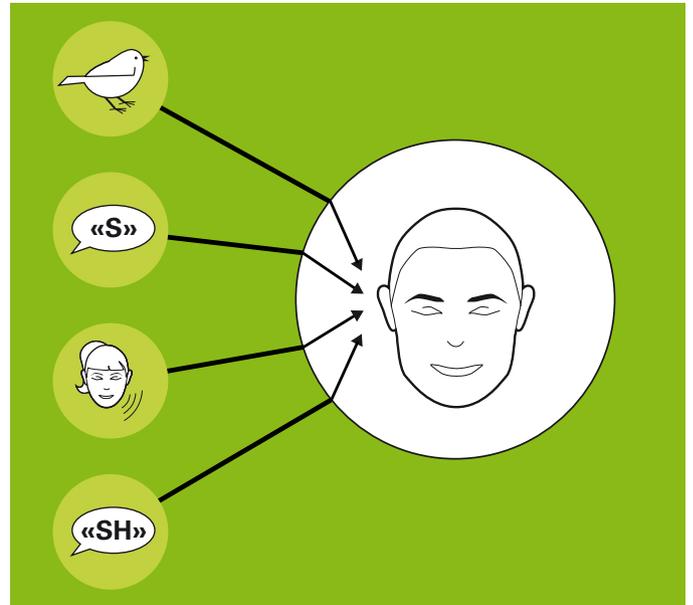
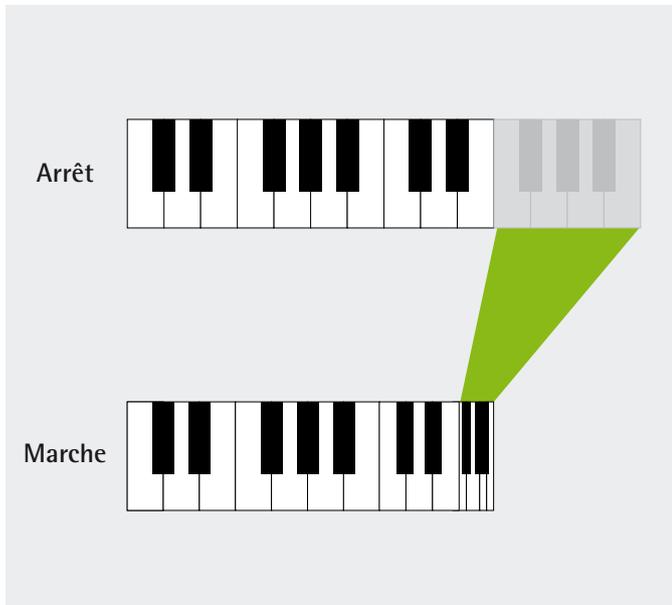


SoundRecover

Une grande innovation pour améliorer l'intelligibilité



Résumé

La compression de fréquence est une solution innovante pour relever l'un des défis les plus courants auxquels sont confrontés les malentendants: une mauvaise perception des sons de fréquences élevées. Ces fréquences se trouvent généralement dans des zones affectées par des atteintes cochléaires¹. Ce problème peut être à l'origine:

- De difficultés de reconnaissance de certaines composantes vocales telles que les consonnes fricatives «f», «s» et «ch».
- De difficultés d'audition et d'identification des sons ambiants aigus, tels que le chant des oiseaux, des signaux d'alarmes et certains sons musicaux.
- De difficultés, en particulier chez les jeunes enfants, pour apprendre à prononcer des sons vocaux contenant surtout des aigus.
- De difficultés, en particulier chez les adultes, pour préserver la qualité vocale.

Conscient de ces défis, Phonak, en collaboration avec l'Université de Melbourne, a développé SoundRecover, un algorithme innovant de compression non linéaire de fréquence. Il comprime des sons aigus sélectionnés vers une bande de fréquences plus basses, dans laquelle à la fois l'audibilité et les capacités de discrimination vocale sont meilleures. L'algorithme de Phonak élargit efficacement la gamme audible, sans créer d'artéfacts gênants. Les fréquences inférieures au seuil de compression sont amplifiées de façon conventionnelle, et seules les fréquences aiguës sont comprimées. Le réglage initial de la compression de fréquence est défini automatiquement par le logiciel d'appareillage pour chaque utilisateur d'aide auditive et peut être facilement ajusté, si nécessaire. De nombreux malentendants avec une mauvaise discrimination des fréquences aiguës bénéficieront de l'algorithme intelligent SoundRecover.

