure. La pente moyenne de l'audiogramme était de 15 à 20 dB par octave (selon la fréquence limite de la zone morte) quand le test TEN révélait une zone morte. Cette pente était de 8 à 15 dB par octave en l'absence de zone morte. Comme la configuration de l'onde de propagation est généralement assez abrupte du côté des graves, on pouvait s'attendre à ce que la pente soit abrupte dans la gamme de fréquences la plus proche du début de la zone morte. Malheureusement la variabilité dans les

deux groupes était considérable autour de la valeur moyenne. D'autres études ont aussi mis en évidence d'importants chevauchements entre la pente de l'audiogramme et la présence/l'absence de zones mortes (Preminger et al., 2005; Aazh et Moore, 2007). Le seuil audiométrique ou la pente de l'audiogramme ne procurent donc pas d'indications fiables quant à la présence ou à l'absence de zones mortes.

De nombreuses études ont signalé la présence de zones mortes dans des groupes de patients sélectionnés. Moore et al. (2000) ont indiqué que 68% des oreilles d'adultes montraient des signes de zones mortes; ces adultes étaient cependant choisis en vertu de la probabilité d'une zone morte (en se basant sur leurs configurations audiométriques). Preminger et al. (2005) ont sélectionné 49 adultes ayant deux (ou plusieurs) seuils auditifs dans la gamme des 50 à 80 dB HL et ont indiqué que 29% de leurs adultes avaient des zones mortes (6 unilatérales, 8 bilatérales). Ils ont utilisé un critère plus strict pour identifier une zone morte que dans les autres études. Jacob et al. (2006) ont publié que 92% des oreilles atteintes de pertes auditives neurosensorielles moyennes à sévères marquées dans les aigus avaient des zones mortes. Markessis et al. (2006) ont sélectionné 35 adultes atteints de pertes auditives moyennes à sévères avec des pentes de 20 dB par octave sur au moins une octave de 1 à 8 kHz et ont signalé que plus de 87% des oreilles avaient des zones mortes. Tous les seuils à 4 kHz étaient supérieurs à 65 dB HL mais 52% seulement révélaient des zones mortes. Aazh et Moore (2007) ont testé 98 adultes dont les seuils auditifs étaient compris entre 60 et 85 dB HL à 4 kHz et ont trouvé que 37% avaient des zones mortes. Palma et al. (2005) ont testé une oreille chez 28 adultes ayant au moins un seuil auditif meilleur que 60 dB HL et ont trouvé des zones mortes dans 25% des oreilles. Cairns et al. (2007) ont testé 20 adultes dont les seuils auditifs étaient compris entre 41 et 95 dB HL avec une différence d'au moins 20 dB entre des fréquences audiométriques successives. Ils ont mis en évidence des

zones mortes dans 22,5% des oreilles. Cairns et al. ont aussi trouvé des zones mortes cochléaires chez des jeunes atteints de pertes auditives sévères à profondes. Ils ont testé 23 oreilles de 15 adolescents ayant au moins un seuil auditif meilleur que 80 dB HL et indiqué qu'il y avait clairement des zones mortes dans 13% des oreilles. Dans une étude précédente sur une population comparable, Moore et al. (2003) ont signalé l'évidence de zones mortes dans 63% des oreilles. La présence de zones mortes était probablement plus faible dans l'étude plus récente de Cairns et al. (2007) pour plusieurs raisons. Premièrement, ils n'ont pas testé au-dessus de 4 kHz, là où les zones mortes sont probablement très fréquentes. Deuxièmement, ils ont utilisé un pas ascendant plus petit, de 2 dB: s'ils avaient utilisé un pas ascendant de 5 dB, le nombre d'oreilles répondant au critère aurait augmenté jusqu'à 48%.

Beaucoup d'études citées ci-dessus ont été réalisées avec des groupes de patients sélectionnés, ce qui explique probablement l'occurrence très variable des zones mortes. La seule exception est l'étude de Vinay et Moore (2007b) qui indique que 54% des sujets non sélectionnés, venus en vue d'un appareillage, répondaient aux critères de zones mortes cochléaires à une ou plusieurs fréquences dans au moins une des oreilles. On ne sait pas combien de ces sujets avaient des zones mortes cliniquement significatives. Une zone morte cliniquement significative est définie ici comme pouvant influencer la sélection des caractéristiques de la correction auditive. Comme nous le verrons dans le chapitre suivant, une zone morte dans les aigus n'influence probablement la sélection des caractéristiques des aides auditives que si elle s'étend au moins jusqu'à 2 kHz vers les graves. Nous avons examiné les données audiométriques de nouveaux candidats adultes à l'appareillage, venus dans l'un de nos services d'audiologie à South Manchester au cours du premier trimestre de 2007. Il y avait 273 sujets, 242 d'entre eux ayant une perte auditive neurosensorielle et 63 (91 oreilles) une perte auditive aiguë de 60 dB HL ou plus qui

s'étendait dans les graves au moins jusqu'à 2 kHz. 26% (soit 1 sur 4) des adultes atteints de pertes auditives neurosensorielles et venant pour un appareillage pouvait donc avoir des zones mortes cliniquement significatives. Les données sont actuellement réunies par Toal et Munro pour déterminer lesquels de ces patients ont des zones mortes cliniquement significatives: ce sera probablement inférieur à 1 sur 4 car nous savons que, d'après Vinay et Moore (2007b), seulement 37% des oreilles ayant des seuils supérieurs ou égaux à 60 dB HL à 2 kHz répondent aux critères de zones mortes.

