

Background Story

SoundRecover

Importance d'une bande passante perceptible étendue

Résumé

Il est particulièrement important pour un malentendant de pouvoir percevoir et discriminer facilement et avec précision les sons aigus. Ces signaux contiennent des informations vocales importantes pour l'intelligibilité, en particulier dans certaines situations courantes d'audition dans le bruit. Les percevoir clairement peut aussi fournir de précieux indices de localisation spatiale et améliorer l'élocution. Des aides auditives numériques modernes ont récemment été présentées sur le marché avec une bande passante étendue qui permet donc d'améliorer l'amplification des sons de fréquences aiguës. Cependant, la bande passante mesurée à l'aide de méthodes électroacoustiques ne représente pas nécessairement la bande passante perceptible avec l'appareillage réel. Quand la bande passante perceptible est estimée en tenant compte de la configuration audiométrique de chaque auditeur malentendant, on peut démontrer que la plus grande amplification attendue dans les fréquences aiguës avec des appareils à bande passante élargie peut difficilement être obtenue en pratique. Par contre, SoundRecover, le circuit de compression non linéaire de fréquence déposé de Phonak, peut effectivement étendre la bande passante perceptible en améliorant l'audibilité et la discrimination des signaux aigus.

Introduction

Un paramètre essentiel de tout système de communication est sa **bande passante**, qui caractérise sa capacité à transmettre des informations. L'accès à Internet, par exemple, est beaucoup plus rapide avec une connexion large bande qu'avec une ligne téléphonique. Ceci surtout parce qu'une connexion large bande utilise des fréquences plus élevées pour transmettre les données numériques. La bande passante est généralement définie comme étant la gamme de fréquences transmissibles par le canal de communication. L'élargir, c'est augmenter la gamme de fréquences et permettre ainsi à plus d'informations de transiter dans ce canal.

Le même concept peut s'appliquer à l'audition. On admet généralement que la bande passante de l'audition humaine saine s'étend des fréquences de 20 Hz à 20 kHz. Toutefois,

l'audibilité d'un son, tel qu'un son pur, dépend non seulement de sa fréquence, mais aussi de son niveau.

Une meilleure définition de la bande passante serait donc de dire qu'il s'agit de la gamme de fréquences des sons qui peuvent facilement être rendus confortablement forts. Ceci est illustré par la figure 1 (Robinson & Dadson, 1957) qui représente le niveau en dB SPL (ordonnées) requis pour produire la même sensation de sonie dans une large bande de fréquences (courbe en trait plein).

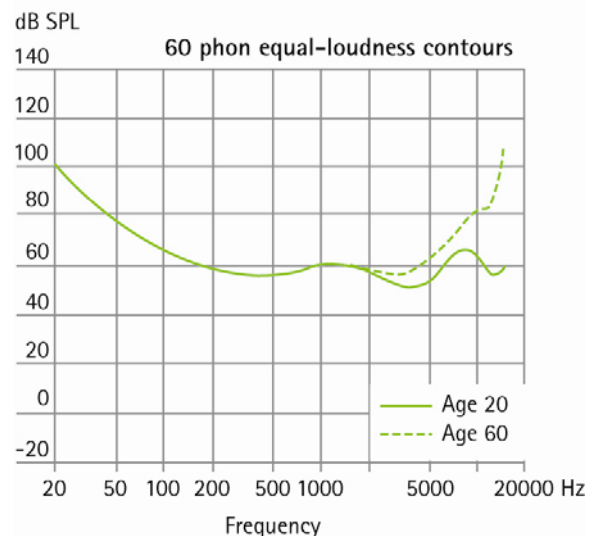


Figure 1 Courbes isosoniques de sujets normo-entendants jeunes (trait plein) et plus âgés (pointillés). L'axe des ordonnées indique un niveau modéré, perçu comme aussi fort à toutes les fréquences (axe des abscisses).