Introduction

La majorité des malentendants a de plus grandes difficultés d'audition des aigus que des graves. Traditionnellement, on applique d'autant plus de gain à ces fréquences que la perte auditive est importante. Chez certaines personnes cependant, la sensibilité auditive est si mauvaise dans les aigus qu'il n'est pratiquement pas possible d'augmenter suffisamment le gain pour rétablir l'audibilité. Dans de nombreux cas, le gain est limité par le larsen acoustique ou

par l'inconfort résultant d'une sonie excessive. De plus, même si l'audibilité des sons peut être rétablie, ils peuvent ne pas pouvoir être discriminés ou reconnus. De tels problèmes perceptifs sont souvent la conséquence d'atteintes irréversibles des cellules ciliées de l'oreille interne.

Que se passe-t-il quand les aigus sont inaudibles?

De nombreux sons, essentiels pour comprendre la parole, comportent des composantes aiguës. La figure 1 montre par exemple que presque toute l'énergie de la consonne «s» est concentrée dans les aigus, avec un pic à 8 kHz ou au-delà⁸. Des difficultés d'audition ou de discrimination des consonnes fricatives telles que le «s» peuvent avoir un impact significatif sur l'intelligibilité vocale, en particulier dans des conditions d'écoute difficiles. En anglais, par exemple, la consonne «s» est très fréquente et joue un rôle crucial en permettant aux auditeurs de reconnaître les noms singuliers et pluriels, les contractions (it's), les verbes à la 3ème personne des temps présents vs. passés et les pronoms possessifs. Pour l'apprentissage de la parole et du langage chez les enfants, il est essentiel de pouvoir entendre ces phonèmes et de les discriminer sans effort parmi toutes les consonnes et voyelles.

L'intelligibilité vocale n'est pas la seule à être affectée négativement par une perte auditive dans les fréquences élevées. Bien d'autres types de sons, tels que le chant des oiseaux, des alarmes, la sonnette de la porte d'entrée et la sonnerie du téléphone peuvent être difficiles à détecter ou à identifier. Certains de ces sons sont surtout utiles car ils contribuent à la qualité du vécu auditif global d'une personne. D'autres peuvent jouer un rôle pratique significatif, entre autres en donnant l'assurance de pouvoir reconnaître vite et bien des signaux d'alarme aigus.

Quand l'amplification conventionnelle ne délivre pas suffisamment de gain dans les aigus, d'autres méthodes doivent être envisagées. Le glissement de fréquences est une solution qui a été discutée dans la littérature depuis de nombreuses années.

Divers algorithmes de glissement de fréquences ont été développés au cours des années. En comparant les différentes approches, de grandes différences apparaissent dans leur mise en œuvre, comme dans la qualité sonore et le potentiel d'amélioration de l'intelligibilité vocale qui en résultent. La plupart des tentatives de glissement de fréquences s'apparentent plutôt à des transpositions de fréquences. D'une façon

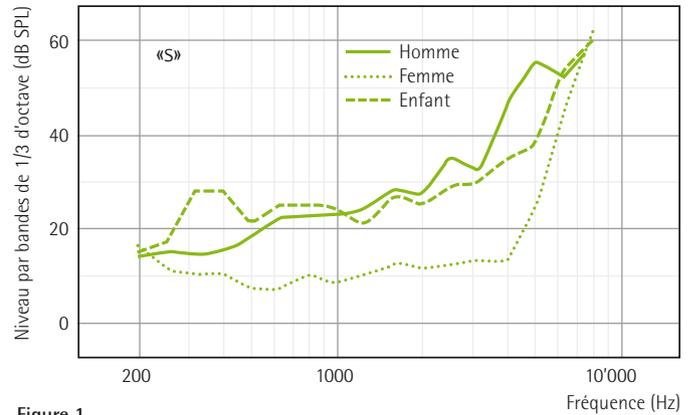


Figure 1
Spectre par bandes de tiers d'octave de la consonne «s» prononcée par un homme adulte, une femme adulte et un enfant (reproduit avec l'autorisation de Stelmachowicz, Pittman, Hover, Lewis et Moeller, 2004⁹).