## 6. Quelles sont les conséquences des zones mortes cochléaires pour l'appareillage?

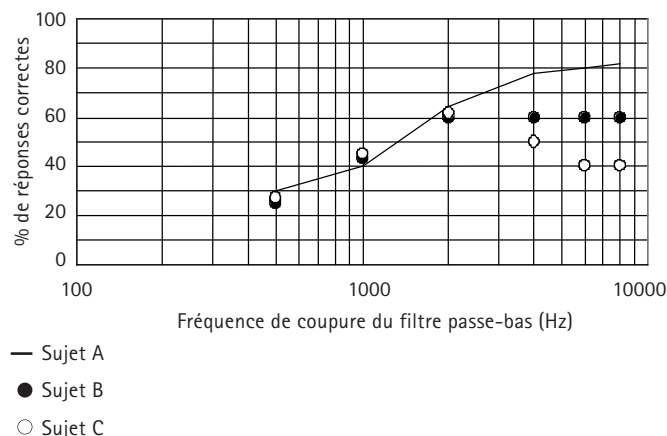
Il ne fait aucun doute que l'amplification des aigus peut ne pas toujours améliorer la reconnaissance vocale des adultes atteints de pertes auditives aiguës. Certaines études n'ont pas montré de bénéfice prothétique (p.ex. Murray et Byrne, 1986) et d'autres ont montré une dégradation des performances (p.ex. Ching et al., 1998). Il y a peu de consensus quant au degré de perte auditive et / ou à la configuration audiométrique qui permettraient d'identifier ceux des malentendants qui pourraient bénéficier d'une amplification dans les aigus. L'absence de bénéfice peut être due, au moins en partie, à des zones mortes cochléaires, bien que cette hypothèse soit quelque peu controversée. De plus en plus de travaux ont recherché les avantages de l'amplification des aigus chez des patients atteints de zones mortes. Ils portaient sur des auditeurs adultes et ont mesuré les scores de reconnaissance vocale dans le calme (Vickers et al., 2001), dans un bruit ambiant (Baer et al., 2002) ou dans les deux (Mackersie et al., 2004).

### Études avec de la parole dans le calme

Vickers et al. (2001) ont comparé les performances de 18 oreilles atteintes de pertes auditives dans les aigus. Douze oreilles avaient des zones mortes et six n'en avaient pas. Les sujets écoutaient des syllabes non signifiantes

**Figure 7**

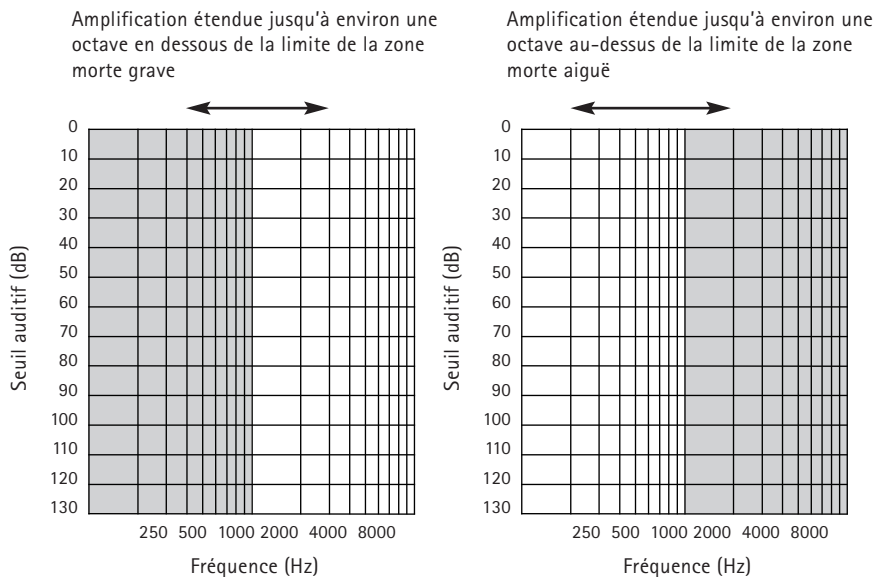
Scores de reconnaissance vocale de trois sujets théoriques appareillés, dont l'amplificateur est filtré par un filtre passe-bas. Le sujet A (trait plein) n'a pas de zone morte. Les sujets B et C (points noirs et blancs, respectivement) ont tous deux une zone morte étendue à partir d'environ 1 kHz. Ces deux sujets ne tirent pas autant d'avantages de l'amplification large bande que le sujet sans zone morte. Pour l'un des sujets avec zone morte (sujet C) les performances se détériorent même quand l'amplification s'étend vers les aigus.



voyelle-consonne-voyelle (VCV) telles que /aba/ ou /ama/. Les VCV étaient présentées par des écouteurs et amplifiées pour obtenir la caractéristique de gain en fonction de la fréquence de la formule prescriptive de Cambridge (Moore et Glasberg, 1998). Les performances des auditeurs ont alors été mesurées après un filtrage passe-bas, c'est-à-dire en supprimant l'amplification des aigus. La figure 7 montre les résultats sur trois sujets théoriques, utilisés pour illustrer les configurations de résultats publiées par Vickers et al. Les scores du sujet A s'améliorent en augmentant la fréquence de coupure des aigus, c'est-à-dire que ce sujet tire profit de l'amplification supplémentaire des aigus. Cette configuration est caractéristique des sujets sans zone morte. Les sujets B et C ont tous deux des zones mortes débutant à environ 1 kHz. Dans les deux cas, les performances s'améliorent jusqu'à environ une octave au-dessus du début de la zone morte. Mais les performances des deux sujets diffèrent au-delà de cette fréquence. Le sujet B ne tire aucun avantage de l'amplification supplémentaire des aigus mais on ne note pas non plus d'effets négatifs. La plupart des sujets atteints de zones mortes de l'étude de Vickers et al. présentaient