Dans ce graphique, le son de 1 kHz représenté à un niveau de 60 dB SPL serait confortablement fort pour la moyenne des sujets normo-entendants. Pour percevoir la même sonie à d'autres fréquences, le niveau sonore doit être ajusté de moins de 10 dB dans une bande de fréquences allant de 80 Hz à près de 20 kHz, environ. Pour avoir la même sensation de sonie à des fréquences inférieures à 80 Hz, le niveau sonore doit être augmenté. Un son de 20 Hz, par exemple, doit être présenté à un niveau de 100 dB pour être perçu aussi fort qu'un son de 1 kHz à 60 dB. Ceci montre que la bande

passante audible dépend beaucoup du niveau sonore même chez les normo-entendants. La bande passante perceptible peut généralement être élargie en augmentant le niveau sonore.

La figure 1 montre aussi la courbe d'isotonie de sujets plus âgés supposés normo-entendants (ligne pointillée). Bien que ces sujets ne présentent pas de troubles auditifs, leur sensibilité moyenne aux sons aigus est beaucoup plus faible que celle des auditeurs plus jeunes (trait plein). A 10 kHz, par exemple, la différence de niveau pour atteindre la même sonie était proche de 20 dB entre ces deux groupes. Les différences sont encore plus grandes à des fréquences plus élevées. Par contre, l'âge des auditeurs n'affecte pas les données de sonie aux fréquences inférieures à 2 kHz environ. Ces données sont cohérentes avec les résultats de nombreuses recherches qui ont montré que la sensibilité auditive dans les aigus tendait à diminuer avec l'âge, même en l'absence de toute pathologie spécifique. Donc, quand la bande passante de l'audition diminue par suite d'une perte auditive liée à l'âge, c'est généralement dû à une modification de la sensibilité des aigus plutôt que des graves. De plus, une réduction similaire de la bande passante peut résulter de nombreuses causes courantes de pertes auditives, dont l'exposition à des niveaux de bruits excessifs, diverses maladies, des effets secondaires de médicaments ototoxiques, et autres étiologies.

Comment ces réflexions s'appliquent-elles à un malentendant appareillé? Il est difficile de répondre en raison de deux facteurs interdépendants. Le premier, est la configuration particulière de la perte auditive de chaque sujet, caractérisée par son audiogramme. Le second est la bande passante réelle de l'aide auditive, qui dépend de son gain et de son niveau de sortie, paramètres inévitablement variables en fonction de la fréquence. De plus, certaines techniques de traitement du son, telles que les réductions de fréquence, peuvent modifier la bande passante perceptible. Comme nous l'avons dit précédemment, il est essentiel de considérer l'effet **combiné** de ces facteurs pour déterminer de façon réaliste la bande passante des sons disponibles pour un sujet appareillé donné.

Importance des fréquences aiguës pour la perception

De nombreux sons importants pour l'intelligibilité vocale contiennent ou sont dominés par des composantes aiguës. Pour ne donner qu'un exemple connu, la présence ou l'absence du phonème /s/ à la fin de presque tous les noms anglais indique si l'orateur parle de plusieurs articles ou d'un seul. Le pic spectral de ce phonème est typiquement situé entre 4 et 6 kHz, selon l'âge et le sexe de l'orateur, et contient souvent des composantes intenses au-delà de 10 kHz. Dans chaque langue, de nombreux autres sons vocaux sont aussi plus faciles à discriminer quand les composantes aiguës du signal sont clairement audibles. Ces signaux acoustiques sont particulièrement importants quand un sujet cherche à comprendre en milieu bruyant, car ils risquent moins d'être

masqués par les composantes graves relativement intenses de nombreux types de bruits courants. De plus, les jeunes enfants malentendants qui apprennent une langue pour la première fois ont besoin de pouvoir entendre les sons vocaux aigus qu'ils chercheront à produire (Stelmachowicz et al, 2002).