générale, les modes de traitement passés peuvent se classer en quelques catégories seulement, en se basant sur trois critères:

- Toutes les fréquences sont-elles modifiées, ou seulement une gamme sélectionnée de fréquences?
- Le glissement de fréquences est-il permanent, ou se produit-il seulement sous certaines conditions?
- Les fréquences modifiées recouvrent-elles les fréquences non modifiées?

Un système relativement précoce de transposition de fréquences (figure 2) fonctionne en détectant si le signal incident est supérieur ou inférieur à une fréquence aiguë donnée^{4, 5}. Si la fréquence du signal est supérieure, elle déclenche la transposition de fréquences et décalera toutes les fréquences du signal amplifié. Une faiblesse de ce système est qu'il est difficile de détecter de façon fiable les signaux d'entrée de fréquence élevée, en particulier en présence de bruit. De plus, activer ou inactiver la transposition peut provoquer des artefacts gênants, audibles par certains utilisateurs d'aides auditives.

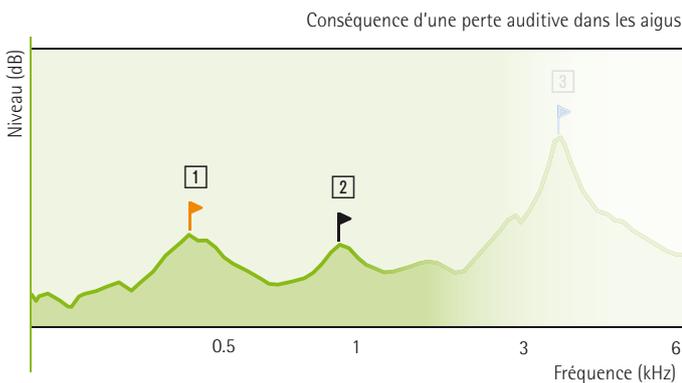
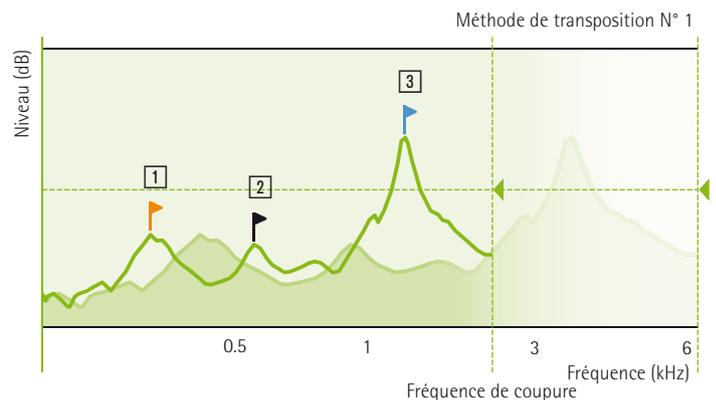


Figure 2
a. Avec une perte auditive aiguë, le 3^{ème} formant n'est plus audible.



b. Transposition de fréquences où toutes les fréquences sont décalées vers le bas.