**Figure 8**

Correction prothétique chez des sujets atteints de zones mortes étendues. La zone ombrée indique la zone morte. L'audiogramme de gauche représente une zone morte étendue dans les graves à partir de 1 kHz. L'audiogramme de droite représente une zone morte étendue dans les aigus à partir de 1 kHz. L'amplification fournie s'étend dans la zone morte d'environ une octave. Pour les zones mortes graves, l'amplification descend jusqu'à environ 0,5 kHz. Pour les zones mortes aiguës, l'amplification s'étend jusqu'à environ 2 kHz.



cette configuration de résultats. Les résultats de trois sujets (25%) avaient cependant l'allure de ceux du sujet C, c'est-à-dire que les performances se dégradent avec l'amplification dans la zone morte. La divergence des configurations aux fréquences bien supérieures à la fréquence limite de la zone morte peut s'expliquer par le fait que la restauration de l'audibilité des sujets dont les performances ne diminuaient pas était moindre, car le gain in situ était limité à un maximum de 50 dB. En résumé, ces résultats montrent qu'avec des zones mortes importantes, les sujets peuvent exploiter des informations utiles jusqu'à environ une octave à l'intérieur de la zone morte.

Vinay et Moore (sous presse) ont réalisé une étude similaire à celle de Vickers et al., mais avec des sujets atteints de pertes auditives dans les graves. Elle portait sur 19 oreilles avec zones mortes cochléaires commençant à partir de 0,75 kHz ou plus, et 22 oreilles sans zones

mortes. Soumises à une amplification large bande, les oreilles avec zones mortes ne donnaient pas d'aussi bons résultats que les autres. De plus, les oreilles atteintes de zones mortes basses fréquences tiraient bénéfice d'une amplification des graves qui s'étendait jusqu'à environ une octave à l'intérieur de la zone morte. Toutefois, leurs performances se dégradent quand l'amplification s'étendait largement dans la zone morte.

Ces résultats servent de base à la recommandation de limiter le gain dans les aigus à environ 1,7 fois la fréquence limite de la zone morte cochléaire (Moore, 2004). Ceci est illustré figure 8 où la limite de la zone morte est d'environ 1 kHz. Les audiogrammes de gauche et de droite représentent une zone morte étendue, respectivement dans les graves et dans les aigus (zones ombrées). Pour la zone morte grave il y a peu d'intérêt à appliquer une amplification à des fréquences inférieures à environ 0,6 kHz ( $1 \text{ kHz} / 1,7$ ): pour les zones mortes aiguës, il y a peu de raisons d'amplifier au-dessus de 1,7 kHz ( $1 \text{ kHz} \times 1,7$ ). Bien entendu, si la zone morte aiguë commence à environ 3 kHz, il n'est pas nécessaire de limiter l'amplification des aigus car la bande passante de la plupart des aides auditives ne s'étend probablement pas au-delà de 5 kHz ( $3 \text{ kHz} \times 1,7$ ). Ces résultats sont quelque peu controversés et Rankovic (2002) est de l'avis que les scores de reconnaissance vocale peuvent être prédits en s'appuyant sur l'indice d'articulation (AI = Articulation Index), avec ou sans zone morte. Moore (2002b) a cependant montré que l'avantage supplémentaire d'amplifier bien au-delà de la limite de la zone morte n'atteint pas les valeurs prévues par l'AI.

Vestergaard (2003) a comparé les effets d'un filtrage passe-bas de mots sur 11 oreilles avec zones mortes et 11 oreilles sans zones mortes. Les sujets étaient testés avec les aides auditives telles qu'elles avaient été adaptées par leurs audioprothésistes. Moore (2004) a repris les données de Vestergaard afin de pouvoir les comparer avec celles de Vickers et al. (2001).

Les sujets avec zones mortes étendues n'avaient pas d'aussi bons résultats que les sujets sans zones mortes (ou avec zones mortes limitées aux fréquences très aiguës) et ne présentaient pas non plus le même bénéfice prothétique croissant quand l'amplification s'étendait nettement dans la zone morte. Comme avec Vickers et al., les sujets avec zones mortes avaient une perte auditive plus sévère que les sujets sans zone morte; il n'est cependant pas clair si la différence entre les deux groupes de sujets était due à la présence des zones mortes étendues ou si une autre variable, telle que l'importance de la perte auditive, interférait.

Mackersie et al. (2004) ont comparé les performances de 16 oreilles atteintes de pertes auditives aiguës. Huit oreilles avaient des zones mortes et huit oreilles, dont les configurations audiométriques étaient comparables, n'en avaient pas. Les sujets écoutaient des syllabes non significatives VCV dans le calme à 65 dB SPL en portant une aide auditive adaptée approximativement selon les courbes cibles DSL (Cornelisse et al., 1995). Les performances des sujets ont alors été mesurées après un filtrage passe-bas. Mackersie et al. ne signalent aucune différence de performances entre les deux groupes. Ceci contraste avec les résultats des études précédentes. Une différence notée par Mackersie et son équipe est que les sujets de leur étude étaient atteints de pertes auditives moins importantes avec des zones mortes moins étendues. Le bénéfice limité de l'amplification des aigus sur la parole dans le calme peut donc se restreindre aux sujets avec des zones mortes étendues.