Outre ces bénéfices bien connus pour la perception vocale (Simpson et al, 2005) et l'élocution, assurer l'audibilité des sons aigus procure d'autres avantages. Certaines informations précieuses sur l'origine des sons, tels que les chants des oiseaux ou différents bruits ambiants importants, par exemple, sont principalement délivrées par des composantes aiguës. La qualité subjective de ces sons tend à être jugée comme assez mauvaise si les aigus sont trop faibles ou inaudibles (Moore & Tan, 2003). Il peut aussi être possible d'améliorer la capacité d'un malentendant à localiser des sons contenant des aigus en élargissant la bande passante des aides auditives, car la différence de niveau sonore entre les deux oreilles peut donner d'importants indices sur la localisation spatiale de la source sonore. Comme la différence de niveau doit être perçue comme une différence de sonie entre les oreilles pour que ces indices soient fiables, la bande passante des aides auditives doit permettre aux signaux aigus d'être entendus aux niveaux corrects (Dubno et al, 2002).

Bande passante des aides auditives

Auparavant, la limite aiguë de la bande passante des aides auditives analogiques résultait surtout des performances électroacoustiques. Il était en particulier souvent difficile, avec les aides auditives surpuissantes, d'obtenir de bons niveaux sonores au-delà de 4 kHz. Les écouteurs se sont cependant améliorés ces dernières années et les limitations de bande passante sont plutôt imposées par d'autres facteurs.

La bande passante de toutes les aides auditives numériques a une limite absolue résultant du processus d'échantillonnage. L'échantillonnage est nécessaire pour convertir les signaux sonores incidents en un flux de codes numériques distincts. La fréquence d'échantillonnage doit être assez élevée pour assurer une image fidèle du signal acoustique continûment variable dans le processeur numérique. Le choix de la fréquence d'échantillonnage résulte du principe fondamental du traitement numérique du signal qui stipule que la plus haute fréquence pouvant être correctement représentée après l'échantillonnage est légèrement inférieure à la moitié de la fréquence d'échantillonnage. On admet généralement que la fréquence la plus élevée audible par un normo entendant est de 20 kHz et la fréquence d'échantillonnage requise est donc supérieure à 40 kHz. D'ailleurs, le son numérique enregistré sur les disques compacts (CD) est échantillonné à 44,1 kHz

Mais une fréquence d'échantillonnage relativement haute a des effets secondaires indésirables. Le processeur numérique de signal des aides auditives modernes est programmé pour traiter les sons incidents à un rythme égal à la fréquence

d'échantillonnage. La consommation d'énergie est cependant d'autant plus grande que la fréquence d'échantillonnage est élevée, limitant ainsi la durée de vie de la pile. Les concepteurs d'aides auditives numériques sont confrontés à un dilemme: élargir la bande passante de l'appareil revient à réduire la durée de la pile. La fréquence d'échantillonnage des aides auditives est donc généralement d'environ 20 kHz. Ce qui implique que la limite supérieure de la bande passante acoustique est d'environ 10 kHz. Certains appareils ont une fréquence d'échantillonnage de 16 kHz, ce qui limite la bande passante acoustique à moins de 8 kHz.

Il existe plusieurs méthodes de mesure de la bande passante des aides auditives. Une technique largement utilisée est définie par la norme ANSI (American National Standards Institute) S3.22, dans laquelle la courbe de réponse est relevée en fonction de la fréquence dans les conditions du gain de référence pour les essais. La figure 2 présente, à titre d'exemple, la mesure faite sur deux aides auditives large bande. Le niveau de sortie moyen à trois fréquences (1,0, 1,6 et 2,5 kHz) est calculé pour un niveau d'entrée de 60 dB. Puis deux fréquences sont identifiées, dont le niveau est de 20 dB inférieur à la moyenne calculée. Elles représentent les limites inférieure et supérieure de la bande passante. Pour les courbes de réponse de la figure 2, la bande passante de l'appareil A, estimée selon la méthode ANSI, s'étend de 100 Hz à environ 7,5 kHz.