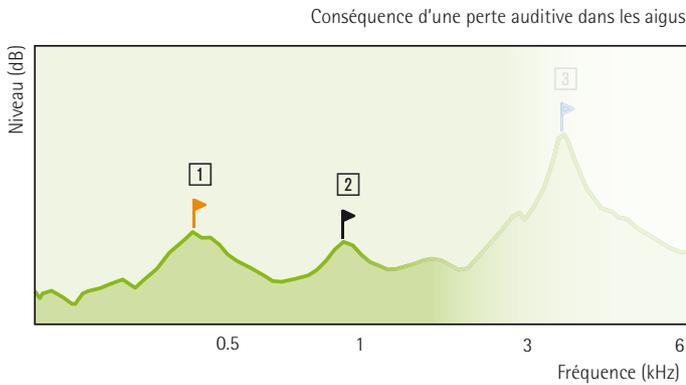
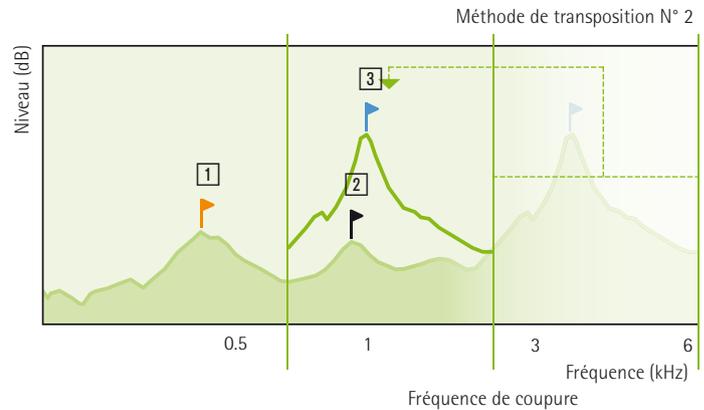


Figure 3
a. Avec une perte auditive aiguë, le 3^{ème} formant n'est plus audible.



b. Transposition de fréquences se traduisant par le recouvrement d'une zone audible par le 3^{ème} formant. Il en résulte des artefacts.

Un concept de transposition de fréquences plus récent (figure 3) identifie une bande de fréquences aiguës devant être décalée vers les graves^{2, 3}. La transposition vers les graves, qui peut ne se produire que sous certaines conditions ou être permanente, se traduit par un recouvrement des fréquences plus basses du signal d'entrée par les fréquences plus aiguës transposées. Ceci peut produire des artefacts, tels que le brouillage des voyelles dans les zones de recouvrement, qui affectent la qualité sonore.

SoundRecover: Une nouvelle solution exclusive pour permettre l'audibilité des aigus

SoundRecover, introduit par Phonak dans le nouveau modèle Naida UltraPower, fournit une compression non linéaire des fréquences, excellente et unique. Avec SoundRecover, une gamme sélectionnée de fréquences aiguës est progressivement comprimée dans une bande plus étroite (figure 4). L'algorithme de compression non linéaire de fréquence déplace les sons d'une zone sévèrement atteinte vers une bande de fréquences adjacente où la cochlée est plus saine, là où ils peuvent être traités et amplifiés. SoundRecover améliore avec succès la perception des fréquences aiguës tout en évitant la production d'artefacts gênants.

En particulier:

- SoundRecover est actif en permanence.
- Une gamme de fréquences présélectionnée est comprimée; en se basant sur la perte auditive du sujet.
- Aucune analyse spécifique du signal d'entrée n'est requise.
- Le signal de sortie comprimé en fréquence ne recouvre pas les fréquences plus basses.

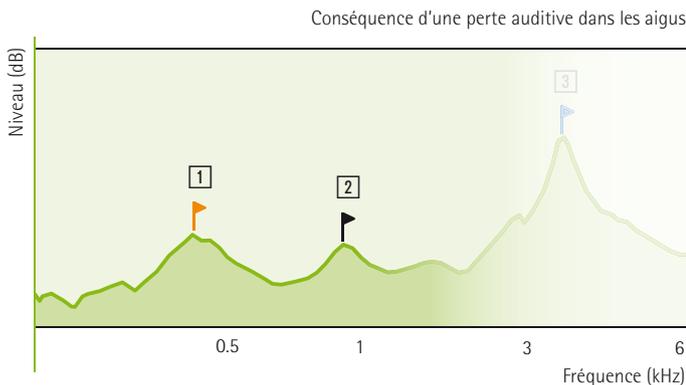
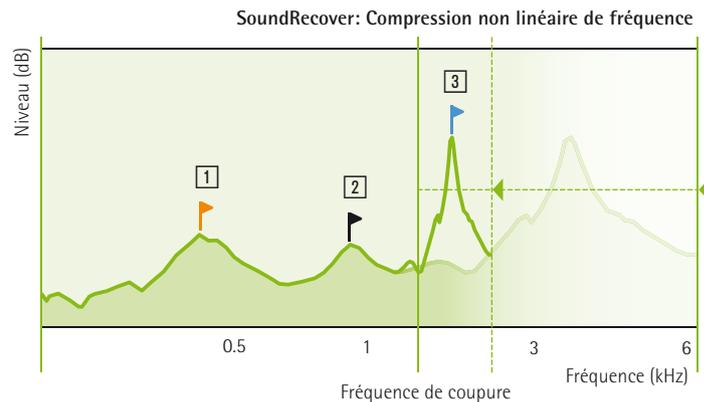