#### **Etudes avec de la parole dans le bruit**

Baer et al. (2002) ont mené une étude très similaire à celle de Vickers et al. (2001), et beaucoup de sujets étaient les mêmes, mais les stimuli VCV étaient présentés dans un bruit constant à pondération vocale. Six oreilles avec zones mortes et dix oreilles sans zone morte ont été testées. Le spectre à long terme du bruit était le même que celui des stimuli VCV.

Le rapport du signal au bruit (S/B) a été choisi pour chaque oreille de telle sorte que les performances soient de 10 à 15% inférieures aux performances dans le calme. Les performances des oreilles sans zones mortes s'amélioraient avec l'accroissement de la fréquence de coupure; les performances des oreilles avec zones mortes, quant à elles, s'amélioraient généralement avec la fréquence de coupure jusqu'à environ 100% de la fréquence limite de la zone morte, mais s'amélioraient peu au-delà.

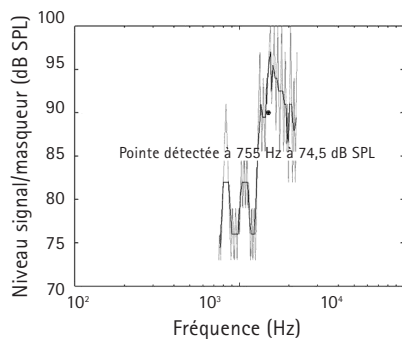
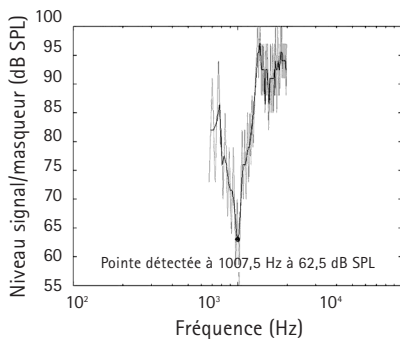
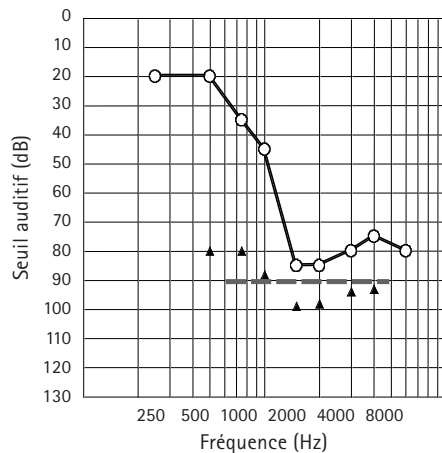
Dans l'étude de Mackersie et al. (2004) citée plus haut, les performances ont également été mesurées en présence d'un bruit constant à pondération vocale, pour différents S/B. Les performances étaient peu différentes entre les oreilles avec et sans zones mortes pour des S/B relativement favorables. Cependant, avec des S/B plus défavorables, les performances des oreilles avec zones mortes ne s'amélioraient pas quand l'amplification s'étendait au-delà d'une octave au-dessus de la fréquence limite estimée de la zone morte.

Dans une partie de leur étude clinique sur les zones mortes, Preminger et al. (2005) ont démontré que les utilisateurs d'aides auditives avec zones mortes aiguës avaient besoin d'un meilleur S/B que des utilisateurs sans zones mortes pour atteindre 50% de réponses correctes dans un test vocal dans le bruit, ceci bien que les audiogrammes soient comparables. Les patients avec zones mortes trouvaient également que leur correction prothétique était moins bonne dans le bruit.

Keidser et Dillon (2007) ont cité une étude de Ching et al. (2005) qui ont testé 75 sujets atteints de pertes auditives liminaires de légères à profondes. Ils ont mesuré les scores de reconnaissance vocale dans le calme et dans un brouhaha avec des tests de phrases et de consonnes sous différentes conditions de filtrage. Les données ne montraient pas de relation stable entre le bénéfice vocal et l'augmentation du seuil auditif dans le TEN. Tous les

**Figure 9**

Résultats obtenus chez un enfant de 8 ans avec une zone morte étendue dans les aigus. Cette oreille présente une perte auditive à pente abrupte dans les aigus. Les seuils masqués (triangles pleins) ont été obtenus avec un TEN à 80 dB / ERB. Les critères du test TEN sont satisfaits aux fréquences supérieures à 1 kHz. Les courbes d'accord rapides à 1 kHz ne montrent aucune évidence d'écoute hors-fréquence. Cependant la pointe de la courbe d'accord à 1,5 kHz est décalée vers une fréquence plus grave. Données non publiées d'Alicja Malicka.



détails sur cette étude ne sont pas encore connus; on ne connaît pas, par exemple, le nombre de sujets avec zones mortes étendues.