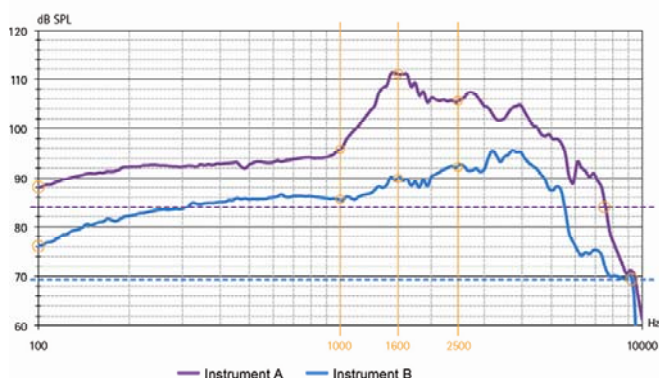


Figure 2 Exemples de calcul de la bande passante, selon la norme ANSI, de deux aides auditives actuelles. Chaque courbe représente le niveau de sortie en fonction de la fréquence pour 60 dB d'entrée, au gain de référence pour les essais. Le gain moyen est calculé à trois fréquences (lignes jaunes verticales), puis on retranche 20 dB (lignes pointillées horizontales). La bande passante est délimitée par les deux fréquences situées aux intersections de cette ligne avec la courbe de réponse. L'appareil A a donc une fréquence limite supérieure d'environ 7,5 kHz et l'appareil B d'environ 9,2 kHz.

La figure 2 présente aussi la même mesure pour l'appareil B. Dans ce cas, la limite supérieure de la bande passante déterminée par la méthode ANSI est d'environ 9,2 kHz. Il est cependant clair que le niveau de sortie moyen calculé est supérieur pour l'appareil A que pour l'appareil B. En fait, si l'on utilisait des niveaux de sortie absolus plutôt que des niveaux de sortie rapportés aux conditions de référence pour estimer la bande passante, la fréquence limite supérieure de ces deux appareils serait pratiquement identique. Ces observations soulignent le fait que des mesures de bande

passante réalisées selon une norme technique ne donnent pas nécessairement d'informations utiles sur la bande passante effective d'une aide auditive, adaptée à un utilisateur donné. Par contre, une **bande passante perceptible**, prenant en compte non seulement les caractéristiques électroacoustiques de l'aide auditive mais aussi l'allure et l'importance de la perte auditive du sujet serait beaucoup plus parlante.

Bande passante perceptible

Un audiogramme traditionnel est le relevé du seuil auditif d'un sujet à un certain nombre de fréquences discrètes. La fréquence la plus basse est généralement 125 ou 250 Hz et la plus élevée peut atteindre 8 kHz. Pour plusieurs raisons techniques et pratiques, il peut être difficile d'obtenir des seuils fiables à des niveaux très élevés (supérieurs à 8 kHz, par exemple). Même si des seuils auditifs ont pu être mesurés au-delà des fréquences de mesure classiques utilisées en pratique clinique, les formules de présélection qui déterminent le gain et les caractéristiques de la compression d'amplitude requis pour une aide auditive, ne fournissent généralement pas de cibles prothétiques à ces fréquences. Il serait néanmoins nécessaire de connaître les seuils auditifs aux fréquences aiguës, pour évaluer la gamme de fréquences qu'une aide auditive donnée peut rendre audible dans chaque appareillage.

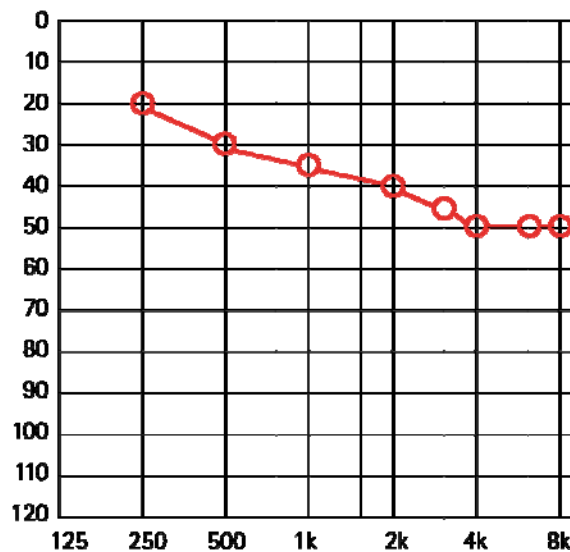


Figure 3 Audiogramme d'une perte auditive typique, de légère à moyenne

La figure 3 donne un exemple d'une perte auditive typique croissante de légère à moyenne, avec des seuils de 50 dB HL à 4 kHz et au-delà. Après conversion en niveaux équivalents sur le tympan, l'audiogramme devient la courbe rouge de la figure 4. Cette figure présente aussi la courbe résultant de l'adaptation d'une aide auditive Phonak large bande. L'algorithme déposé de décalage de fréquence **SoundRecover** est inactivé (courbe verte). L'aide auditive a été ajustée pour s'approcher le plus près possible de la cible recommandée par la formule DSL v5.0a pour les adultes.