Figure 4
a. Avec une perte auditive aiguë, le 3^{ème} formant n'est plus audible.



b. SoundRecover: Compression du 3^{ème} formant dans une zone adjacente où la cochlée est moins atteinte, sans interférer avec l'audibilité des sons plus graves.

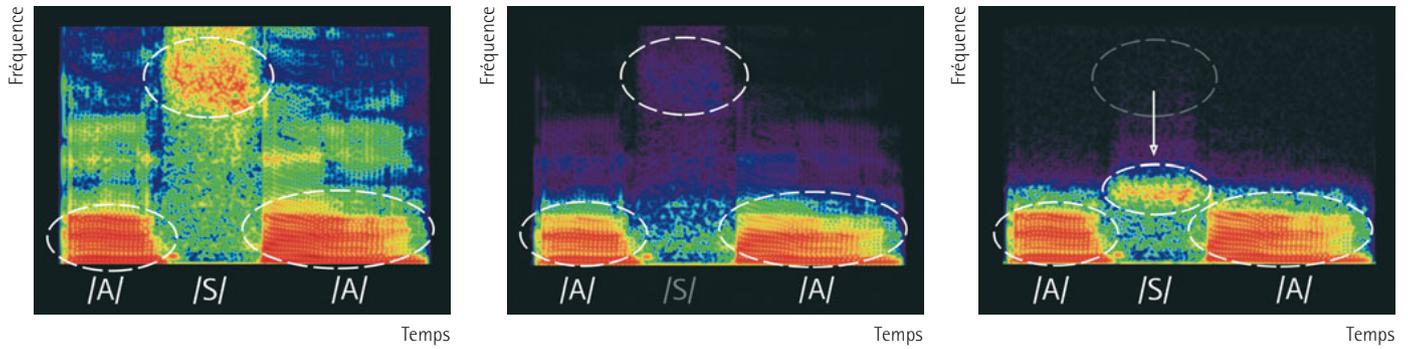


Figure 5
 a. Spectrogram représentant la répartition énergétique du son «ASA» telle qu'elle est perçue par un normo entendant. Remarque: la majorité de l'énergie du son «S» est située dans les fréquences élevées.
 b. Energie résiduelle simulée du son «ASA» telle qu'elle serait perçue avec une perte auditive aiguë. Remarque: le son «S» est inaudible.
 c. Simulation du son «ASA» traité par l'algorithme de compression non linéaire de fréquence SoundRecover. Remarque: le son «S» est maintenant audible.

La figure 5a représente le sonagramme du son «ASA», dans lequel la majorité de l'énergie de la consonne «S» est concentrée dans les aigus.

La figure 5b représente une simulation de l'énergie résiduelle du son «ASA» perçu par un malentendant atteint d'une perte auditive marquée dans les aigus. La majorité de l'énergie du son «S» est inaudible.

La figure 5c représente une simulation du son «ASA» amplifié avec SoundRecover. Notez que les composantes aiguës sont comprimées vers une zone audible et que les rapports globaux entre les différentes composantes sont préservés.