Tous les chercheurs n'acceptent pas l'idée qu'il soit nécessaire d'avoir un test séparé pour confirmer la présence de zones mortes dans le cas de pertes auditives neurosensorielles sévères à pente abrupte dans les aigus, arguant que cela n'influencera pas le réglage des aides auditives (Summers, 2004). Il a montré, dans une petite étude, que 10 audioprothésistes ne tenteraient pas de fournir une amplification large bande à des sujets atteints de pertes auditives sévères à pente abrupte. Ils chercheront plutôt de fournir du gain dans les fréquences

plus basses, là où les seuils auditifs sont inférieurs à 90 dB HL. Ceci semble être très proche de la recommandation de Moore (2004) d'amplifier jusqu'à une fréquence égale à 1,7 fois la fréquence limite de la zone morte. Tous les sujets ayant des zones mortes cochléaires n'ont cependant pas une perte auditive à pente abrupte avec des seuils supérieurs à 90 dB HL. Vinay et Moore (2007) ont trouvé des seuils auditifs allant de 65 à 125 dB HL à 1,7 fois la fréquence limite. L'emploi du test TEN pour diagnostiquer les zones mortes reste donc recommandé.

En résumé, ces études sur des adultes montrent clairement que: i) il y a peu d'avantages à amplifier les aigus chez des sujets présentant des zones mortes étendues, quand on évalue leur audition dans le calme ou dans le bruit et ii) les sujets atteints de zones mortes moins étendues peuvent tirer des avantages limités de l'amplification des aigus dans des milieux où les S/B sont mauvais.

## 7. Reste-t-il des questions en suspens?

Il reste un grand nombre de questions à explorer en détail; elles vont de la recherche fondamentale à la recherche appliquée. Quelques exemples des questions cliniques les plus importantes sont donnés ci-dessous.

Peu d'études ont analysé les zones mortes cochléaires chez les enfants. On ignore si la présence d'une zone morte chez des bébés et des nourrissons a les mêmes implications audioprothétiques que chez des adultes. La nécessité de développer une procédure d'identification des zones mortes chez les nourrissons se fait actuellement sentir. Un test électrophysiologique pour le diagnostic des zones mortes serait un complément utile à la batterie des techniques objectives liminaires qui peut être utilisée pour évaluer les capacités auditives des bébés et des nourrissons. Des études préliminaires dans ce domaine ont utilisé les PEAC (potentiels évoqués auditifs corticaux) et les ASSR (auditory

steady state responses) (Marriage et Moore, 2006, Kluk et al., 2007).

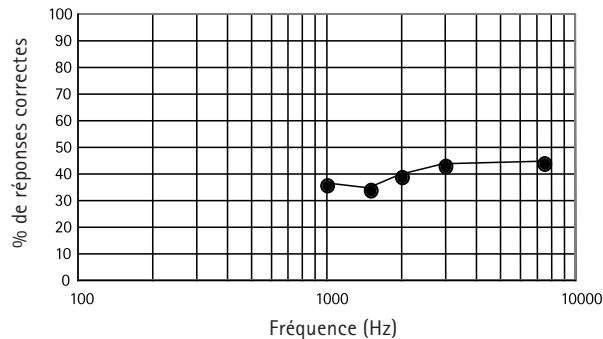
Très peu d'études se sont penchées sur les bénéfices de l'amplification des aigus chez les enfants et aucune, à notre connaissance, ne les a spécifiquement étudiés dans le contexte des zones mortes cochléaires. En se basant sur une revue de la littérature, Stelmachovicz (2002) et Stelmachovicz et al. (2004) sont arrivés à la conclusion que les études chez les adultes ne pouvaient pas servir à prédire l'importance de l'amplification des aigus chez les nourrissons et les jeunes enfants. Nous savons que les adultes sont capables d'extraire certaines informations utiles d'une écoute hors-fréquence comme le prouve leur capacité à bénéficier de l'amplification jusqu'à une octave dans une zone morte. De plus, Rosen et al. (1999) ont montré que des auditeurs adultes normo entendants pouvaient apprendre assez vite à utiliser des informations aiguës décalées vers les graves. Il est possible que les informations reconfigurées puissent être mieux exploitées chez les nourrissons appareillés précocement que chez les adultes (avec une perte auditive acquise) en raison de la plus grande plasticité de leur système auditif en développement.

L'intérêt d'amplifier les aigus chez les enfants atteints de zones mortes cochléaires est un thème de recherche que nous étudions dans notre laboratoire. Nous avons utilisé le test TEN et la méthode des courbes d'accord rapides pour identifier des zones mortes dans des cas de pertes auditives congénitales, chez des enfants de 8 à 12 ans (Malicka et Munro, en préparation). La figure 9 montre les résultats obtenus chez un enfant ayant une zone morte étendue dans les aigus. Les critères du test TEN ont été satisfaits aux fréquences supérieures à 1 kHz. Les courbes d'accord rapides mettent en évidence une écoute hors-fréquence à 1,5 kHz, mais pas à 1 kHz.

Nous étudions actuellement les avantages de l'amplification des aigus en présentant des stimuli VCV dans le calme et dans le bruit. Les

**Figure 10**

Performances d'un enfant ayant une zone morte cochléaire aiguë étendue, commençant à environ 1,5 kHz (voir figure 9). Le taux de réponses correctes du test VCV est tracé en fonction de la fréquence de coupure du filtre passe bas. Données non publiées d'Alicja Malicka.



résultats préliminaires des VCV dans le calme sont semblables à ceux que l'on a trouvé chez les adultes, à savoir qu'une amplification des aigus bien au-delà de la limite de la zone morte étendue procure peu de bénéfices prothétiques. La figure 10 présente des résultats obtenus chez un enfant. Celui-ci n'a bénéficié d'aucun avantage supplémentaire en amplifiant le signal au-delà d'une octave à l'intérieur de la zone morte. Par contre, des enfants ayant des zones mortes limitées aux très hautes fréquences, ou à de petites régions, semblaient tirer profit de l'amplification des aigus, mais nos résultats préliminaires indiquent cependant que, à configuration audiométrique comparable, l'avantage moyen de l'amplification large bande n'est pas aussi important que chez les enfants sans zone morte. L'essentiel, c'est que nous n'avons observé, chez aucun des enfants avec zones mortes, de dégradation des performances en augmentant la fréquence de coupure.