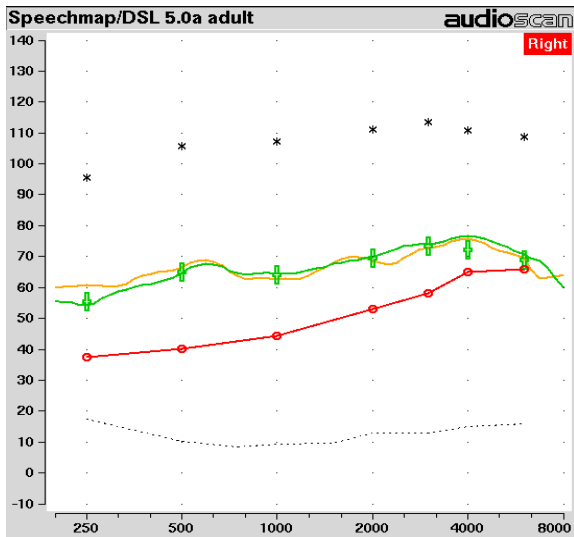


Figure 4 Résultats de l'adaptation de deux aides auditives selon la formule DSL v5.0a (croix vertes) pour l'audiogramme (courbe rouge) présenté figure 3. SoundRecover est inactivé dans l'appareil Phonak (courbe verte). La courbe jaune montre des résultats comparables obtenus avec l'aide auditive d'un autre fabricant, procurant une bande passante étendue.

L'aide auditive Phonak sans SoundRecover procure une audibilité exploitable du signal d'essai (parole à un niveau moyen de 65 dB SPL) au moins jusqu'à 6 kHz. Par comparaison, la courbe jaune de la même figure montre les résultats obtenus par un produit concurrent haut de gamme affirmant avoir une bande passante étendue jusqu'à 10 kHz. Ces mesures montrent clairement que les deux aides auditives, adaptées à une configuration audiométriques courante, ont pratiquement la même bande passante perceptible. Toutefois, aucune d'elles ne procure assez d'audibilité au-delà de 6 kHz environ, bien que chaque appareil ait été réglé au gain maximal à ces fréquences. Il faut noter que cette restriction de l'audibilité au-delà de 6 kHz s'observe déjà pour une perte auditive légère à moyenne dont les seuils ne sont que de 50 dB HL dans cette zone. La limitation de la bande passante perceptible est une conséquence à la fois des caractéristiques particulières de l'audiogramme et des performances techniques des aides auditives qui lui sont adaptées.

Que peut-on faire pour dépasser cette limitation? La seule solution pratique, actuellement, est d'utiliser des algorithmes sophistiqués de décalage de fréquence qui peuvent améliorer l'audibilité des sons aigus sans affecter les signaux de fréquences plus basses. SoundRecover, une exclusivité Phonak, élargit la bande passante perceptible disponible pour les utilisateurs en comprimant et décalant une bande de fréquences d'entrée aiguës. L'effet de SoundRecover sur la bande passante est illustré par la figure 5 qui montre comment les fréquences d'entrée élevées sont réduites pour se retrouver dans la bande passante utile de l'aide auditive adaptée à un malentendant. Seules les fréquences supérieures à une fréquence de coupure spécifiée sont comprimées de cette façon. Comme les signaux de fréquences plus graves ne subissent pas le traitement de compression de fréquence, la qualité sonore est préservée pour l'utilisateur.