La figure 6 montre pourquoi nous appelons ce type de traitement du signal une compression non linéaire de fréquence. La bande totale des fréquences de sortie est plus étroite que la bande correspondante des fréquences d'entrée. Les fréquences d'entrée inférieures à un seuil défini (appelé fréquence de coupure) ne subissent aucune compression de fréquence. Au-dessus de la fréquence de coupure, la compression de fréquence est appliquée avec un degré d'autant plus important que la fréquence augmente. La compression est limitée pour s'assurer que les fréquences de sortie comprimées ne recouvrent pas les fréquences de sortie

inférieures à la fréquence de coupure. Ceci garantit aussi de minimiser les artefacts et de préserver la qualité sonore. Bien que l'allure de la courbe de la figure 8 soit similaire à celle d'une fonction de compression d'amplitude, il est important de noter que les axes sont gradués en fréquences et non en niveaux. L'allure de la fonction de compression de fréquence, et donc son effet sur la perception de l'utilisateur, peut être ajustée en contrôlant deux paramètres: la fréquence de coupure et le taux de compression. L'effet d'une modification de ces paramètres est illustré par les deux exemples de la figure 7. La courbe (a) est tracée avec une fréquence de coupure élevée (3 kHz) et un taux de compression relativement élevé. Il en résulte un traitement qui n'affecte que les fréquences d'entrée les plus hautes, bien que le degré de compression de fréquence dans cette bande soit important. Des réglages tels que ceux-ci peuvent convenir à des malentendants dont la perte auditive est moyenne dans les aigus et relativement faible dans les graves. La courbe (b) de la figure 7 représente une fréquence de coupure plus basse (1,5 kHz) et un taux de compression plus faible. Il en résulte un degré de compression de fréquence plus faible appliqué à une bande plus large. De tels réglages conviendraient mieux à un malentendant atteint d'une perte auditive relativement importante sur une large gamme de fréquences.

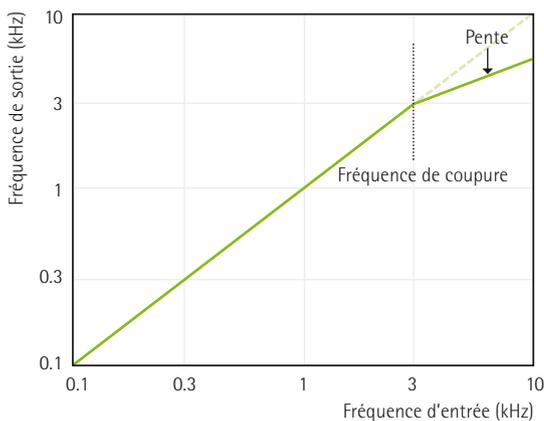


Figure 6
 Figure 6 –Fréquence de sortie en fonction de la fréquence d'entrée avec SoundRecover. La compression non linéaire de fréquence n'est appliquée que sur les fréquences d'entrée supérieures à la fréquence de coupure, et se traduit par une bande passante plus étroite des fréquences de sortie.

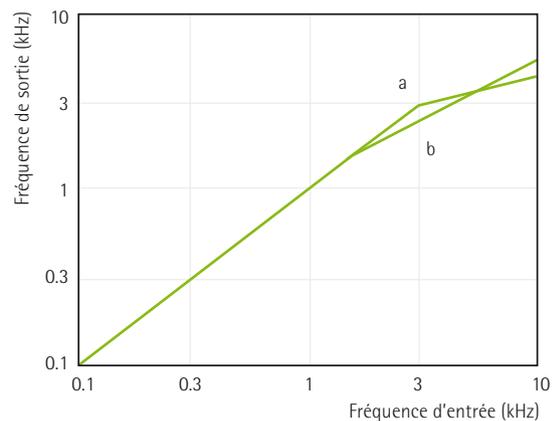
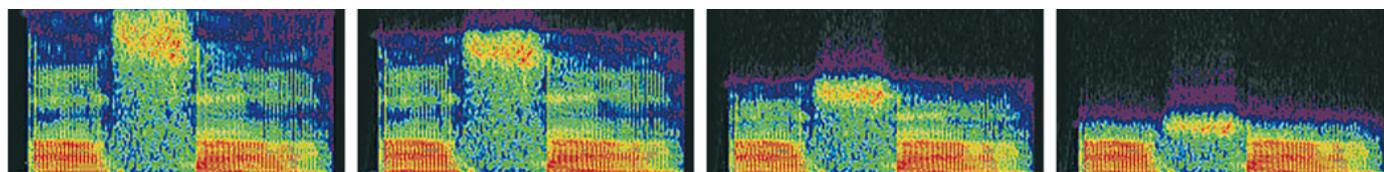