Une autre approche pour gérer les zones mortes étendues dans les aigus peut être d'utiliser une compression ou une transposition de fréquences. C'est-à-dire que des informations situées dans une zone morte peuvent être recodées à des fréquences plus basses. Les résultats obtenus avec des compressions de

fréquences sont en général assez mitigés. Stelmachovicz (2004) fait remarquer qu'il y a eu très peu d'études systématiques qui ont traité des problèmes de candidature, de traitement du signal et d'optimisation des paramètres. Les bénéfices limités peuvent aussi avoir été observés sans connaître vraiment l'étendue de la zone morte. Avec les travaux de Robinson et al. (2007), on commence à mettre en évidence les avantages qu'il y a à prélever des informations situées à l'intérieur d'une zone morte et à les recoder au voisinage de sa limite.

## Conclusions

Il est évident que des zones mortes cochléaires peuvent être présentes chez des adultes et des enfants atteints de pertes auditives acquises ou congénitales. Il n'est pas possible d'identifier des zones mortes sans utiliser des méthodes autres que le seul audiogramme tonal. L'une d'elles, le test TEN, est déjà disponible et a été conçue pour s'utiliser facilement dans la pratique clinique. D'autres méthodes, telles que les courbes d'accord rapides, pourront également venir au service du praticien. Des zones mortes à une ou plusieurs fréquences ont été détectées chez environ 50% des adultes examinés en vue d'un appareillage. Les zones mortes sont rares si le seuil auditif est inférieur ou égal à 60 dB HL. Un groupe à risque en termes de zones mortes cliniquement significatives serait formé par des sujets ayant une perte auditive étendue (c'est-à-dire à toutes les fréquences supérieures à 1 kHz) supérieure ou égale à 60 dB HL. Les adultes ayant des zones mortes étendues dans les aigus ne semblent pas obtenir les mêmes bénéfices de l'amplification large bande que ceux qui n'en ont pas. La plupart des adultes bénéficient d'une amplification qui couvre environ une octave dans la zone morte. Au-delà d'une octave, l'audition de la plupart des adultes ne s'améliore plus, et s'est même dégradée dans un sous-groupe. Le peu d'informations disponibles sur les enfants atteints de zones mortes aiguës semble indiquer que cer-

tains risquent de ne pas bénéficier d'une amplification étendue dans leur zone morte; le plus important c'est qu'aucune étude (jusqu'alors) n'a montré de dégradation des performances.

## Remerciements

Le professeur John M Bamford et le professeur Brian CJ Moore ont fait des commentaires et des suggestions utiles sur une version précédente de ce manuscrit.

## Notes

<sup>1</sup> L'absence de réponse auditive du tronc cérébral en présence de CCI malades mais de CCE saines est en accord avec le terme générique de «neuropathie auditive».

<sup>2</sup> Des informations sur le test TEN, y compris pour acheter une copie du CD TEN, sont disponibles en ligne sur [www.hearing.psychol.cam.ac.uk](http://www.hearing.psychol.cam.ac.uk)

<sup>3</sup> ERB est la largeur de bande rectangulaire équivalente moyenne du filtre auditif tel qu'il est déterminé chez des sujets jeunes normo entendants à des niveaux sonores moyens et sa valeur en Hertz est calculée par la formule  $24,7 (4,37 F + 1)$  ou F est la fréquence en kHz. Par exemple à 1 kHz le ERB est approximativement de 0,132 kHz (Moore, 2004).

<sup>4</sup> Pour de plus amples informations, rendez-vous sur le site <http://personalpages.manchester.ac.uk/staff/richardbaker>