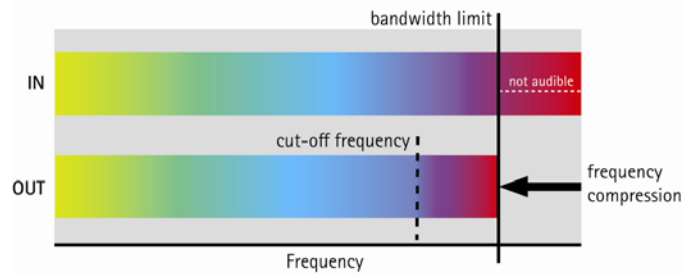


Figure 5 Principe de SoundRecover pour élargir la bande passante perceptible. La barre du haut montre l'ensemble du spectre des fréquences sonores à l'entrée de l'aide auditive. Les signaux situés au-delà de la limite supérieure de la bande passante (ligne verticale en trait fort à droite) sont inaudibles pour l'utilisateur. En activant SoundRecover, les signaux situés au-dessus de la fréquence de coupure (ligne verticale pointillée) sont comprimés en fréquence et décalés dans la bande passante disponible (barre du bas).

De nombreux travaux de recherche ont confirmé que l'intelligibilité vocale est souvent améliorée, dans le calme comme dans le bruit, en utilisant SoundRecover et que la qualité sonore du signal traité est facilement acceptée (Glista et al, 2009, Wolfe et al, 2009). Ces avantages ne semblent pas être limités à un groupe d'âge, un degré de pertes auditives ou à une gamme de configurations audiométriques spécifiques.

La figure 6 montre l'effet perceptif attendu de SoundRecover activé dans une aide auditive Phonak. Contrairement à la figure 4, la sortie de chaque aide auditive est ici représentée en réponse à un signal de test composé d'une bande de bruit centrée sur 6,3 kHz (signal synthétisé, aux caractéristiques similaires à celles du phonème /s/, et récemment disponible à des fins cliniques dans le système de contrôle Verifit).

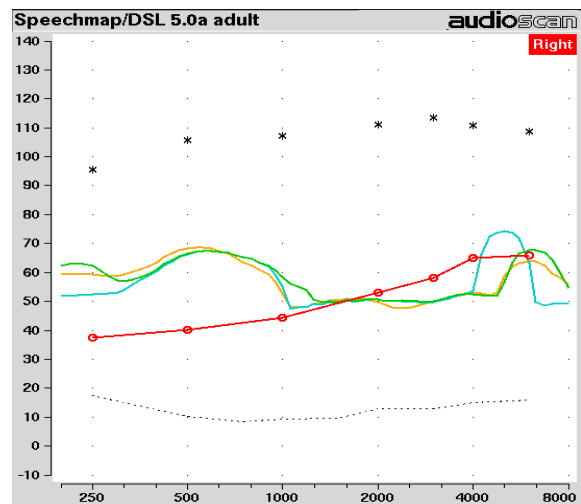


Figure 6 Idem figure 5, mais pour un signal d'entrée composé d'un bruit à bande étroite centré sur 6,3 kHz. La courbe bleue montre de plus l'effet de l'activation de SoundRecover dans l'aide auditive Phonak.

Sans SoundRecover (courbe verte), seule une audibilité marginale a pu être obtenue pour ce signal et l'appareil concurrent (courbe jaune) se trouve en-dessous du seuil, ne procurant donc aucune audibilité. Notez que les paramètres d'adaptation de chaque appareil sont restés tels que décrits figure 5, et donc ajustés au gain maximal dans les aigus. En activant SoundRecover, le signal de test est amplifié par l'aide auditive Phonak à des niveaux clairement audibles (courbe

bleue). Veuillez consulter le document « Directives pour le contrôle des aides auditives avec SoundRecover », disponible sur www.phonak.com pour avoir d'autres détails sur la façon de réaliser et d'interpréter cette procédure Verifit conçue pour vérifier les performances des aides auditives dotées d'une technologie de réduction de fréquence.