Figure 7
 Effet d'une modification des paramètres de la compression de fréquence. Courbe (a): fréquence de coupure élevée et taux de compression élevé. Courbe (b): fréquence de coupure plus basse et taux de compression plus faible.



Original

Fréquence de coupure 4000 Hz
Taux de compression 1,5:1

Fréquence de coupure 2000 Hz
Taux de compression 2:1

Fréquence de coupure 1500 Hz
Taux de compression 4:1

Figure 8

Sonagrammes du son «ASA» pour différents réglages de la compression de fréquence.

On voit nettement sur les sonagrammes de la figure 8 que le signal de sortie comprimé en fréquence ne recouvre jamais la bande de fréquences graves, quel que soit le taux de compression appliqué, et que les relations globales entre les différentes composantes restent inchangées.

Adaptation de SoundRecover

Dans les appareils Naida UltraPower, SoundRecover est activé et configuré automatiquement par le iPFG en s'appuyant sur l'audiogramme saisi et la formule de présélection choisie. Il est aussi facile de l'ajuster pour optimiser les bénéfices prothétiques. Comme les besoins prothétiques des enfants sont différents de ceux des adultes, il a semblé logique de disposer de deux stratégies distinctes, afin d'optimiser les réglages pour les enfants comme pour les adultes.

Adultes

Pour ces utilisateurs, on prend en compte à la fois les seuils auditifs à des fréquences spécifiques et la pente des audiogrammes en fonction de la fréquence. Des fréquences de coupure assez élevées sont calculées si la perte auditive est légère ou si l'audiogramme est plat. Des fréquences de coupure plus basses sont sélectionnées pour des pertes auditives plus importantes ou dont les audiogrammes ont des pentes relativement abruptes. Le taux de compression de fréquence se déduit alors de la fréquence de coupure. Le taux de compression détermine en fait l'importance de la compression de fréquence au-dessus de la fréquence de coupure. Par exemple, des taux de compression élevés se traduisent par un degré de compression de fréquence plus fort, car une bande plus large de fréquences d'entrée est comprimée dans une bande donnée de fréquences de sortie. Le réglage automatique du iPFG définit des taux plus élevés, et donc des effets de compression de fréquence plus importants, pour des fréquences de coupure plus élevées.

Enfants

La technologie SoundRecover est prometteuse pour améliorer la qualité de vie de nombreux enfants malentendants, en contribuant à leur procurer l'audibilité de tout le spectre vocal et à élargir leur expérience auditive. SoundRecover peut aider à minimiser les retards de développement de la parole et du langage, en visant à élargir la largeur de la bande de fréquences vocales perçues, au-delà de ce qu'un amplificateur traditionnel peut délivrer. Pour les appareillages pédiatriques, un réglage de l'algorithme de compression non linéaire de fréquence a été défini qui est très proche de celui qui a été obtenu par les recherches menées à l'Université de Western Ontario

par Scollie, Glista et Bagatto (publication à venir). Cette étude a permis d'observer des améliorations des scores de reconnaissance vocale chez la majorité des enfants participants.

Les applications prothétiques pédiatriques utilisent une prescription de compression de fréquence SoundRecover basée sur l'audiogramme saisi et la formule de présélection DSL v5. Plus précisément, iPFG calculera les valeurs de la fréquence de coupure et du taux de compression de fréquence en sélectionnant les seuils de la meilleure oreille par fréquence audiométrique et en calculant leur moyenne haute fréquence en son pur de 2 à 4 kHz. Cette valeur moyenne est alors utilisée pour prédéterminer les valeurs initiales de la fréquence de coupure et du taux de compression. En règle générale, plus la perte auditive est importante et plus la compression de fréquence est forte. Le but de cette approche audioprothétique est de procurer le maximum d'audibilité des indices vocaux, tout en prenant en considération les préférences et les exigences auditives particulières des enfants.