## Références

- Amatuzzi MG, Northrop C, Liberman CL, Thornton A, Halpin C, Herrmann B, Pinto LE, Saenz A, Carranza A and Eavey R. Selective inner hair cell loss in premature infants and cochlea pathological patterns from neonatal intensive care unit autopsies. *Archives of Otolaryngology Head and Neck Surgery*, 2001, 127, 629-636.
- Aazh H and Moore BCJ. Dead regions in the cochlea at 4 kHz in elderly adults: relation to absolute threshold, steepness of audiogram, and pure tone average. *Journal of the American Academy of Audiology*, 2007, 18, 97-106.
- Baer T, Moore BCJ and Kluk K. Effects of loss pass filtering on the intelligibility of speech in noise for people with and without dead regions. *Journal of the Acoustical Society of America*, 2002, 112, 1133-1144.
- Cairns S, Frith F, Munro KJ and Moore BCJ. Repeatability of the TEN(HL) test for detecting cochlear dead regions. *International Journal of Audiology*, 2007, 46, 575-585.
- Ching TY, Dillon D and Byrne D. Speech recognition of hearing-impaired listeners: predictions from audibility and the limited role of high-frequency amplification. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1998, 103, 1128-1140.
- Ching TYC, Dillon H, Lockhart F, van Wanrooy E and Carter L. Are hearing thresholds enough for prescribing hearing aids? Poster presented at The American Academy of Audiology Conference, Washington, USA, 2005.
- Cornelisse LE, Seewald RC and Jamieson DG. The input/output formula: a theoretical approach to the fitting of personal amplification devices. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1995, 97, 1854-1864.
- Dillon D. What's new from NAL in hearing aid prescriptions? *The Hearing Journal*, 2006, 59, 10, 10-15.
- Glasberg BR and Moore BCJ. Auditory filter shapes in subjects with unilateral and bilateral cochlear impairments. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1986, 79, 1020-1033.
- Gravendeel DW and Plomp R. Perceptive bass deafness. *Acta Otolaryngologica*, 1960, 51, 549-560.
- Harrison RV. Models of auditory neuropathy based on inner hair cell damage. In Y Sininger & A Starr (eds). *Auditory neuropathy: a new perspective on hearing disorder*. London: Singular Publishing Group, 51-65, 2001.
- Huss M and Moore BCJ. Dead regions and noisiness of pure tones. *International Journal of Audiology*, 2005, 44, 599-611.
- Jacob RTS, Candido Fernandes J, Manfrinato J and Iorio MCM. Identifying dead regions in the cochlea through the TEN test. *Brasilian Journal of Otorhinolaryngology*, 2006, 72, 673-682.
- Keidser G and Dillon H. What's new in prescriptive fittings down under? *Proceedings of Hearing Care for Adults: An International Conference*, Chicago 2006, 133-142. Staefa: Phonak AG.
- Kluk K, John, MS, Picton TW and Moore BCJ. Human auditory steady-state responses and cochlear "dead regions": Part I- Normally hearing people. Poster 632, Thirtieth Mid-winter Research Meeting of the Association for Research in Otolaryngology, February 10-15, 2007, Denver, Colorado.
- Kluk K and Moore BCJ. Factors affecting psychophysical tuning curves for normally hearing subjects. *Hearing Research*, 2004, 194, 118-134.
- Kluk K and Moore BCJ. Factors affecting psychophysical tuning curves for hearing-impaired subjects with high-frequency dead regions. *Hearing Research*, 2005, 200, 115-131.
- Kluk K and Moore BCJ. Detecting dead regions using psychophysical tuning curves: A comparison of simultaneous and forward masking. *International Journal of Audiology*, 2006, 45, 463-476.
- Mackersie CL, Crocker TL and Davis RA. Limiting high-frequency hearing aid gain in listeners with and without suspected cochlear dead regions. *Journal of the American Academy of Audiology*, 2004, 15, 498-507.
- Malicka A and Munro KJ. Diagnosing dead regions in hearing-impaired children using fast-PTC and TEN test. *International Journal of Audiology* (in preparation).
- Markessis E, Kapadia S, Munro KJ and Moore BCJ. Modification of the threshold equalising noise (TEN) test for cochlear dead regions for use with steeply sloping high-frequency hearing loss. *International Journal of Audiology*, 2006, 45, 91-98.
- Marriage JE and Moore BCJ. Use of evoked potentials for verifying dead regions in the cochlea. Poster at Third Annual Convention of the British Academy of Audiology, 22-24 November 2006, Telford, UK.
- Mazurek B, Winter E, Fuchs J, Haupt H and Gross J. Susceptibility of the hair cells of the newborn rat cochlea to hypoxia and ischemia. *Hearing Research*, 2003, 182, 2-8.
- Moore BCJ. Psychophysical tuning curves measured in simultaneous and forward masking. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1978, 63, 524-532.