En résumé, les traitements des signaux et les designs modernes des écouteurs ont permis de concevoir des aides auditives dont la courbe de réponse électroacoustique mesurée sur coupleur atteint 10 kHz. Toutefois, il n'est pratiquement pas possible d'obtenir une amplification réelle au-delà de 6 kHz, même quand ces appareils sont adaptés à des pertes auditives légères à moyennes. Dans de nombreux cas d'appareillages réels, même la large bande passante de l'aide auditive reste insuffisante pour élargir la bande passante perceptible et rendre ainsi audibles les signaux aigus. La recherche a mis en évidence que la perception de ces signaux est très importante. SoundRecover peut procurer une audibilité des aigus, par ailleurs inaccessible, en élargissant la bande passante perceptible des aides auditives Phonak bien au-delà de la bande passante étendue, fruit de leur design électroacoustique. Les avantages de cette technologie ont été prouvés scientifiquement par toute une série d'études publiées dans des revues, évaluées ou non par des pairs (voir autres publications sur SoundRecover, à la fin de ce document).

Bibliographie

Dubno JR, Ahistrom JB, Horwitz AR (2002) Spectral contributions to the benefit from spatial separation of speech and noise. *J Speech Lang Hear Res* 45:1297-1310.

Glista D, Scollie S, Bagatto M, Seewald R, and Johnson A (2009) Evaluation of nonlinear frequency compression: Clinical outcomes. *Int J Audiol*, 48(9): 632-44.

Moore BC, Tan CT, (2003) Perceived naturalness of spectrally distorted speech and music. *J Acous Soc Am* 114: 408-419.

Robinson DW, Dadson RS (1957) Threshold of hearing and equal-loudness relations for pure tones, and the loudness function. *J Acous Soc Am* 29:1284-1288.

Simpson A, McDermott HJ, Dowell RC (2005) Benefits of audibility for listeners with severe high-frequency hearing loss. *Hear Res* 210:42-52.

Stelmachowicz PG, Pittman AL, Hoover BM, Lewis DE (2002) Aided perception of /s/ and /z/ by hearing-impaired children. *Ear Hear* 23:316-324.

Wolfe J, Caraway T, John A, Schafer E, & Nyffeler M (2009) Initial experiences with nonlinear frequency compression for children with mild to moderately severe hearing loss. *Hear J* 62(9): 32-35.

Auteur:

Prof. Hugh McDermott
Directeur adjoint (Recherche)
The Bionic Ear Institute
384-388 Albert Street
East Melbourne VIC 3002
Australie

Autres publications sur SoundRecover

Bagatto M, Scollie S, Glista D, Pasa V, Seewald R (2008) Case study outcomes of hearing impaired listeners using nonlinear frequency compression technology. *Audiology Online*, March.

Boretzki M, Kegel A (2009) The benefits of nonlinear frequency compression for people with mild hearing loss. *Audiology Online*, November.

Dewald N (2009) Experiences with a wide application of SoundRecover, non-linear frequency compression. *Audiology Online*, October.

Glista D, Scollie S, Polonenko M, Sulkers J (2009) A comparison of performance in children with non-linear frequency compression systems. *Hearing Review*, November, 20-24.

Kegel A, Boretzki M (2009) Nutzen von SoundRecover für Menschen mit einer milden Hörminderung. *Hörakustik August* .

McDermott HJ, Glista D (2007) SoundRecover: A breakthrough in enhancing intelligibility. *Background Story*, Phonak AG.

McDermott HJ (2010). The benefits of nonlinear frequency compression for a wide range of hearing losses. *Audiology Online*, January.

Nyffeler M (2008) The Naida power hearing instrument family – field test results demonstrate better speech clarity – unparalleled in its class. *Audiology Online*, September.

Nyffeler M (2008) Study finds that non-linear frequency compression boosts speech intelligibility. *Hear J* 61(12): 22-26.

Simpson A, Hersbach AA, McDermott HJ (2005) Improvements in speech perception with an experimental nonlinear frequency compression hearing device. *Int J Audiol* 44(5):281-292.

Simpson A, Hersbach AA, McDermott HJ (2006) Frequency-compression outcomes in listeners with steeply sloping audiograms. *Int J Audiol* 45(11): 619-29.

Wolfe J, Caraway T, John A, Schafer E, & Nyffeler M (2009) Verbesserung beim Erkennen und Erlernen hochfrequenter Signale. *Hörakustik Oktober*.