Avantages

L'algorithme non linéaire de compression de fréquence SoundRecover a été développé et vérifié par des essais cliniques intensifs en Australie, avec des utilisateurs atteints de pertes auditives sévères à profondes^{6, 7}. Des études cliniques approfondies* ont également été menées chez des adultes et des enfants au Canada et en Allemagne; elles ont révélé les nombreux avantages de SoundRecover:

- Détection, discrimination et reconnaissance améliorées des sons.
- Amélioration significative de l'intonation et de la qualité vocale globale.
- Meilleure audition des sons aigus et meilleure intelligibilité (en particulier avec des personnes qui parlent d'une voix aiguë comme les femmes et les enfants, ou avec des personnes qui parlent doucement, ou pour des sons de fréquence élevée tels que «s» ou «f»).
- Moins de larsen

*Les aides auditives utilisées étaient des prototypes et les résultats peuvent s'écarter légèrement de ceux qui seront obtenus avec les produits définitifs.

Conclusion

SoundRecover permet d'entendre les sons de fréquences aiguës qui, sinon, seraient inaudibles. La compréhension de certains sons vocaux, tels que les consonnes fricatives, est améliorée, surtout dans les environnements acoustiques difficiles. Chez les enfants, SoundRecover garantit la perception d'un plus grand nombre d'indices vocaux aigus, contribuant au développement de la parole et du langage et à l'audibilité permanente des sons vocaux importants tout au long de la scolarité. SoundRecover est la plus importante percée dans l'amplification surpuissante depuis le passage des appareils boîtiers aux contours d'oreille.

Phonak adresse ses remerciements au Professeur Hugh McDermott (Université de Melbourne) et à Danielle Glista (Université de Western Ontario) pour leur aide dans la réalisation de ce document.

Bibliographie

1. Moore, B.C.J. Dead regions in the cochlea: Conceptual foundations, diagnosis and clinical applications, *Ear Hear.* 25: 98-116 (2004).
2. Kuk F. Critical Factors in Ensuring Efficacy of Frequency Transposition. Retrieved from http://www.avrsono.com/publications/hearingreview_H0102F04.htm
3. Kuk, Korhonen, Peeters, Keenan, Jessen and Andersen. (2006). Linear frequency transposition: Extending the audibility of high frequency information. *The Hearing Review*, October. Retrieved from http://www.hearingreview.com/issues/articles/2006-10_08.asp
4. McDermott, H.J., V.P. Dorkos, M.R. Dean, and T.Y. Ching, Improvements in speech perception with use of the AVR TranSonic frequency-transposing hearing aid. *J Speech Lang Hear Res*, 1999. 42(6): p. 1323-35.
5. McDermott, H.J. and M.R. Knight, Preliminary results with the AVR Impact frequency-transposing hearing aid. *J Am Acad Audiol*, 2001. 12(3): p. 121-7.
6. Simpson, A., A.A. Hersbach, and H.J. McDermott, Improvements in speech perception with an experimental nonlinear frequency compression hearing device. *International Journal of Audiology*, 2005. 44(5): p. 281-92.
7. Simpson, A., A.A. Hersbach, and H.J. McDermott, Frequency-compression outcomes in listeners with steeply sloping audiograms. *International Journal of Audiology*, 2006. 45: p. 619-629.
8. Stelmachowicz, P.G. Pediatric Amplification: Past, present and future. In *Phonak Hearing Systems 3rd Pediatric Conference*. 2004. Chicago, USA.
9. Stelmachowicz, P.G., Pittman, A.L., Hoover, B.M., Lewis, D.E., and Moeller, M.P. (2004). The Importance of High Frequency Audibility in the Speech and Language Development of Children with Hearing Loss. *Archives of Otolaryngology – Head & Neck Surgery*, 130, 556-562.