- Moore, BCJ. Cochlear Hearing Loss. London: Whurr. 1998.
- Moore BCJ. Dead regions in the cochlea: diagnosis, perceptual consequences, and implications for the fitting of hearing aids. *Trends in Amplification*, 2001, 5, 1-34.
- Moore BCJ. Practical application of the TEN test for diagnosis of dead regions. *Iranian Audiology*, 2002a, 1, 17-21.
- Moore BCJ. Response to Articulation index predictions for hearing-impaired listeners with and without cochlear dead regions (L). *Journal of the Acoustical Society of America* 2002b, 111, 2549-2550.
- Moore BCJ. Dead regions in the cochlea: conceptual foundations, diagnosis, and clinical applications. *Ear and Hearing*, 2004, 25, 98-116.
- Moore BCJ and Alcantara JI. The use of psychophysical tuning curves to explore dead regions in the cochlea. *Ear and Hearing*, 2001, 22, 268-278.
- Moore BCJ and Glasberg BR. Use of a loudness model for hearing aid fitting. I. linear hearing aids. *British Journal of Audiology*, 1998, 32, 301-319.
- Moore BCJ, Glasberg BR and Stone MA. New version of the TEN test with calibrations in dB HL. *Ear and Hearing*, 2004, 25, 205-224.
- Moore BCJ, Glasberg BR and Vickers DA. Factors influencing loudness perception in people with cochlear hearing loss. In: B. Kollmeier (ed.) *Psychoacoustics, Speech and Hearing Aids*, Singapore: World Scientific. 1996.
- Moore BCJ, Huss M, Vickers DA, Glasberg BR and Alcantara JI. A test for the diagnosis of dead regions in the cochlea. *British Journal of Audiology*, 2000, 34, 205-224.
- Moore BCJ, Killen T and Munro, KJ. Application of the TEN test to hearing-impaired teenagers with severe-to-profound hearing loss. *International Journal of Audiology*, 2003, 42, 465-474.
- Munro KJ, Felthouse C, Moore BCJ and Kapadia S. Reassessment of cochlear dead regions in hearing-impaired teenagers with severe-to-profound hearing loss. *International Journal of Audiology*, 2005, 44, 470-477.
- Murray N and Byrne D. Performance of hearing-impaired and normal hearing listeners with various high-frequency cut-offs in hearing aids. *Australian Journal of Audiology*, 1986, 8, 21-28.
- Palma S, Bovo R, Rescazzi S and Prosser S. Looking for cochlear dead regions: A clinical experience with TEN-test. *Audiological Medicine*, 2005, 220-227.
- Preminger JE, Carpenter R and Ziegler CH. A clinical perspective on cochlear dead regions: Intelligibility of speech and subjective hearing aid benefit. *Journal of the American Academy of Audiology*, 2005, 16, 600-613.
- Rankovic CM. Articulation index predictions for hearing-impaired listeners with and without cochlear dead regions (L). *Journal of the Acoustical Society of America*, 2002, 111, 2545-2548.
- Robinson J, Baer T, Moore BCJ. Using transposition to improve consonant discrimination and detection for listeners with severe high-frequency hearing loss. *International Journal of Audiology*, 2007, 46, 293-308.
- Rosen S, Faulkner A and Wilkinson L. Adaptation by normal listeners to upward spectral shifts of speech: Implications for cochlear implants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1999, 106, 3629-3636.
- Schuknecht HF and Gacek MR. Cochlear pathology in presbycusis. *The Annals of Otolaryngology, Rhinology, and Laryngology*, 1993, 102, 1-16.
- Sek A, Alcantara JI, Moore BCJ, Kluk K and Wicher A. Development of a fast method for determining psychophysical tuning curves. *International Journal of Audiology*, 2005, 408-420.
- Stelmachowicz PG. The importance of high-frequency amplification for young children. Chapter Thirteen in *A sound foundation through early amplification*. Proceedings of the 3rd International Conference on Paediatric Amplification, Chicago 2001, Staefa: Phonak AG 2002.
- Stelmachowicz PG, Pittman AL, Hoover BM, Lewis DE and Moeller MP. The importance of high-frequency audibility in the speech and language development of children with hearing loss. *Archives of Otolaryngology Head and Neck Surgery*, 2004, 130, 556-562.
- Summers V, Molis MR, Musch H, Walden BE, Surr RK and Cord M. Identifying dead regions in the cochlea: psychophysical tuning curves and tone detection in threshold-equalizing noise. *Ear and Hearing*, 2003, 24, 133-142.
- Summers V. Do tests for cochlear dead regions provide important information for fitting hearing aids? *Journal of the Acoustical Society of America*, 2004, 115, 1420-1423.
- Troland LT. The psychophysiology of auditory qualities and attributes. *Journal of General Psychology*, 1929, 2, 28-58.
- Vestergaard MD. Dead regions in the cochlea: implications for speech recognition and applicability of articulation index theory. *International Journal of Audiology* 2003, 42, 249-261.

Vickers DA, Moore BCJ and Baer T. Effects of loss-pass filtering on the intelligibility of speech in quiet for people with and without dead regions at high frequencies. *Journal of the Acoustical Society of America* 2001, 110, 1164-1175.

Vinay and Moore BCJ. TEN (HL) test results and psychophysical tuning curves for subjects with auditory neuropathy. *International Journal of Audiology*, 2007a, 46, 39-46.

Vinay and Moore BCJ. Prevalence of dead regions in subjects with sensorineural hearing loss. *Ear and Hearing*, 2007b, 28, 231-241.

Vinay and Moore BCJ. Speech recognition as a function of highpass filter cutoff frequency for people with and without low-frequency cochlear dead regions. *Journal of the Acoustical Society of America* (In Press).

Zwicker E. On the psychophysical equivalent of tuning curves. In E. Zwicker and E Terhardt (eds). *Facts and models in hearing*. Berlin: Springer-Verlag 1974, 132-140.



**Kevin J. Munro, PhD**

*Maître assistant en audiologie,  
School of Psychological Sciences,  
Université de Manchester, UK*

Kevin J. Munro est maître assistant en audiologie à l'école des sciences psychologiques de l'université de Manchester au Royaume-Uni. Il apporte une large contribution aux enseignements de licence et de troisième cycle en audiologie. Les travaux de recherche de Kevin s'intéressent à la réorganisation du système auditif central, aux zones mortes cochléaires et aux questions relatives à l'évaluation et à l'habilitation pédiatrique. Il est souvent invité à participer à des conférences nationales et internationales et ses travaux sont régulièrement publiés dans des revues scientifiques. En 2001, la British Society of Audiology a récompensé Kevin en lui attribuant le prix Thomas Simm Littler pour ses travaux de recherche.

## A propos de Phonak

Depuis plus de 50 ans, la société Phonak dont le siège social est près de Zurich, en Suisse, développe, produit et distribue dans le monde entier des systèmes auditifs et des appareils de radiocommunication de pointe. Une grande expertise dans la technologie auditive, la maîtrise de l'acoustique et une étroite collaboration avec les professionnels de l'audition, permettent à Phonak d'améliorer significativement les capacités auditives et l'intelligibilité vocale des utilisateurs et donc d'améliorer leur qualité de vie.

Phonak offre une gamme complète d'aides auditives et de systèmes de radiocommunication complémentaires, tous numériques. Avec 2 500 collaborateurs dans le monde, Phonak est à la pointe de l'innovation et établit de nouvelles références industrielles en matière de miniaturisation et de performances.

**Pour plus d'informations, veuillez s.v.p. visiter le site [www.phonak.com](http://www.phonak.com).**